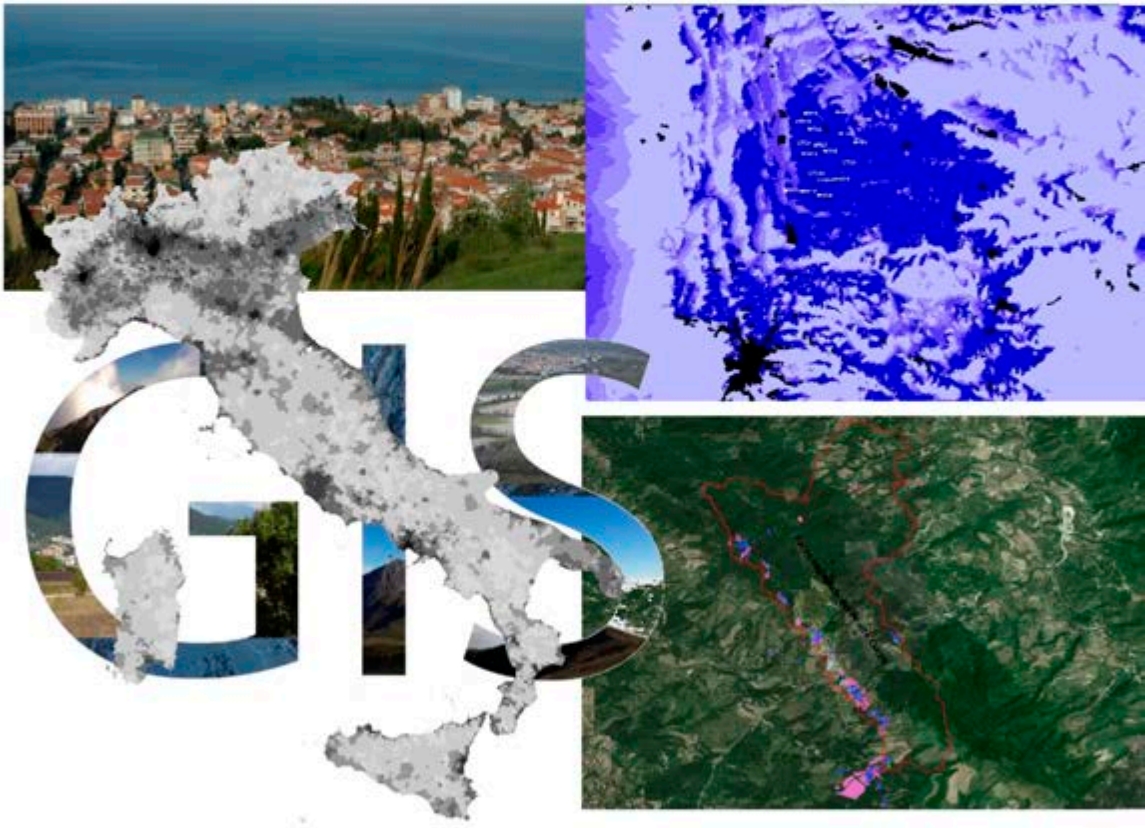
FRANCESCO ZULLO

Sistemi Informativi Territoriali per la diagnosi ambientale e la pianificazione territoriale



COGECSTRE
EDIZIONI

A Valeria

© COGECSTRE EDIZIONI, PENNE (PE)
Tel. 085 8279489
E- mail: edizioni@cogecstre.com

Impaginazione
Francesco Zullo

Stampa digitale
COGECSTRE Edizioni

Finito di stampare
maggio 2016

FRANCESCO ZULLO

Sistemi Informativi Territoriali per la diagnosi ambientale e la pianificazione territoriale

COGECSTRE
EDIZIONI

Indice

Cap. 1. Introduzione ai Sistemi Informativi Territoriali……1
1.1. Storia del GIS 2
1.2. Campi di applicazione del GIS 5
1.3. Le componenti di un GIS 8
1.4. Software libero e software open source: Quantum Gis e GvSig 12
1.4.1. Il software GvSig 15
1.4.2. Il software Quantum Gis 17
1.5. Il GIS come modello della realtà. 19
1.5.1. Modello dati vettoriale 20
1.5.1.1. Rappresentazione informatica del dato vettoriale……..……..….25
Box 1. Tecnologia GPS e File .GPX 28
1.6. Modello dati raster 35
1.7. Differenze tra modello raster e modello vettoriale 40
1.8. Il modello 3D nel gis 41
1.9. Il Database Geografico e parametri di qualità 49
1.10. I servizi di dati in rete: WMS, WFS, WCS 52
1.11. I metadati e la loro importanza nell'informazione geografica 55
1.12. L'informazione geografica in Italia: dall'Intesa GIS al D. Lgs 32/2010 ... 57
Cap. 2. I Sistemi di Riferimento 63
2.1. Breve storia della cartografia 63
2.2. Le misure della Terra 80
2.2.1. Il Geoide 81
2.2.2. L'Ellissoide di rotazione 83
2.3. I sistemi di coordinate 86
2.4. Le reti geodetiche 87
2.5. Datum geodetici 90
2.5.1. Datum classici: datum catastali 94
2.5.2. Datum classici: Roma40 95

2.5.3. Datum classici: European Datum 50 96
2.5.4. Datum satellitari: World Geodetic System 84 97
2.5.5. Datum satellitari: International Terrestrial Reference System ITRS .. 100
2.5.6. Datum satellitari: European Terrestrial Reference System ETRS 101
2.6. Le proiezioni cartografiche 103
2.6.1. Proiezione Cassini-Soldner 108
2.6.1.1. Trasformare e convertire coordinate Cassini – Soldner …….111
2.6.2. Proiezione Gauss – Boaga 113
2.6.3. Proiezione Universal Trasversal Mercatore 115
2.7. L'operazione di georiferimento 117
2.7.1. La georeferenziazione di dati geografici in formato raster in QGIS .. 121
2.7.2. La georeferenziazione di dati geografici in formato vettoriale in QGIS 134
Cap. 3. L'analisi spaziale nel software QGIS 143
3.1. Breve introduzione sugli aspetti tecnico - strumentali dell'interfaccia di QGIS. 143
3.2 Inserimento, creazione di dati all'interno del campo di lavoro 149
3.2.1. Collegare foto e testi alle features 172
3.3. Lavorare con le tabelle: join e relate 175
3.4 Interrogazioni e selezioni di dati 189
3.4.1. Interrogazione spaziale dei dati – selezione per posizione 199
3.5. Inserimento dei servizi OGC nel campo di lavoro 205
3.6. Modalità di rappresentazione dei dati geografici vettoriali 214
3.7. Modalità di rappresentazione dei dati geografici raster 221
3.8. Layout e composizione di stampe 225
3.9 L'analisi spaziale: teoria e tecniche. 244
3.9.1. Operatore Intersezione 247
3.9.2. Operatore Unione 249
3.9.3. Operatore Taglia 251

3.9.4. Operatore Differenza 253
3.9.5. Operatore Dissolvenza 255
3.9.6. Operatore Group - Stats 256
3.9.7. Operatore Unisci Shapefile 262
3.9.8. Operatore Buffer 264
3.9.9. Operatore Statistiche di base 265
3.9.10. Operatore elimina poligoni frammentati 266
3.9.11. Operatori di Join spaziale 267
3.9.12. Strumenti di Processing 274
3.10. Map algebra e Geoprocessing raster 275
3.10.1. Conversione tra formati: trasformazione da vettore a raster 282
3.10.2. Conversione tra formati: trasformazione da raster a vettore 284
3.10.3. Ritaglio di un layer raster 285
3.10.4. Unione di raster 286
3.10.5. Statistiche zonali 287
3.10.6. Estrazione delle curve di livello 289
3.10.7. Riclassificare i layer raster 290
3.10.8. Effettuare un ricampionamento sul layer raster 292
3.10.9. Raster della distanza 293
3.10.10. Analisi di visibilità (plugin viewshed analysis) 295
3.10.11. Calcolo del volume 296
3.10.12. Interpolazione 298
3.11. Analisi morfologica (pendenza, esposizione dei versanti, ombreggiatura, rilievo e indice di asperità) 303
3.12. Visualizzazione tridimensionale dei dati geografici: Qgis2threejs 310
Box 3.1. Tecniche GIS per l'analisi spaziale e temporale di inquinanti atmosferici. Il caso studio dell'area urbana di Pescara (Valeria LEPIDI) 313
Box 3.2. Sistemi GIS-APR: un nuovo approccio per la diagnosi territoriale (Alessandro MARUCCI) 322

Cap. 4. Indicatori per i processi valutativi e per la pianificazione territoriale ed ambientale: analisi, implementazione ed utilizzo 329

4.1. Indici demografici 331

4.1.1. Densità di popolazione 331

4.1.2. Tasso di variazione demografica 340

4.1.3. Tasso medio decennale di variazione demografica 345

4.2. Indici urbanistici 349

4.2.1. Densità di urbanizzazione 350

4.2.2. Indice di dispersione urbana - urban dispersion index 358

4.2.3. Superficie urbana pro-capite 363

4.2.4. Indice di frammentazione da urbanizzazione lineare – urban fragmentation index 367

4.2.5. Indice di densità infrastrutturale 371

4.2.6. Indice di frammentazione da infrastrutture - infrastructural fragmentation index 375

4.3. Indici ambientali 380

4.3.1. Tasso di copertura forestale 380

4.3.2. Indice di protezione ambientale 383

4.4. Indici socio – economici 387

4.4.1. Indice di vecchiaia della popolazione 387

4.4.2. Indice di utilizzazione edilizia 391

4.4.3. Indice di occupazione/disoccupazione 394

4.5. Tecniche di analisi di sensibilità territoriale 397

Box 4.1. Applicazioni GIS per la valutazione del rischio idraulico nell'ambito dell'attuazione della Direttiva Alluvioni. (Anna Rita SCORZINI) 409

Box 4.2. L'uso del GIS nelle valutazioni ambientali: alcuni esempi applicati alla pianificazione e progettazione infrastrutturale (Serena CIABO') 422

5. Bibliografia 428

GLI AUTORI DEI CONTRIBUTI

Serena Ciabò

Dottoressa in Scienze Ambientali, libero professionista, PhD in Recupero e tutela dei centri storici e assegnista di ricerca presso l'Università degli Studi dell'Aquila.

Valeria Lepidi

Dottoressa magistrale in Biologia Ambientale.

Alessandro Marucci

Dottore in Scienze Ambientali, libero professionista, PhD in Scienze Ambientali e assegnista di ricerca presso l'Università degli Studi dell'Aquila.

Anna Rita Scorzini

Ingegnere civile, PhD in Ingegneria Civile e del Territorio, assegnista di ricerca presso l'Università degli Studi dell'Aquila.

Ringraziamenti

Questo libro nasce da una serie di colloqui scientifici-didattici avuti nel corso di questi ultimi anni con il Professor Bernardino Romano, docente di Pianificazione Territoriale – SIT e Tecnica Urbanistica presso l'Università degli studi dell'Aquila, convenendo sull'importanza dei Sistemi Informativi Territoriali nelle Scienze e nell'Ingegneria del territorio e sulla necessità di produrre un testo di riferimento per il loro utilizzo in tali ambiti. A lui vanno i miei più sentiti ringraziamenti per le motivazioni che ha saputo darmi, per i suoi insegnamenti che hanno contribuito alla mia crescita scientifica e professionale e per aver reso possibile la realizzazione di questo lavoro. Ringrazio inoltre gli autori dei contributi che hanno arricchito notevolmente i contenuti di questo volume. La geostatistica, la road ecology, le applicazioni del GIS per la valutazione del rischio idraulico e le tecnologie SAPR sono argomenti che aprono interessanti scenari circa il loro utilizzo nelle correnti tecniche di pianificazione, valutazione e monitoraggio ambientale.

Presentazione

Il volume di Francesco Zullo ha il chiaro obiettivo di introdurre le tecniche GIS come componenti centrali nei percorsi formativi della Ingegneria civile, dell'Ambiente e del Territorio e di Gestione degli Ecosistemi, tutti percorsi attualmente inquadrabili nelle Scienze del Territorio. Il panorama della produzione scientifica in quella che tradizionalmente è chiamata "pianificazione territoriale" sta cambiando già da alcuni anni, grazie al contributo di elementi relativamente giovani che hanno raccolto il testimone da alcuni esponenti della precedente generazione accademica già orientati verso una maggiore scientificizzazione del settore. I connotati "politico-umanistico-descrittivi" che hanno contraddistinto una parte maggioritaria della produzione scritta nei decenni passati stanno via via lasciando il passo a modalità di ricerca tese alla "scoperta" di fenomeni, alla interpretazione degli stessi ed alla diagnosi complessa delle dinamiche territoriali e ambientali. Le forme classiche e "non bibliometriche" di pubblicazione vengono gradualmente sostituite da presenze sempre più numerose su riviste e conferenze internazionali dotate di referaggio anonimo, di indicizzazione sui database accademici più importanti, di impact factor anche elevati. Molti dei giovani ricercatori vengono addestrati scientificamente in tal modo, dando un nuova forma all'attività e soprattutto la possibilità ai risultati ottenuti di poter essere classificati e riconosciuti lungo una linea di accumulo delle conoscenze e di fissazione di soglie di riferimento, citabili e migliorabili. Non si può negare che l'affermazione delle tecniche GIS stia influenzando enormemente questa evoluzione, consentendo di processare quantità di dati territoriali un tempo improponibili, di calcolare indicatori semplici e complessi inavvicinabili dieci anni fa, con tempi rapidissimi e su estensioni territoriali di notevole vastità. Per la interpretazione dei fenomeni territoriali, socio-economici, fisici ed ambientali in genere si tratta di una vera rivoluzione che ancora deve mostrare i suoi effetti più straordinari. A questi fini è diventato necessario maneggiare gli strumenti statistici con disinvoltura ed esplorarne di nuovi, normalmente utilizzati in altre discipline, ma desueti, se non sconosciuti, nella pianificazione e nella valutazione urbanistica, territoriale e ambientale.

Francesco Zullo si è laureato, ha svolto i propri studi di Dottorato, la sua attività di ricerca e di didattica in questo clima culturale, considerando le fisionomie del territorio, in tutte le loro forme fisiche e funzionali, come fatti misurabili e interpretabili, con metriche talvolta da individuare, con dipendenze relazionali non sempre definibili, a fronte della ben nota quantità di variabili che partecipano agli esiti

di trasformazione territoriale: fisico-morfologiche, naturali, climatiche, economiche, comportamentali e così via. In tal senso è importante che le conoscenze, il rilevamento e la diagnosi dei problemi e le proposte di assetto siano fasi condotte da tecnici di formazione ibrida, capaci di guardare sia alla componente insediamentale nelle sue molteplici manifestazioni (urbana, agricola, infrastrutturale), ma anche, e soprattutto contemporaneamente, alla struttura ambientale che ne costituisce la matrice di riferimento, anch'essa multiforme in quanto naturalistica, paesaggistica e, in particolare, erogatrice di servizi ecosistemici ancora piuttosto trascurati, ma di importanza centrale per la qualità della vita (se non per la possibilità della stessa). Il volume vuole fornire quindi un contributo a tutti questi operatori in tutti i campi citati (ma anche in numerosi altri) per aumentare le loro capacità di lettura e comprensione di quantità di fenomeni intrecciati molto numerose ed inaffrontabili senza un servo-strumento come il GIS, ma anche per supportare gli organi di gestione ordinaria del territorio e della città alle prese con sistemi di enorme complessità efficacemente maneggiabili solo con tecnologie e metodi di ultima generazione.

Bernardino ROMANO

Introduzione

I Sistemi Informativi Territoriali sono ormai uno strumento indispensabile per chi opera nel campo dell'analisi, della diagnosi e della gestione territoriale e per questo sono sempre più diffusi negli uffici tecnici delle amministrazioni, degli enti locali oltre che nel mondo delle professioni rivelandosi uno strumento imprescindibile e fondamentale nei processi di pianificazione territoriale e di valutazione ambientale. Tra gli obiettivi di questo volume c'è quello di rendere il lettore abile nella produzione, gestione ed utilizzo dell'informazione geografica incrementando in tal modo il suo livello professionale necessario alle sempre più innovative tecniche di analisi territoriale. Appunto per questo il libro è stato pensato per essere utilizzato sia da chi inizia ad approcciarsi a queste tecnologie ma anche da chi invece vuole approfondire le proprie conoscenze e tecniche di analisi spaziale peraltro attraverso un software open source come QGIS. Il primo capitolo infatti introduce il lettore nel complesso mondo dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT) illustrandone le caratteristiche ed i principi alla base del loro funzionamento, in modo da comprendere appieno le modalità di creazione, archiviazione, gestione dell'informazione geografica in sé. Particolare attenzione viene poi prestata al problema dell'interoperabilità del dato e all'utilizzo di protocolli standard per la relativa diffusione ed utilizzo, mentre la parte finale del capitolo è dedicata alla evoluzione normativa nazionale ed europea legata alla metainformazione, componente centrale di un qualsiasi SIT. Un approccio corretto verso tali tecnologie non può prescindere dalla conoscenza dei sistemi di riferimento, della loro genesi, delle loro caratteristiche e del loro utilizzo per cui il secondo capitolo è interamente dedicato a questa tematica con particolare attenzione ai sistemi di riferimento ed alle proiezioni cartografiche utilizzate nel nostro Paese. La parte finale è invece dedicata alle procedure di georeferenziazione. Le tecniche di analisi spaziale, sia raster sia vettoriali, sono illustrate con dettaglio nel capitolo terzo dove, con un linguaggio semplice e mirato, vengono spiegate le modalità di utilizzo dei principali strumenti ed algoritmi maggiormente coinvolti nell'analisi in campo urbanistico-ambientale. Tale conoscenza si configura come una prerogativa ormai fondamentale sia nel campo della ricerca scientifica sia nelle fasi di conoscenza, diagnostica ed individuazione di problematiche, monitoraggio di attività che quotidianamente hanno a che fare appunto con il territorio (Valutazioni ambientali, pianificazione territoriale, geomarketing, sistemi di servizi di rete ed infrastrutturali, organizzazione e gestione dei servizi

pubblici). L’ultima parte del lavoro è interamente dedicata agli indicatori che negli ultimi anni vengono utilizzati in varie discipline (pianificazione territoriale, ecologia del paesaggio, urbanistica, valutazione ambientale…) ed in diverse sedi sia tecniche sia scientifiche al fine di comprendere le dipendenze fenomenologiche tra le dinamiche insediative, le pressioni antropiche e le interferenze che queste generano a carico degli ecosistemi e delle comunità biotiche. Gli indicatori vengono dapprima descritti in modo da comprendere le informazioni e le indicazioni che essi forniscono e contestualmente vengono illustrate passo dopo passo le procedure tecniche per la loro corretta implementazione attraverso un esempio pratico che il lettore potrà eseguire scaricando i dati geografici dai vari geoportali regionali. Il libro è rivolto a studenti, dottorandi, ricercatori, professionisti, personale tecnico di enti/amministrazioni pubbliche ed in generale a tutti coloro che nella loro quotidiana attività lavorativa raccolgono, archiviano e analizzano dati geografici legati all’analisi, alla diagnosi ed alla gestione del territorio.

L’Autore

Non si tratta di prevedere il futuro, ma di

essere pronti per quando arriverà

Pericle, 500 A.C

Cap. 1. Introduzione ai Sistemi Informativi Territoriali

I sistemi informativi, intesi come un sistema ordinato di elementi che raccolgono, elaborano scambiano ed archiviano dati (Atzeni e Ceri, 2009), esistono già da molto tempo prima dell'avvento dei calcolatori elettronici. Nel tempo essi sono aumentati di dimensione e di complessità per via dell'evoluzione tecnologica, di una maggiore necessità di informazioni qualitativamente più elevate e di un miglioramento delle conoscenze e delle tecniche gestionali. Un sistema informativo è quindi un insieme di elementi correlati, la cui componente fondamentale è costituita dai dati che, una volta elaborati, costituiranno le informazioni per conseguire scopi ben determinati. Il lato tecnologico dei sistemi informativi è costituito dagli strumenti, hardware e software, che sono in grado di immagazzinare, gestire, elaborare e trasmettere le informazioni tra le varie componenti del sistema informativo, mentre le procedure permettono di capire le modalità di raccolta e di elaborazione dei dati e dipendono dalle esigenze degli utenti. Un sistema informativo deve inoltre essere efficace ed efficiente, cioè in grado di raggiungere il miglior risultato possibile con le risorse a disposizione. Esso rappresenta una componente fondamentale di ogni organizzazione la cui definizione richiede l'identificazione della missione e degli obiettivi, le risorse disponibili ed i processi di gestione delle risorse stesse. Sulla base delle caratteristiche dell'informazione è possibile fare alcune distinzioni all'interno dei sistemi informativi. In particolare possiamo distinguere i sistemi informativi in SIG (o GIS dall'inglese Geographic Information Systems), MIS e CAD. L'informazione contenuta nei Management Information System (MIS) non è né di tipo spaziale né territoriale ma riguarda sistemi *computer based* che forniscono generalmente informazione e supporto decisionale per i manager all'interno di organizzazioni. Questi primi sistemi di gestione dei database hanno permesso ai sistemi di grafica computerizzata di aumentare notevolmente le loro applicazioni e di espandersi. I sistemi CAD (Computer Aided Design) sono sistemi informativi spaziali ma non territoriali, l'informazione presenta caratteristiche relative alla forma, posizione e alla dimensione degli oggetti che li descrive geometricamente. Questi sistemi sono stati originariamente progettati e sviluppati per disegnare infrastrutture, macchinari ed edifici attraverso la costruzione di disegni utilizzando operatori geometrici. L'informazione costitutiva dei Sistemi Informativi Geografici (SIG) è di tipo territoriale, simile a quella di tipo spaziale ma riferita più specificatamente ad oggetti del mondo reale e alle relazioni esistenti tra di essi. L'informazione territoriale quindi, oltre ad una componente spaziale che ne definisce le proprietà geometriche, è costituita anche da una componente topologica che definisce le relazioni esistenti tra gli oggetti (adiacenza, contenimento, connessione…). La topologia rappresenta un concetto fondamentale nella formazione e nell'utilizzo di sistemi informativi territoriali che verrà ripreso ed approfondito più avanti nel presente volume. L'informazione territoriale è spesso

associata alla cartografia che da sempre è stato lo strumento per rappresentare gli oggetti del mondo reale, siano essi esistenti nel mondo fisico (edifici, strade, fiumi, boschi, limiti amministrativi comunali…), associati ad informazioni di tipo ambientale-territoriale non tecnicamente visibili ma comunque rappresentabili cartograficamente (mappe climatiche, mappe pluviometriche, mappe dell'inquinamento…) o anche oggetti reali, ma non visibili come ad esempio le reti dei sottoservizi.

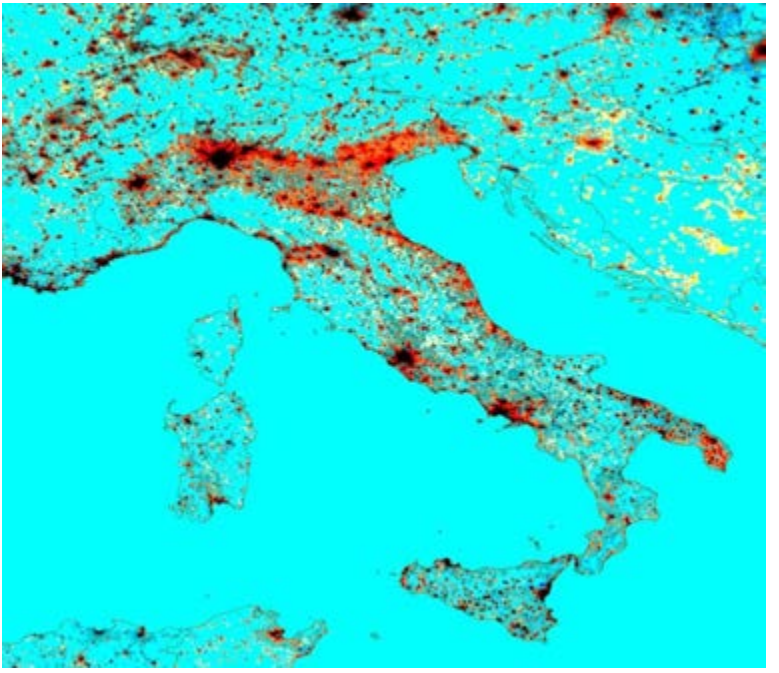


Figura 1.1 - Mappa dell'inquinamento luminoso (www.castfvg.it)

1.1. Storia del GIS

L'informazione di tipo territoriale fa riferimento a oggetti realmente presenti sulla superficie terrestre e alle loro reciproche relazioni spaziali. Un primo utilizzo tecnico – scientifico di una informazione georiferita fu quella del medico londinese John Snow, che nel 1854 riuscì a stabilire le cause della diffusione del colera nel quartiere di Soho a Londra mappando i dati dei casi di malattia che lo studioso inglese ritrovò concentrati lungo tutto il percorso di una delle reti idriche cittadine. In questo modo il medico britannico capì che la malattia si diffondeva attraverso le acque e, facendo chiudere la sorgente di Broad Steet Pump (oggi Broadwick Street) che risultava essere inquinata dall'infiltrazione di acque provenienti da un pozzo nero nelle vicinanze, riuscì a salvare migliaia di vite umane.

Figura 1.2 La mappa di John Snow (1854): ogni punto nero corrisponde a un caso di colera (tratto da: https://it.wikipedia.org/wiki/Epidemia_di_colera_a_Broad_Street_del_1854)

Il primo sistema informativo geografico risale al 1962 ed era il "Canada Land Inventory" (CLI) (Coppock e Rhind, 1991) messo a punto dall'allora Department of Forestry and Rural Development per la produzione di mappe dell'uso del suolo e di quelle relative alla capacità del terreno di sostenere l'agricoltura, la silvicoltura e la fauna selvatica, tutte elaborate a scale comprese tra 1:50.000 e 1:250.000. Già dagli anni '50 erano state realizzate delle mappe attraverso i computer, ma il CLI fu il primo a compiere l'operazione di geocodifica, cioè l'associazione di banche dati a rappresentazioni cartografiche. Roger Tomlinson, geografo inglese e "padre" dei GIS, convinse l'allora capo del CLI, Lee Pratt, che quelle mappe, realizzate ancora con metodi tradizionali, potevano essere analizzate attraverso i sistemi computerizzati definendo così i requisiti funzionali del GIS che hanno portato alla nascita del Canada Geographic Information System. Il sistema consentiva la visualizzazione dell'intero stato e la possibilità di effettuare degli zoom per poter analizzare particolari aree di interesse. I concetti derivati dall'analisi attraverso le mappe cominciarono così ad essere applicati a problemi sia di tipo umano che ambientale. Uno dei maggiori problemi riscontrati era la difficoltà di integrare informazioni estraibili da un insieme di mappe con temi differenti che avevano in comune lo stesso spazio geografico, ma che la loro natura cartacea rendeva difficile da gestire. Uno dei primi tentativi di integrazione fu quello di sovrapporre una serie di copie trasparenti dei vari temi su di un tavolo luminoso (Mc Harg, 1969). Howard Fisher, che aveva partecipato ad un corso di Edward Horwood alla Northwestern University di Evanston sulla gestione con il computer dei dati catastali, iniziò a lavorare su questi concetti con l'idea di usare il computer per questo tipo di analisi. I suoi studi, coadiuvati dal programmatore Betty Benson, portarono alla nascita del SyMAP (Synteny Mapping and Analysis Program) che può essere considerato il

punto di partenza del GIS. I valori statistici recanti le informazioni provenienti dai vari tematismi venivano riportati all'interno di una griglia (quadrettatura) che ne permetteva così l'integrazione; risultava essere di semplice utilizzo, ma con funzioni limitate oltre che con una scarsa risoluzione e una bassa qualità delle immagini (fig. 1.3). Prodotto nel 1964, ha suscitato un notevole interesse per l'utilizzo di una tecnologia fino ad allora proibitiva, rappresentando una prima vera e propria dimostrazione della capacità dei computer di produrre mappe. Grazie ad un finanziamento della Ford Foundation, Fisher costituì presso Harvard il Laboratory for Computer Graphics, dove nel tempo sono state e sono tuttora implementate tecniche fondamentali per il mapping nel GIS.

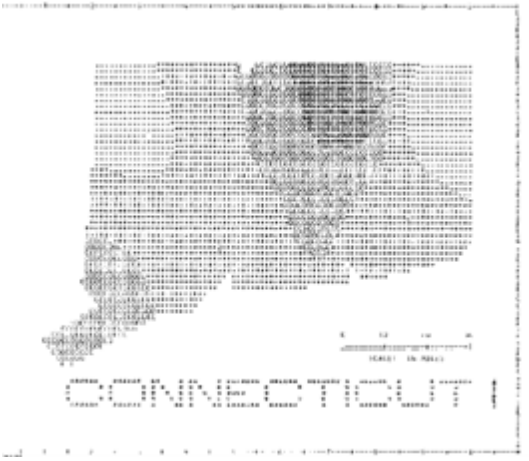


Figura 1.3 – Primi sviluppi dei Sistemi Informativi Geografici attraverso la sovrapposizione di dati spaziali georeferenziati, modelli spaziali e visualizzazione degli stessi. Esempio: Harvard Laboratory for Computer Graphics (and Spatial Analysis) develops SYMAP, producing isoline, choroplchoropleth and proximal maps on a line printer (Chrisman, 1988; Tomlinson & Petchenik, 1988)

Negli anni '70 si registra un forte sviluppo di questa tecnologia dovuto sia all'intensificarsi del monitoraggio terrestre da satellite (il LANDSAT 1 fu lanciato nel 1972), ma soprattutto alla nascita delle prime società private statunitensi nel campo. La M&S Computing (poi divenuta Intergraph) iniziò a lavorare per conto della NASA allo sviluppo di sistemi grafici georiferiti per il monitoraggio e controllo dei missili in tempo reale, mentre la ESRI (Environmental Systems Research Institute) fondata nel 1969 è attualmente l'azienda leader mondiale di questa tecnologia. Queste aziende occupano centinaia di programmatori, analisti e ingegneri del software con un background tecnico che spazia in discipline come la matematica, l'informatica, la cartografia e naturalmente la geografia. Gli anni '80 hanno fatto registrare un continuo progresso delle tecnologie hardware che hanno

avuto risvolti positivi anche nell'ambito dei sistemi GIS. Vennero così implementati e sviluppati i primi Database Management Systems (DBMS) al fine di migliorare la gestione dei grandi database elaborati dai calcolatori del tempo, che vennero poi utilizzati anche in molti altri settori dell'organizzazione dell'informazione. Nel contempo i sistemi di computer grafica vennero sviluppati per creare, modificare, immagazzinare e recuperare i disegni, le mappe ed i progetti elaborati dai professionisti con tecniche tradizionali. L'integrazione dell'informazione contenuta nei database con la relativa localizzazione geografica, portò alla nascita dei software alla base della tecnologia GIS (Longley et al., 2005). Nel corso dei decenni sono state utilizzate diverse definizioni per descrivere un GIS (Dueker, 1979; Ozemoy et alii, 1981; Devine & Field, 1986; Burrough, 1986; Department of environment, 1987; Smith et alii, 1987; Cowen, 1988; Mogorovich e Mussio, 1988; Aronoff, 1989; Carter, 1989; Koshkariov et alii, 1989; Parker, 1989; Peverieri, 1995) tese ad evidenziare le varie caratteristiche funzionali, costitutive ed applicative del sistema stesso. La prima definizione del Geographic Information System venne elaborata dal suo ideatore, il già citato Roger Tomlinson, il quale lo definì come "un sistema di archivio computerizzato atto a processare e analizzare i dati concernenti l'inventario delle risorse naturali presenti sul territorio nazionale in supporto a decisioni operative". In definitiva un GIS può definirsi come un insieme di strumentazioni hardware e software che consente di integrare informazioni grafiche ed alfanumeriche riferite ad una precisa realtà geografica, rendendo possibili una serie di operazioni quali l'acquisizione, la strutturazione, la memorizzazione, l'analisi, l'elaborazione e la rappresentazione di dati (Parente & Santamaria, 2004). Esso può quindi essere inteso come un software di produzione, visualizzazione e gestione di mappe (rappresentazione di un insieme di dati) alla cui base si colloca un database funzionale costituito da informazioni di tipo geografico e non che, attraverso l'analisi spaziale, ovvero la possibilità di accedere sia agli attributi degli oggetti sia alle informazioni sulla loro localizzazione (Goodchild, 1991), rende l'uso di questa tecnologia indispensabile per l'analisi dei processi e delle dinamiche territoriali.

1.2. Campi di applicazione del GIS

La possibilità quindi di disporre di conoscenze e di informazioni di natura geografica, anche molto dettagliate, unitamente alla progressiva riduzione dei costi dell'attrezzatura informatica, con prestazioni sempre più potenti, ha fatto sì che questi sistemi si diffondessero in diversi settori scientifici, economici ed istituzionali (Borruso, 2013). Sono ormai ampiamente diffusi nella pianificazione urbana, territoriale ed ambientale (Borruso, 2003; Borruso et al., 2007; Murgante et al., 2009), nei sistemi di logistica, localizzazione e funzionamento di reti tecnologiche (internet, acqua, energia, gas, comunicazioni) ed infrastrutture o nel campo delle energie rinnovabili (Borruso, 2012). In campo fisico-ambientale la produzione e l'utilizzo di cartografia digitale è fondamentale per la conoscenza, il monitoraggio e

la gestione di foreste, parchi e riserve naturali, dell'idrografia, delle componenti biotiche di un dato territorio. Ulteriori applicazioni si ritrovano nel campo dell'inquinamento dove questi strumenti giocano un ruolo chiave circa il monitoraggio ed il controllo degli inquinanti nelle varie componenti ambientali (suolo, aria, acqua…). Sono utilizzati nella gestione del catasto (ad es. http://www.fiduciali.it/ il portale della cartografia catastale) dove l'applicativo GIS è utile per la creazione di una banca dati georeferenziata recante informazioni relative alle proprietà, alle rendite catastali, ai tributi sugli edifici (ad es: IMU), all'aggiornamento delle aree edificate delle destinazioni d'uso e degli abusi edilizi. Un settore di applicazione è anche quello relativo alla protezione civile, settore intrinsecamente legato ai rischi dovuti alle calamità naturali, agli incendi ai terremoti e alla redazione dei relativi piani legati al rischio che ognuno di essi comporta. Interessanti applicativi scaturiscono anche dalla gestione dei servizi come ad esempio la raccolta differenziata (http:// www.provincia.torino.gov.it/ beataladifferenziata/cms/) o dalla gestione dei trasporti, del traffico e della viabilità. Questi ultimi settori si sono sviluppati soprattutto dagli anni '90 in poi anche grazie alla notevole diffusione degli apparati GIS/GPS e quindi dei sistemi di navigazione e controllo da satellite, con la fornitura attraverso il web dei relativi servizi di informazione sulla rete viaria e sulle condizioni di traffico. Da questo punto di vista il crescente utilizzo delle reti intranet ed internet e della sua "ragnatela" (dall'inglese web), ha portato alla nascita delle prime applicazioni di tipo Web-GIS (ad esempio Google Earth, Google Maps o Bing maps solo per citarne alcuni) facili da utilizzare anche per utenti non specializzati. La diffusione del Global Positioning System (GPS) ha portato ad un notevole incremento nella codifica dei dati geografici e nella georeferenziazione degli oggetti rappresentati nella cartografia tematica anche attraverso l'utilizzo delle immagini satellitari che ad oggi costituiscono una delle maggiori fonti dei dati nel GIS (Cima et al.,2003). Il GIS viene spesso utilizzato anche nel campo delle scelte economiche (Malczewski, 1995; Grimshaw, 2000): un'applicazione interessante sviluppata di recente è il geomarketing, cioè un approccio che utilizza l'informazione territoriale per analizzare, pianificare ed attuare

Figura 1.4 - Indicazione del potere d'acquisto delle famiglie nei vari Stati degli USA (tratto Da:http://www.gfkgeomarketing.com/fileadmin/newsletter/map_of_the_month/01_2009.html)

le attività commerciali (es. fig. 1.4). La conoscenza del territorio infatti è finalizzata a rendere più efficaci ed efficienti le decisioni e le attività di comunicazione, vendita, distribuzione e supporto ai clienti. L'adozione di questi sistemi informativi e del dato georeferenziato, grazie anche ad una serie di normative emanate in campo europeo, come la direttiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe - Infrastruttura per l'Informazione Territoriale in Europa - 2007/2/CE), e nazionale, quale il D. Lgs 32/2010, si è molto incrementata all'interno degli enti amministrativi che ne utilizzano le potenzialità per la gestione ordinaria del territorio e la fornitura ad utenti esterni di servizi tecnici e geografici via web attraverso la creazione di portali cartografici o geoportali. Questi ultimi sono dei siti web progettati per ricercare dati geografici con motori di ricerca specializzati e contestualmente accedere a contenuti informativi e servizi geografici contribuendo in tal modo alla loro diffusione. La disponibilità di informazioni geografiche digitali a diverse scale (nazionale, regionale ed urbana) ha prodotto, negli anni recenti, una importante trasformazione nell'utilizzo del dato territoriale e localizzativo, con vantaggi importanti per le organizzazioni, le istituzioni, i governi (regionali e locali), gli operatori pubblici e privati nei diversi settori dell'economia e dei servizi (Stefanini, 2006). Il dato geografico è di fatto utilizzato, esplicitamente o implicitamente, nella maggior parte delle attività e delle organizzazioni pubbliche e private, intervenendo globalmente a tutti i livelli di interesse, dal processo decisionale alla realizzazione operativa. In tal senso, la sua codifica costituisce una importante estensione ed integrazione delle basi di conoscenza, arricchite dalla efficacia delle mappe digitali. L'informazione geografica costituisce una prerogativa fondamentale nella pianificazione del territorio, vista anche la forte e continua riduzione dei finanziamenti da parte dell'amministrazione centrale verso gli enti locali e la "competizione" tra le piccole amministrazioni nel rincorrere i finanziamenti nazionali ed europei. La realizzazione di banche dati geografiche può rendere più dettagliate e veloci le valutazioni di compatibilità ambientale di opere pubbliche finanziate attraverso i fondi comunitari, facilitando la verifica della coerenza delle trasformazioni con le politiche e le strategie territoriali in essere. Tali strumenti permettono infatti di perseguire contemporaneamente gli obiettivi di efficacia, efficienza e trasparenza procedurale consentendo così agli enti locali di presentarsi in maniera competitiva rispetto a tutti i nuovi canali di finanziamento (Murgante, 2008).

1.3. Le componenti di un GIS

Come si è visto in precedenza, un sistema informativo, compreso quello di tipo geografico, risulta essere costituito da cinque componenti fondamentali: dati (elemento su cui esso si basa), hardware (computer sul quale il sistema opera), software ("motore" del sistema informativo stesso), procedure e persone formate e preparate per le attività da svolgere. Il dato geografico rappresenta elementi per i quali è possibile stabilire una localizzazione sulla superficie terrestre, e per essere tale deve essere riferito a un sistema di coordinate noto. Caratteristica focale di un GIS è infatti la possibilità di memorizzare e gestire le informazioni su elementi territoriali spazialmente riferiti grazie alle loro coordinate geografiche. Il dato geografico è costituito essenzialmente da una componente spaziale (riferimento degli oggetti e forma), da una componente semantica (che attribuisce significato ai dati) e da una componente statistica che invece quantifica il valore dei dati. La componente spaziale è alla base del funzionamento del sistema GIS: essa infatti permette di definire oltre alla forma e alla posizione degli oggetti anche le relazioni spaziali esistenti tra di loro (direzione, prossimità, topologia). La componente non spaziale viene invece immagazzinata in tabelle costituite da righe e colonne. Le colonne, campi o field, rappresentano gli attributi del dato spaziale che possono essere di vario tipo (area, perimetro, tipologia di uso del suolo, codici, indici quali-quantitativi, ecc.) mentre ad ogni riga, o record, è associato un elemento spaziale del dato (uno nel caso si tratti di singlepart features, due o più nel caso di multipart features).

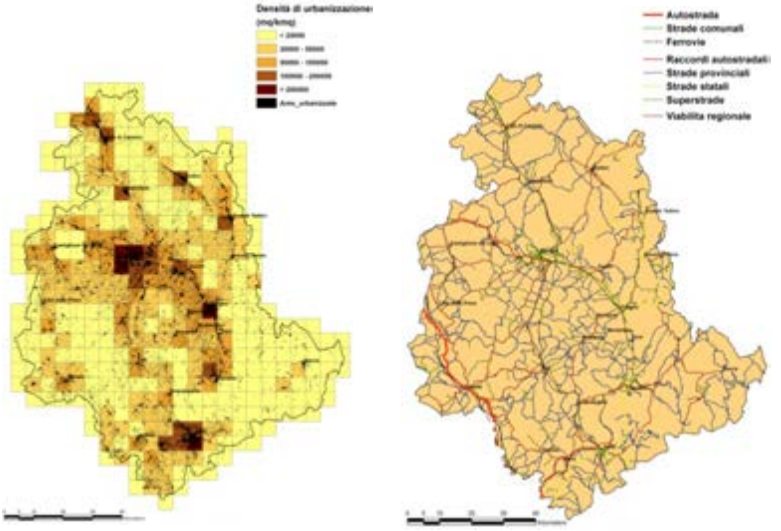


Figura 1.5 - Rappresentazione del dato geografico attraverso valutazioni quantitative (a sx) e qualitative (a dx)

Le celle, definite dall'intersezione della riga con una colonna, contengono i valori degli attributi. La componente hardware di un sistema informativo geografico è costituita da una unità centrale, cuore del sistema, e da una serie di periferiche che servono sia ad inserire i dati, sia anche alla loro visualizzazione e alla produzione di cartografia tematica a stampa. L'hardware è quindi costituito da un elaboratore elettronico, un calcolatore che permette l'inserimento, l'archiviazione, la visualizzazione, la divulgazione e la gestione del dato geografico. La tecnologia è migliorata notevolmente nel campo dell'informatica tanto che negli ultimi 50 anni si è passati dai mainframe alle workstation fino ai personal computer con potenzialità sempre più elevate ad una velocità tale che Gordon Moore, cofondatore di Intel con Robert Noyce, nel 1965 nella più comunemente nota legge di Moore sostenne che "le prestazioni dei processori, e il numero dei transistor ad essi relativo, raddoppiano ogni 12 mesi". I dati vengono quindi immagazzinati in uno o più supporti rigidi (hard disk) del calcolatore, interni o esterni con differenti capacità di memoria. Lo spazio disponibile su questi supporti va naturalmente calibrato anche in funzione delle dimensioni informatiche dei dati geografici che costituiranno il GIS. Esistono oggi una vasta gamma di hard disk esterni con elevate capacità di archiviazione dati (anche da 4 Terabyte cioè 4000 Gigabyte) che possono essere collegati all'unità centrale hardware tramite dispositivo USB (Universal Serial Bus) di tipo 2.0 o anche 3.0 (velocità di trasferimento 480 Mbit/s il primo, 4,8 Gbit/s il secondo). Altri dispositivi che possono essere usati per l'archiviazione dei dati sono anche i CD-ROM ed i DVD le cui capacità sono però notevolmente ridotte (700 Megabyte il primo 4,7 Gigabyte il secondo). I dati all'interno del calcolatore vengono inseriti utilizzando le periferiche in entrata del sistema. Periferiche di questo tipo sono la tastiera, il mouse, lo scanner ed il digitizer anche se quest'ultimo da alcuni anni non viene quasi più utilizzato in quanto, come vedremo più avanti, è stato sostituito da apposite funzionalità presenti in qualsiasi software GIS.

Figura 1.6 – Strumento per la digitalizzazione manuale di dati geografici (Digitizer) (tratto da: http://cdgis.en.alibaba.com/)

Per quanto riguarda la restituzione in output dei dati geografici le periferiche hardware in uscita più comuni sono il monitor, che permette di visualizzare

l'informazione geografica e le elaborazioni che il sistema sta compiendo, mentre la stampante o il plotter (per i grandi formati) permettono la stampa su supporto cartaceo di cartografie tematiche. Fa parte del sistema hardware anche la rete internet, che attualmente rappresenta il maggior mezzo di comunicazione di massa, grazie al quale è possibile, attraverso applicazioni di tipo webgis, gestire la cartografia numerica direttamente in rete. Gli esempi più noti di WebGIS sono gli applicativi web per la localizzazione cartografica, gli stradari oppure gli atlanti on-line. Le applicazioni WebGIS sono utilizzabili attraverso i browser internet, talvolta con l'impiego di specifici plugin, oppure per mezzo di software distinti come il già citato Google Earth. Altri esempi tipici di applicazioni GIS pubblicate in versione Web sono i sistemi informativi territoriali (SIT) delle Regioni e di diversi Comuni e enti locali: questi rendono accessibili ai cittadini informazioni di carattere ambientale, urbanistico, territoriale offrendo una navigazione su base cartografica delle stesse. Il software è il motore del sistema informativo geografico, è quello che garantisce la funzionalità del sistema rendendo possibili inoltre le varie procedure fondamentali per determinati processi applicativi. Il software di un GIS è essenzialmente distinguibile in software di base, software per la gestione dei dati territoriali e software per la gestione del database. Il software di base è costituito dal sistema operativo (Windows, Unix, Linux, Mac Os…) dal linguaggio di programmazione (VBA, Javascript, Python, PHP, C++…) e dal software di rete che permette alle macchine di comunicare tra di loro e con sistemi esterni. I software per la gestione dei database raccolgono al loro interno i dati geografici e permettono al software GIS, attraverso appositi moduli, di potervi accedere. Esempi di questo tipo sono MySQL, PostgreSQL, Oracle tutte piattaforme di tipo DBMS (DataBase Management System). Un DBMS è quindi un sistema software in grado di gestire collezioni di dati che siano grandi, condivise e persistenti, assicurando la loro affidabilità e riservatezza. Questi database si fondano sul concetto di relazione tra le tabelle che contengono i dati, codificati attraverso opportune chiavi esterne. Permettono quindi, mediante il linguaggio SQL (Structured Query Language), di trovare uno specifico record o di collegare tra loro records di più tabelle. Il software per la gestione dei dati territoriali è quello che comunemente viene chiamato con il termine di software GIS ed è quello che distingue un sistema informativo geografico da un qualsiasi altro sistema operativo. Attualmente esistono svariati software che si occupano del trattamento dei dati geografici: alcuni di essi sono proprietari (ArcGis della ESRI o Autocad Map della Autodesk) altri invece liberi, come Grass, GvSig o QGIS le cui caratteristiche e peculiarità verranno descritte nel paragrafo successivo. Abbiamo visto come l'obiettivo principale di un sistema informativo geografico sia quello di raccogliere, elaborare, produrre e gestire una ingente quantità di dati ed informazioni di natura geografica relativamente ad un determinato territorio in modo da essere di supporto alle decisioni e per l'analisi spaziale. Il software è naturalmente strettamente interconnesso alle caratteristiche dell'hardware per cui esso conterrà

specifiche funzioni per acquisire, elaborare gestire e restituire dati geografici attraverso le specifiche tecniche e le periferiche dell'hardware. Negli ultimi anni le funzioni del software GIS sono state notevolmente implementate (fig. 1.7) insieme ad una cospicua riduzione dei costi del software stesso e la nascita dei software liberi (open source). Il software quindi permette l'inserimento di tutte quelle tipologie di dati che vanno a costituire l'ossatura del database geografico: dati telerilevati (immagini satellitari, ortofoto), tabelle alfanumeriche, cartografie esistenti, collezioni di dati preesistenti. L' inserimento quindi può avvenire in maniera automatica (acquisizione di dati in formato digitale da supporti ottici o magnetici), semiautomatica (acquisizioni di cartografia esistente tramite scanner) o manuale (digitalizzazione a video o tramite digitizer di dati di natura geografica). I dati geografici inseriti nel GIS hanno naturalmente bisogno di un controllo quali-quantitativo volto ad eliminare errori per permetterne un corretto utilizzo. I software GIS contengono tutta una serie di strumenti, basati sulle proprietà topologiche, spaziali e relazioni non spaziali riferite agli attributi, per controllare l'errore già in fase di inserimento del dato stesso.

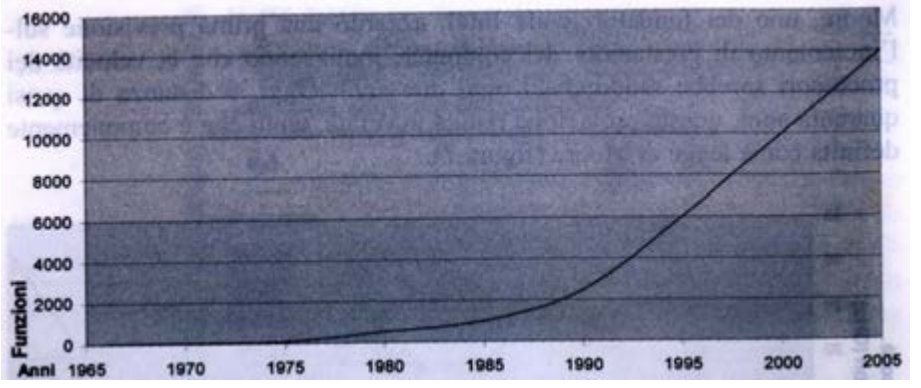


Figura 1.7 - Incremento di funzionalità dei software GIS (adattato da Longley et al., 2001)

L'interazione del software con le periferiche in uscita del sistema hardware (monitor, stampanti e plotter) consente di controllare, attraverso la visualizzazione a video, l'inserimento dell'informazione, ma anche la presentazione dei prodotti in uscita. I dati infatti possono essere rappresentati non solo sotto forma di elaborati cartografici, ma anche attraverso diagrammi, tabelle e grafici ed essere sia stampati su supporto cartaceo o anche memorizzati su un supporto magnetico o ottico. Le procedure possono essere sviluppate sia all'interno che all'esterno di software GIS utilizzando le funzionalità dei pacchetti commerciali o anche sviluppandone di nuove attraverso i linguaggi informatici di programmazione. Le procedure applicative sono presenti in tutte le fasi di allestimento di un GIS e riguardano quindi l'acquisizione e la restituzione dei dati oltre che la gestione e l'aggiornamento degli archivi. La

componente umana del sistema informativo geografico comprende l'organico tecnico deputato alla gestione dell'intero sistema, dagli utilizzatori diretti ed indiretti e dai decisori. L'impianto di un sistema informativo geografico non è qualcosa di automatico, ma ha bisogno di un continuo e costante supporto di un operatore. L'intervento dell'uomo è irrinunciabile in tutte le fasi operative di un progetto GIS dalla fase progettuale, a quella di restituzione e presentazione dei dati, passando per quella di acquisizione ed elaborazione dell'informazione. Da questo punto di vista l'interazione utente - software, e non solo quello GIS, si è sviluppata in maniera da rendere l'interfaccia grafica sempre più user-friendly in modo da poter aprire le porte di questa nuova tecnologia anche a persone non esperte di informatica. Pur in presenza di queste migliorie resta comunque ineliminabile la formazione professionale degli operatori tecnici affinché si possa irrobustirne la validità, l'utilizzo, la divulgazione e l'applicazione nei quotidiani processi decisionali nei più svariati campi. Attualmente molte società, organizzazioni, enti pubblici e privati hanno iniziato a costruire ed implementare database di tipo geografico strutturati secondo gli obiettivi di lavoro di ciascuno di essi. L'importanza dell'informazione geografica nella gestione di problematiche riguardanti non solo l'ambiente, ma anche la salute pubblica, la gestione delle emergenze, l'agricoltura, lo sviluppo sostenibile, i beni culturali, la mobilità ed i servizi pubblici è confermata anche dalle già citate normative a livello europeo e nazionale (Direttiva Inspire 2007/2/CE, D.Lgs. n. 32/2010) dove, a partire dal Sesto Programma Quadro della Commissione Europea, si consolida e si rafforza l'utilizzo dei dati geografici nell'ambito dei processi decisionali e di analisi delle tematiche precedentemente elencate. Tutto questo però, ha inizialmente portato ad un'ampia ridondanza di dati geografici in quanto molti di essi sono stati prodotti prima dei provvedimenti normativi e sono quindi privi di uno standard comune e troppo spesso anche dei metadati a corredo, cioè delle necessarie informazioni che permettono un corretto utilizzo del dato stesso.

1.4. Software libero e software open source: Quantum Gis e GvSig

Abbiamo visto nel precedente paragrafo come il software sia una delle componenti sostanziali per l'impianto di un sistema informativo geografico che permette di inserire, analizzare, elaborare e divulgare informazioni di natura geografico-territoriale. Il presente volume ha tra gli obiettivi quello di far conoscere le caratteristiche e le potenzialità dei software GIS open source, favorendone così anche la diffusione per l'utilizzo di tale tecnologia nei normali processi decisionali e per le analisi territoriali. In questo paragrafo verranno descritte le caratteristiche dei software Quantum GIS (QGIS) e GvSig, mentre nel capitolo 4 si illustreranno le procedure per l'implementazione di una serie di indici utilizzanti correntemente nelle valutazioni ambientali e nella pianificazione territoriale mediante esercizi di analisi spaziale, utili per la comprensione delle dinamiche dei fenomeni che agiscono su

determinati territori, interamente svolti con il software QGIS. Partiamo dal principio: che cos'è il software? Il software è un termine che definisce programmi e procedure utilizzati per fare eseguire al computer un preciso compito. Il termine nasce durante la Seconda Guerra Mondiale quando i tecnici dell'esercito inglese erano impegnati a decriptare il codice tedesco "Enigma", grazie anche ai servizi segreti polacchi. L'origine del termine deriva dal fatto che questo codice veniva scritto su pagine solubili per essere quindi più facilmente distrutte e per contrasto con hardware, che invece stava ad indicare roba dura, ferraglia, vennero chiamate software. Fu John William Tukey, noto statista statunitense, a darne una prima definizione in chiave moderna nel 1957, come la serie di istruzioni impartite ad un computer. Dagli anni '50 in poi è divenuta molto diffusa l'analogia tra l'hardware ed il corpo umano e quella tra il software e la mente umana, dal momento che Alan Mathison Turing, noto matematico, logico e crittografo britannico, considerato da molti uno dei padri dell'informatica, aveva sostenuto che il progresso tecnologico sarebbe riuscito a creare, entro il 2000, delle macchine intelligenti, in grado di pensare autonomamente e di risolvere problemi. Lo sviluppo tecnologico negli ultimi cinquanta anni nel campo informatico ha avuto e sta continuando ad avere vigorose e continue innovazioni, sia da un punto di vista del software che dell'hardware al quale il primo è strettamente interconnesso. La già citata prima legge di Moore, postulata nel 1965, riformulata poi negli anni '80 portando da 12 a 18 i mesi necessari per raddoppiare le prestazioni dei processori, più che una legge vera e propria si è rivelata essere una osservazione empirica così come mostrato nella figura 1.8, testimoniando di fatto la rapidità dei cambiamenti nel campo dell'ingegneria informatica.

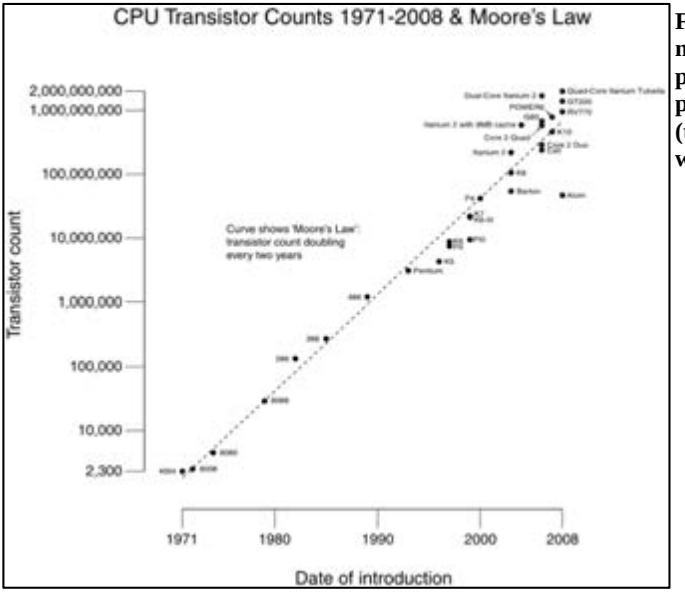


Figura 1.8 - Crescita del numero di transistor per processori (puntini) e previsione di Moore (tratteggiata). (Tratta da: www.wikipedia.org)

Il software viene quindi realizzato in una o più fasi attraverso uno o più linguaggi di programmazione. La realizzazione è di per sé una operazione abbastanza complessa oltre che human intensive poiché richiede un considerevole apporto di risorse umane concentrate soprattutto sulle fasi di progettazione e di implementazione. Molte volte i software realizzati vengono rilasciati sotto forma di versioni e release successive, ciascuna identificata da un numero intero progressivo con in aggiunta uno o più numeri decimali che identificano la release: tipicamente l'ordine di rilascio segue un andamento progressivo della numerazione dove versione o release successive rappresentano evoluzioni delle precedenti con miglioramenti in termini di nuove caratteristiche e funzionalità aggiunte e/o bug corretti. Tutti i software sono accompagnati da una licenza che è un documento che specifica diritti e doveri di chi lo riceve e di chi lo diffonde. Il valore legale delle licenze è stabilito attraverso il copyright (o diritto di copia), le norme sul diritto d'autore. Il copyright è un diritto esclusivo in quanto permette solo all'autore (o chi ne assume il diritto d'autore) di accedere al codice sorgente e di esercitare tutti le prerogative di utilizzazione economica; all'estremo opposto si trova il copyleft, un diritto di copia di tipo permissivo che permette a chiunque di accedere al codice sorgente, per studiarlo, editarlo o ridistribuirlo (lasciando intatti i diritti morali sull'opera). Il software nasce originariamente come proprietario, è solo a partire dagli anni '80, con la nascita della Free Software Foundation (FSF) da parte di Richard Stallman, che si inizia a parlare di software libero, mentre il termine Open Source viene coniato una decina di anni più tardi. Entrambi questi termini vengono utilizzati per indicare la stessa cosa anche se da punti di vista leggermente diversi. Per software libero si intende un programma in grado di soddisfare le seguenti libertà:

- Libertà di eseguire il programma;
- Libertà di studiare il software per adattarlo alle proprie esigenze (Codice sorgente liberamente accessibile);
- Libertà di ridistribuire copie del programma senza limitazioni;
- Libertà di migliorare il programma e ridistribuire pubblicamente i miglioramenti che vanno quindi a vantaggio della comunità (Pozzato, 2006).

Nel 1998 venne fondata da Bruce Perens ed Eric Raymond la Open Source Initiative (OSI), la quale risolse il problema del termine "free", che in inglese ha si il significato di libero, ma anche di gratis e questo aveva creato diffidenza negli sviluppatori, coniando appunto il termine Open Source (Codice sorgente Aperto). Questa nuova definizione, registrata anche come marchio per evitare strumentalizzazioni, non lasciava campo a doppie interpretazioni, mantenendo in primo piano il concetto di libertà del codice. La OSI non ha prodotto alcuna licenza, ma ha stabilito le caratteristiche che queste devono avere affinché il software da esse coperte possa essere definito Open Source:

- Distribuzione libera del software;
- Codice sorgente incluso nel programma o comunque ottenibile a costo zero;
- La licenza deve permettere modifiche e opere derivate (anche se non vi è l'obbligo di rilasciare il prodotto ottenuto con la stessa licenza);
- La licenza non può discriminare né persone o gruppi né porre limitazioni all'uso del programma per un qualsiasi campo di applicazione;
- La licenza non deve modificare altri software distribuiti con esso.

Le licenze che rispettano questi principi vengono raccolte nel sito della OSI e i software collegati a queste licenze possono definirsi open source (http://opensource.org/). Dal 2007 si è diffuso il termine Free Open Source Software (FOSS) volto ad includere entrambe le visioni ed il lavoro della FSF e della OSI (Frigeri, 2012). Le licenze d'utilizzo e distribuzione del software sono molto numerose (oltre 50), ma quelle effettivamente diffuse sono abbastanza poche. La licenza GNU GPL (GNU General Public License) creata dalla FSF viene considerata una delle più restrittive, poiché impone che necessariamente ogni prodotto software derivato venga a sua volta distribuito con la stessa licenza: il software può essere quindi copiato, modificato, usato e ridistribuito a patto di rendere sempre disponibile il codice sorgente e di non modificare l'originaria tipologia di licenza. La licenza BSD (Barkeley Software Distribution) è un tipo di licenza permissiva sull'uso del software. Questo tipo di licenze sono più libere e più aperte e chiunque modifichi un programma protetto da licenze BSD, può ridistribuirlo usando la stessa o altra qualunque licenza, senza avere l'obbligo di ridistribuire le modifiche apportate al codice sorgente. Le uniche condizioni sono la citazione delle note di copyright ed una clausola che solleva l'autore originario dall'obbligo di qualunque garanzia. I software descritti ed utilizzati in questo volume, Quantum Gis e GvSig, sono entrambi distribuiti con licenza di tipo GNU GPL.

1.4.1. Il software GvSig

Il software gis GvSig (acronimo di Generalità Valenciana, Sistema di Informazione Geografica) nasce nel 2003 da un concorso pubblico, finanziato dall'Unione Europea attraverso il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), della Direzione Infrastrutture e Trasporti della Comunità Valenciana che decise di realizzare un proprio sistema informativo geografico attraverso l'utilizzo di software open source e licenze di tipo GNU GPL. Il software venne ed è tuttora sviluppato da IVER Tecnologìas de la Informacion S.A., società privata vincitrice del concorso, con la collaborazione dell'Università Jaume I, che agisce da supervisore in modo da verificare che il programma venga realizzato seguendo gli standard dettati dall'Open Geospatial Consortium (http://www.opengeospatial.org/), un'organizzazione internazionale che si occupa di definire specifiche tecniche per i servizi geospaziali e di localizzazione. Il programma è scritto interamente in Java e può essere installato

su macchine con sistemi operativi Microsoft Windows, Linux e Mc Os X. GvSig ha un interfaccia molto semplice ed intuitiva capace agevolmente di accedere all'informazione geografica, di gestirla e, a partire da essa, è in grado di realizzare delle analisi complesse e creare dei layout di stampa. Inoltre il software è in grado di lavorare con i più diffusi formati raster e vettoriali riuscendo ad integrare all'interno della vista dati sia dati locali che remoti come i servizi WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service), esempi di standard di interscambio di dati geografici prodotti sulla base dei criteri adottati dal già citato OGC (l'argomento sarà approfondito più avanti nel lavoro). L'applicazione è Open Source quindi a codice aperto ed è divenuta gratuita dall'Aprile del 2009. Sin dall'inizio, GvSig è stato progettato in maniera tale che la sua architettura software si basasse su estensioni in modo da permettere agli utilizzatori e agli sviluppatori di ampliare facilmente le funzionalità dello stesso, sviluppandone anche di nuove a partire dalle librerie utilizzate dal programma. Tutte le nuove funzionalità sviluppate dovranno essere ridistribuite nel rispetto dei termini della licenza GPL. Tutto il programma è stato tradotto ed è disponibile in più di venti lingue (http:// www.gvsig.org/web/projects/gvsig-desktop/official/view?set_language=en), le ultime versioni del software rilasciate sono la 1.12 (15 Aprile 2013) e la 2.2 desktop (3 Giugno 2015 - http://www.gvsig.com/it/prodotti/gvsig-desktop/download). E' stata anche creata una versione Mobile del programma (GvSig Mobile 0.3 Pilot – 23 Aprile 2010) che può essere installata ed utilizzata su tutta una serie di dispositivi portatili. GvSig Mobile è un GIS completo per i dispositivi smartphone con Windows Mobile, ideale per i progetti di acquisizione e modifica dei dati di campo.

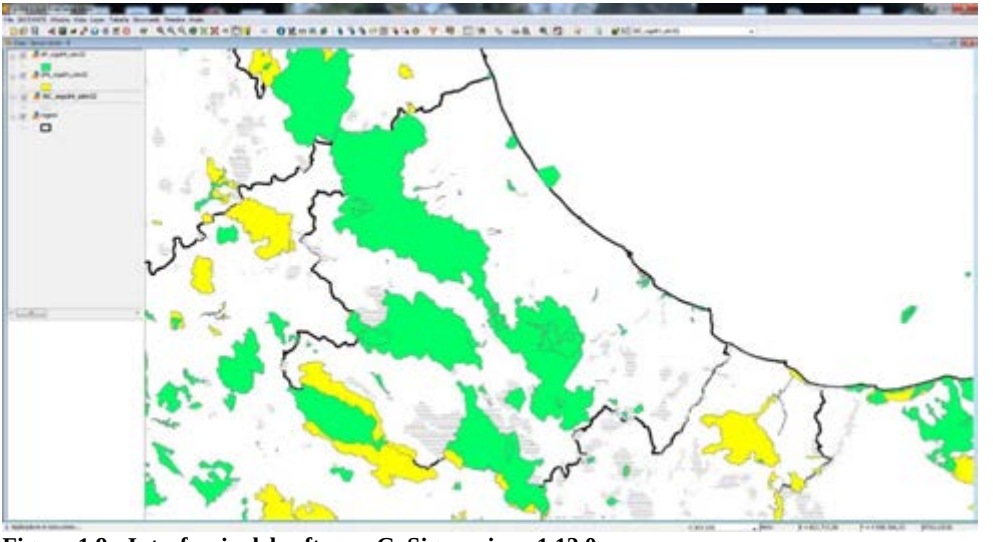


Figura 1.9 - Interfaccia del software GvSig versione 1.12.0

Abbiamo visto come il programma, essendo di tipologia Open Source, può essere implementato attraverso tutta una serie di estensioni. Una di queste che, nelle prime versioni del programma doveva essere scaricata ed installata successivamente al programma stesso e che ora invece viene integrata in esso, è SEXTANTE (Sistema EXTremeño di ANalisi TErritoriale), una libreria di geoalgoritmi di analisi spaziale open source. SEXTANTE dispone di un gestore di geoprocessi, una linea di comando, un generatore di modelli e una cronologia dei comandi lanciati dall'utente per facilitare la ripetizione del comando stesso. Alcuni strumenti di SEXTANTE includono funzionalità quali: analisi di modelli, analisi idrologica, geostatistica, geomorfometria e analisi del rilievo, analisi e calcolo di layer raster, illuminazione e visibilità, localizzazione ottimale di elementi, logica fuzzy, profili, rasterizzazione e interpolazione, trattamento ed analisi di immagini, indici di vegetazione, indici e altri parametri idrologici. Dispone inoltre di un facile sistema per la creazione e l'esportazione grafica di layout di stampa. Il programma permette di estendere continuamente le proprie funzionalità attraverso un sistema di plugin realizzati mediante il linguaggio Jython, che non è altro l'implementazione del linguaggio Python utilizzando Java, distribuiti tramite un repository (http://downloads.gvsig.org/download/gvsigdesktop/dists/2.0.0/builds/2066/packages.gvspki).

1.4.2. Il software Quantum Gis

La storia di Quantum Gis (o QGIS) inizia nel Maggio del 2002 quando Gary Sherman cerca un visualizzatore di dati GIS compatibile con il sistema Linux e che fosse in grado di supportare tutta una serie di formati. Il progetto, volto tra l'altro allo sviluppo di una vera e propria applicazione GIS, venne ospitato su SourceForge una piattaforma web sulla quale venivano sviluppati software open source in modo collaborativo. La prima release del software venne rilasciata nel Luglio dello stesso anno, ma era quasi inservibile ed in grado di supportare solo dati di tipo PostGIS, estensione spaziale del server PostgreSQL, che introduce i tipi di dato geometrico e le funzioni per lavorare con essi. Inoltre fornisce le definizioni dei sistemi di coordinate per eseguire trasformazioni tra geometrie materializzate in sistemi di riferimento diversi. Nel 2004 QGIS divenne un progetto della Open Source Geospatial Foundation (OSGeo - http://www.osgeo.org/) e la prima versione con una Application Programming Interface (API) stabile e utilizzabile da utenti esperti, la 1.0.0, venne rilasciata nel Gennaio del 2009. Il team di QGIS rilascia versioni stabili per le quali prevede la stabilità delle API per almeno 2 anni dall'uscita dalla release (Marchesini I., 2012). Le versioni intermedie estese e modificate, che vengono rilasciate nel periodo di tempo che intercorre tra due versioni stabili, vengono sviluppate mantenendo la compatibilità con le API precedenti. L'ultima versione, rilasciata a Dicembre del 2015, è la 2.12.2 "Lione", scaricabile dal sito www.qgis.org. QGIS gira su molte piattaforme come Windows, Unix, Linux,

Android e OS X ed è sviluppato in C++ o Python ed è gestito dal Project Steering Committee (PSC) un comitato di 5 membri che fornisce indirizzi tecnici, contatti fra community, gestione dei rilasci, e attività di finanziamento/marketing. QGIS nasce inizialmente come un semplice visualizzatore di dati geografici, ma nel corso degli anni è stato e continua ad essere implementato con tutta una serie di funzionalità che ne permettono un utilizzo affidabile nei quotidiani usi dei sistemi informativi geografici. Il software è in grado di supportare una notevole gamma di formati di dati raster e vettoriali e di gestire i servizi standard dell'OGC come i WMS ed i WFS. Possiede validi strumenti per la creazione modifica ed esportazione di dati sia di tipo vettoriale che raster, ed è in grado di supportare semplici analisi spaziali ma anche funzioni abbastanza complesse come la network analysis, la modellazione tridimensionale e la map algebra. La creazione di layout viene gestita attraverso un semplice ed intuitivo sistema che accompagna l'utente verso la produzione e la gestione di cartografia tematica a stampa. Anche QGIS viene rilasciato con licenza di tipo GNU per cui è possibile modificare, copiare e ridistribuire il codice sorgente mantenendo sempre la stessa licenza; il programma grazie ad un sistema di repository e di plugin (programmati con Python) può essere aggiornato ed integrato con nuove funzionalità in qualsiasi momento attraverso la rete internet, gestiti dal programma attraverso il Plugin Manager.

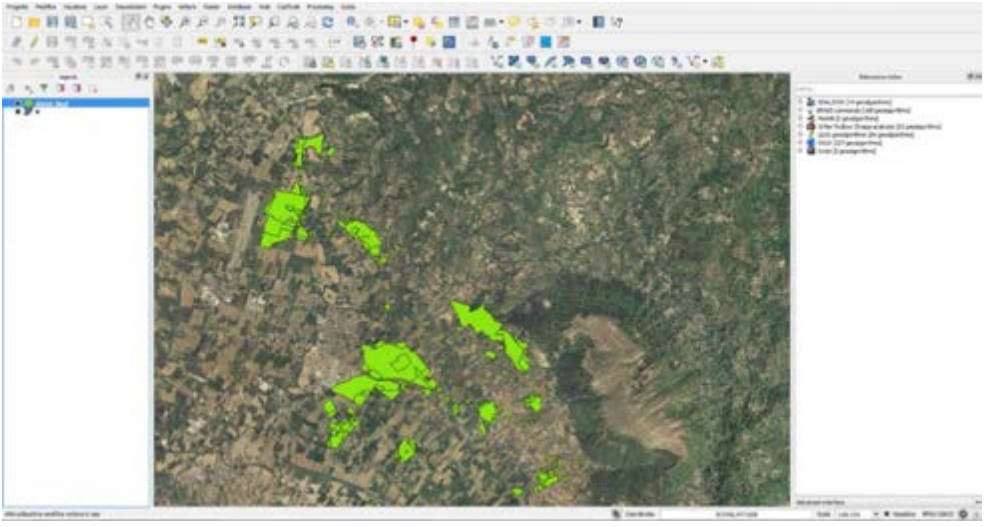


Figura 1.10 - Interfaccia del software QGIS versione 2.12.2 Lione

Molto utile risulta essere l'integrazione di QGIS con GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) un potente software GIS open source sviluppato per il processamento e l'analisi di dati di tipo geografico. Dalla versione 1.8.0 "Lisboa",

QGIS è stato strutturato tramite diversi applicativi (http://www.qgis.org/it/site/about/features.html):

- QGIS Desktop: Il classico QGIS che offre moltissime funzionalità GIS per la visualizzazione dei dati, editing, ed analisi.
- QGIS Browser: Un visualizzatore semplice e veloce per la consultazione di dati in rete (locale e non).
- QGIS Server - Un server conforme allo standard WMS 1.3 facilmente configurabile utilizzando i file di progetto di QGIS versione desktop.
- QGIS Client - Un front-end webgis basato su OpenLayers e GeoExt.

E' in fase di sviluppo anche una versione di QGIS per gli smartphone con sistema Android per l'utilizzo delle potenzialità di questo software anche su queste nuove e sempre più sviluppate tecnologie.

1.5. Il GIS come modello della realtà.

Abbiamo visto come il GIS conferisce la possibilità di creare un database georeferenziato e multimediale organizzato su livelli informativi (strati, layer o tematismi), aggiornabile con dati di diversa natura (dati telerilevati, campagne di misura, dati GPS, immagini, cartografia, collezioni di dati esistenti, tabelle, filmati…), il cui obiettivo finale è la rappresentazione della realtà, mentre l'organizzazione del dato permette il supporto alle decisioni e l'analisi speditiva. Partendo dal presupposto che qualsiasi dato presente all'interno di un sistema informativo geografico rappresenta una precisa entità territoriale (una strada, un edificio, un fiume, ecc.) caratterizzata da un riferimento spaziale che la colloca in una determinata posizione nello spazio fisico, si tratta quindi di costruire un modello del territorio conforme il più possibile a quella che è l'effettiva realtà antropo-morfologica dello stesso in quella data sezione temporale. Tutto questo implica un passaggio da una visione human oriented che è quella che deriva dalla percezione antropica della realtà, ad una computer oriented, più specificatamente object e field oriented, secondo la quale si immagazzinano dati e attributi all'interno di un'unica struttura (l'oggetto).

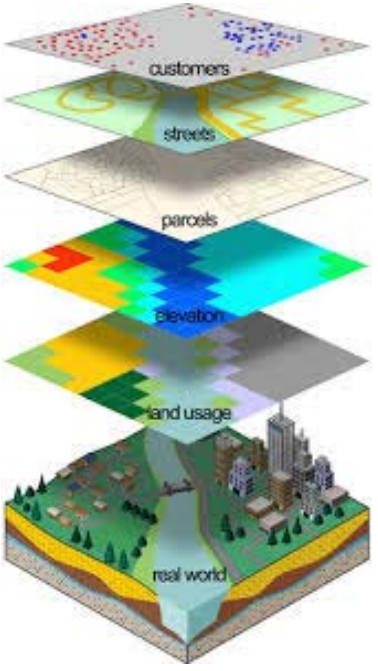


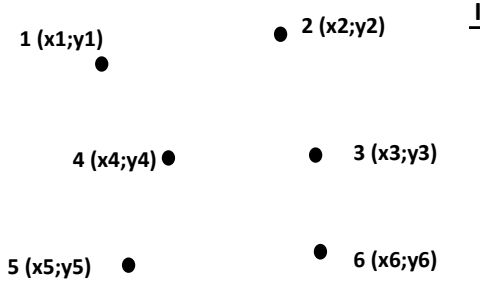
Figura 1.11 - Modellazione della realtà nel GIS (Fonte: WestField State University)

Questi oggetti sono in interazione gli uni con gli altri attraverso uno scambio di informazioni, che viene utilizzato dal software GIS per la formazione di un modello fisico della realtà. Un modello è quindi una semplificazione della realtà che utilizza una serie di dati per descriverla nel miglior modo possibile. Nel GIS appunto si utilizzano modelli di dati che hanno in comune l'attributo geografico. Nei paragrafi che seguono vengono descritti i modelli di dati spaziali utilizzati nel GIS per rappresentare la realtà: il modello vettoriale ed il modello raster.

1.5.1. Modello dati vettoriale

In questo modello gli oggetti geografico - territoriali vengono rappresentati con delle primitive geometriche quali punti, linee e poligoni. La struttura dei dati si basa su un sistema di coordinate la cui primitiva fondamentale è il punto definito da una coppia di coordinate x e y (una tripletta se contiene anche il valore z di quota). Le linee sono definite da un insieme di punti di coordinate note x e y i cui punti iniziale e finale vengono chiamati "nodi", mentre quelli intermedi "vertici"; nei poligoni, definiti anch'essi da una serie di punti di coordinate note, la prima e l'ultima coppia di coordinate sono uguali. Queste primitive geometriche vengono così utilizzate per definire le varie entità territoriali, in particolare l'entità geometrica "punto" può essere associata a oggetti geografici quali le sorgenti, le località, punti quotati, ecc..; le linee vengono correntemente utilizzate per l'inserimento di reticoli viari e/o ferroviari, reticoli idrografici, curve di livello, servizi di rete, ecc., mentre i poligoni per rappresentare distretti amministrativi, usi del suolo, zonizzazioni, edifici, particelle catastali, ecc…. Gli elementi definiti nella loro posizione spaziale hanno diverse caratteristiche dimensionali: il punto è un'entità di tipo adimensionale; la linea è di tipo monodimensionale, quindi è possibile determinare con esattezza anche la sua lunghezza e il poligono rappresenta una entità bidimensionale per cui è possibile determinare il suo perimetro e la sua area. La geometria scelta per rappresentare una determinata entità territoriale è naturalmente funzione del livello di dettaglio e quindi della scala, oltrechè delle necessità di uso del dato prodotto. La scala nominale di acquisizione - rappresentazione, intesa come quella che definisce il rapporto tra le misure disegnate e le misure reali dell'oggetto acquisito – rappresentato, definisce il dettaglio e le approssimazioni rispetto alla realtà. Questo vuol dire che ad esempio una strada o un fiume acquisiti da una carta corografica (rapporto di scala pari o superiore al 25.000) vengono rappresentati tramite una linea, mentre gli stessi elementi, ma su carte catastali (ordine di grandezza della scala inferiore al 1:2.000), vengono rappresentati come poligoni. Le geometrie di tipo vettoriale sono facilmente modificabili poiché è possibile editare i vertici dell'entità geometrica che costituiscono l'elemento geografico stesso. Gli elementi geometrici all'interno del sistema GIS vengono memorizzati attraverso le coordinate dei punti insieme ad alcune relazioni caratteristiche della componente spaziale dell'informazione geografica: direzione, prossimità (legate alla posizione) e la

topologia (legata alla relazione tra gli oggetti geografici). La relazione di prossimità descrive in termini qualitativi e quantitativi le distanze, la relazione di direzione è funzione dell'orientamento spaziale dell'oggetto stesso mentre la struttura di livello topologico determina dove e come i punti e le linee si uniscono attraverso i nodi. La topologia definisce in sostanza le mutue relazioni tra le primitive geometriche attraverso una serie di condizioni quali l'inclusione, il contenimento, l'adiacenza, l'intersezione, la vicinanza, ecc…, ed è una proprietà fondamentale che sta alla base di un corretto funzionamento di un GIS permettendo inoltre alcune tipologie di analisi spaziale. La relazione topologica può essere più o meno esplicitata all'interno della struttura informatica che contiene la primitiva geometrica, funzione questa che dipende dal tipo di file in cui viene immagazzinata e gestita l'informazione geografica. Infatti alcuni software GIS creano e gestiscono le relazioni topologiche già al momento della creazione del file vettoriale (GRASS ad esempio è uno di questi) mentre altri software creano e gestiscono la topologia sugli oggetti vettoriali a scelta dell'utente in un secondo momento con appositi strumenti dedicati allo scopo (ArcGis ad esempio). Un GIS viene quindi definito topologicamente strutturato se nel suo file vettoriale di gestione dell'informazione geografica gli oggetti vengono inseriti attraverso l'utilizzo di un modello topologico. Tra questi viene descritto di seguito il modello topologico arco – nodo, uno dei più utilizzati. Nel modello arco – nodo (arc – node connectivity tipico del modello di dati vettoriali prodotto dai software della ESRI – Arcview e ArcGIS, poi ripreso ed utilizzato anche da altri software) il punto viene identificato attraverso una coppia di coordinate x e y, un arco consta almeno di due punti uno iniziale ed uno finale che vengono definiti nodi, mentre gli eventuali punti intermedi sono definiti vertici. Ciò vuol dire che un arco inizia e finisce con un nodo e che due archi sono connessi se condividono almeno un nodo (sia esso iniziale o finale). Un poligono è definito da una serie di archi che delimitano un perimetro chiuso e definiscono un area e ad ognuno di essi è associato un codice che fa riferimento ad un ipotetico punto collocato nel centroide del poligono. Di seguito viene mostrato come la topologia viene gestita ed archiviata dal software partendo dal punto fino ad arrivare al poligono.



ID number	Coordinates
1	x1; y1
2	x2; y2
3	x3; y3
4	x4; y4
5	x5; y5
6	x6; y6

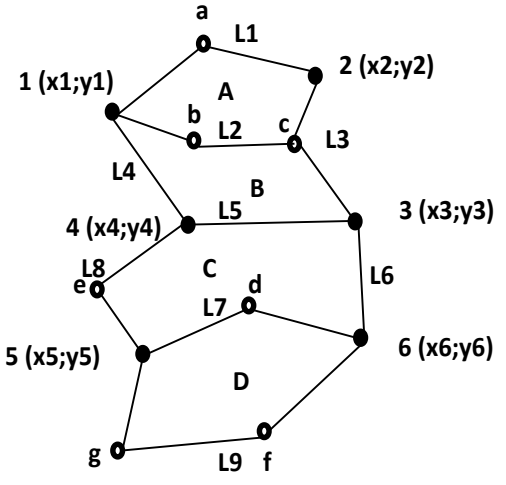
Tabella 1.1 - tabella identificativa delle coordinate dei punti

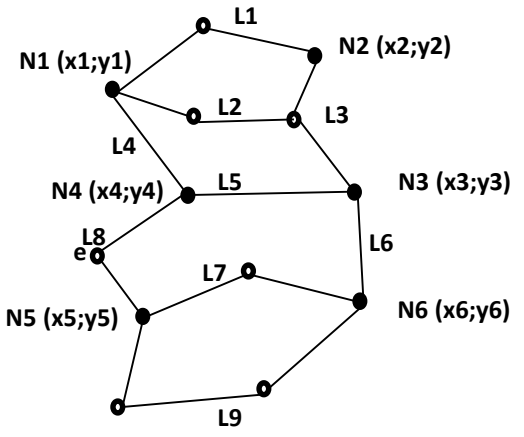
Per i punti viene creato un numero identificativo (ID number) per distinguerlo in maniera univoca memorizzando al contempo le sue coordinate (geografiche o planimetriche, vedi par. 2.3 – Tab 1.1).

ID number	Fnode	Vertices	Tnode	Lpoly	Rpoly
L1	1	a	2	0	A
L2	1	b, c	2	A	B
L3	2	c	3	A,B	0
L4	1		4	0	B
L5	4		3	B	C
L6	3		6	0	C
L7	5	d	6	C	D
L8	4	e	5	C	0
L9	5	f, g	6	D	0

Tabella 1.2 - tabella topologica relativa alla memorizzazione degli archi e delle loro relazioni

Anche per gli archi, definiti come le linee che uniscono due nodi, così come per i punti, viene creato un identificativo in modo da poter distinguere ognuno di essi. L'arco viene quindi memorizzato sulla base dei nodi e dei vertici di cui esso è composto più in particolare da un Fnode (sigla che sta per from node ma si può trovare anche start node) nodo iniziale e da un Tnode (to node o anche end node) nodo finale insieme ai vertici intermedi. Questo tipo di relazione permette quindi di stabilire la direzione, ma anche la contiguità in quanto per ogni arco viene indicato il poligono che si trova alla sua destra e alla sua sinistra (Lpoly left polygon, Rpoly right polygon).

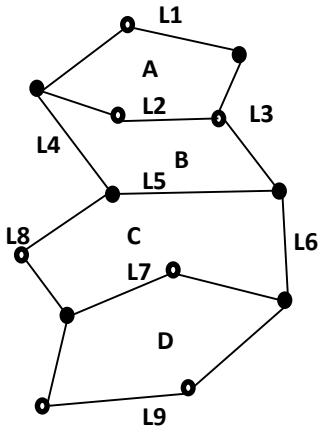




Node	Arc-Node
N1	L1,L4
N2	L1,L3
N3	L3,L5,L6
N4	L4,L5,L8
N5	L8,L7
N6	L6,L7,L9

Tabella 1.3 - Tabella topologica relativa alla relazione arco-nodo

Nella topologia arco-nodo viene creata anche una tabella dove vengono esplicitati gli archi di appartenenza per ogni nodo. Per quanto riguarda i poligoni invece, questi vengono archiviati attraverso un codice identificativo e la lista degli archi da cui è composto.



Polygon	Arclist
A	L1, L2
B	L2, L3,L5, L4
C	L5, L6, L7, L8
D	L7, L9

Tabella 1.4 - Tabella topologica relativa alla memorizzazione dei poligoni

Nel caso di poligoni adiacenti l'arco in comune tra di essi viene memorizzato una sola volta. Tutte le relazioni spaziali tra gli oggetti nella topologia arco-nodo vengono quindi esplicitate attraverso le tabelle topologiche 1.2, 1.3 e 1.4, mentre la tabella 1.1 memorizza le coordinate di ciascun punto. L'insieme di queste tabelle costituisce la topologia nel dato geografico vettoriale. Riassumendo si può affermare

che nella topologia arco-nodo, ogni arco deve essere limitato da due nodi (From Node To Node), la cui sequenza stabilisce la relazione di direzione; ogni arco limita due poligoni (poligono di sinistra e poligono di destra), fornendo indicazioni circa le relazioni di contiguità, adiacenza e contenimento; i poligoni sono costituiti da polilinee chiuse composte da una serie di archi i quali si intersecano solo nei nodi. Sono le regole topologiche contenute nel dato vettoriale elaborate e gestite dal software GIS che permettono al sistema di risolvere vari problemi di natura territoriale attraverso l'analisi spaziale. Domande del tipo "quanti sono i comuni che si trovano a 10 km dal comune X?" oppure "qual è il percorso minimo per andare dal punto A al punto B?" trovano la loro risposta attraverso una serie di procedure rese possibili proprio grazie alla struttura topologica del dato vettoriale. Il dato topologico permette quindi efficienti query spaziali alle quali il software risponde senza leggere le coordinate, ma semplicemente utilizzando le tabelle che compongono la struttura topologica, al contrario di quanto accade per il dato strutturato geometricamente senza alcuna topologia per il quale il software utilizza algoritmi computazionali. Tutto questo naturalmente incide sia sui tempi di risposta del programma che sulle dimensioni finali del file vettoriale per cui la scelta del tipo di struttura da usare (topologica o non topologica) dipende anche dall'uso che si intende fare del dato. Il modello di dati vettoriale nasce e si diffonde inizialmente con i sistemi di tipo CAD, i quali offrono tutta una serie di strumenti per il disegno a partire dalle primitive geometriche (punti, linee, poligoni), fino ad arrivare alla costruzione di geometrie più complesse composte da più linee e/o archi. In questi sistemi, alle geometrie disegnate è possibile associare semplici informazioni relative alle caratteristiche grafiche come ad esempio il colore della linea/arco o il suo spessore. Nel sistema vettoriale GIS l'informazione geografica rappresentata attraverso una geometria è sempre accompagnata da una componente semantica (attributi) che descrive e accompagna il dato stesso e che ha un ruolo fondamentale in chiave interpretativa della realtà. I sistemi GIS infatti, come abbiamo visto, utilizzano l'informazione geografica sia per produrre cartografia tematica, sia per comprendere e analizzare un determinato territorio per derivare informazioni volte al supporto decisionale sui progetti/processi che agiscono su di esso. L'integrazione tra il disegno digitale e l'informazione quali-quantitativa del dato geografico avviene attraverso un database e più precisamente un DataBase Management System o DBMS. La struttura di un database di questo tipo è molto semplice essendo costituito da una serie di tabelle ognuna delle quali è un contenitore strutturato di dati in cui i record (o righe) contengono i dati, mentre il campo (colonna o field) lo identifica.

Nome comune	Codice Regione	Codice Provincia	Codice Comune	Codice ISTAT
Predoi	4	21	68	4021068
Cambiasca	1	3	31	1003031
L'Aquila	13	66	49	13066049
Isernia	14	94	23	14094023

Tabella 1.5 - Esempio di tabella associata al dato geografico

L'incrocio tra una riga e una colonna è detto cella e contiene una singola evenienza di un attributo che ne descrive appunto il valore. I campi che contengono questi valori sono omogenei per formato (text, integer, double, date,….) e tale formato va dichiarato nel momento di creazione del campo per poter poi permettere l'interpretazione nelle fasi di interrogazione. Questa tipologia di database permette infatti, attraverso il linguaggio SQL (Structured Query Language), di trovare uno specifico record o di collegare (join e relate vedi par. 3.3) tra loro records di più tabelle, riuscendo anche a recuperare informazioni che rispondono a determinati parametri. L'identificazione in maniera univoca dei record all'interno delle tabelle avviene attraverso la definizione di chiavi primarie univoche (come un codice identificativo comunale ISTAT, il codice fiscale o anche il codice ISBN di un volume) che serve anche a relazionare tra loro tabelle di provenienza diversa, ma che in comune hanno appunto l'informazione corrispondente alla chiave primaria. Il collegamento avviene sulla base del medesimo valore di attributo, uguale all'interno delle due tabelle. I dati vettoriali, proprio grazie alla loro natura, vengono utilizzati per rappresentare fenomeni che variano in maniera discreta sul territorio come ad esempio un uso del suolo, i limiti amministrativi comunali provinciali o regionali, un reticolo viario o idrografico, ecc.. La provenienza di dati di questa tipologia nel GIS è abbastanza varia potendo derivare da rilievi topografici effettuati direttamente in campo, da digitalizzazione manuale o automatica da ortofoto, immagini satellitari e cartografia già esistente o da importazioni di formati vettoriali derivati da altri software.

1.5.1.1. Rappresentazione informatica del dato vettoriale.

In questo paragrafo verrà descritto come l'informazione geografica viene archiviata e gestita da un punto di vista prettamente informatico. Esistono infatti numerosi formati elettronici in grado di gestire il dato geografico vettoriale, ognuno dei quali ha delle proprie caratteristiche e strutture gestite da determinati software. Un

problema che si presenta molto spesso è proprio la mancanza di interoperabilità del dato stesso, per cui formati di dati prodotti da un determinato software non possono essere gestiti con un altro, il che ha anche in parte inciso sulla ridondanza dei dati che nel tempo sono stati prodotti da più enti preposti e con software di tipo diverso. Il problema della ridondanza dei dati e dell'interoperabilità è stato affrontato sia dal già citato Open Spatial Consortium, attraverso l'introduzione degli standard di produzione del dato geografico, sia attraverso una serie di normative a livello nazionale che fanno riferimento alla direttiva europea INSPIRE (vedi par. 1.12). Nei software il problema dell'interoperabilità dei dati è stato affrontato attraverso appositi plugin, script e tools dedicati. Uno dei formati maggiormente utilizzati e che di fatto è diventato uno standard *de facto* è lo shapefile, prodotto dalla già citata Environmental Systems Research Institute (ESRI) agli inizi degli anni '90, che viene utilizzato da molti software GIS tra cui QGIS e GVsig. Lo shapefiles è un tipo di formato vettoriale di tipo geometrico in cui non vengono registrate le relazioni topologiche. La geometria viene memorizzata come una forma (il verbo to shape in inglese vuol dire appunto modellare) che comprende un insieme di coordinate vettoriali. Non avendo una struttura dati di tipo topologico, risulta avere una velocità di disegno – modifica abbastanza veloce, riuscendo a gestire le relazioni di direzione e di prossimità derivanti dalla componente spaziale del dato geografico (ESRI, 1998). Con il termine shapefile di norma non si indica un unico file, ma un insieme di file di cui risultano essere componenti fondamentali i seguenti tre: *.shp, *.shx e *.dbf (* è il prefisso dei nomi che è uguale per tutti). Il file *.shp rappresenta il main file o file principale che spesso viene identificato con l'intero shapefile, ma del quale esso rappresenta solo una parte in quanto non esiste senza gli altri due; il file *.shx è l'index file, mentre il *.dbf rappresenta il database associato agli oggetti geometrici (punto, linea, poligono). Gli altri file che possono trovarsi associati con i tre fondamentali sono il *.prj, che contiene le informazioni relative al tipo di datum e di proiezione usata per georiferire il dato, gli *.sbn e *.sbx che non sono altro che indici spaziali la cui funzione è quella di facilitare alcune operazioni geometriche (come il calcolo delle intersezioni o della distanza minima tra due punti). Il file *.xml è quello che contiene i metadati relativi al files geografico, cioè tutta quella serie di informazioni accessorie, ma fondamentali che ne permettono un corretto utilizzo ed integrazione all'interno dei sistemi informativi territoriali. La relazione tra i record del file .dbf e le features del file .shp è di uno a uno (Singlepart features), ossia ogni volta che viene generata una qualsiasi primitiva geometrica, contemporaneamente viene creato un record nella tabella associata. Questo formato è molto diffuso, ma presenta alcune limitazioni quali, ad esempio, la mancanza di supporto per valori nulli (che vengono archiviati come valore 0), o il limite di 13 caratteri per definire il nome di un campo, ma resta pur sempre il formato di diffusione maggiore con cui sono stati archiviati la maggior parte dei dati geografici a partire dalla fine degli anni

’80. Di seguito vengono mostrati altri formati di file che è possibile utilizzare nei GIS.

.DWG (DraWinG ovvero disegno) .DXF (Drawing Exchange Format): formato di file binario prodotto nel 1982 dalla Autodesk insieme al dxf che è un file di esportazione per altri formati CAD. I .dxf sono organizzati in 4 sezioni anche se possono non essere sempre presenti nei file di questo tipo. La sezione Header (intestazione) contiene informazioni relative al contenuto, la sezione Tables (tavole) contiene informazioni sul tipo di linea, sul sistema di coordinate, sul testo e la dimensione dello stile; la sezione Blocks (Blocchi) contiene la definizione dei blocchi i quali sono degli oggetti più o meno complessi derivanti dalla combinazione di più oggetti semplici (linee, curve e polilinee) ad essi sono associati anche stringhe di testo relativi agli attributi del singolo blocco; la sezione Entities (unità) deve essere sempre presente in un file .dxf poiché contiene gli oggetti grafici che compongono il disegno.

.KML (Keyhole Markup Language): si basa su linguaggio XML (eXtensible Markup Language) e dal 2008 è uno standard OGC; è stato creato per gestire dati geospaziali, anche in tre dimensioni per la maggior parte dei webgis (tra cui Google Earth e Google Maps). Il termine Keyhole deriva dal nome dei satelliti di ricognizione KH, uno dei primi sistemi di ricognizione militare statunitense; questo nome è stato poi anche preso in prestito dal software da cui deriva il più noto google earth. Spesso vengono distribuiti con l’estensione .kmz che rappresenta una versione compressa dello stesso file.

.GML (Geography Markup Language): anche questo formato è basato sul linguaggio XML ed è divenuto uno standard OGC (ISO 19136) nel 2007. Viene utilizzato anche come formato di interscambio per transazioni geografiche su internet similmente al file .kml.

.MIF (Mapinfo Interexchange Format): è il file di interscambio dati del software MapInfo prodotto dalla Pitney Bowes. Corrisponde ad una coppia di file di tipo ASCII (American Standard Code for Information Interchange) in cui il file .mif contiene la geometria ed il file .mid i relativi attributi. Il software Mapinfo dispone inoltre di un altro tipo di file per l’archiviazione dei dati geografici che, similmente al file shape, è composto da una serie di file quali il .tab (file di testo descrittivo della struttura), il .map (contiene la componente geometrica), il .dat (contiene la componente alfanumerica), .ID (file di collegamento tra map e dat) ed il .ind (indici spaziali).

.TXT e **.CSV** (Comma Separeted Variables): sono entrambi dei file di testo delimitato (l’acronimo di csv tradotto dall’inglese significa appunto variabili separate da una virgola) che possono contenere una informazione geografica la cui

decodifica avviene grazie alla presenza di due campi nella struttura del file con l'informazione relativa alle coordinate (geografiche o piane) dei punti ai quali può essere associata tutta una serie di attributi alfanumerici. Le coordinate infatti vengono utilizzate dal software per disegnare le features (solitamente punti) sulla mappa che possono poi essere esportare in un qualsiasi altro formato supportato dal software gis.

Box 1. Tecnologia GPS e File .GPX

Il Global Positioning System o GPS è costituito da una serie di satelliti (24 di cui 21 operativi e 3 di riserva) di proprietà del Dipartimento della Difesa Americana che trasmette di continuo segnali radio di bassa potenza (50 watt) che vengono interpretati dai ricevitori GPS sulla Terra che calcolano la distanza tra essi e il satellite stabilendo così l'esatta posizione sul globo terrestre. Nato nel 1978 con il nome di NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) per scopi prettamente militari (navigazione di navi da guerra, posizionamento truppe d'artiglieria…), con un decreto esecutivo del 1980 questa rete potè essere utilizzata anche per scopi civili. Il sistema GPS è composto da tre segmenti o parti: satelliti (segmento spazio), stazioni terrestri di controllo (segmento Terra) ed i ricevitori gps (segmento utilizzatore). I satelliti sono alimentati ad energia solare anche se possiedono dei piccoli razzi per modificare eventualmente la rotta. I segnali, trasmessi a bassa frequenza, vengono denominati L1, L2 e così via. Ogni segnale ha una sua ben precisa frequenza ed i ricevitori ad uso civile riescono a decodificare la L1 che contiene tre differenti parti di codice, ognuna delle quali ha un significato ben preciso: il codice pseudocanale è un codice che identifica il satellite; il codice effemeride fornisce indicazioni circa lo stato del satellite insieme alla data/ora corrente mentre il codice almanacco riguarda l'insieme dei dati relativi alla posizione di tutti i satelliti della rete gps in ogni momento del giorno. Il segnale gps segue la linea di visuale, riesce ad attraversare le nuvole o anche oggetti di vetro e plastica ma non edifici o montagne. Ciò vuol dire che questo sistema è soggetto comunque a degli errori che possono dipendere, se analizzato da questo punto di vista, dal rallentamento del segnale nell'attraversare l'atmosfera e da fenomeni di riflessione

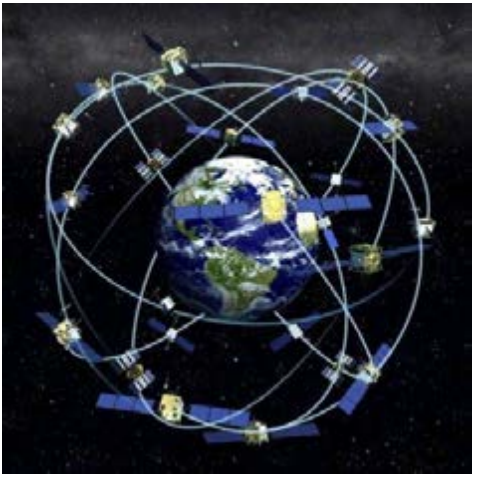


Figura b1.12 - Il sistema dei satelliti del GPS (tratto da: http://www.nicora.it/casio-g-shock-gpw-1000/)

che incrementano leggermente il tempo di arrivo di questo al ricevitore (percorsi multipli). Se ci si trova all'interno di edifici, nei pressi di zone molto montuose o anche dense coperture arboree il segnale può venire totalmente schermato provocando errori o anche il mancato posizionamento. Il segmento Terra invece è composto da 5 postazioni fisse di controllo che si trovano nel mondo di cui quattro, dette "secondarie", ricevono costantemente i dati dai satelliti e li inviano alla quinta, detta "principale". Quest'ultima verifica i dati, corregge eventuali errori su orbita, altitudine, velocità ed ora e li reinvia ai relativi satelliti. Questi sono situati ad una distanza media dalla terra di circa 19.300 km e hanno una velocità in orbita di oltre 11.000 km/h impiegando circa 12 ore per compiere un orbita attorno al nostro pianeta. Il segmento utilizzatore è costituito semplicemente dal ricevitore GPS. Ad oggi i ricevitori GPS sono molto diffusi nell'uso quotidiano in quanto presenti nei navigatori satellitari delle auto, nei localizzatori da montagna per uso escursionistico e da alcuni anni sono entrati a far parte della tecnologia degli smartphone. Il sistema statunitense NAVSTAR come detto è il primo sistema GPS a livello globale, ma non l'unico; esistono infatti altri sistemi GPS come il GLONASS (GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) gestito dalle agenzie spaziali russe che, dopo una serie di vicissitudini legate alla mancanza di fondi per la manutenzione, è tornato pienamente operativo nel dicembre del 2011. In Europa è in fase di implementazione il sistema Galileo che è operativo già dal 2014 e verrà completato solo nel 2020; sempre in Europa è attivo un complesso programma di osservazione satellitare della Terra denominato Copernicus (in precedenza GMES - Global Monitoring for Environment and Security) basato su una serie di sei tipologie di satelliti specializzati in specifiche applicazioni (http://www.asi.it/it/attivita/osservazione-della-terra/copernicus). La Cina gestisce Beidou conosciuto anche come big dipper, un sistema di posizionamento a copertura regionale che la Repubblica Popolare Cinese vuole portare a copertura globale. Anche l'India sta sviluppando un proprio sistema di posizionamento regionale autonomo denominato IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) gestito dall'Indian Space Research Organization tramite un progetto finanziato dal governo indiano nel 2006 una costellazione di sette satelliti che sarà operativa dal 2016 circa. Anche il Giappone possiede un sistema di navigazione satellitare regionale denominato QZSS (Quasi Zenith Satellite System) costituito da 3 satelliti di cui il primo lanciato nel 2010 e gli altri due ancora non sono stati lanciati. Il QZSS sarà utilizzato per applicazioni mobili, per fornire servizi di comunicazione (video, audio e dati) ed informazioni sulla posizione ed andrà ad integrare il servizio GPS statunitense. Vediamo ora come funziona un sistema GPS. Per poter calcolare la propria posizione, un ricevitore GPS deve conoscere almeno due dati e cioè la posizione e la distanza dal satellite. Questi sono contenuti nel codice almanacco ed è proprio grazie ad esso che il ricevitore conosce la posizione approssimata di tutti i satelliti in un preciso istante. La distanza (d) del ricevitore dal satellite viene calcolata

ricavando la variabile dalla formula della velocità (*c* pari alla velocità della luce) e quindi essa sarà:

$$d = c * t$$

dove *t* è il tempo che intercorre tra l'emissione del segnale L1 dal satellite ed il suo arrivo al ricevitore. Da ciò si deduce che la variabile tempo è fondamentale per risolvere l'equazione e quindi calcolare l'effettiva posizione del ricevitore sul globo terrestre. Appunto per questo satellite e ricevitore sono sincronizzati, per cui nel momento in cui viene trasmesso il segnale dal satellite il ricevitore ne genera uno identico. Quando il segnale trasmesso dal satellite giunge al ricevitore, questo lo compara con quello da lui generato e viene così misurato il tempo di arrivo (*t*). Questo tempo ha un ordine di grandezza di qualche centesimo di secondo ma la precisione del calcolo è molto maggiore. Per poter determinare con esattezza le coordinate di un punto P sul globo terrestre ad un certo istante t_0, il ricevitore ha bisogno del segnale di almeno tre satelliti, mentre per calcolare anche il valore di quota Z dello stesso punto occorre avere almeno quattro satelliti. La precisione dei GPS attualmente disponibili è abbastanza elevata andando dai pochi metri per i più comuni GPS fino ad arrivare all'ordine dei millimetri per le stazioni di posizionamento utilizzate per vari scopi. Gli errori sul posizionamento possono dipendere dal rallentamento che il segnale subisce attraversando l'atmosfera, dalla riflessione di questo dovuto alla presenza di edifici e/o montagne, dalla non perfetta sincronizzazione dell'orario del ricevitore GPS con l'orologio atomico o da leggeri errori delle orbite dei satelliti. Inoltre va ricordato che più i satelliti al quale il ricevitore è collegato sono distanti, maggiore sarà l'accuratezza delle misure. Inoltre quando questi risultano essere molto vicini tra loro e maggiore è il numero dei satelliti collegati maggiore sarà la precisione della misura. L'utilizzo di strumenti di questa natura nella società odierna è importantissimo. Basti pensare al campo dei trasporti aerei o marittimi dove vengono impiegati per seguire determinate rotte, fornendo al contempo alle stazioni a terra la posizione del velivolo o della nave in ogni momento. Un uso frequente è quello della navigazione attiva, presente in tutti i navigatori per auto e nelle applicazioni per smartphone, cioè la possibilità di ricevere indicazioni stradali con l'aiuto di un opportuno algoritmo che, a partire dalla posizione locale e da una cartografia di base presente sul dispositivo, calcola il percorso più breve per raggiungere una data località. Molto spesso viene anche utilizzato come strumento di radionavigazione nelle tipiche attività sportive all'aria aperta come l'alpinismo, il trekking il cicloturismo e sta entrando anche nel mondo del calcio e del rugby dove viene utilizzato per monitorare i movimenti dei giocatori in campo. I moderni ricevitori GPS si sono notevolmente diffusi anche grazie a dei costi molto contenuti. Un normale strumento GPS è un dispositivo portatile che incorpora un ricevitore GPS, uno schermo LCD, un altoparlante (opzionale), un processore che esegue le istruzioni fornite da un sistema operativo (proprietario o

opensource) ed una memoria che può essere interna al dispositivo o esterna (schede SD) che contiene la cartografia (foto satellitari, ortofoto, mappe topografiche).

Figura b1.2 - Strumenti gps (tratto da: http://www.surveysoft.it/blog/ e www.tomtom.com;)

Come precedentemente accennato, dato l'abbattimento dei costi dei ricevitori, molte case produttrici di smartphone ne hanno inserito uno all'interno dei loro prodotti. Negli smartphone viene utilizzata un sistema detto Assisted – GPS o A-GPS che serve a evitare un inutile dispendio di risorse hardware e energetiche del dispositivo cellulare in quanto, grazie appunto a questo sistema, vengono fatti pervenire al ricevitore, attraverso la rete di telefonia mobile, solo i segnali dei satelliti in quel momento visibili alla cella a cui l'utente è agganciato. In questo modo un telefono con questa tecnologia riesce a trovare in pochi secondi la sua posizione. Un recente articolo (Overeem et alii, 2013) mostra come sia possibile relazionare la temperatura della batteria dello smartphone misurata costantemente dal suo sensore con la temperatura dell'aria esterna attraverso una semplice applicazione denominata Open Signal. Conoscere la temperatura dell'aria delle aree urbane è di fondamentale importanza per la pianificazione energetica e per la meteorologia ed oltremodo indispensabili per studiare gli effetti negativi dell'isola di calore sull'uomo. E' proprio grazie al sensore GNSS (Global Navigation Satellite System per approfondimenti vedi par. 2.4) del telefono che questa informazione viene georiferita ed utilizzata per una mappatura mondiale della temperature dell'aria (lo studio è stato per ora condotto su 8 grandi metropoli mondiali). In una recente conferenza dell'American Meteorological Society svoltasi a Seattle nell'Agosto del 2013, è stato riportato uno studio (Mass & Madaus, 2013) secondo il quale la mappatura tramite smartphone della pressione atmosferica misurata attraverso opportuni sensori, potrebbe costituire un supporto fondamentale per le previsioni meteo a scala mondiale. Il formato .gpx o GPS eXchange format è un formato basato sul linguaggio xml nato per il trasferimento di dati GPS tra applicazioni software. Questo formato viene praticamente scritto e letto da qualsiasi dispositivo fornito di

tecnologia GPS. Esso è un normale file di testo in cui vengono annotate le coordinate x e y dei punti (latitudine e longitudine o coordinate planimetriche), il valore della quota ellissoidica riferita all'ellissoide wgs84 (vedi cap.2), l'ora e la data di acquisizione. Ciò permette di registrare dei punti di riferimento su mappa specificando per ognuno di essi un identificativo delle varie posizioni. Vengono inoltre create delle tracce che consistono in punti registrati automaticamente dal dispositivo ad intervalli di tempo regolari, tracce poi tradotte in elementi geometrici di tipo lineare.

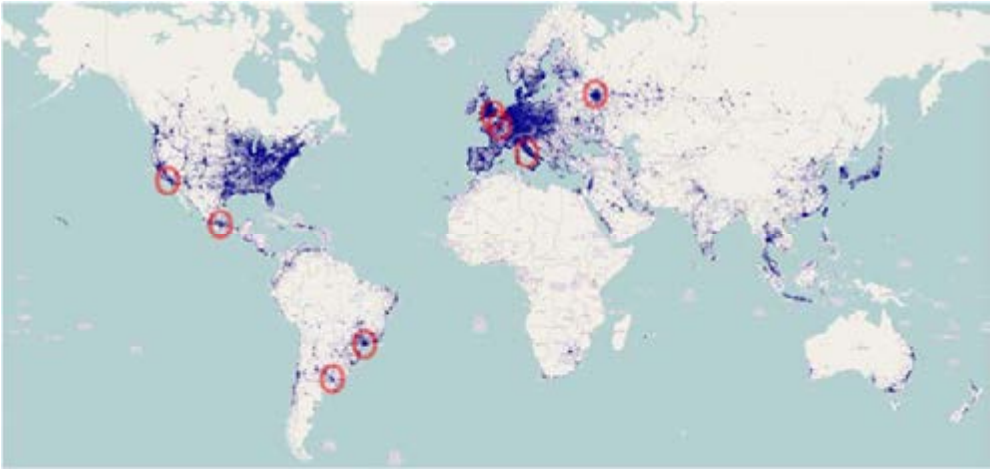


Figura b1.3 - I punti indicano le posizioni delle temperature rilevate tramite gli smartphone; gli ovali racchiudono le otto metropoli (Londra, Buenos Aires, Parigi, Berlino, Mosca, Los Angeles, Città del Messico, San Paolo) sulle quali è stato condotto lo studio (immagine tratta da Crowdsourcing urban air temperatures from smartphone battery temperatures, Overeem et alii, 2013)

Figura b1.4 - Tecnologia gps negli smartphone

La figura b1.5 mostra appunto come vengono registrati i dati all'interno del file .gpx. I dati a disposizione permettono inoltre di poter tracciare il profilo altimetrico della traccia, ma anche di rapportare quest'ultima al tempo impiegato a percorrerla.

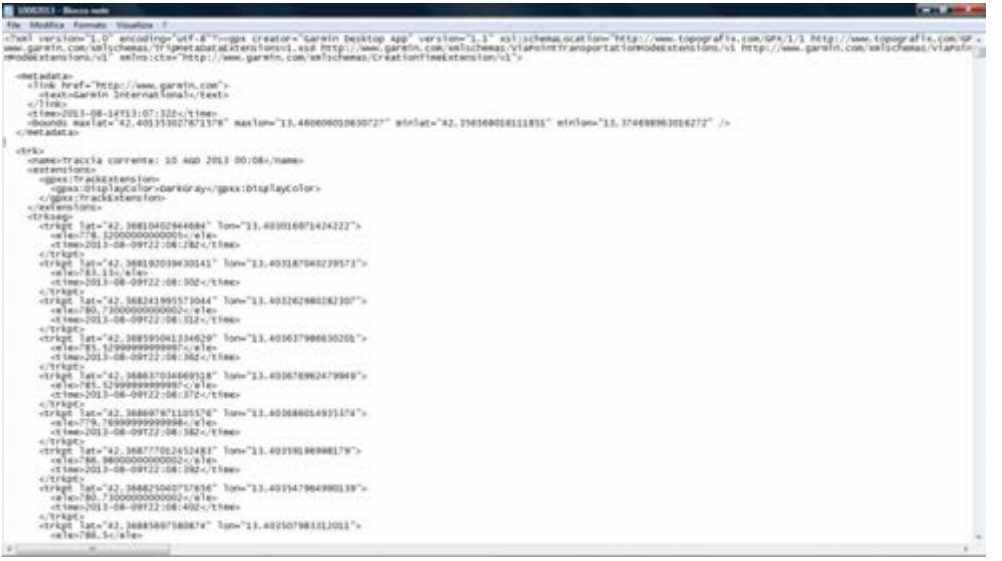


Figura b1.5 - Contenuto di una traccia .gpx

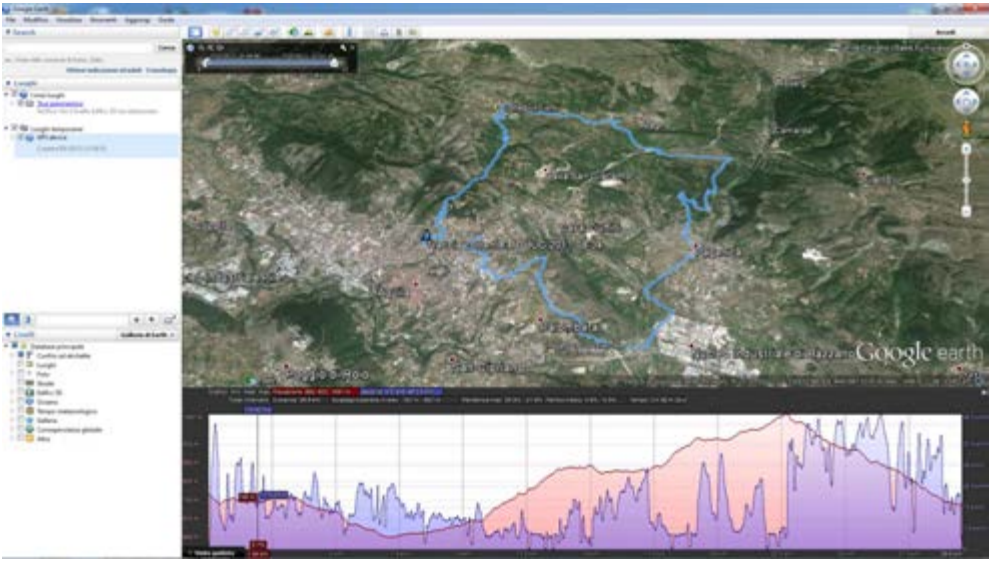


Figura b1.6 - Visualizzazione della traccia su foto satellitari di google earth con QGIS

L'interoperabilità tra questi strumenti e i software GIS è garantita attraverso dei plugin che permettono di dialogare con il ricevitore GPS sia in input che in output. In pratica è possibile importare le tracce che lo strumento produce, ma si possono anche convertire i dati geografici vettoriali (punti e linee) da un qualsiasi formato a quello .gpx e inserirli nello strumento. Questo permette appunto di ottenere dei percorsi (si pensi ad esempio a quelli per uso escursionistico, al cicloturismo o alle attività di trekking) direttamente sul software GIS su basi cartografiche aggiornate e visualizzarla poi sul nostro strumento GPS o smartphone che le gestisce attraverso opportune applicazioni. La fig. b1.6 mostra una traccia gpx aperta con il software Google earth. Il programma permette di elaborare, sulla scorta delle informazioni presenti nel file, un profilo altimetrico e un grafico delle velocità con le quali si è effettuato il percorso. E' inoltre possibile muoversi con il puntatore lungo il grafico ed il programma restituisce automaticamente ed in continuo la posizione esatta di quel punto insieme ad alcune informazioni aggiuntive, quali ad esempio la pendenza (espressa in percentuale), la quota (in metri sul livello del mare) il verso di percorrenza della stessa e la distanza del punto dall'inizio della registrazione della traccia. L'informazione geografica sotto forma di coppia di coordinate geografiche viene spesso associata anche alle immagini. In particolare il formato di file .EXIF (Exchangeable Image File Format), una specifica per il formato di file immagine utilizzato nelle fotocamere digitali, contiene tutta una serie di tag di metadati (data e ora della foto, impostazioni della fotocamera, miniature per visualizzare l'anteprima della foto sul display) tra cui anche le coordinate geografiche del luogo in cui è stata scattata se alla fotocamera è associato anche un ricevitore GPS, cosa oggi abbastanza comune negli smartphone. L'informazione geografica rilevata in questo caso permette quindi di associare l'immagine al luogo dove è stata scattata individuato attraverso le sue coordinate, quello che in gergo tecnico viene comunemente definito Geotag. I software GIS sono in grado di leggere le informazioni contenute in questo file tramite appositi tools, mentre recentemente sono state sviluppate alcune applicazioni per cellulari che, in funzione dell'informazione contenuta in questo file, creano database di immagini fotografiche georeferenziate le quali, a loro volta, tramite collegamenti ipertestuali, riescono a dialogare con programmi quali Google earth o Google maps.

1.6. Modello dati raster

In questo modello la realtà viene rappresentata attraverso delle immagini che sono formate da un insieme di celle solitamente a maglia quadrata (possono anche essere di forma rettangolare) distribuite su righe e colonne. La primitiva fondamentale è il pixel (abbreviazione di picture elements).

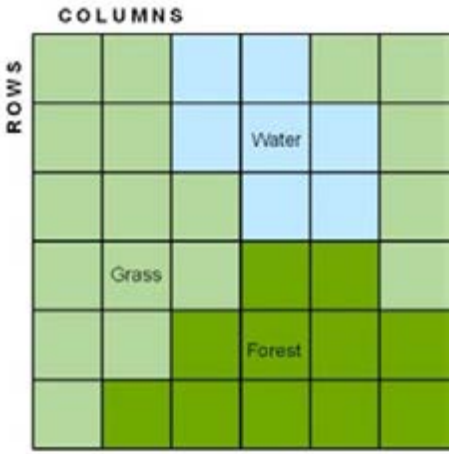


Figura 1.12 - Struttura del dato raster

Ad ognuno di questi pixel è associato un valore alfanumerico che ne rappresenta l'unico attributo (ad essi può infatti essere associata una sola informazione di tipo alfanumerico). Il modello di dati raster viene utilizzato per la rappresentazione dei fenomeni che variano in maniera continua nello spazio come ad esempio l'altimetria, l'esposizione dei versanti, la concentrazione di un inquinante o la morfologia di un dato territorio. Al contrario del modello vettoriale la cui struttura dati è di tipo object oriented, quella del modello raster è di tipo field oriented in quanto la realtà viene rappresentata attraverso una grigliatura a maglie regolari (GRID), dove ogni cella descrive una precisa porzione del territorio esaminato. Un parametro molto importante nel modello raster è la risoluzione che è di due tipi: geometrica e tematica. La risoluzione geometrica esprime la dimensione del pixel, più questa è piccola maggiore sarà la risoluzione del raster. Essa può essere misurata sia in dpi (dots for inch, cioè punti per pollice) o anche attraverso le dimensioni della cella che lo costituisce espressa in unità di misura del terreno. Ad esempio avere un raster con risoluzione di 100 m vuol dire che il valore dell'attributo viene riferito ad un territorio di 10000 metri quadrati; se la risoluzione del raster è di 10 m il valore dell'attributo si riferirà invece ad una porzione di territorio di 100 metri quadrati (fig. 1.12). La risoluzione tematica viene espressa in bit per pixel. In funzione del numero di canali (o bande) e del numero di bit presenti in esso, si ottengono i valori (colori) del raster**:**

1 bit = 2 colori;

2 bit = 2^2 colori (4);

3 bit = 2^3 colori (8);

4 bit = 2^4 colori (16);

8 bit = 2^8 colori (256);

16 bit = 2^{16} colori (65536);

24 bit = 2^{24} colori (16777216);

La risoluzione tematica rappresenta quindi la componente descrittiva del pixel, il cui valore massimo (intero o reale) è funzione del numero di bit utilizzati per descriverlo. La risoluzione tematica nelle immagini da satellite, con cui spesso ci si trova a lavorare, deriva dalla sovrapposizione di più matrici raster che analizzano la stessa porzione di terreno sulla base della registrazione dello spettro elettromagnetico riflesso (o emesso) da un corpo sulla superficie terrestre analizzato su parti diverse dello spettro stesso. Un tipico esempio è costituito dalle immagini RGB (Red Green Blue) che restituiscono il territorio analizzato con i colori reali.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 1.13 - Risoluzione tematica ad 1 bit (2 valori) a sx e risoluzione tematica ad 8 bit (256 valori) a dx

Tecnicamente l'immagine è costituita da tre matrici di pixel omologhi, ciascuna relativa ad uno dei tre colori fondamentali, con una risoluzione di 8 bit per pixel per matrice e quindi di 24 bit totali ($2^8*2^8*2^8 = 2^{24} = 16777216$ valori); il valore (colore) finale assunto da un determinato pixel è dato dalla somma dei valori di quello stesso pixel in ognuna delle tre matrici. Come accade per il modello vettoriale, anche gli oggetti geografici (le celle che costituiscono la matrice) del modello raster occupano una ben precisa posizione nello spazio definita dai due sistemi di riferimento che ogni dato di questo tipo deve obbligatoriamente contenere. Il primo sistema di riferimento è quello interno della matrice stessa e assegna per ogni pixel un numero di riga ed uno di colonna (identificativo della cella); il secondo invece tiene conto delle coordinate di un ben preciso punto (il vertice in alto a sinistra) che, tramite un algoritmo, colloca il raster nella giusta posizione dello spazio rispetto ad un sistema di riferimento (vedi nel capitolo 2 l'operazione di georeferenziazione).Generalmente possiamo distinguere tre tipologie di formato raster: il formato grafico (Raster graphic) che comprende generalmente immagini che derivano dalla scansione di documenti di natura cartografica (tavolette IGM, cartografia catastale, ecc.); il

formato immagine (Raster image) come ad esempio le ortofoto o le immagini satellitari, dove il valore assunto da ciascun pixel deriva dalla registrazione dello spettro elettromagnetico emesso o riflesso dagli elementi che sono contenuti in esso; il formato Grid o matrix è invece una matrice i cui pixel contengono i valori, calcolati o misurati, di un determinato fenomeno geografico (altimetria, temperatura, concentrazione di un inquinante, ecc…). La differenza sostanziale delle tre tipologie è quindi dovuta al metodo utilizzato per assegnare il valore al pixel, in quanto nel raster graphic questo viene assegnato sulla base di ciò che registra lo scanner, nel raster image il valore è radiometrico in funzione delle caratteristiche proprie degli

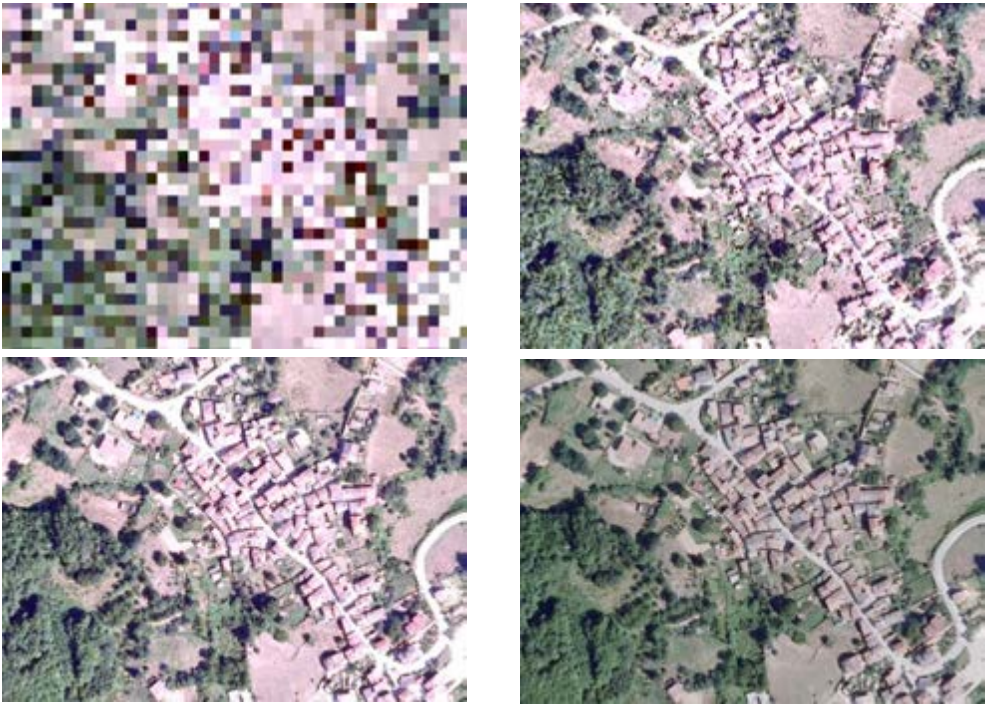


Figura 1.14 - Confronto di una stessa immagine con risoluzione geometrica diversa (In alto a sx 10 m; in alto a dx 2 m; in basso a sx 1 m ed in basso a dx 0,2 m).

elementi geografici e solitamente deriva dalla combinazione di valori contenuti su più bande. I sensori che registrano questi valori radiometrici vengono di solito posti su aerei, droni o satelliti. Nel formato Grid il valore non tiene conto della radianza elettromagnetica, ma viene misurato o calcolato attraverso opportuni metodi di interpolazione matematica. Nel modello raster non sono presenti relazioni esplicite (direzione, prossimità, topologia come nel modello vettoriale) poiché ogni pixel è un unità autonoma rispetto agli altri che non ha in alcun modo "conoscenza" di ciò che

gli sta intorno. Le relazioni vengono implicitamente mantenute nella struttura interna di posizionamento di ciascun pixel costituente una data immagine e quindi una porzione reale di un territorio. La figura 1.15 fissa alcuni concetti fondamentali. I valori delta x e delta y sono identici e costituiscono la già definita risoluzione geometrica (anche detta passo); NC ed NR stanno rispettivamente per numero di colonne e numero di righe. Ogni raster viene definito da questi sei valori: Xmin; Ymin; NC e NR; Δx e Δy. Ogni cella ha 8 confini di cui 4 nelle direzioni cardinali (d_1; d_3; d_5; d_7) e 4 nelle diagonali (d_2; d_4; d_6; d_8) e viene identificata attraverso la sua posizione nella matrice ed il passo di questa. La posizione di ogni pixel viene quindi calcolata come segue:

$$\text{Coordinata X} = \text{Xmin} + (\text{NC} * \Delta x);$$

$$\text{Coordinata Y} = \text{Ymin} + (\text{NR} * \Delta y);$$

Questo è appunto il sistema di posizionamento interno e riguarda la posizione di ciascun pixel all'interno di una qualsiasi tipologia di raster; l'operazione di georeferenziazione, come detto trattata nel capitolo 2, colloca ogni pixel nella giusta posizione dello spazio rispetto ad un determinato sistema di riferimento.

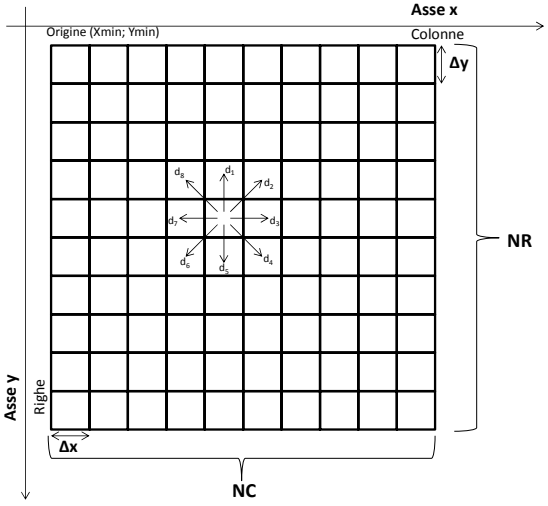


Figura 1.15 - Struttura di una matrice raster

Come si vedrà, a differenza del modello vettoriale, in quello raster non vengono scritte nell'archivio le coordinate dei singoli pixel. Di seguito vengono illustrati i principali formati di file raster utilizzati nei software GIS.

.TIFF (Tagged Image File Format): è un formato immagine sviluppato da Aldus ed è molto diffuso. Permette di memorizzare immagini di dimensioni notevoli (anche 4 GB) senza perdere in qualità. Supporta i metodi di colore sia bianco e nero sia nei colori reali (RGB, CMYK, CIELab) fino ad un massimo di 32 bit per pixel. Le informazioni spaziali di georeferenziazione sono contenute in un world file con estensione .tfw

.JPEG (Joint Photographic Experts Group): rappresenta il primo standard internazionale di compressione dell'immagine digitale. I metodi di colore supportati sono RGB, CMYK e scala di grigio. In questo formato l'immagine viene trasformata in una sequenza di byte e successivamente compresso o attraverso un metodo base detto DCT (trasformata discreta del coseno), di tipo lossy (con perdita di informazione) o con un metodo predittivo con compressione di tipo lossless senza perdita di informazione. Il file viene decompresso quando viene aperto. Le informazioni spaziali di georeferenziazione sono contenute in un world file con estensione .jpw.

.ECW (Enhanced Compressed Wavelet) è un formato sviluppato e diffuso dalla ErMapper, ampiamente utilizzato nel settore della geomatica. E' usato principalmente per la gestione di dati geospaziali come immagini satellitari, ortofoto e foto aeree. Permette inoltre di ridurre notevolmente le dimensioni delle immagini raster che vengono comunque visualizzate immediatamente senza i tempi di attesa dovuti alla decompressione del dato. Le informazioni di proiezione cartografica possono essere integrate già nel formato del file.

.GeoTIFF (Geographic Tagged Image File Format): il format venne creato da Niles Ritter al Jet Propulsional Laboratory della NASA e a differenza del file .tiff è in grado di incorporare i riferimenti geografici all'interno dell'immagine, attraverso l'uso di speciali etichette, o tag, per definire i metadati geografici.

.BMP (Bit MaP): è un formato utilizzato per la rappresentazione di immagini raster su sistemi operativi Windows. La lettura e la scrittura del file sono molto veloci e non comportano perdita di qualità dei dati anche se le dimensioni del file sono maggiori rispetto a altri formati. Si è diffuso molto negli anni '90 proprio grazie a Windows ed è inoltre un formato libero per questo molto diffuso anche nei software di grafica.

.GIF (Graphic Interchange Format): è un formato di file grafico bitmap sviluppato da Compuserve. E' spesso utilizzato per visualizzare immagini sul web in scala di colore. Viene comunemente compresso con tecnica LZW, un algoritmo abbastanza rapido anche in fase di decompressione. L'immagine può contenere da 2 a 256 colori il che si traduce sostanzialmente in una riduzione del peso dell'immagine.

.ASC (American Standard Code for information interchange): è un sistema di codifica dei caratteri a 7 bit (da 0 a 127), che viene utilizzato spesso come formato di interscambio di dati altimetrici (DEM, DSM, DTM).

.DTED (Digital Terrain Elevation Data): è uno standard di dati digitali e consiste in una matrice recante valori di quota del terreno. I valori di quota riportati in questo file fanno riferimento all'EGM96 (Earth Gravitational Model 1996, geoide) e non all'ellissoide WGS84. Supporta tutta una serie di analisi 3D e, in base al tipo di livello, supporta una diversa risoluzione geometrica: il livello 0 (.dt0) ha una risoluzione di 900 m; il livello 1 (.dt1) di 90 metri e il livello 2 (.dt2) di 30 metri.

Questi e molti altri formati di dati di tipo raster vettoriale vengono letti e scritti dai software open source grazie all'integrazione in essi della Geospatial Data Abstraction Library o GDAL, una libreria rilasciata dalla Open Source Geospatial Foundation con licenza libera, impiegata non solo nei software di tipo open source ma anche quelli proprietari. E' di fondamentale importanza in quanto garantisce il passaggio da un formato ad un altro, consentendo l'interoperabilità del dato stesso che è di importanza cruciale nell'ambito di un sistema informativo geografico.

1.7. Differenze tra modello raster e modello vettoriale

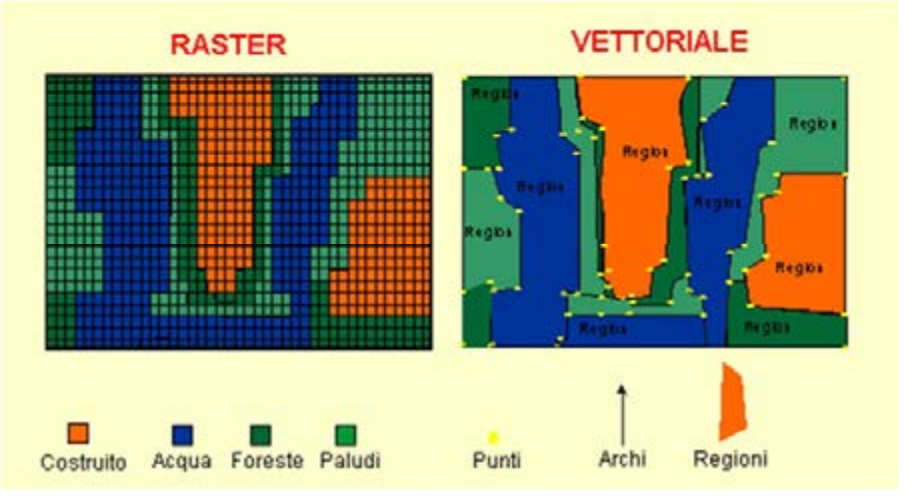


Figura 1.16 - Confronto tra un dato in formato raster con lo stesso in formato vettoriale

Entrambi i modelli di dati vengono utilizzati dal software GIS per la rappresentazione della realtà e, come specificato in precedenza, il modello vettoriale ben si presta per analizzare fenomeni che variano in maniera discreta sul territorio, mentre il modello raster è più utilizzato per fenomeni che invece variano in maniera continua. E' sempre comunque possibile convertire un dato geografico vettoriale in

uno raster e viceversa grazie agli strumenti messi a disposizione dai software (vedi par. 3.10.1 e 3.10.2). I dati geografici di tipo raster presentano una semplice struttura dove l'oggetto viene rappresentato da uno o più pixel, hanno un elevata compatibilità con i dati telerilevati e acquisiti da scanner rendendo possibili confronti fra vari strati (overlay). Inoltre le tecniche di analisi spaziale sono molto più semplici grazie alla map algebra (vedi par. 3.10). Di contro nel modello raster non è possibile utilizzare e rappresentare le relazioni spaziali e topologiche e l'output grafico (fig.1.16) è funzione della sua risoluzione geometrica. Da ciò scaturisce una maggiore difficoltà nella rappresentazione delle entità territoriali e, essendo il modello dei dati molto meno compatto rispetto al modello vettoriale, richiede grandi quantità di memoria di massa per l'archiviazione dei dati e di metodi di compattazione delle informazioni. Tra queste quelle più utilizzate sono la codifica RLE (Run Lenght Encoding) e la quad – tree. La Run Lenght Encoding immagazzina i pixel della matrice per linee memorizzando da sinistra a destra all'interno di queste la sequenza dei pixel uguali, generando così una notevole riduzione di spazio di archiviazione. Il metodo quad – tree, consiste nel suddividere la matrice in quadrati finché ognuno di essi non contiene lo stesso valore di pixel. Naturalmente il numero di suddivisione della griglia dipende dalle dimensioni e dalla complessità della stessa. Il modello vettoriale rappresenta gli oggetti attraverso le primitive geometriche (punti, linee e poligoni) facilmente editabili associando ad ogni entità territoriale tutta una serie di attributi alfanumerici. La posizione spaziale degli oggetti viene garantita dalla memorizzazione delle coordinate dei punti che costituiscono l'oggetto stesso; questo modo di rappresentare gli elementi territoriali è molto più aderente alla realtà per cui l'output grafico è molto più simile alle carte disegnate a mano. Le misure di lunghezze ed aree sono molto più accurate, come facilmente intuibile, rispetto al modello raster ed inoltre nel modello vettoriale le relazioni topologiche sono prontamente mantenute per cui è possibile effettuare analisi spaziali anche complesse con maggiore facilità. Tutto questo comporta una struttura dei dati più articolata, una maggiore difficoltà nelle operazioni di overlay in quanto, al contrario della map algebra dove le operazioni di overlay avvengono tra i pixel omologhi di due o più matrici, nei dati vettoriali vengono gestite attraverso l'implementazione di una serie di geoalgoritmi specifici per ogni funzione. I dati vettoriali hanno inoltre una minore compatibilità con i dati telerilevati. Si deve anche aggiungere che l'acquisizione dei dati vettoriali attraverso le operazioni di digitalizzazione e formazione del database primario, anche se attualmente possono avvenire in modalità semi-automatica, possono essere molto onerose sia in termini di tempi che di costi.

1.8. Il modello 3D nel gis

Nella cartografia tradizionale cartacea, la terza dimensione viene rappresentata tramite l'utilizzo di punti quotati e di isoipse, cioè linee che uniscono i punti che si

trovano alla stessa quota. L'utilizzo dello stereoscopio nella fotogrammetria ha permesso di visualizzare coppie di ortofoto similari creando nel fotointerprete l'illusione della tridimensionalità. Negli ultimi anni la domanda di informazione geografica tridimensionale è notevolmente cresciuta anche per via della fondamentale importanza che dati di questa natura rappresentano nell'ambito di studi paesaggistici, delle telecomunicazioni, dell'urbanistica anche attraverso la creazione di possibili scenari dovuti all'inserimento di particolari opere antropiche nell'ambiente (si pensi ad esempio alle pale eoliche, edifici multipiano o ripetitori). Anche la tecnologia si è evoluta di conseguenza, l'utilizzo dei sistemi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o anche detti APR (Aereomobili a Pilotaggio Remoto) o più comunemente droni per la produzione di nuvole di punti e conseguentemente di modelli digitali del terreno sta diventando ormai una tecnica abbastanza consolidata nel campo dell'informazione geografica tridimensionale e del rilievo topografico (vedi box 3.2.). I modelli numerici dell'elevazione rappresentano un importante strumento di analisi (come ad esempio calcolo di pendenze, zone d'ombra e esposizione dei versanti) e di visualizzazione di un GIS. I moderni software GIS, sia proprietari che open source, gestiscono l'informazione geografica tridimensionale con l'utilizzo di formati raster o TIN (Triangulated Irregular Network). Entrambi i modelli hanno naturalmente bisogno di dati geografici (puntuali o lineari) riportanti i valori di quota dell'area interessata. Esistono vari metodi per il reperimento dei dati la cui scelta dipende dalla grandezza della superficie da analizzare, dallo strumento a disposizione e dal metodo di interpolazione matematico utilizzato per la creazione del modello tridimensionale. Il rilievo topografico classico, eseguito con il sistema del GPS differenziale, è perfetto per aree di ridotte dimensioni riuscendo a raggiungere anche posti più impervi, ma per ottenere dei modelli tridimensionali accurati c'è bisogno di un impegno e di una densità di misurazioni abbastanza elevate. E' possibile anche utilizzare le informazioni altimetriche presenti sulla cartografia classica, come ad esempio le tavolette al 25.000 dell'IGM. In questo caso si tratta di digitalizzare a video le curve di livello presenti su queste cartografie naturalmente dopo averle scansite e georiferite. Si possono così coprire vaste, ma dove sono presenti zone pianeggianti il numero delle isoipse diminuisce e ciò incide sui parametri morfometrici del modello tridimensionale risultante. Inoltre va evidenziato come la risoluzione geometrica del modello tridimensionale raster derivato da rilievi di questo tipo risenta della scala di acquisizione del dato sulla mappa cartacea. A titolo di esempio la sopracitata cartografia IGM in scala 1:25.000 proviene da rilievi condotti ad una scala 1:20.000 e di questo va tenuto debito conto nel momento della creazione del modello 3D, in particolare nell'assegnare la risoluzione geometrica al pixel del raster che lo costituisce.

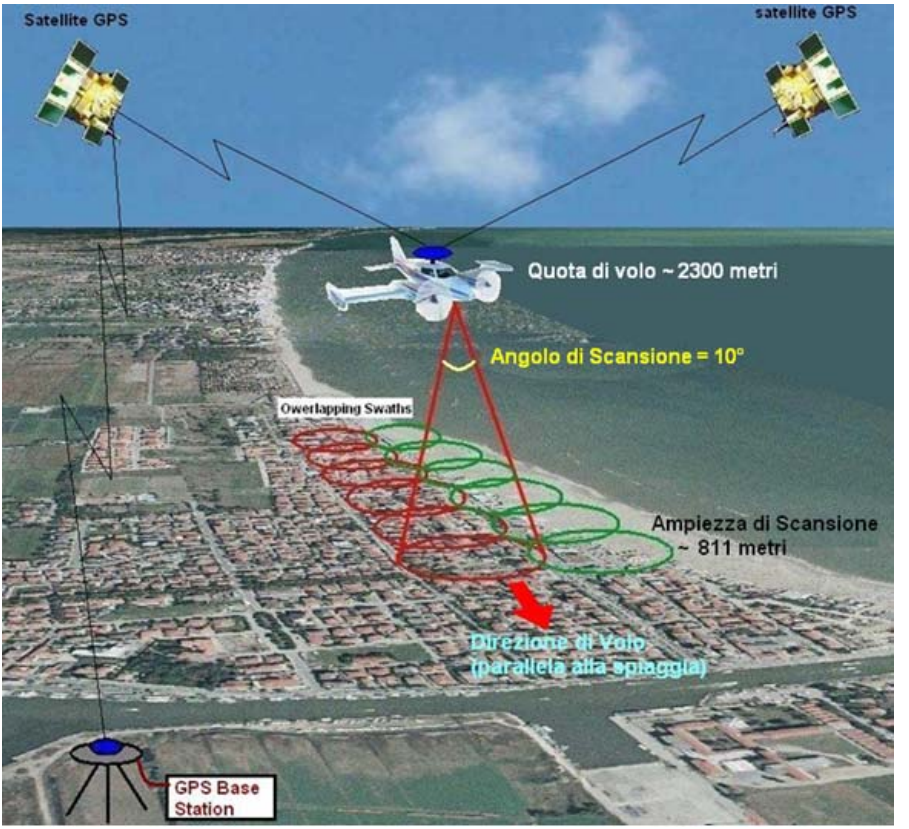


Figura 1.17 - Rilievo con sensore LIDAR (immagine tratta da: http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/il-rilievo-lidar)

Negli ultimi anni si sono sempre più diffusi ed utilizzati nuovi sensori che hanno permesso di migliorare accuratezza e dettaglio dei modelli tridimensionali che ne derivano. Questi sensori vengono comunemente montati su aeromobili o satelliti ma anche droni ed il principio del loro funzionamento consiste nel misurare la distanza dei punti della superficie terrestre, analizzando i segnali elettromagnetici di ritorno generati da una sorgente collegata al sensore. L'analisi della misura è funzione anche della posizione del sensore e di tutti i parametri del suo assetto (fig.1.17). I vantaggi nell'uso di queste tecnologie sono notevoli: l'accuratezza delle misure è elevatissima (ordine dei centimetri) ed è possibile rilevare qualsiasi oggetto sulla superficie indagata (elementi urbani ed infrastrutturali, coltre vegetativa…). E' possibile indagare aree abbastanza vaste in tempi molto brevi e di ripetere così le misure nel tempo. Sensori di questo tipo sono ad esempio il LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) ed il SAR (Synthetic Aperture Radar). La tecnologia SAR è stata sviluppata dal 1951, ma il suo maggiore utilizzo

è iniziato a partire dalla fine degli anni ’80 quando venne usata sui vari satelliti e sulle navette Shuttle inviati nello spazio. Un recente progetto internazionale basato su queste tecnologie è stato lo Shuttle Radar Topography Mission guidato dalla U.S. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e dalla U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) con il quale è stato ottenuto un modello digitale di elevazione su scala quasi globale (da 56° S ai 60° N di latitudine) con una risoluzione geometrica di 30 metri. Il LIDAR è un laser scanner composto da un ricevitore ed un trasmettitore e da un sistema di acquisizione dati montato solitamente su un mezzo aereo. I punti ottenuti con rilievi di questo tipo hanno associato una coppia di coordinate geografiche (relative ad un opportuno sistema di riferimento) ed il valore di quota che viene calcolato in funzione del tempo intercorso tra l’emissione e la riflessione dell’impulso laser con la relativa intensità di segnale di quest’ultimo. Il problema maggiore nell’uso di queste tecnologie è legato ai loro alti costi ed inoltre i dati ottenuti, prima di poter essere utilizzati, necessitano di una elaborazione abbastanza complessa (anche se in buona parte automatica) che deve essere obbligatoriamente gestita da personale esperto. La restituzione fotogrammetrica di stereofoto (aeree o satellitari) può rappresentare un ulteriore fonte di dati la cui acquisizione è basata sul principio della parallasse. L’utilizzo di questo metodo di raccolta dati è fortemente influenzato dalle capacità dell’operatore e dalla sua esperienza (possibilità di errori nella fotointerpretazione) ed inoltre nelle aree ricoperte da fitta vegetazione diventa difficile ricavare la quota del terreno sottostante. Gli aereomobili a pilotaggio remoto rappresentano un ottimo compromesso qualità/costi per acquisire dati su aree abbastanza ampie in tempi molto brevi. L’utilizzo di questa tecnologia sta acquisendo una sempre maggiore attenzione da parte dei professionisti ed è ampiamente utilizzata in molti settori che hanno a che fare con la modellazione tridimensionale e l’analisi territoriale. Ogni metodo quindi utilizzato per la rilevazione dell’informazione relativa alla quota presenta i suoi vantaggi e svantaggi che devono essere presi ben in considerazione, insieme ad una analisi dei costi e dei benefici, ogni qualvolta ci si trova di fronte a progetti volti a studiare la morfologia di un territorio. I dati così rilevati, punti quotati e/o isoipse, vengono poi elaborati dal software GIS per produrre modelli tridimensionali quali TIN e DEM. L’acronimo TIN sta per Triangulated Irregular Network, ovvero rete irregolare di triangoli, che restituisce la tridimensionalità di una data area attraverso una serie di triangoli aventi vertici in comune. Il modello TIN nasce negli anni ’70 e rappresenta la morfologia di un terreno attraverso una serie di triangoli piani. Le componenti fondamentali del TIN sono:

- Nodi: punti quotati con coordinate x, y, z (possono essere usate anche le isoipse in quanto polilinee costituite da più punti ognuno dei quali ha proprie coordinate x,y,z);
- Triangoli: vengono ottenuti tramite la connessione di 3 nodi;

- Bordi: lati del triangolo ottenuto dalla connessione di 2 nodi.

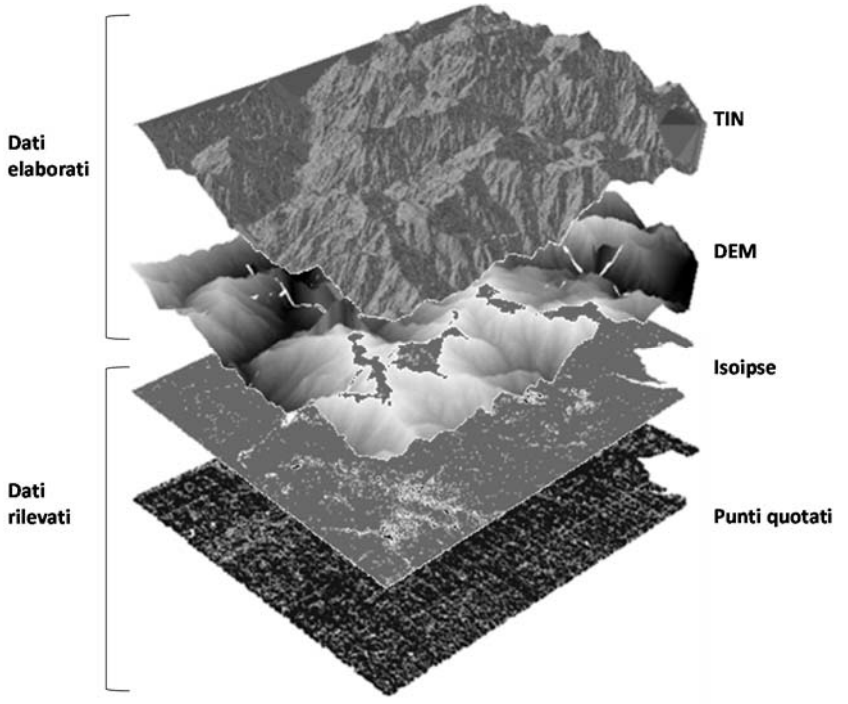


Figura 1.18 - Dati rilevati ed elaborazioni 3D nei software GIS

Geometricamente i triangoli vengono calcolati attraverso il processo della triangolazione di Delauney, un processo matematico che rispetta i seguenti parametri:

- Per tre punti passa una sola circonferenza;
- Massimizzazione del più piccolo tra gli angoli interni dei triangoli, che quindi risultano essere il più possibile equiangoli;
- La triangolazione è indipendente dall'ordine in cui i punti vengono processati.

I triangoli così ottenuti rappresentano l'andamento morfologico di una certa porzione di territorio per cui, ognuno di essi, avrà una ben precisa orientazione nello spazio. Questo fa si che all'interno dello strato informativo TIN, oltre alla altimetria che varierà per interpolazione lineare lungo tutta la superficie del triangolo, sono presenti anche informazioni relative alla sua pendenza ed alla sua esposizione rispetto ai punti cardinali e ad una altezza del sole all'orizzonte. A livello topologico i modelli TIN

vengono di norma memorizzati attraverso le coordinate dei 3 nodi che lo costituiscono (i nodi in comune vengono memorizzati una sola volta), il numero di riferimento del triangolo e dei 3 ad esso adiacenti (due triangoli confinanti possono avere uno ed un solo bordo/lato in comune).

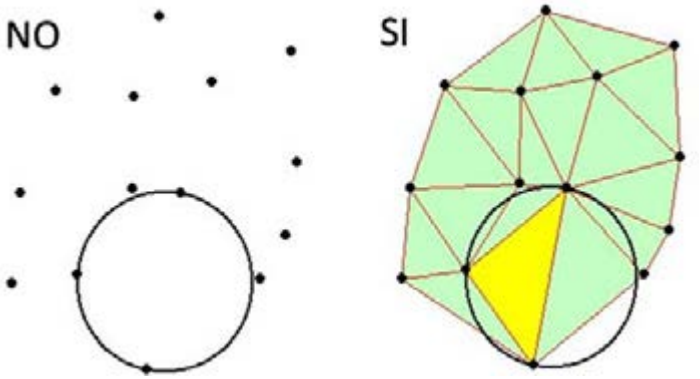


Figura 1.19 - Principi della triangolazione di Delauney nel modello TIN

L'altro modello utilizzato nel GIS per la tridimensionalità è un raster di tipo matrice che, a seconda del riferimento del valore di quota rappresentato, prende il nome di DEM, DTM o DSM. Il DEM (Digital Elevation Model) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di una certa superficie in formato digitale. Occorre quindi specificare quale sia la superficie rappresentata e quindi, per uno stesso territorio, può esistere un DEM della superficie della vegetazione, un DEM della superficie degli edifici, un DEM della superficie del suolo terrestre e così via. Il DTM (Digital Terrain Model) è un particolare tipo di DEM in quanto in esso sono riportati valori di quota relativi al piano campagna, cioè alla superficie nuda di terreno. Il DSM (Digital Surface Model) invece tiene conto di tutti gli elementi presenti nel territorio e quindi della reale condizione altimetrica di questo. Nel DSM infatti vengono considerati anche gli edifici, la vegetazione, le infrastrutture (come ad esempio i ponti o viadotti) e altre forme di tipo antropico (non ci sono operazioni di filtraggio). Un progetto avviato da qualche anno dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, d'intesa con le regioni, (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale L. 179/2002) sta portando alla realizzazione di un database nazionale utilizzando rilievi LiDAR e interferometrici. I DEM prodotti sono consultabili sul sito del geoportale nazionale ed integrabili in un progetto GIS attraverso i servizi WMS (vedi par. 3.5). Entrambi i modelli (TIN e DEM) hanno origine, come abbiamo visto, da una serie di punti irregolarmente distribuiti con valore di quota, ma, mentre nel TIN la triangolazione di Delauney non modifica il valore di quota del nodo, il passaggio a una griglia a maglie regolari comporta una serie di interpolazioni che possono alterare in qualche misura il dato di partenza. Il

DEM è esso stesso una matrice a maglie regolari avente una certa risoluzione geometrica e tematica, per cui l'originaria distribuzione dei punti irregolarmente distribuiti deve essere convertita in una maglia di celle con passo costante. Ciò avviene attraverso l'uso di interpolatori spaziali, algoritmi matematici la cui scelta influenza poi il risultato finale.

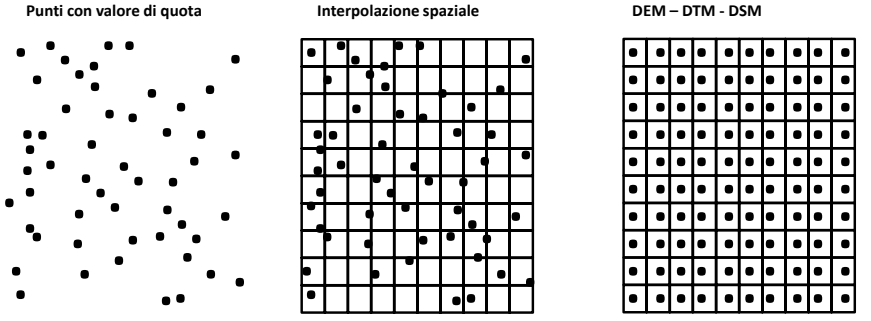


Figura 1.20 - Processo di creazione di un DEM, DTM o DSM a partire da una serie di punti con valori di quota

Dalla figura precedente è facilmente intuibile come sia fondamentale, nella creazione di un modello di elevazione digitale di questa tipologia, la risoluzione in quanto ognuna delle celle risultanti potrà contenere un unico valore z di quota. La risoluzione va definita in funzione della scala di acquisizione e del metodo utilizzato per ottenere i valori di quota. I metodi di interpolazione che comunemente vengono utilizzati sono:

- Inverse Distance Weighted (IDW);
- Natural Neighbour Interpolation;
- Kriging (Tecniche geostatistiche);
- Splines (Funzioni radiali di base).

Il risultato finale di ognuno di questi metodi è una griglia a maglie regolari ognuna delle quali ha una coppia di coordinate spaziali *x* e *y* e un valore *z* di quota. I modelli descritti vengono utilizzati non solo per l'analisi altimetrica di un territorio, ma è possibile, a partire dai valori di quota, elaborare anche altri strati informativi come la pendenza, l'ombreggiamento, l'esposizione dei versanti e altri parametri che possono essere combinati per analisi più complesse (rischio idrogeologico, analisi di visibilità, ecc….). A questo punto sorge la domanda: quale scegliere tra TIN e DEM per la rappresentazione tridimensionale di un territorio? Come per il modello dati vettoriale e quello raster anche in questo caso ci sono vantaggi e svantaggi nell'uso dell'uno o dell'altro. Il modello raster ha una maggiore semplicità relativa

all'archiviazione del file, è compatibile con i dati telerilevati e la maglia regolare facilita l'elaborazione di altre informazioni. Viene inoltre utilizzato per l'ortorettifica delle foto aeree o di immagini da satellite e risulta essere più agevole relativamente alla risoluzione di problemi di natura ingegneristica e geotecnica (costruzione di dighe, infrastrutture, ecc…). Di contro la griglia a passo costante può essere inadeguata in quanto le dimensioni della cella sono sempre le stesse indipendentemente dalla natura morfologica del terreno ed inoltre i valori di quota presenti nelle celle possono derivare da interpolazione e non da rilevamento. Nel modello TIN le quote dei nodi derivano dal dato originario (la triangolazione di Delauney non modifica questi valori) e per ottenere la stessa accuratezza necessita di meno punti rispetto al DEM. Inoltre i dati sono archiviati in una struttura di tipo topologico. Risulta essere meno adatto per analisi di superficie e la sua elaborazione a partire dai dati iniziali richiede un tempo maggiore. La scelta del modello da utilizzare deve essere fatta in base alla disponibilità dei dati altimetrici di partenza, alla loro scala di acquisizione e la risoluzione da adottare, deve tener conto della morfologia dell'area da indagare (se è maggiormente pianeggiante o se si è presenza di molti rilievi) e anche dello scopo finale di utilizzo del modello in funzione delle analisi da compiere. Il modello raster qui illustrato per la rappresentazione della quota può naturalmente essere utilizzato per analizzare anche altri fenomeni, altre grandezze la cui variazione nello spazio sia continua, come ad esempio la diffusione di un inquinante, la distribuzione delle temperatura dell'aria, l'andamento del livello piezometrico di una falda e così via.

Figura 1.21 - Un modello DEM sul quale sono state inserite le relative ortofoto e gli edifici rappresentati attraverso l'estrusione della propria altezza

1.9. Il Database Geografico e parametri di qualità

Nei paragrafi precedenti è stata analizzata la natura tecnica dell'informazione geografica e le modalità utilizzate per archiviarla. Negli ultimi anni si è diffuso l'utilizzo di geodatabase, cioè di normali database di tipo relazionale che supportano alcune estensioni particolari finalizzate appunto alla gestione del dato geografico. La produzione e la consultazione del dato geografico su mappa cartacea è sempre meno diffusa in un mondo in cui l'informatica è in continua evoluzione migliorando e aumentando gli strumenti di conoscenza, di studio e di analisi delle scienze geografiche e cartografiche. Uno dei motivi che hanno portato alla nascita di queste strutture informatiche – geografiche è stato quello di poter garantire l'accesso multiutente sul database geografico, cosa che i normali file di archiviazione dei dati geografici non rendono disponibile. I database geografici sono di tipo relazionale, funzionano quindi come normali DBMS, ma la differenza sta nel tipo di dato gestito in quanto l'informazione contenuta in essi ha un ben preciso riferimento spaziale. In tal senso il linguaggio SQL, utilizzato per la gestione dei DBMS, è stato implementato con algoritmi utili all'analisi geografica territoriale. Nel Maggio del 1999 la già citata OGC (Open Geospatial Consortium) ha elaborato insieme con aziende leader del settore GIS e quelle nel campo dei database uno standard relativo ai dati geografici (OGC – SFS Open Geospatial Consortium Simple Feature Specification) divenuto riferimento per le estensioni SQL di tipo spaziale di ogni DBMS. Nel documento (portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=829) viene definito il data – type GEOMETRY e una serie di funzioni SQL per gestire, elaborare e analizzare dati di questo tipo. L'archiviazione del dato geometrico in un DBMS geografico è diversa dallo standard *de facto* dello shapefile che organizza e gestisce l'informazione sulla base di tre file (.shp, .shx, .dbf). In questo caso il documento dell'OGC offre due modi di poter rappresentare data – type geometry: uno di tipo testuale il WKT (Well Known Test) più facilmente comprensibile dalla componente umana di un GIS, ed un analogo di tipo binario il WKB (Well Known Binary) più semplice da interpretare per la componente hardware e software. Il data type geometry rappresenta gli oggetti come punti e collezioni di punti, linee e collezioni di linee, poligoni e collezioni di poligoni, collezioni di geometrie. Nel 2010 sempre l'OGC ha prodotto un altro documento dal nome Simple Features Access (http://www.opengeospatial.org/standards/sfa) diviso in due parti (Part 1: Common Architecture, Part 2: SQL Option, entrambi standard ISO19125) che integra il precedente. L'utilizzo di linguaggi standard è fondamentale per l'interoperabilità dei dati geografici, database creati con l'utilizzo di un linguaggio standard possono essere esportati da una piattaforma ad un'altra e si può accedere ad essi per via telematica. Oltre al descritto standard OGC-SFS ne esistono altri ognuno dei quali è stato creato da specifiche organizzazioni coinvolte nella trattazione dei dati geografico-territoriali:

- Comitato Europeo di Normalizzazione 287 (standard ENV);
- International Standardization Organization/Technical Committee Geographic Information-Geomatics (standard della serie 191xx);
- International Hydrographic Organization (standard S-57);
- Digital Geographic Information Working Group (standard DIGEST) (Amadio, 2012).

Il geodatabase è quindi un contenitore di tutti i tipi di dati geografici (vettoriale, raster, 3D, tabelle, topologia, metadata) il cui utilizzo viene gestito da vari tipi di relazioni e regole. Ciò comporta una notevole mole di dati all'interno di un unico geodatabase il che può tradursi anche in rallentamenti delle operazioni dei software GIS. Appunto per evitare problemi di questa natura i geodatabase utilizzano degli indici (sostanzialmente di copie di parti di dati presenti nelle varie relazioni/tabelle) che permettono di ricercare velocemente i dati. Il concetto di scala in strutture di questo tipo è relativo in quanto è naturalmente funzione della scala di acquisizione dei dati in esso contenuti, risultano essere anche multiscala qualora uno stesso dato viene acquisito con scale di dettaglio diverse (es: uso del suolo di uno stesso territorio acquisito all'1:25.000 e all'1:10.000). Oggigiorno esistono varie tipologie di geodatabase, alcune di tipo proprietario altre invece open source. Uno dei formati proprietari più conosciuti ed utilizzati è quello della ESRI che lo distingue in Personal geodatabase (dimensione massima 2 GB, database di tipo Microsoft Access), File geodatabase (su file system, pochi limiti in termini di dimensioni) e DBMS multiutente come Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM DB2 e Informix®. Tra quelli open source i più utilizzati sono ad esempio PostGIS sviluppato dalla azienda canadese Refraction con il DBMS PostGreSQL (http://postgis.net/) o SpatiaLite, uno Spatial DBMS che rappresenta appunto l'estensione spaziale di SQLite. E' una semplice libreria C costituita da moduli molto compatti ed è compatibile con molti altri DB spaziali. Richiede pochissime risorse per questo riesce a girare anche sui normali smartphone con tecnologia android o apple (Furieri A., 2012). I dati geografici hanno assunto una rilevanza di primo ordine per la gestione delle problematiche attinenti il territorio. L'uso dei GIS e degli strumenti messi a disposizione da questi potenti mezzi informatici stanno diventando sempre più imprescindibili per chi come Comuni, Province, Regioni, Stati o aziende, si trovano ad affrontare quotidianamente problematiche legate alla gestione del territorio e dei processi ad esso connessi. Appare quindi chiaro che la disponibilità di informazioni geografiche aggiornate e di qualità elevata costituiscono le fondamenta dalle quali partire per poter analizzare e costruire un idoneo set di norme e regole per una data realtà territoriale. Appunto per questo la qualità dei contenitori (geodatabase) e del contenuto (dato/informazione geografica) deve essere adeguata e funzionale allo scopo per il quale questi vengono utilizzati, per cui bisogna conoscere l'intero processo di acquisizione ed elaborazione del dato. La qualità di

un dato è parte integrante del dato stesso ed anche in questo campo esistono degli standard (serie ISO 19xxx redatta dalla ISO/TC 211 a livello europeo http://www.isotc211.org/) da seguire per la determinazione di una serie di parametri ad essa collegati. Tutte queste informazioni sono contenute nei metadati che verranno analizzati in dettaglio nel paragrafo 1.11. Osservare un fenomeno o un entità territoriale reale vuol dire analizzarle da un punto di vista geografico (posizione), temporale (intervallo di tempo o momento di osservazione) e tematico (descrizione in attributi alfanumerici). Questi parametri costituiscono una prerogativa qualitativamente importante nel momento in cui la realtà viene modellata nel GIS. L'accuratezza, cioè il grado di corrispondenza tra il dato geografico e la realtà, viene quindi analizzata negli aspetti temporali, tematici e geografici. L'accuratezza posizionale esprime la differenza tra la posizione reale di un entità territoriale ed il suo omologo rappresentato nel database; una misura utilizzata per valutare questo parametro è il Root Mean Square (RMS o errore quadratico medio) o anche lo scostamento massimo, pari alla distanza tra un punto nella cartografia numerica e il suo omologo reale. L'accuratezza tematica si riferisce alla precisione degli attributi quantitativi e qualitativi dell'oggetto geografico e le loro relazioni e classificazioni rispetto ai suoi parametri reali. La frequenza di aggiornamento del database influisce sull'accuratezza temporale dell'informazione geografica, che indica appunto la differenza tra le variazioni temporali del dato reale e quelle del dato registrato nel database. Come è intuibile esiste un lasso di tempo tra il momento in cui avviene la modifica/cambiamento del sistema reale e il momento in cui questa viene riportata sul database geografico, influendo quindi su questo parametro. E' anche possibile trovare set di dati territoriali in cui questo parametro è riportato come attributo all'interno della tabella associata per ciascuna entità geografico – territoriale. Risultano importanti ai fini della qualità di un dato anche i parametri relativi alla completezza e alla consistenza logica. La completezza indica il grado di conformità comparato con la sua fonte in termini di numerosità di oggetti, attributi e relazioni. Viene espressa in termini assoluti o in percentuale e ci dice se tutte le entità presenti alla fonte sono state acquisite nel modello di dati. Misura quindi possibili errori di difetto o di ridondanza di informazioni associate al numero degli oggetti degli attributi e delle relazioni. La consistenza logica esprime invece la conformità del dato digitale con quello della fonte; questo parametro riguarda quindi gli aspetti topologici, la struttura del modello fisico dei dati ed il dominio dei dati inteso quest'ultimo come campo di validità del dato stesso. La consistenza logica deve essere assicurata affinché il dato possa confluire in una banca dati geografica, ed appunto per questo ci sono delle procedure che si eseguono in automatico volte a verificare tale parametro. Ogni qual volta un dato geografico viene generato ex novo, queste informazioni devono essere sempre misurate e riportate all'interno della struttura dei metadati che accompagnano lo stesso in quanto è da questi parametri che dipende l'utilizzabilità del dato. Per quanto riguarda invece la valutazione della

qualità di set di dati già prodotti, questa viene effettuata in maniera indiretta sulla base della loro genealogia e della loro storia (specifiche del materiale sorgente, riferimenti dei responsabili tecnici, la fonte dei dati, specifiche tecniche di acquisizione, processo di produzione). Da queste righe emerge chiaramente quanto importante sia la qualità nell'informazione geografica che deve essere descritta e valutata con criterio nel processo di produzione/acquisizione del dato geografico e che deve essere presente come informazione nei metadati quando questi vengono divulgati all'esterno della struttura che li ha prodotti.

1.10. I servizi di dati in rete: WMS, WFS, WCS

Nei paragrafi precedenti è stata analizzata la struttura dei sistemi informativi geografici e si è visto come questi potenti database relazionali vengono implementati con dati di varia tipologia e genesi. Il progressivo abbandono della produzione cartografica cartacea a favore di banche dati geografiche numeriche è un processo tuttora in atto ed alle relative problematiche vari organismi hanno cercato di porre rimedio attraverso l'utilizzo di normative e di standard di produzione. L'informazione geografica numerica è stata sviluppata negli anni con diverse tipologie di software e di formati digitali che spesso non potevano, e in alcuni casi ancora non possono, essere gestiti da software diversi da quelli che li hanno originati. L'interoperabilità dei dati geografici, intesa come la capacità di utilizzare informazioni indipendentemente dal linguaggio e dall'architettura di programmazione usati, costituisce una prerogativa fondamentale nell'utilizzo e nella diffusione dei dati di questa natura, evitando al contempo problemi legati alla ridondanza di informazioni. Il già citato Open Geospatial Consortium nasce appunto per risolvere queste difficoltà. Gli standard prodotti da tale organismo consentono quindi di scambiare informazioni geografiche prodotte anche con software differenti, in quanto ogni sistema ha conoscenza del formato degli altri programmi, ed inoltre è possibile integrare, tramite la rete, dati locali con dati remoti georeferenziati. Queste specifiche tecniche sono note con le sigle WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) e WCS (Web Coverage Service) e possono essere caricati sia attraverso un browser internet (sistemi webgis su portali cartografici) o su software GIS che li supportano. Tecnicamente la visualizzazione di dati geografici divulgati attraverso questi standard OGC avviene tramite una normale interazione client che supporta il protocollo HTTP (software gis o browser internet) – server (contenitore dati geografici) individuato tramite un apposito indirizzo URL univocamente associato alla risorsa richiesta che quindi viene visualizzata da remoto sullo schermo. I tools deputati all'integrazione di questi standard nei software GIS permettono anche di caricare a video solo i dati corrispondenti ad una ben precisa zona dello spazio geografico o di selezionare il sistema di riferimento da utilizzare per visualizzare la risorsa. E' possibile infatti impostare un filtro attraverso l'uso del BBOX (Bounding Box) o tramite il dominio di validità spaziale Nord – Sud e Est –

Ovest, visualizzare solo l'informazione geografica della risorsa da remoto contenuta all'interno di questi parametri. Per quanto riguarda invece il sistema di riferimento da utilizzare, la risorsa è spesso presente nei server con diversi sistemi di riferimento in modo da scegliere quello che si integra con le nostre risorse geografiche di tipo locale. E' possibile anche eseguire una riproiezione on fly (al volo) del dato caricato da remoto direttamente con il software GIS ma, come facilmente intuibile, la durata di una operazione di questo tipo è influenzata dalle specifiche tecniche del computer, dalle dimensioni del file caricato ma anche dalla velocità di trasmissione dati attraverso la rete. Le risorse presenti in rete possono essere di tipo Map, Feature o Coverage ognuna delle quali ha delle proprie caratteristiche. Il servizio WMS (Beaujardiere, 2006) produce dinamicamente mappe di dati spazialmente georiferite. Generalmente le mappe vengono prodotte in formato jpeg, png, gif o altri formati di tipo image, per cui una volta caricate vengono gestite dal programma come normali file raster dove però sono ammesse solo alcune operazioni: ad esempio la gestione della trasparenza o il cambio del sistema di riferimento. Queste mappe inoltre non possono essere salvate in locale come file a se stanti per cui il loro utilizzo ben si presta all'allestimento di cartografie tematiche di cui questi servizi possono erogare gli strati di base (ortofoto, immagini satellitari, carte topografiche). Il servizio WMS in sostanza è quello definito dall'Art. 11 comma 1 lettera b della direttiva INSPIRE come: "*servizi di consultazione che consentano di eseguire almeno le seguenti operazioni: visualizzazione, navigazione, variazione della scala di visualizzazione (zoom in e zoom out), variazione della porzione di territorio inquadrata (pan), sovrapposizione dei set di dati territoriali consultabili e visualizzazione delle informazioni contenute nelle legende e qualsivoglia contenuto pertinente dei metadati*". Il servizio WFS (Vretanos, 2005; Panagiotis P., Vretanos P.A., 2010) consente di recuperare dati geospaziali codificati con linguaggio GML (Geography Markup Language) (Portele C., 2007). Gli oggetti geografici visualizzati da remoto tramite un servizio WFS possono essere innanzitutto esportati in locale. Il servizio WFS restituisce infatti dati in formato vettoriale a differenza di quelli in formato immagine del WMS. Inoltre il servizio restituisce anche l'informazione tabellare collegata a ciascuna entità geografica per cui è possibile operare delle query, classificare i dati secondo una informazione contenuta nella tabella associata, gestire la simbologia e la legenda, collegare ad essi database esterni e proiettare l'informazione in un sistema di riferimento differente. Non è possibile modificare, aggiungere, eliminare feature o informazioni alfanumeriche direttamente sul file importato mentre l'editing può essere attivato una volta che l'informazione in essi contenuta viene memorizzata in locale in uno qualsiasi dei file di archiviazione geografica come, ad esempio, un normale shapefile. I servizi WFS sono in sostanza servizi che permettono di scaricare (download) copie di set di dati territoriali o di una parte di essi e anche di accedervi direttamente (Art. 11, comma 1 lettera c, Direttiva INSPIRE). Il servizio WCS (Whiteside & Evans, 2008) definisce anch'esso

un interfaccia per lo scambio dei dati geospaziali sul web e si pone come alternativa al WFS che restituisce dati vettoriali e al WMS che invece produce immagini digitali. Il WCS restituisce i dati insieme alle loro descrizioni dettagliate permettendo inoltre la loro manipolazione e interpretazione. E' un servizio complementare al WFS ed è utilizzato per la distribuzione di dati raster di tipo matrix con i relativi attributi. Dati divulgati con questo servizio sono ad esempio i raster relativi ai modelli digitali di elevazione (DEM, DTM, DSM). Sia il WMS che il WCS forniscono dati in formato raster, ma solo i dati divulgati con un servizio WCS possono essere acquisiti nel loro formato digitale originale. Se ad esempio una ortofoto viene caricata come servizio WMS questa verrà caricata nel nostro software come un normale raster image, mentre nel caso di caricamento dello stesso dato ma con un servizio di tipo WCS verranno caricati anche i valori radiometrici dell'immagine rendendo inoltre possibile l'esportazione del file. L'uso di questi servizi standard è ampiamente diffuso rendendo così possibile l'uso e l'integrazione dell'informazione geografica prodotta a vari livelli. L'informazione geografica e con essa i sistemi informativi geografici da qualche anno stanno entrando a far parte di quelle che vengono definite infrastrutture di dati territoriali o IDT (Tillio, 2008). Progetti di questa natura risalgono agli inizi degli anni '90 ma è nel 2007 che viene emanata dalla Comunità Europea la più volte citata Direttiva INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe) entrata in vigore il 15 Maggio di quello stesso anno, la cui finalità principale è quella di creare una struttura comune che renda l'informazione territoriale dei vari stati compatibile e utilizzabile in un contesto transfrontaliero superando così di fatto tutti i problemi legati alla disponibilità, alla gestione e all'organizzazione del dato stesso (Zullo, 2013). Della direttiva INSPIRE e di tutte le novità introdotte da essa si parlerà più approfonditamente nel paragrafo successivo, in questo contesto si vuole sottolineare l'importanza fondamentale nel mondo dell'informazione geografica di una infrastruttura di dati spaziale e del ruolo che questa svolge nei vari processi di governo del territorio, nel settore commerciale, nel settore no-profit, nella ricerca e da parte dei cittadini in generale (GSDI, 2004). Una IDT è quindi un complesso tecnologico – istituzionale - politico volto, come indicato nella sua definizione di infrastruttura, a veicolare l'informazione geografica a livello comunitario e continentale per archiviarla e renderla disponibile al livello amministrativo più idoneo (Stato, Regione, Provincia, Comune). L'infrastruttura è quindi costituita da una serie di nodi che, tramite appositi servizi informatici e strumenti applicativi che utilizzano varie tipologie di standard, permette la "circolazione" attraverso la rete di dati spaziali. I nodi dell'infrastruttura sono dei punti di accesso singoli alle risorse geospaziali. Strutture informatiche di questa natura vengono definiti geoportali che, secondo quanto stabilito dall'art.3 comma 8 della INSPIRE, sono "…*un sito internet, o equivalente che fornisce l'accesso ai servizi*". Un geoportale non gestisce solo l'informazione spaziale ma anche dati e relativi attributi, metadati e strumenti per rintracciare visualizzare e anche scaricare

i dati stessi. A supporto della funzionalità di un geoportale ci sono quattro classi principali di servizi: servizi di portale, servizi di catalogo, servizi di presentazione e servizi sui dati. I servizi di portale sono quelli che forniscono un singolo punto di accesso alle risorse e ai servizi disponibili, oltre a garantire la funzionalità di amministrazione e gestione dello stesso; i servizi di catalogo che con i loro strumenti permettono di ricercare, gestire ed analizzare metadati e, nel caso, di ottenere la relativa risorsa. I servizi di presentazione sono collegati alla visualizzazione dei dati geografici mentre quelli sui dati si occupano di fornire le modalità di accesso ai dati geografici. Attraverso gli standard OGC descritti in precedenza, l'informazione geografica presente su questi portali può essere visualizzata e/o acquisita, anche se a volte l'acquisizione può avvenire attraverso un semplice download. Nella tabella 1.6 vengono riportati gli indirizzi dei siti dei geoportali di tutte e 20 le Regioni italiane, indicando le caratteristiche di ciascuno in merito alla condivisione dei dati spaziali.

		Servizi						
Regione	**Sito internet**	**WMS**	**WFS**	**WCS**	**Download geodati**	**Vendita dati**	**WebGis**	**Servizio di trasformazione coordinate**
Valle D'Aosta	http://geoportale.partout.it/	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	No	Si	Si	No
Piemonte	http://www.geoportale.piemonte.it/cms/	SI	SI	Non disponibile	Si	Non citato	Si	
Liguria	http://www.cartografia.regione.liguria.it/	SI	Solo per Enti Pubblici	Non disponibile	Solo per alcuni tematismi	Si	Si	No
Lombardia	http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale	Si	Non disponibile	Non disponibile	Si	Non citato	Si	Si
Veneto	http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/	Si	Non disponibile	Non disponibile	Si	Non citato	Si	No
Provincia di Trento	http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/cartografia_di_base/260/cartografia_di_base/19024	Si	Si	Non disponibile	Si	Non citato	Si	No
Provincia di Bolzano	http://www.provincia.bz.it/informatica/cartografia/geoportale.asp	Si	Si	Si	Si	Non citato	Si	Si
Friuli Venezia Giulia	http://www.regione.fvg.it/rafvg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/strumenti-per-conoscere/	Si	Si	Non disponibile	Si	Non citato	Si	No
Emilia Romagna	http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it	Si	Si	Non disponibile	Si	Si	Si	Si
Toscana	http://www.regione.toscana.it/enti-e-associazioni/pianificazione-e-paesaggio/informazione-geografica	Si	Si	Non disponibile	Si	Non citato	Si	No
Umbria	http://www.umbriageo.regione.umbria.it/canale.asp	Si	Si	Non disponibile	Si	Non citato	Si	Si
Marche	http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali.aspx	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	No	Si	Si	No
Abruzzo	http://www.regione.abruzzo.it/xcartografia/	Si	Non disponibile	Non disponibile	Cessione gratuita in loco	Solo versione cartacea	Si	Si
Lazio	http://www.urbanisticaecasa.regione.lazio.it/cartografia_on_line/	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	Solo per alcuni tematismi (previa autenticazione)	Si	Si	No
Molise	http://cartografia.regione.molise.it/	Si (tramite il SIT)	Non disponibile	Non disponibile	No	Si	Si	No
Campania	http://sit.regione.campania.it/portal/portal/default/Home;jsessionid=FE8C2B1ED098A1A527582AB8DC86F847	Si	Non disponibile	Non disponibile	Libero solo per alcuni tematismi; Accesso completo previa autenticazione	Non citato	Si	No
Basilicata	http://rsdi.regione.basilicata.it/web/guest/mappe-in-linea	Si (alcuni solo per utenti autorizzati)	Si (alcuni solo per utenti autorizzati)	Non disponibile	No	Non citato	Si	Si
Puglia	http://www.sit.puglia.it/portal	Si	Non disponibile	Non disponibile	Si (previa autenticazione)	Non citato	Si	No
Calabria	http://prSsit.regione.calabria.it/web/prSsit/home	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	Si (Sezione opendata solo alcuni tematismi)	Si	Si	No
Sicilia	http://www.sitr.regione.sicilia.it/	Si	Si	Si	Solo per alcuni tematismi (previa autenticazione)	Si	Si	
Sardegna	http://www.sardegnageoportale.it/index.html	Si	Si	Non disponibile	Si	Solo per stampe su supporto cartaceo e/o digitale	Si	Si

Tabella 1.6 - Servizi dei geoportali regionali italiani (aggiornati ad Ottobre 2015)

1.11. I metadati e la loro importanza nell'informazione geografica

Il termine metadato è stato utilizzato per la prima volta nel 2000 dalla Federal Geographic Data Committee o FDGC (è l'Ente che coordina lo sviluppo della National Spatial Data Infrastructure negli USA) relativamente ad uno standard per la descrizione delle caratteristiche di una banca dati geografica. I metadati sono delle informazioni che accompagnano l'informazione geografica descrivendone il

contenuto, la qualità, le condizioni di utilizzo ed altri parametri che garantiscono il corretto uso oltre che del dato stesso, anche dei sistemi informativi geografici e delle infrastrutture di dati spaziali. Il ruolo fondamentale che queste strutture di dati geografici svolgono nell'ambito dei processi decisionali che riguardano il governo del territorio non può prescindere dall'utilizzo dei metadati. L'informazione geografica, anche nella sua versione cartacea, è stata sempre prodotta in maniera tale da avere delle informazioni aggiuntive atte ad interpretare i dati ivi contenuti (si pensi ad esempio a tutte le informazioni riportate nel cartiglio delle carte topografiche). Nel passaggio al mondo digitale il metadato è molto più di una informazione descrittiva, come può essere una legenda su una mappa, ma ha assunto un numero di funzioni sempre maggiore che permettono la diffusione del dato insieme al mantenimento della sua efficienza nel tempo. Essi inoltre aumentano il livello di condivisione tra gli enti, riducono i costi dovuti alla duplicazione dei processi di acquisizione ed inoltre rendono possibile l'integrazione tra i vari sistemi. Come per i dati geografici anche per i metadati sono stati elaborati degli standard in modo da garantire che queste informazioni siano espresse in una certa forma e siano comprensibili oltre che interoperabili. Gli standard di riferimento più utilizzati sono il Dublin Core e lo standard ISO/TC211. Tra gli standard ISO il 19115, Geographic Information – Metadata approvato nel 2001 è ampiamente diffuso e oltre ad indicare un set minimo irrinunciabile di metadati (core metadata), definisce gli schemi necessari per descrivere le informazioni geografiche ed i servizi fornendo inoltre informazioni relative all'identificazione, l'estensione, la qualità, gli schemi temporali e spaziali, i riferimenti spaziali e la distribuzione di dati geografici numerici.

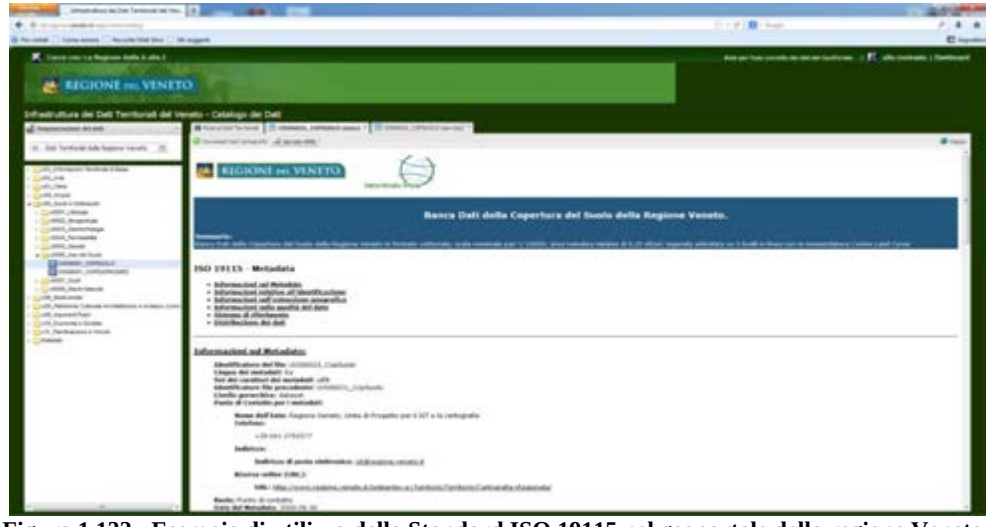


Figura 1.132 - Esempio di utilizzo dello Standard ISO 19115 nel geoportale della regione Veneto

A livello normativo europeo di metadati, del loro utilizzo e della loro importanza nell'informazione geografica se ne parla sia nella più volte citata Direttiva Inspire, sia anche nel successivo Regolamento 1205/2008 recante l'attuazione della Inspire relativamente ai metadati appunto. La Inspire definisce i metadati all'Art. 3 come "*le informazioni che descrivono i set di dati territoriali e i servizi relativi ai dati territoriali e che consentono di ricercare, repertoriare e utilizzare tali dati e servizi*". Gli Stati membri garantiscono che questi siano creati per tutta una serie di set di dati territoriali e servizi ad essi relativi corrispondenti alle categorie tematiche elencate negli allegati I (9 categorie: *sistemi di coordinate, sistemi di griglie geografiche, nomi geografici, unità amministrative, indirizzi, parcelle catastali, reti di trasporto,idrografia, siti protetti*), II (4 categorie: *elevazione, copertura del suolo, orto immagini, geologia*), III (21 categorie: *unità statistiche, edifici, suolo, utilizzo del territorio, salute umana e sicurezza, servizi di pubblica utilità e servizi amministrativi, impianti di monitoraggio ambientale, produzione e impianti industriali, impianti agricoli e di acquacoltura, distribuzione della popolazione, demografia, zone sottoposte a gestione/limitazioni/regolamentazione e unità con obbligo di comunicare i dati, zone a rischio naturale, condizioni atmosferiche, elementi geografici meteorologici, elementi geografici oceanografici, regioni marine, regioni biogeografiche, habitat e biotopi, distribuzione delle specie, risorse energetiche, risorse minerarie*) e soprattutto, vista la loro importanza, anche il loro continuo e costante aggiornamento, quest'ultimo fondamentale vista anche la necessità di poter poi utilizzare questi dati nel sistema comunitario e per problemi ambientali di carattere transfrontaliero. A questo scopo il Regolamento 1205/2008 stabilisce i requisiti per la creazione e l'aggiornamento dei metadati per i set di dati territoriali e i servizi corrispondenti di tutte le categorie elencate in precedenza. Il regolamento presenta 4 allegati: l'allegato A aggiunge altre definizioni oltre a quelle già presenti nell'art. 3 della direttiva 2007/2/CE; l'Allegato B indica gli elementi di metadati mentre gli allegati C e D riportano rispettivamente le istruzioni concernenti la molteplicità e le condizioni degli elementi di metadati e i domini di valore. I metadati quindi oltre a rappresentare la carta d'identità del dato geografico permettendone il corretto utilizzo, hanno anche il ruolo di conservazione nel lungo periodo delle loro preziose informazioni.

1.12. L'informazione geografica in Italia: dall'Intesa GIS al D. Lgs 32/2010

I concetti di informazione geografica e di geodatabase iniziano a entrare nell'apparato normativo nazionale verso la metà degli anni '90 con la creazione di un protocollo di intesa tra Stato, Regioni e vari Enti locali sui sistemi informativi geografici. L'obiettivo di questo protocollo è quello di sviluppare interventi volti a realizzare nel nostro Paese in 6-8 anni le basi informative territoriali gestite su supporto informatico a copertura dell'intero territorio nazionale necessarie per l'esercizio delle funzioni di interesse locale, regionale e nazionale. E' stato quindi

costituito un apposito comitato tecnico di coordinamento con il compito di elaborare indirizzi per la realizzazione di dati topografici e specifiche comuni per la produzione e gestione di database topografici (Amadio et alii, 2007). Il documento fondamentale era rappresentato dal "catalogo" nel quale sono contenute le regole, la modellazione, il trasferimento e la memorizzazione dei dati geografici attraverso l'utilizzo del formato GML, il quale a sua volta è stato sviluppato con linguaggio XML (ISO TC 211). Successivamente su iniziativa del Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (CNIPA oggi DigitPA Ente Nazionale per la Digitalizzazione della Pubblica Amministrazione) e del Centro Interregionale (poi confluito nel CISIS Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, geografici e Statistici) è stato prodotto un nuovo documento con le specifiche tecniche a supporto delle Amministrazioni per l'implementazione dei DB geografici. Un documento importante in tal senso è il Decreto Legislativo n.82/2005 dove nel capo V (Dati delle Pubbliche Amministrazioni e Servizi in Rete) più precisamente nell'Art. 59 si parla di dati territoriali e di un Comitato per le regole tecniche sugli stessi della pubblica amministrazione. Viene inoltre istituito il repertorio nazionale sui dati territoriali presso il CNIPA (http://www.rndt.gov.it/ RNDT/home/index.php?option=com_content&view=article& id=7&Itemid=101). Il comitato introdotto dal precedente decreto legislativo è stato suddiviso in sette gruppi di lavoro ciascuno con dei programmi ben precisi, dimostrando di fatto come la definizione e la strutturazione di un DB geografico sia un procedimento in continua evoluzione che coinvolge tutta una serie di soggetti in un contesto abbastanza articolato. Anche le Regioni stanno partecipando a questo processo, sia in forma autonoma, sia attraverso il CISIS – CPSG (Comitato Permanente Sistemi Geografici), il quale ha affidato poi al Politecnico di Milano, Dipartimento Elettronica e Informazione, uno specifico progetto per lo "Sviluppo delle tecnologie per i DB Topografici" che fa riferimento alle specifiche tecniche contenute in IntesaGIS prevedendo, attraverso contenuti prettamente tecnologici ed informatici, l'integrazione di documenti e la definizione di regole tecniche per la gestione e la validazione delle specifiche di contenuto delle basi di dati territoriali. La legge n.221 del Dicembre del 2012, attraverso l'articolo 9 ha modificato gli articoli 52 e 68 del decreto legislativo 82/2005 introducendo l'obbligo per le pubbliche amministrazioni di pubblicare nella sezione trasparenza, valutazione e merito il catalogo dei dati, dei metadati e della banche dati relative in loro possesso ed i regolamenti che ne disciplinano l'accesso telematico ed il riutilizzo; nell'art.68 è invece specificato cosa si intende per dato aperto. Nel 2007, come precedentemente visto, viene emanata a livello continentale la Direttiva INSPIRE il cui obiettivo è appunto quello di istituire l'Infrastruttura per l'Informazione territoriale nella Comunità Europea. L'obiettivo dichiarato è quello di fornire norme a supporto delle politiche ambientali comunitarie e quindi statali, creando una struttura comune e condivisa in grado di gestire e rendere disponibile l'informazione geografica tra gli Stati membri, garantendo al

contempo la qualità, la disponibilità e l'accessibilità ai dati stessi. A tal fine la Direttiva detta tempi e scadenze secondo un preciso calendario. Attualmente siamo nella fase di implementazione che terminerà nel 2019 nella quale le misure, europee e nazionali, verranno monitorate ed implementate attraverso report triennali. La fase di trasposizione, la cui durata è terminata nel 2009 e prevedeva appunto la trasposizione della direttiva nella normativa nazionale, nel nostro Paese è stata superata attraverso il recepimento della Direttiva Inspire con il Decreto Legislativo n. 32 del 27 Gennaio 2010. L'obiettivo del decreto è quello così come dichiarato all'art. 1, di realizzare una infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale che consenta allo Stato italiano di partecipare all'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea, per gli scopi delle politiche ambientali e delle politiche o delle attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente. Il modello "federato" utilizzato dalla Inspire attraverso le nazioni, viene ripreso dal decreto nazionale italiano dove le autorità pubbliche, queste ultime definite nell'art.2 comma 1 lettera i, hanno il compito di garantire la disponibilità dei set di dati territoriali e l'erogazione dei servizi di rete (ricerca, consultazione, scaricamento e conversione). L'autorità competente per l'attuazione del Decreto è il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) che, per l'assolvimento di tali funzioni, si avvale dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) quale struttura di coordinamento anche ai fini delle attività di monitoraggio e rendicontazione e del raccordo con la rete europea d'informazione e di osservazione in materia ambientale. Conformemente a quando indicato nel regolamento 1205/2008, i metadati e le regole tecniche per la loro definizione sono contenute nell'allegato IV del presente decreto. L'articolo 5, riprendendo l'art. 59 comma 3 del decreto legislativo 82/2005, indica il Repertorio nazionale dei Dati Territoriali (RNDT) quale catalogo nazionale dei metadati relativi ai set di dati territoriali e ai servizi così come definiti nel decreto. Con cadenza semestrale il MATTM e l'ISPRA verificano che il processo di definizione e di popolamento dei metadati avvenga in coerenza con lo sviluppo dell'infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale. L'interoperabilità dei set di dati territoriali viene garantita tramite l'articolo 6 dove viene esplicitato che questi devono essere resi disponibili conformemente alle disposizioni adottate a livello comunitario o, qualora non lo fossero, predisporre opportuni servizi di conversione in tal senso. I servizi di rete rappresentano l'elemento portante dell'intera IDT nazionale e si articolano in servizi di ricerca, di consultazione, di conversione di download e servizi che consentano di richiamare servizi sui dati territoriali. Questi servizi devono essere facilmente utilizzabili dagli utenti ed in forma gratuita attraverso la rete internet o altri adeguati mezzi di comunicazione. La già esistente infrastruttura del Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINAnet) gestita dall'ISPRA viene inserita nella logica INSPIRE attraverso la disponibilità da parte delle autorità pubbliche di volta in volta

coinvolte, alla cessione degli elementi informativi necessari ad assicurare l'interoperabilità dei set di dati territoriali e del monitoraggio ambientale e dei servizi ad essi relativi nell'ambito del sistema pubblico di connettività e cooperazione. L'articolo 8 stabilisce che il precedente Portale Cartografico Nazionale (PCN), dal momento dell'entrata in vigore del presente decreto, assuma la denominazione di Geoportale nazionale; esso consente a tutti i soggetti interessati di avere contezza della disponibilità dell'informazione geografica disponibile a livello nazionale. Il Geoportale costituisce quindi il punto di accesso ai servizi di rete ed ai cataloghi delle autorità pubbliche, questi ultimi fondamentali per la ricerca dei set dei dati territoriali e dei servizi ad essi collegati. L'accesso ai dati e ai servizi deve essere messa a disposizione in forma gratuita al pubblico fatte salve ovviamente restrizioni per dati sensibili e per motivi di pubblica sicurezza e di difesa nazionale. Esiste però la possibilità per le autorità pubbliche, in deroga ai comma 1 e 2 e per esigenze di autofinanziamento, la possibilità di fornire l'accesso ai dati e ai servizi dietro il pagamento di tariffe da parte degli utilizzatori. Per quanto riguarda la condivisione, lo scambio e il riutilizzo dei dati ambientali e dei relativi servizi tra le autorità pubbliche questo avviene, secondo quanto stabilito dall'art. 10, senza nuovi o maggiori oneri a carico della finanza pubblica, precludendo ogni limitazione e ostacolo. Per i set di dati territoriali già acquisiti, alla data dell'entrata in vigore del Decreto, sotto condizioni di licenza d'uso, le autorità pubbliche sono autorizzate a fornire i set di dati e servizi ad essi relativi secondo licenza. Anche qui però è prevista la possibilità di derogare alla gratuità e, mediante opportuni decreti da emanare, possono essere individuate le autorità pubbliche autorizzate ad applicare tariffe per la fornitura dei dati territoriali ad altre autorità pubbliche. Le complesse attività disciplinate dal Decreto saranno coordinate dalla "Consulta nazionale per l'informazione territoriale ed ambientale" (Art.11), un organo di raccordo istituzionale tra le pubbliche amministrazioni che producono set di dati territoriali che ha anche un ruolo di indirizzo tecnico all'azione del Ministro dell'Ambiente e per la Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito della predisposizione dei provvedimenti atti al funzionamento dell'infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale. La consulta è presieduta dal Ministero dell'ambiente ed è costituita da un massimo di 50 componenti al cui interno si trovano gli organi cartografici dello stato, un rappresentante per ogni regione e province autonome, un rappresentante dell'Unione delle Province Italiane (UPI), un rappresentante dell'Associazione Nazionale Comuni Italiani (ANCI), un rappresentante per ognuno dei seguenti ministeri difesa, istruzione università ricerca, infrastrutture e dei trasporti, politiche agricole, alimentari e forestali, beni attività culturali, sviluppo economico, salute, per i rapporti con le regioni. Fanno parte della consulta anche l'ISPRA, il Dipartimento della Protezione Civile e la DigitPA. Il 10 Novembre del 2011 viene emanato il Decreto Ministeriale relativo alle regole tecniche per la definizione delle specifiche tecniche di contenuto dei database

geotopografici a firma dell'allora Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'innovazione Renato Brunetta e Stefania Prestigiacomo al tempo Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. L'articolo 2 del presente decreto stabilisce che i database geotopografici costituiscono la base informativa territoriale dell'amministrazione per la raccolta e la gestione dei dati territoriali individuati e definiti nell'allegato 1 (110 categorie), mentre l'allegato 2 contiene le regole tecniche da utilizzare per la formazione e l'implementazione del Repertorio nazionale dei metadati territoriali, dove le categorie esplicitate nell'allegato 1 sono contenute. Molte regioni da allora hanno implementato il DataBase GeoTopografico consultabile in rete ed utilizzabile per i servizi di consultazione e download di dati territoriali. Viene qui sottolineata ancora una volta l'importanza del Repertorio nazionale quale catalogo dei metadati dei dati territoriali e dei servizi ad essi collegati, indicando modalità e tempi di implementazione e di aggiornamento dello stesso da parte delle amministrazioni titolari dei dati. La gestione del repertorio viene quindi affidata alla DigitPA che ne cura la progettazione, la realizzazione, lo sviluppo e la gestione organizzativo/tecnologica in coerenza con le disposizioni che disciplinano il sistema pubblico di connettività. L'accesso ai metadati contenuti nel repertorio è pubblico e gratuito, così come specificato nell'articolo 9. L'allegato 2, coerentemente con quanto espresso dal regolamento europeo 1205/2008, fornisce anche indicazioni tecniche relativamente all'implementazione dei metadati di set di dati territoriali e dei servizi ad essi relativi collegate alle categorie di dati espresse nell'allegato 1. In particolare, vengono specificati: l'insieme minimo di metadati comune a tutte le tipologie di dati territoriali, per le immagini (foto aeree, ortofoto, immagini da telerilevamento, ecc.) e i modelli digitali del terreno (DTM, DEM, ecc.) sono inoltre individuati alcuni metadati supplementari: il set di metadati necessario per documentare i servizi; il set di metadati necessario per documentare le nuove acquisizioni ovvero i dati territoriali che una Pubblica Amministrazione prevede di acquisire. Questo decreto ha inoltre previsto che tutte le amministrazioni pubbliche rendano disponibili le proprie informazioni, previa completa verifica sulla responsabilità dei dati e dei servizi prodotti e gestiti dalla Regione, nonché la revisione e l'aggiornamento dei metadati, accessibili attraverso il catalogo dei metadati presente sul geoportale nazionale (http://www.pcn.minambiente.it/catalogo/). Una successiva nota del Ministero dell'Ambiente del 18 aprile dello scorso anno, ha comunicato a tutte le autorità pubbliche competenti per l'attuazione di INSPIRE di aver costituito l'Italian Contact Point INSPIRE, invitandole ad assumere analoga iniziativa per il livello regionale e che ha finora visto l'adeguamento di alcune regioni italiane. In tema di attuazione della direttiva Inspire nel nostro Paese, e quindi del D. Lgs 32/2010, si ricorda che l'obiettivo è quello di definire le specifiche dei principali dati che hanno una rilevanza per la tutela dell'ambiente, ma anche quello di fornire standard di riferimento in modo che tutti sappiano come devono essere resi disponibili i dati per poterli confrontare, tra

un Comune ed un altro, tra una Regione ed un'altra, e tra gli Stati membri dell'Unione Europea. Detto ciò cerchiamo di capire a che punto ci troviamo anche in relazione alla road map messa appunto a livello europeo. Attenendoci a quanto espresso dal D. Lgs 32/2010, entro il 24 Dicembre del 2010 le autorità pubbliche detentrici dei dati contenuti negli allegati I e II (ripresi interamente dalla Inspire) hanno dovuto fornire i metadati relativi a tali set di dati territoriali, in totale 13 categorie di dati, mentre entro la fine del 2013 sono stati forniti i metadati relativi alle categorie presenti nell'allegato III (21 categorie). Per quanto riguarda invece i veri e propri *spatial data* l'Unione Europea ha emanato un apposito regolamento, il numero 1089/2010 modificato poi con il regolamento numero 102/2011, dove sono contenute le disposizioni per l'interoperabilità di questi e dei servizi ad essi collegati. Il regolamento contiene quindi le disposizioni tecniche, sotto forma di linee guida, per l'armonizzazione dei dati per ciascuna delle 34 categorie di dati contenute nei 3 allegati della direttiva Inspire (http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2). La road map ha previsto che entro Febbraio 2013 i dati relativi ai 9 temi dell'allegato 1 siano prodotti, aggiornati o adeguati alle disposizioni contenute nelle linee guide elaborate per ognuno di essi. Per quanto riguarda invece gli *spatial data* appartenenti alle categorie presenti negli allegati II e III, questi dovranno essere resi conformi alle disposizioni tecniche delle linee guida entro Ottobre 2020. Alla luce di quanto espresso, appare subito chiaro come a livello comunitario, nazionale, regionale, provinciale, comunale e locale dall'entrata in vigore di queste disposizioni qualsiasi informazione di natura geografica, che sia essa prodotta ex novo o già esistente, andrà obbligatoriamente prodotta secondo le disposizione del relativo Data Specification. Per quanto concerne il nostro Paese si tratta di produrre o di armonizzare e adeguare l'informazione geografica in un sistema amministrativo composto da oltre 8000 comuni, 110 Province e 20 Regioni, senza contare altri enti locali e produttori di dati cartografici. La normativa costituisce certamente un onere da un lato per le autorità pubbliche detentrici dei dati geografici, ma al contempo rappresenta una concreta opportunità per dotarsi di Infrastrutture di Dati Territoriali complete ed interoperabili che diventano essenziali e di primaria importanza per la gestione, lo sviluppo e le trasformazioni che interessano la sfera territoriale a qualsiasi livello decisionale.

“I should then see the discovery of the longitude, the perpetual motion, the universal medicine, and many other great inventions, brought to the utmost perfection” (J.Swift, I viaggi di Gulliver)

Cap. 2. I Sistemi di Riferimento

Obiettivi e finalità

Abbiamo visto come un qualsiasi dato inserito all'interno di un sistema informativo territoriale ha come prerogativa fondamentale una posizione geografica rispetto ad un sistema di riferimento noto individuata tramite una coppia di coordinate che ne costituiscono l'attributo geografico-territoriale. Un corretto utilizzo dei software di tipo geografico non può prescindere da alcune nozioni base del campo della geodesia, della topografia e della cartografia in generale, necessarie per poter comprendere i concetti di datum, sistemi di riferimento, sistemi di coordinate e come questi vengono elaborati e utilizzati poi dal software. L'obiettivo di questo capitolo è quindi quello di introdurre il lettore nel complesso mondo delle misure geografiche terrestri e di renderlo operativo nell'utilizzo dei sistemi di riferimento geodetici cartografici, nonché delle articolate operazioni di georiferimento.

2.1. Breve storia della cartografia

La storia della cartografia è da sempre stata legata alla conquista, alla localizzazione delle risorse, all'espansione ed al conflitto. L'inizio della cartografia viene fatto risalire a 15000 anni fa per via di un ritrovamento a Mezin in Ucraina, di un graffito su roccia che rappresenterebbe un accampamento con un fiume che scorre nei pressi. Le prime carte geografiche, elaborate su materiali quali pietra o legno (osso e pelli venivano usate raramente), vengono fatte risalire alle prime società primitive che avevano la propensione al nomadismo spostandosi dal luogo di origine. La "Pietra di Jebel Amud", rinvenuta in Giordania Meridionale e risalente al periodo neolitico (10.000 – 6.000 anni fa), rappresenta un reperto di notevole interesse cartografico in quanto, considerando le tecniche e gli strumenti del tempo, la precisione usata nel rappresentare gli insediamenti abitativi ed i percorsi è notevole. Altri documenti cartografici, incisi su tavole di argilla, sono stati attribuiti a società dell'Antica Mesopotamia (2300 – 2500 a.c.) con rappresentazioni che vanno dal mondo a piccole aree regionali. Gli Egizi, una delle società più avanzate tecnologicamente e scientificamente del tempo, non ci hanno lasciato quasi nessun documento cartografico, ma solo delle iscrizioni su mura di templi e papiri che descrivono le spedizioni militari, missioni commerciali e spedizioni esplorative condotte dai vari faraoni. Nel tempo l'influenza della Grecia sulla civiltà egizia, ha portato ad un approccio teorico alla cartografia al punto che le mappe possono essere considerate un prodotto dell'ingegno greco (la parola mappa deriva dal latino e significa "tovaglia" o "tovagliolo" ed era usata per indicare ogni rappresentazione grafica di una qualsiasi zona del terreno). Gli Egizi possedevano inoltre un archivio catastale basato su rilievi topografici molto avanzati in quanto le annuali inondazioni del Nilo portavano via le pietre miliari che delimitavano il confine che quindi doveva di volta

in volta essere ritracciato con notevole precisione vista l'importanza politico–economica rappresentata da quella linea.

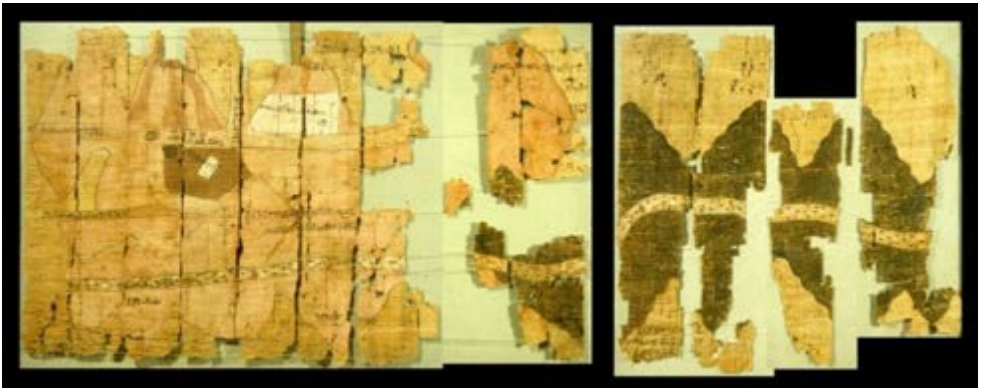


Figura 2.1 – Mappa delle miniere d'oro della Nubia (1150 A.c.) Museo Egizio di Torino (tratto da: https://it.wikipedia.org/wiki/Papiro_delle_miniere_d%27oro)

Lo sviluppo della cartografia procede di pari passo con quello della geografia e la civiltà ellenica ha appunto fornito un importante contributo. A partire dal VI secolo a.c. iniziarono così a nascere le prime carte concepite per fini prettamente culturali. Anassimandro di Mileto (610 – 546 a.c.) fu il primo greco a costruire una mappa geografica del mondo anche se nessuna delle sue carte è arrivata fino ai nostri giorni ed è ancora aperta la discussione sulla forma cilindrica o sferica attribuita dal filosofo greco alla Terra. Sempre nel VI secolo a.C., Pitagora sembra essere stato il primo a pensare alla sfericità della Terra anche se fu Parmenide il primo a formulare teorie in tal senso. Con i sei argomenti esposti da Aristotele nel 350 a.C. a favore della sfericità della Terra, venne generalmente accettata in ambito scientifico tale concezione. Erodoto (484 a.C. ca – 425 a.C. ca) fece un ulteriore passo in avanti anche se abbandonò l'idea della sfericità della Terra di Pitagora. Egli era uno storico greco che viene ricordato soprattutto perché fu il primo ad utilizzare un metodo nelle sue ricerche. Erodoto viaggiò molto e la sua mappa descrive un mondo non certo circolare (fig. 2.2) che presenta un livello di dettaglio notevolmente migliore rispetto alle precedenti. Dicearco da Messina (350 a. C. – 285 a. C.), allievo di Aristotele, fu il primo ad intuire la necessità di un reticolo geografico, costituito da meridiani e paralleli, le cui idee vennero poi sviluppate da Eratostene da Cirene (276 ca a.C. – 194 ca a.C.). La linea principale della sua griglia era una retta passante per Rodi e le Colonne d'Ercole (l'attuale Gibilterra); questa linea si trova con un grado di accuratezza abbastanza elevato a 36° nord, scelta da Eratostene poiché divideva il mondo a lui conosciuto in due parti di pari estensione definendo così il limite est-ovest più lontano fino ad allora conosciuto. Come linea di riferimento per le linee nord-sud della sua griglia scelse la perpendicolare passante per Rodi e disegnò poi

sette linee parallele a quella di riferimento per formare una griglia rettangolare. Una importante critica alla griglia utilizzata da Eratostene fu espressa da Ipparco da Nicea (190 a.C. – 125 a.C.), uno dei più grandi astronomi del tempo.

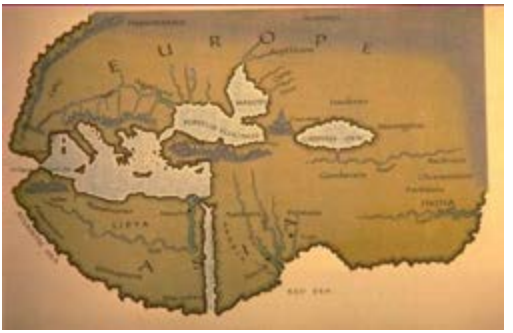


Figura 2.2 –Erodoto ricostruzione del mondo conosciuto 450 a.C (tratto da: http://digilander.libero.it/diogenes99/Cartografia/Cartografia01.htm)

Egli criticò Eratostene per l'arbitrarietà con la quale scelse i punti di riferimento delle sue mappe e per non aver trattato l'argomento in maniera matematica. Ipparco non costruì nessuna mappa terrestre, ma le sue osservazioni astronomiche lo portarono a definire undici paralleli. Le conoscenze individuate da Ipparco furono fondamentali per i suoi successori tra cui anche Tolomeo astronomo, geografo e matematico vissuto tra il 90 ed il 170 d.C.. Viene considerato uno dei padri della geografia, autore tra l'altro di due importanti opere nel campo: *Almagesto e Geografia*. Formulò la teoria geocentrica, o anche detta Tolemaica, che rimase quale riferimento per tutto il mondo occidentale, arabo ed indiano fino a quando venne formulata la teoria eliocentrica di Copernico. Nell'opera *Geografia*, realizzata in 8 volumi, sono contenute le basi teoriche della geografia matematica e le coordinate di 8000 diverse località con una lista delle loro latitudini e longitudini, vera e propria innovazione per l'identificazione dei luoghi. Sono esposti inoltre i metodi cartografici che gli avevano permesso di disegnare carte sia dell'intero mondo abitato (ecumene) che delle singole province romane. Il suo ecumene copriva 180 gradi di longitudine, dalle Canarie (nell'Oceano Atlantico) alla Cina, e circa 80 gradi di latitudine, dal Mare artico all'Estremo Oriente (India Transgangetica) ed all'Africa centrale. La latitudine veniva misurata a partire dall'equatore, mentre per la longitudine Tolomeo fissò il meridiano di longitudine 0 in corrispondenza del territorio più occidentale di cui fosse a conoscenza, le Isole Fortunate, che sono state identificate con le attuali Canarie. Sia le misure di latitudine che di longitudine richiedevano accurate osservazioni astronomiche che, raramente, venivano compiute. Le misure di longitudine erano basate su osservazioni contemporanee di eclissi lunari che dovevano essere organizzate con ampio anticipo. Sembra che di queste osservazioni

Tolomeo ne abbia avuta a disposizione una sola. Si tratta dell'eclissi di Luna del 20 Settembre del 331 a.C., osservata ad Arbela in Assiria e a Cartagine. Sfortunatamente un errore nell'osservazione di Arbela fece concludere a Tolomeo che, tra i due siti, esisteva una differenza di tre ore invece delle due reali.

Figura 2.3 – Mappa dell'ecumene di Tolomeo (tratto da: http://pro.unibz.it/staff2/fzavatti/corso/cartografia_cenni_storici.html)

Questo errore portò ad una distorsione del Mediterraneo, ovvero ad un allungamento della parte orientale di questo mare. Le sue mappe sono distorte poiché la maggior parte delle sue coordinate vennero derivate convertendo misure lineari di distanza in angoli (le latitudini avevano errori fino a 2 gradi). Tolomeo infatti dovette fidarsi dei resoconti dei viaggiatori e dei carovanieri, stimando le distanze in base ai giorni di viaggio necessari per raggiungere le località riportate nella carta. Mentre per la latitudine bastava misurare l'altezza sull'orizzonte della stella polare, per le longitudini non esistevano al tempo metodi affidabili per poterla determinare, restando di fatto un problema insoluto per la geografia fino al XVII secolo quando venne inventato uno strumento in grado di segnare il tempo: il cronometro (Sobel, 1999). La cartografia di epoca romana mostrò un approccio di tipo diverso da quello classico greco, in quanto gli indirizzi perseguiti erano di tipo pratico per lo più militari ed amministrativi. I manuali per la navigazione costiera e portuale, i famosi portolani romani giunti fino a noi in forma molto frammentata grazie alla riproposizione nei codici medievali, contenevano la descrizione delle rotte complete tra Roma e altri porti del mediterraneo oltre che alla descrizione di questi

(*Itinerarium Maritimum* e *Stadiasmus Maris Magni*). La vera innovazione apportata dai Romani riguarda gli itinerari terrestri.

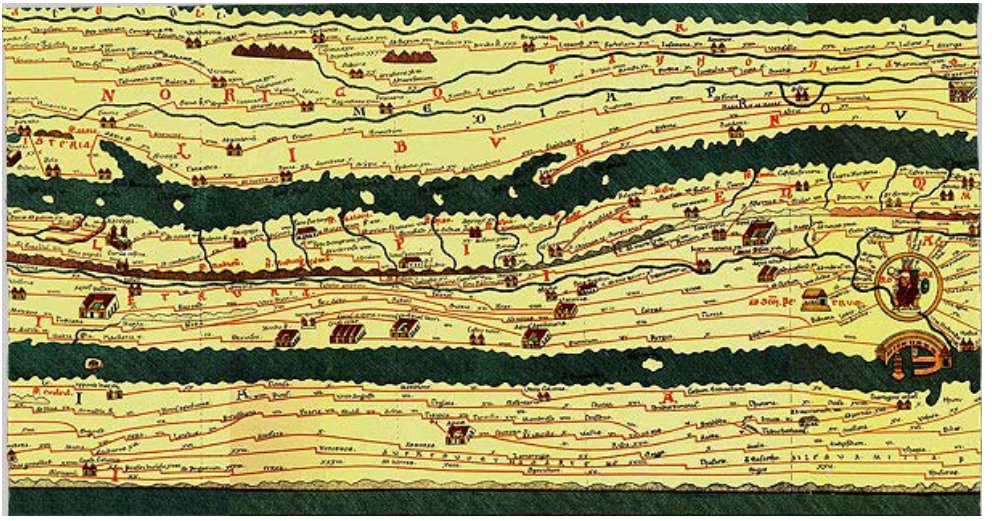


Figura 2.4 - Tabula Peutingeriana (tratto da: https://it.wikipedia.org/wiki/Tavola_Peutingeriana)

Un esempio di ciò è la *Tabula Peutingeriana* (fig.2.4), una copia del XIII secolo di una antica carta romana che mostrava le vie dell'impero. Essa è composta da 11 pergamene riunite in una striscia di 680 x 33 cm, su cui sono riportate oltre 200.000 km di strade e posizioni di città, fiumi, foreste, mari e catene montuose. Lo scopo di questa carta non era quello di rappresentare realisticamente i territori né le distanze (non è una proiezione cartografica) ma una rappresentazione simbolica in grado di fornire indicazioni per muoversi facilmente da un punto ad un altro e di conoscere le distanze tra le tappe. La tabula mostra tutto l'impero romano, riportando anche indicazioni sul vicino Oriente quali il Gange e lo Sri Lanka. Vi sono riportate oltre 500 città (quelle sede dell'impero – Roma, Costantinopoli, Antiochia - indicate da un medaglione, le altre da due case) e 3500 particolarità geografiche come fari e santuari importanti. La Tabula con ogni probabilità è basata sulla carta del mondo preparata da Marco Vipsanio Agrippa (64 a.C. - 12 a.C.), amico e genero dell'imperatore Augusto. Si pensa che la sua redazione fosse finalizzata ad illustrare il *cursus publicus* (cioè la rete viaria pubblica sulla quale si svolgeva il traffico dell'impero, dotata di stazioni di posta e servizi a distanze regolari, che era stata appunto riordinata da Augusto). In seguito alle invasioni barbariche lo sviluppo e la produzione della cartografia decadde fino a quando, nel X secolo, si ebbe una ripresa ad opera degli Arabi che costruirono precise carte nautiche del Mediterraneo e dell'Oceano Indiano. In questo periodo infatti il pensiero scientifico classico venne relegato nei monasteri, accessibile a pochi monaci eruditi, portando ad una battuta

d'arresto nello sviluppo delle tecniche geodetiche e cartografiche con la produzione delle carte che, per tutto l'Alto Medioevo fino al primo Rinascimento, si basava su quanto riportato nelle Sacre Scritture. Gli anni delle crociate (XII e XIII secolo), dell'invenzione della bussola (XII secolo) e l'intensificarsi delle rotte commerciali portarono ad una rinascita della cartografia europea le cui innovazioni derivano appunto dall'incontro tra la civiltà araba e quella cristiana a Palermo, allora capitale del Regno di Sicilia, presso la corte del re normanno Ruggero II il quale nominò Idrisi, uno dei più grandi geografi arabi, geografo ufficiale di corte. Su incarico del Re Ruggero, Idrisi ebbe il compito di raccogliere in un libro, un insieme organico di informazioni geografiche su quanti più paesi possibili il tutto integrato da una carta riassuntiva. Il libro doveva contenere le coordinate di un gran numero di località, le distanze tra di esse, la loro distribuzione secondo le zone climatiche. Mappe delle varie regioni dovevano integrare le varie parti. Il libro risultante dal complesso di informazioni richiese più di 15 anni e dovette raggiungere una fama ben ragguardevole se venne considerato l'opera geografica più completa e dettagliata apparsa in Europa nel secolo XII. Il piano di quest'opera è relativamente semplice e allo stesso tempo artificioso. Ciascuna delle sette zone climatiche viene suddivisa in dieci sezioni verticali, arrivando quindi alla suddivisione della superficie terrestre in settanta quadrilateri sferici. Infine, ciascuno di questi settanta quadrilateri viene descritto minuziosamente, con l'accompagnamento di una carta geografica. Naturalmente Idrisi tenne conto anche di descrizioni geografiche di predecessori. La carta geografica di Idrisi assunse la forma finale di una piastra d'argento, delle dimensioni di 3,5 x 1,5 metri. Purtroppo, nel 1160 questa piastra cadde nelle mani di fanatici che la distrussero.

Figura 2.5 - Tabula Rogeriana (tratto da: http://www.theplanisphere.com/2012/muhammed-al-idrisi/)

I contemporanei (specialmente cristiani-europei) di Idrisi mostrarono un incredibile disinteresse per la sua opera, evitando di tradurla in latino. La prima traduzione dell'opera di Idrisi si ebbe a Roma solo nel 1619, e in una forma molto abbreviata.

Nel successivo periodo rinascimentale, la cartografia venne riscoperta e rivalutata come tutte le altre arti. Le intuizioni e le scoperte del passato in campo geografico vennero rielaborate e criticate. In particolare venne rimessa in discussione l'idea che il mondo non sia piatto o, se sferico, che i continenti non siano circondati da mari impraticabili. Paolo dal Pozzo Toscanelli (Firenze, 1397 – 1482), matematico astronomo e cartografo fiorentino, fu il primo a teorizzare che, sulla base delle informazioni provenienti da viaggiatori e missionari e la costruzione di un planisfero, si potessero raggiungere le Indie attraverso l'Oceano Atlantico. La sua idea che la via più breve per raggiungere l'estremo oriente passi per l'Atlantico si rivelerà sbagliata, ma giocherà un ruolo storico eccezionale, influenzando almeno indirettamente il progetto di Colombo. Il progresso scientifico e tecnologico (si pensi ad esempio all'invenzione della stampa di Gutemberg del 1455) insieme agli interessi politici ed economici favoriti dalle grandi scoperte geografiche di questo periodo, portarono ad un radicale rinnovamento della cartografia. A seguito infatti della caduta di Costantinopoli per mano dei Turchi e quindi un aumento delle difficoltà a raggiungere l'oriente per i commerci, si cercavano vie alternative per arrivarci senza passare per il Mediterraneo. Le possibili soluzioni erano fornite o dalla circumnavigazione dell'Africa (nel 1488 Bartolomeo Diaz si fermò al Capo di Buona Speranza, l'attuale Città del Capo) o dalla navigazione verso occidente intorno alla terra fino ad arrivare ad Oriente. I primi due paesi che percorsero con le loro navi le nuove vie marittime furono inizialmente il Portogallo e la Spagna, poi la Francia e l'Inghilterra. La scoperta delle nuove terre portò con sé grandi trasformazioni di tipo sociale, culturale, economico e politico che portarono ad un rapido e forte sviluppo nei settori delle conoscenze geografiche e della cartografia. I territori "scoperti" rappresentavano per le potenze del vecchio continente una nuova fonte di risorse (ad esempio oro, argento, nuove specie animali e vegetali, spezie) e l'inizio di una serie di nuove rotte commerciali che si tradussero ben presto in un efferato colonialismo caratterizzato da frequenti scontri per la conquista di nuovi possedimenti. Si capisce quindi l'importanza in tal senso rivestita da una carta geografica le cui linee di confine tracciate su di essa determinavano l'appartenenza o meno di un territorio, e quindi delle sue risorse, a questa o quella potenza europea. Ne è un esempio il trattato di Tordesillas tra Spagna e Portogallo (Castiglia 7 Giugno 1494) con il quale veniva diviso il mondo al di fuori dell'Europa in un duopolio tra l'impero spagnolo e quello portoghese. Venne infatti tracciato un meridiano Nord-Sud a 1770 km (370 leghe) ad Ovest delle isole di Capo Verde (ca. 46° 37' Ovest) che segnava il confine tra le terre ad Est (appartenenti al Portogallo) e ad Ovest (appartenenti alla Spagna) (fig.2.6). Con il viaggio attorno al globo di Magellano, sorse una nuova disputa. Anche se entrambe le nazioni concordarono che la linea doveva correre lungo tutto il globo, dividendo il mondo in due metà uguali, non era chiaro dove questa dovesse essere tracciata dall'altra parte del mondo. In particolare, entrambe le nazioni sostenevano che le Molucche (importanti come fonti di spezie)

si trovassero nella loro metà del mondo. Dopo nuovi negoziati, il Trattato di Saragozza del 22 aprile 1529 decise che la linea doveva passare a 297,5 leghe ad est delle Molucche. La Spagna ricevette in cambio un risarcimento monetario. Dal XV al XVIII secolo, in diversi paesi europei si svilupparono e raggiunsero livelli tecnici elevatissimi varie scuole cartografiche (come quella portoghese, bavarese, fiamminga, oxfordiana e olandese).

Figura 2.6 – Mappa geografica recante la suddivisione del nuovo mondo a seguito del trattato di Tordesillas (tratto da: http://www.clickescolar.com.br/navegacoes-tardias.htm)

Le carte geografiche erano richiestissime e, dovendo essere utilizzate nei diversi paesi europei, furono anche tra i primi testi a comparire più o meno contemporaneamente in diverse lingue, nonostante i costi abbastanza elevati per produrli. Sono di questo periodo la carta del mondo di Martin Waldseemuller in 12 fogli pubblicata nel 1507 (la prima in cui compare il nome di America) e quella di Diego de Ribeira del 1529 in cui per la prima volta l'oceano Pacifico viene cartografato nelle dovute proporzioni. Elaborare mappe verosimili era al tempo molto difficile in quanto le questioni da risolvere erano molte e gli strumenti limitati. In questo senso uno dei problemi maggiori, oltre a quello della longitudine che verrà risolto come si è detto con l'invenzione del cronometro, era quello di rappresentare in un modo chiaro ed utilizzabile la superficie di una sfera su di un foglio di carta bidimensionale. Questo tipo di problema venne affrontato e risolto dal fiammingo Gerhard Kremer (Gerardo Mercatore - Rupelmonde, 5 marzo 1512 – Duisburg, 2 dicembre 1594), uno dei più grandi geografi di tutti i tempi, attraverso l'utilizzo di una proiezione cilindrica conforme universalmente nota come proiezione di Mercatore. Con questa proiezione egli rappresentò l'intero globo terrestre compreso le Americhe e l'Antartide. Questa tecnica venne utilizzata per la prima volta nel 1569 per un planisfero a 18 fogli ad *usum naviganti*. Mercatore continuò tutta la vita a

produrre carte e la sua ultima opera, l'*Atlas*, ebbe l'intento di raccogliere tutto lo scibile geografico del tempo (Mercatore morì lasciando l'opera incompiuta che venne poi terminata dai suoi figli e nipoti e uscì postuma). L'opera venne anche tradotta in latino e l'edizione venne divulgata nel 1602 con 101 mappe. L'epoca in cui visse Mercatore è appunto quella delle grandi scoperte geografiche e dell'inizio delle nuove rotte commerciali ad opera delle potenze coloniali europee. L'Oceano Atlantico era così diventato il fulcro dei trasporti e dei commerci via mare per cui erano di fondamentale importanza le conoscenze tecniche e geografiche per tracciare rotte in grado di permettere il raggiungimento dei vari porti nel nuovo continente.

Figura 2.7 - Mappamondo di Mercatore 1587 - Londra British Museum (tratto da: http://www.diegocuoghi.com/Piri_Reis/Mercator1587.htm)

Lo sviluppo della proiezione di Mercatore rappresenta sotto questo punto di vista il passo più significativo nella cartografia nautica del tempo. Questo tipo di tecnica, attraverso la rettifica delle lossodromie, risolse i problemi nautici del tempo. La lossodromia è la spirale logaritmica, nel caso sferico, che inviluppa i poli e che unisce due punti qualsiasi sulla superficie terrestre, tagliando tutti i meridiani con lo stesso angolo. In pratica era sufficiente sulla carta nautica collegare con una retta il punto di partenza e il punto di arrivo per conoscere direttamente l'angolo di prua vera. In questo modo l'angolo di rotta rimane costante tagliando tutti i meridiani con lo stesso angolo. L'ortodromia, dati due punti qualsiasi sul globo, è l'arco sulla superficie che li congiunge formato dall'intersezione della superficie sferica con il piano di appartenenza dei due punti e del centro della Terra. L'ortodromica quindi corrisponde alla più piccola distanza tra due punti su di una sfera. Nel caso in cui il cammino sia molto breve in confronto al raggio di curvatura della Terra o, più in generale, della superficie non piana che si sta percorrendo, la propria direzione apparentemente retta o "rotta vera" non si discosta molto dal cammino più breve

ottenibile. In questo caso sia il percorso lossodromico sia quello ortodromico sono molto vicini. Per esempio, la differenza tra i due percorsi nel Mar Mediterraneo, sede del principale traffico marittimo e commerciale prima delle grandi scoperte geografiche, non è apprezzabile. Nel caso in cui però, i punti sono molto distanti come ad esempio le varie rotte tra l'Europa e le Americhe, le differenze aumentano notevolmente e con le tecniche e le carte geografiche utilizzate prima della proiezione di Mercatore, le navi sbarcavano in punti diversi da quelli prefissati. L'isogonia della proiezione di Mercatore, caratteristica secondo la quale esiste l'eguaglianza tra un angolo misurato sulla terra e il corrispondente angolo misurato sulla carta nautica, ha reso infatti questa carta molto utile alla navigazione.

Figura 2.8 - Carta di Mercatore con Lossodromica e Ortodromica (tratto da: http://www.genoaportcenter.it/Pagina.aspx?idPag=127)

L'intuizione del geografo fiammingo è legata, dal momento che sulla Terra i meridiani convergono tutti verso i poli, alla dilatazione, man mano che dall'Equatore si procede verso i poli, dell'ampiezza dei paralleli compresi tra due meridiani, affinché questa divenga simile alla lunghezza del corrispondente arco di Equatore. A questo allungamento dei paralleli fece seguire una dilatazione della lunghezza del meridiano in corrispondenza dei due paralleli. Questa deformazione fa sì che nella carta di Mercatore la distanza tra i paralleli sia sempre più grande, man mano che dall'Equatore si procede verso i poli. Questa variazione nella distanza tra i paralleli comporta, necessariamente, una continua variabilità nella scala delle latitudini, che cresce dall'Equatore verso i Poli. Tracciando quindi una rotta con una linea retta su di una carta realizzata con la proiezione di Mercatore, questa linea incontrerà tutti i meridiani con un angolo costante. Definito l'angolo con cui la lossodromica taglia i meridiani, si potrà quindi andare da un'origine ad una destinazione mantenendo sempre lo stesso angolo sulla bussola. La rotte che venivano seguite in questa maniera non erano le più corte, ma permettevano di raggiungere i punti prestabiliti. Verso la fine del XVII secolo venne pubblicata una nuova opera cartografica il cui

titolo era *Atlas maior* consistente in 10 Volumi con quasi 600 mappe (edito in latino, tedesco, olandese e francese) ad opera di Joan Blaeu, un cartografo fiammingo noto per essere diventato, insieme ad i suoi figli, il cartografo ufficiale della compagnia delle Indie olandese. Abbiamo visto come la cartografia ha avuto un forte sviluppo nelle sue basi scientifiche e tecniche con le nuove scoperte geografiche, specie nella cartografia nautica dove venivano individuate le rotte da seguire per il Nuovo Mondo.

Figura 2.9 - Mappa di Amsterdam, J. Blaeu 1649 (tratto da: https://it.wikipedia.org/wiki/Joan_Blaeu)

Un problema rimasto insoluto per molti anni era però quello di determinare la longitudine di una nave in alto mare nell'oceano. Mentre per determinare la latitudine si utilizzava la misura dell'altezza delle stelle (il sole, la stella polare o la croce del Sud ad esempio) utilizzate come riferimento rispetto all'orizzonte, la soluzione del problema relativo alla determinazione della longitudine non è stata cosa semplice tanto che la monarchia inglese nel 1714 arrivò a offrire 20.000 sterline in oro (l'equivalente di 3 milioni di sterline attuali) a chi fosse riuscito nell'impresa. Famosi astronomi del calibro di Newton, Galileo, Cassini, Huygens e Halley tentarono di risolvere il problema utilizzando la Luna e le altre stelle. Cercarono quindi di determinare la longitudine utilizzando la posizione di un corpo celeste in movimento (la Luna o i satelliti di Giove), rispetto ad alcune stelle fisse. La Luna,

con il suo moto tra le stelle, può essere infatti utilizzata come indicatore del tempo. Il nostro satellite, nel suo moto di rivoluzione attorno alla Terra, si muove in cielo di circa 13° al giorno, risultando così l'oggetto celeste più veloce. Poiché si può prevedere la posizione della Luna rispetto alle stelle in funzione del tempo locale di un qualunque luogo, il tempo del meridiano di riferimento può essere calcolato misurando la sua distanza da stelle note e riconosciute. Si trattava quindi di calcolare dalla nave a una data ora, la distanza angolare che separa la Luna da una stella, confrontandola poi con quella trovata ad una longitudine conosciuta. La differenza ottenuta poteva essere tramutata in spazio, trovando così la longitudine della nave. Questa metodologia, oltre a non poter essere usata in condizioni di maltempo, aveva bisogno di ulteriori condizioni che ne consentissero l'effettivo utilizzo in mare; in particolare, era necessario conoscere la posizione delle stelle che vengono interessate dal moto della Luna con un errore inferiore rispetto a quello commesso nel calcolare e misurare la posizione della Luna stessa, oltre che avere a disposizione strumenti per poter fare queste operazioni in maniera piuttosto semplice in mare. Bisognava anche costruire, con la stessa precisione, le tabelle che prevedevano il moto della Luna nel cielo. Tutto questo, rapportato alla strumentazione e alle tecniche del tempo, portava ad errori abbastanza elevati nel calcolo della longitudine di un corpo in movimento come può essere una nave nell'oceano. Potendo infatti al tempo calcolare la posizione della Luna con la precisione dell'ordine del primo d'arco (la sessantesima parte del grado), si ricavava il tempo del meridiano di riferimento con un errore dell'ordine di due minuti, il che comporta, per la posizione della nave, un errore di circa 30 miglia nautiche (circa 55,5 km) all'Equatore e di circa 15 miglia (27,7 km) a 60° di latitudine. Il problema della determinazione delle longitudini assillò per molti anni le menti più eccelse, tanto che anche nella letteratura del tempo si parlava dell'insolubilità del problema con lo scrittore inglese Swift che fa dire al protagonista del suo romanzo, Gulliver, che sono solo tre le cose impossibili per l'uomo: il moto perpetuo, la medicina universale e la soluzione del problema delle longitudini. A differenza della latitudine che, essendo misurata Nord Sud non risente del moto di rotazione terrestre, la longitudine invece è influenzata da esso. Con il movimento di rotazione terrestre ogni meridiano passa così davanti al sole, la cui altezza è massima a mezzogiorno lungo ognuno di essi. La soluzione del problema della longitudine era legata quindi alla conoscenza del tempo, agli strumenti per poterlo misurare ed all'utilizzo dell'ora di un meridiano da prendere come riferimento al quale rapportare poi le differenze temporali rilevate per determinarne così la posizione. La longitudine quindi poteva essere misurata come differenza temporale tra transito "reale" del sole al meridiano e il mezzogiorno dell'orologio. Un'ora di differenza corrisponde a 15 gradi, un grado a 4 minuti. In altre parole, se una persona che ha un orologio che segna il tempo del meridiano di riferimento trova che sono le 15,00 quando il sole ha l'altezza massima sull'orizzonte (le 12,00 solari locali) nel luogo in cui esso si trova, egli saprà che la sua longitudine è 45 gradi (3

ore) ad Ovest rispetto ad esso. Il problema quindi era stato risolto da un punto di vista teoretico mentre restava da risolvere la questione legata alla strumentazione ed al meridiano da utilizzare come riferimento. Per quanto riguarda il primo punto al tempo i migliori orologi erano quelli a pendolo, che naturalmente non potevano funzionare sulle navi di allora, e quelli a molla che invece risultavano inaffidabili sui tempi di durata dei viaggi in nave che erano dell'ordine delle settimane. Fu un orologiaio autodidatta, l'inglese John Harrison, a trovare la soluzione: bastava che ogni nave fosse equipaggiata con un cronometro in grado di segnare sempre l'ora "esatta", quella di Londra ad esempio, e un semplice confronto con l'ora locale avrebbe istantaneamente fornito la longitudine della nave. Harrison costruì ben 5 orologi dapprima basati su un sistema di contrappesi e molle poi su un sistema con scappamento, bilanciere e molla di carico a spirale vincendo l'ambito premio con l'H4 (la precisione dell'orologio era dell'ordine di un secondo al mese). Relativamente alla scelta del meridiano da utilizzare come riferimento la questione venne risolta durante la Conferenza Internazionale dei Meridiani svoltasi a Washington nel 1884 durante la quale venne adottato un unico sistema di meridiani a livello mondiale in sostituzione di tutti quelli fino ad allora esistenti. Prima di allora le potenze marittime europee, quali la Spagna il Portogallo e l'Olanda, avevano scelto un proprio meridiano di riferimento a loro utile per realizzare carte nautiche e topografiche. Oltre ad esse anche altre nazioni adottarono un proprio meridiano per redigere carte topografiche nazionali: l'Italia adottò Monte Mario a Roma, il Belgio Bruxelles, il Giappone Kyoto e così molte altre. Nel 1634 Luigi XIII, avendo la Francia intrapreso le esplorazioni oceaniche, riunì in una conferenza, anticipando quindi quella di Washington, tutti i cartografi e gli astronomi europei del tempo per risolvere l'annoso problema del meridiano di riferimento scegliendo al tempo di adottare il Meridiano dell'Isola del Ferro (Isole Canarie), che venne allora definito per convenzione come il meridiano 20° a ovest di Parigi ed è stato uno dei più diffusi insieme a quello di Parigi e di Greenwich fino appunto al 1884. La Conferenza quindi fissò i parametri ed i riferimenti che, da allora in poi, vennero acquisiti da tutto il mondo come l'importante adozione del meridiano passante per Greenwich come riferimento per la misura della longitudine (22 voti favorevoli, 1 contrario mentre il Brasile e la Francia si astennero con quest'ultima che adottò il meridiano di Greenwich solo nel 1911).

Figura 2.10 - Cartografia della penisola italiana di produzione francese (meta '800). Da notare come il meridiano zero per la misura della longitudine è il meridiano passante per Parigi.

Da allora in poi la Terra è stata suddivisa in 180 meridiani e 180 antimeridiani, utilizzati per determinare la longitudine di un qualsiasi punto sulla superficie terrestre. La longitudine, sia est sia ovest, quindi viene misurata in gradi (da 0° a 180° E e W) a partire dal meridiano di Greenwich. L'inizio della cartografia moderna ebbe inizio con l'olandese Snellius il quale per primo applicò il metodo della triangolazione delle distanze e delle altezze misurando anche una base geodetica. La prima carta rigorosamente geometrica venne prodotta da Cesare Francesco Cassini pubblicata in scala 1:86.400 nel 1746, questa illustrava in 18 fogli l'intero territorio francese, dopo un lavoro enorme di creazione di una rete di punti geodetici su tutto il territorio nazionale (fig.2.11).

Figura 2.11 - Carta topografica di Cassini

Cominciarono a nascere così delle vere e proprie scuole di topografia dove si insegnavano i diversi mestieri secondo tecniche e metodologie scientifiche. Ciò ha portato negli anni che seguirono ad un continuo perfezionamento delle tecniche e degli strumenti di misura e alla nascita di un organizzazione internazionale per le misure geodetiche nel 1864. Nell'Ottocento i vari stati iniziarono così ad allestire le proprie cartografie nazionali topografiche e derivate. Sempre nel XIX secolo la cartografia iniziò a differenziarsi ampiamente, poiché era sempre maggiore la penetrazione delle applicazioni di questa disciplina all'interno delle varie attività umane dal rilevamento geologico all'indagine meteorologica e climatica, dal campo didattico a quello economico, storico, industriale ed amministrativo. Un forte apporto nel campo geografico in questo secolo deriva dallo sviluppo delle tecniche fotogrammetriche, nate per il rilievo architettonico, ma con una forte applicazione anche allo studio del territorio allorquando furono sviluppati i primi mezzi atti al volo e quindi idonei per le riprese aeree (le prime foto aeree furono realizzate in Francia da Nadar nel 1858, a bordo di un aerostato). Lo sviluppo delle tecniche di fotogrammetria terrestre e l'utilizzo di sensori fotografici sempre più complessi montati su apparecchi in grado di compiere riprese dall'alto ha portato, nel Novecento, alla nascita dapprima dell'aerofotogrammetria e, con il lancio dei satelliti, al telerilevamento. Entrambe queste tecniche hanno dato un forte impulso alla cartografia, instaurando nel complesso una salda relazione tra le due discipline tanto che la cartografia moderna viene elaborata partendo dai dati provenienti da queste tecniche. L'utilizzo, le funzioni e le finalità della cartografia cambiano

Figura 2.12 - A sx foto aerea in bianco e nero (volo GAI 1954); a dx Ortofoto del 1997

radicalmente rispetto a quelle del passato. La necessità di disporre di informazioni sempre più complete ed in maniera rapida per fini che siano essi politici, economici, sociali o militari ha portato ad una notevole produzione cartografica anche attraverso l'istituzione di banche dati e l'utilizzo di procedure standard per l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione dell'informazione geografica (vedi cap.1 par. 1.9). La tecnologia da satellite ha ulteriormente ridotto i tempi di realizzazione di un prodotto cartografico: il satellite infatti, consente di realizzare in tempi brevi e su più sezioni temporali, una copertura cartografica su aree molto vaste e anche con scale abbastanza grandi (risoluzione geometrica dell'ordine di alcuni centimetri, con sensori in grado di registrare la risposta spettrale su vari range di lunghezza d'onda). Contemporaneamente allo sviluppo dei sistemi di telerilevamento è proseguito quello della cartografia computerizzata, in grado di soddisfare la necessità di efficienti sistemi informativi relativi al territorio con la nascita di quella che viene definita cartografia numerica. Come descritto ampiamente nel precedente capitolo, i progressi dell'elettronica e dell'informatica hanno rivoluzionato i processi di produzione degli elaborati cartografici dall'origine fino alla restituzione grafica dell'informazione geografica. In particolare, grazie all'ausilio di tecnologie sempre più efficienti ed efficaci, vengono sviluppate nuove procedure volte ad accelerare la produzione di cartografia e l'aggiornamento dell'informazione geografica attraverso l'utilizzo di opportuni processi di automazione che nel tempo hanno portato anche ad una riduzione dei relativi costi di produzione. Tutto questo ha condotto ad una nuova concezione della cartografia, non certo dei suoi paradigmi fondamentali, quanto invece nei metodi di divulgazione e diffusione oltre che di correlazione tra vari tipi di informazioni territoriali e altre in qualche modo collegate con esso. Il trattamento informatico dei dati geografici ha permesso quindi di associare a ciascuna entità territoriale tutte le informazioni volute sia tematiche che di base le quali, a causa del convenzionalismo cartografico, in precedenza non potevano essere rappresentate permettendo inoltre il loro posizionamento rispetto ad un preciso

sistema di riferimento. Anche se complessi da un punto di vista strutturale, con operazioni di inserimento dati abbastanza onerose in termini di tempo e di risorse, alle quali vanno aggiunti i processi di conservazione, elaborazione e gestione dei dati acquisiti, i sistemi informativi territoriali hanno rivoluzionato il modo di analizzare e di rappresentare il territorio. Il supporto informatico insieme alla componente software garantiscono infatti una elevata plasticità e dinamicità del prodotto cartografico, potendo infatti apportare modifiche di qualsiasi tipo, aggiornare mappe in modo continuo senza dover essere vincolati al supporto cartaceo per il quale, ad ogni modifica o aggiornamento, è necessario stampare nuovamente l'elaborato. Viene meno anche il vincolo legato alla scala in quanto questa può essere cambiata continuamente non essendo più statica come accadeva per la rappresentazione su carta. Attraverso i sistemi informativi territoriali, la cartografia diventa quindi uno strumento con il quale non solo rappresentare il territorio ed i suoi aspetti ma anche e soprattutto uno strumento analitico in grado di integrare informazioni geografiche di varia provenienza, di comprendere ed analizzare i molteplici aspetti coinvolti nelle dinamiche territoriali ad ogni livello. La cartografia numerica ha ormai del tutto soppiantato i vecchi metodi di diffusione dell'elaborato cartografico che, mentre in passato rappresentava il prodotto ultimo dell'attività di un cartografo, oggi costituisce uno dei più importanti prodotti in uscita in quanto gli strumenti di analisi che costituiscono il cuore di queste tecnologie permettono lo studio, la conoscenza, il monitoraggio del territorio e dei fenomeni che agiscono su di esso. Anche se, oggigiorno come in passato, le tecniche di rilievo e le procedure di acquisizione ed elaborazione di dati e cartografia di base restano dei campi che necessitano di personale altamente qualificato, grazie agli strumenti tecnico–informatici è possibile usufruire e talora elaborare informazioni di natura cartografica anche da personale non esperto nel campo. L'avvento delle nuove tecnologie, l'utilizzo della rete internet e di sistemi di trasmissione dati sempre più veloci hanno portato a quella che Goodchild (2007) ha definito democratizzazione dell'informazione geografica legata al concetto dei cittadini "sensori" e al mondo dell'informazione geografica volontaria (Eisnor, 2006; Turner, 2006; Hudson-Smith et al., 2008; Hudson-Smith & Crooks, 2008, Borruso, 2010) diffondendo di fatto gli strumenti geografici anche tra i non professionisti o accademici. Esistono infatti software liberi che gestiscono cartografia come ad esempio Google Earth, Google Maps, Bing e molti altri che, attraverso un semplice collegamento in rete rendono disponibili prodotti cartografici aggiornati e utilizzabili per normali attività che fanno parte del vivere quotidiano. Su questa linea si trovano anche i vari WebGIS dei portali cartografici regionali che permettono la visualizzazione di informazioni geografiche su vari tematismi con scale di dettaglio maggiori relativamente ai propri ambiti amministrativi. Nel tempo sono nati anche molti progetti, tra cui si segnala Open Street Map (www.openstreetmap.org) del 2004, che hanno letteralmente 'aperto' il mondo della cartografia anche ai meno esperti. Così come riportato nel sito, Open Street Map è

"*…una mappa liberamente modificabile dell'intero pianeta. È fatta da persone come te. OpenStreetMap permette a chiunque sulla Terra di visualizzare, modificare ed utilizzare dati geografici con un approccio collaborativo*". Esso rappresenta quindi un progetto collaborativo con il fine ultimo di creare mappe a contenuto libero di tutto il mondo dove chiunque può apportare il proprio contributo sia attraverso rilievi sul territorio tramite tecnologia GPS, sia con l'introduzione di banche dati vettoriali già esistenti o più semplicemente attraverso la digitalizzazione, su basi cartografiche di varia natura, di ulteriori dati legati al territorio (strade, percorsi, edifici, aree naturali, punti di interesse, ecc….).

2.2. Le misure della Terra

Fin dall'antichità l'uomo ha sempre cercato di determinare le dimensioni del nostro Pianeta ricorrendo spesso a metodi semplici ed intuitivi che condussero a dei risultati prossimi a quelli reali misurati oggi con strumentazioni molto più sofisticate. Un esempio rilevante fu quello condotto dal geografo greco Eratostene da Cirene che nel 240 a.C., utilizzando alcune informazioni astronomiche e alcune nozioni di geometria, arrivò a stabilire che la Terra dovesse essere una sfera di circonferenza pari a 39375 km, valore non molto distante rispetto ai 40009 km misurati oggi con tecniche molto più all'avanguardia. La scienza che si occupa di studiare la conformazione, le dimensioni, la rappresentazione grafica del globo terrestre, i fenomeni geodinamici e del suo campo gravitazionale è la geodesia. L'utilizzo della triangolazione appoggiata ad una base geodetica per la misurazione degli archi di paralleli e meridiani terrestri, introdotta dal già citato scienziato olandese Snellius, diede inizio alla geodesia moderna. Una prima misura precisa di un arco di meridiano venne effettuata da un astronomo francese, Jean Picard, il quale nel 1670 misurò il tratto tra Parigi e Amiens sul meridiano passante per l'Osservatorio di Parigi. Questo risultato, confermato poi anche da altri studiosi, indicava che la superficie terrestre non era esattamente sferica, avviando così una disputa tra chi sosteneva che la Terra fosse allungata ai poli e chi invece riteneva che fosse schiacciata ai poli, come aveva previsto anche Newton un secolo prima sulla base di calcoli teorici di tipo idrodinamico. La conferma di quest'ultima teoria avvenne in seguito a due mirate spedizioni geodetiche organizzate dall'Accademia francese delle Scienze, una in Perù (1735 – 1744) e l'altra in Lapponia (1736 – 1737). Da questo momento in poi la forma della Terra cominciò ad essere considerata prossima a quella di un ellissoide di rotazione, solido geometrico utilizzato poi per rappresentare la superficie del nostro Pianeta. Nel XIX secolo, con il progredire degli studi relativi alla matematica, alla fisica unitamente alle misurazioni della gravità terrestre, si riuscì ad evidenziare come l'ellissoide di rotazione non descriveva esattamente, oltre che geometricamente, la forma reale della superficie terrestre. L'attenzione si spostò quindi ed è tuttora in corso, verso la ricerca ed il calcolo di una forma geometrica più complessa che meglio rappresentasse la reale forma della Terra. Questa

superficie venne definita per la prima volta da un fisico tedesco con il termine "geoide" definendolo come superficie più prossima alla forma della Terra. Come vedremo nei paragrafi successivi, il geoide viene utilizzato per la definizione dell'altimetria (più precisamente della quota ortometrica) dei punti sulla superficie terrestre in quanto, essendo il geoide non esprimibile matematicamente (funzione della distribuzione delle masse all'interno della Terra, non ancora del tutto nota), non può essere utilizzato come superficie di riferimento per le rappresentazioni cartografiche, campo nel quale vengono utilizzati invece gli ellissoidi di rotazione, questi invece esprimibili attraverso una formula matematica molto semplice che ben si presta alla risoluzione del problema cartografico attraverso una corrispondenza biunivoca, basata su equazioni, tra i punti della superficie terrestre con quella ellissoidica. La superficie ellissoidica infatti, a differenza di quella topografica e quella geoidica, è utilizzata per le produzioni cartografiche (fig. 2.13).

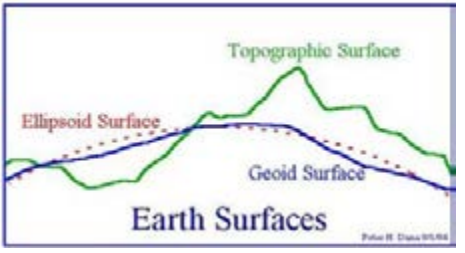


Figura 2.13 - Superficie topografica, ellissoidica e geoidica (Peter H. Dana 9/1/94)

2.2.1. Il Geoide

Concettualmente il geoide è una superficie perpendicolare in ogni punto alla direzione della verticale, cioè alla direzione della forza di gravità (filo a piombo). Secondo la definizione di Bezoari (2002) la superficie del geoide è "*...la superficie media degli oceani, intesi come formati da acqua di densità e temperatura costanti, depurata dei moti ondosi e dalle irregolarità delle maree sia periodiche che accidentali, dalle variazioni della pressione atmosferica*". La sua forma corrisponde quindi a quella che avrebbe la Terra se fosse priva di rilievi montuosi. Il livello medio del mare rappresenta quindi la parte "visibile" della superficie geoidica poiché l'acqua in stato di quiete si dispone secondo una superficie sulla quale la forza di gravità è uguale in valore assoluto in ogni punto in direzione ortogonale ad esso. Da un punto di vista cartografico e geodetico il geoide non può essere utilizzato per la determinazione planimetrica di porzioni di terreno, questo perché anche se si riuscisse a mettere in corrispondenza i punti della superficie topografica con quella del geoide, non sarebbe poi possibile mettere questi in corrispondenza con i punti di un piano. Il geoide infatti non può essere descritto da una formula matematicamente risolvibile in quanto sarebbe necessario conoscere in ogni punto della Terra la

direzione della forza di gravità che è funzione della densità terrestre in quel punto. Il geoide quindi ha una rigorosa definizione fisica ma non è descrivibile matematicamente. Per il suo riscontro fisico con la realtà, ed avendo la caratteristica di essere una superficie perpendicolare alla direzione della forza di gravità, il geoide è utilizzato per definire l'altimetria dei punti sulla superficie terrestre ed in particolare quella che viene definita come quota ortometrica. La quota ortometrica di un punto P sulla Terra (H_p) è definita come la distanza tra il punto e il geoide, misurata lungo l'arco di linee di forza della gravità compreso tra il punto P ed il geoide, pari alla lunghezza dell'arco di linee di forza sotteso tra P ed A in figura 2.14.

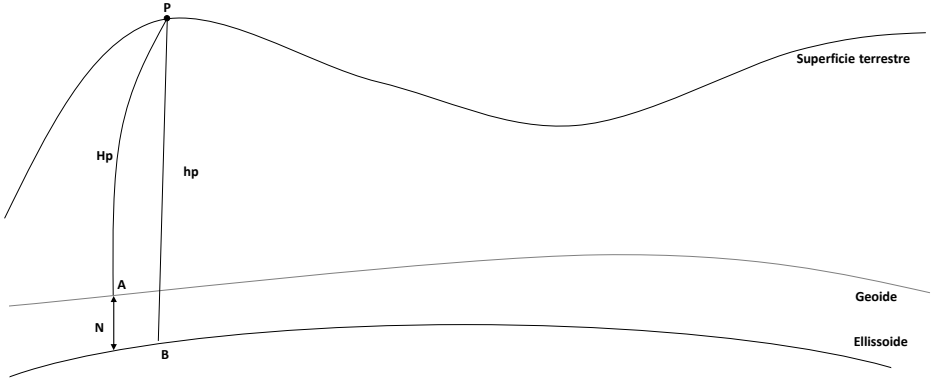


Figura 2.14 - Quota ortometrica (Hp) e quota ellissoidica (hp) (elaborazione dell'autore)

La quota ellissoidica dello stesso punto P (indicata con hp) è la distanza del punto dall'ellissoide misurata lungo la normale a questo (segmento PB in figura 2.14) ed è quella che viene rilevata dalle normali strumentazioni GPS. La quota ortometrica, conosciuta anche come altezza sul livello medio del mare, è quella utilizzata nelle applicazioni ingegneristiche in quanto essa, per la sua definizione, corrisponde ad un livello energetico del campo gravitazionale (se un punto si trova più in alto del geoide ha una energia potenziale maggiore) per cui risulta determinante nelle progettazioni infrastrutturali o in quelle legate al moto dei fluidi (sistemi di captazione idrica, reti fognarie…). Viene inoltre comunemente utilizzata nella cartografia, nei supporti a terra per la cartografia aerea e come dato di input per i modelli tridimensionali di rappresentazione della realtà. La lettera N sempre nella figura 2.14, indica quella che viene chiamata ondulazione del geoide e cioè lo scostamento della superficie geoidica rispetto a quella ellissoidica. Il parametro N, come facilmente intuibile, va rapportato al tipo di ellissoide utilizzato ed il suo valore viene rilevato con diverse metodologie che tengono conto delle anomalie e dell'orografia a livello locale. Dato un punto P sulla superficie della Terra,

l'ondulazione del geoide in quel punto è pari alla differenza tra la quota ellissoidica e quella ortometrica misurate entrambe in quel punto.

2.2.2. L'Ellissoide di rotazione

L'ellissoide di rotazione (o di rivoluzione) è un solido geometrico ottenuto dalla rotazione di una ellisse di un angolo di 360 gradi attorno all'asse maggiore o all'asse minore. Quello utilizzato nella cartografia è ottenuto dalla rotazione dell'ellisse attorno al suo asse minore (questa rotazione genera infatti un ellissoide 'schiacciato' ai poli). Già Newton nel XVII secolo sulla base di considerazioni di tipo idrodinamico intuì per primo che la forma della Terra era più simile ad un ellissoide di rotazione schiacciato ai poli e con l'asse minore coincidente con quello polare di rotazione. Per la sua vicinanza alla forma del geoide e per la semplicità dell'equazione cartesiana che lo definisce, l'ellissoide di rotazione è stato così adottato come rappresentativo della superficie terrestre. L'ellissoide rende possibile la corrispondenza biunivoca tra i punti della superficie terrestre con quelli della superficie ellissoidica permettendo inoltre, attraverso opportune equazioni matematiche, di rappresentare planimetricamente porzioni di superficie terrestre. L'equazione che definisce l'ellissoide di rotazione è la seguente:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

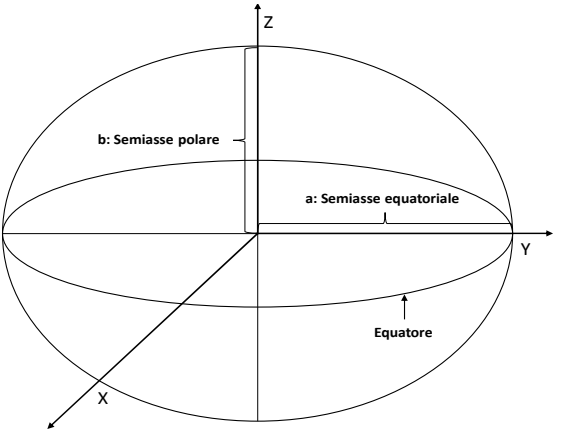


Figura 2.15 - Ellissoide di rotazione (elaborazione dell'autore)

Dove *a* rappresenta il semiasse maggiore o equatoriale e *b* il semiasse minore o polare. Il semiasse minore *b* coincide con l'asse di rotazione terrestre (è quello attorno al quale ruota l'ellisse generatrice) mentre il semiasse maggiore *a* rappresenta il raggio della circonferenza, detta equatore, che si ottiene intersecando un piano ortogonale al semiasse minore e passante per il centro con l'ellisse. Tutte le

circonferenze individuate dall'intersezione di piani paralleli a quello equatoriale costituiscono i paralleli mentre le ellissi (tutte uguali) derivate dall'intersezione di piani ortogonali a quello equatoriale passanti per il semiasse minore costituiscono i meridiani. L'ellissoide viene individuato quindi attraverso la definizione dei due semiassi oppure da uno dei due insieme ad uno di questi parametri adimensionali che lo caratterizzano: schiacciamento, prima e seconda eccentricità. Lo schiacciamento (α) è definito dal rapporto tra la differenza tra il semiasse maggiore ed il semiasse minore e il semiasse maggiore; la prima eccentricità (e^2) è data dal rapporto tra la differenza del quadrato del semiasse maggiore con il quadrato del semiasse minore rapportata al quadrato del semiasse minore, stessa cosa per la seconda eccentricità (e'^2) dove la differenza tra i quadrati dei due semiassi è rapportata al quadrato del semiasse minore.

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

La determinazione dei parametri dell'ellissoide può essere effettuata attraverso osservazione tramite satelliti artificiali (dagli anni '70 in poi) oppure con dei metodi geometrici basati su misure a terra come ad esempio il metodo degli archi. Questo metodo, impiegato già dalla prima metà del XIX secolo da molti geodeti (tra cui Bessel nel 1841 che misurò 10 archi di meridiano con 38 determinazioni di latitudine), consiste nel misurare la lunghezza di almeno due archi di meridiano attraverso metodi di triangolazione geodetica, insieme alla latitudine, mediante osservazioni astronomiche, degli estremi di ciascun arco. Il già nominato ellissoide di Bessel del 1841 fu uno dei primi ad essere ottenuto tramite questa metodologia e venne adottato in moltissimi paesi che lo utilizzarono per redigere la loro cartografia. I metodi per il calcolo dei parametri dell'ellissoide divennero sempre più complessi con il passare degli anni, con l'obiettivo di ridurre al minimo gli scostamenti tra la verticale al geoide e la normale all'ellissoide. Agli inizi del XX secolo Hayford definì cinque ellissoidi sulla base degli scostamenti relativi a cinque diverse distribuzioni delle masse terrestri. Uno di questi, che risultava avere gli scostamenti minimi basato sull'ipotesi isostatica, venne adottato dall'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale (UGGI) nel 1924 come ellissoide internazionale anche se, circa 20 anni più tardi, Krassovsky, un astronomo e geodeta russo, dimostrò che questo non era sufficientemente rispondente per gli scopi per i quali veniva utilizzato

e così propose lui stesso altri parametri ellissoidici che vennero subito adottati dall'ex Unione Sovietica.

Ellissoidi di riferimento

Nome	Anno	Semiasse maggiore (a)	Semiasse minore (b)	Schiacciamento (α)	Note Cartografia Italiana
Bounguer Maupertuis	1738	6397300		1/216,8	
Delambre	1810	6375653		1/334,0	
Walbeck	1819				
Everest	1830	6377276	6356075	1/300,8	
Bessel	1841	6377397	6356079	1/299,1	**Cartografia Catastale Italiana**
Airy	1858	6377563	6356257	1/299,3	
Pratt	1863	6378245		1/295,3	
Clarke	1866	6378206	6356584	1/294,9	
Clarke modificato	1880	6378249	6356515	1/293,5	
Hayford (Ellissoide internazionale 1924)	1909	6378388	6356912	1/297,0	**Cartografia Ufficiale Italiana fino al 27/02/2012 (Roma 40; ED50)**
Krasovskiy	1940	6378245	6356863	1/298,3	
National Australian	1965	6378165		1/298.3	
South America	1969	6378160	6356774	1/298,3	
WGS 60	1960	6378165		1/298,3	
WGS 66	1966	6378145		1/298,25	
WGS 72	1972	6378135	6356750	1/298,258	
GRS 80	1980	6378137	6356752,31414	1/298,257222101	**Cartografia Ufficiale Italiana**
NAD 83	1983	6378137	6356752,3	1/298,257024899	
WGS 84	1984	6378137	6356752,31420	1/298,257223563	
IERS 89	1989	6378136	6356751,302	1/298,257	

Tabella 2.1 Parametri dei principali ellissoidi utilizzati per la rappresentazione cartografica

L'utilizzo dei satelliti nel valutare i parametri caratteristici degli ellissoidi è ormai universalmente riconosciuto. In particolare i valori vengono ricavati dagli scostamenti delle orbite effettive dei satelliti rispetto a quelle teoriche, regolate dalle leggi di Keplero, dimensionando il corpo terrestre, intorno al quale ruotano i satelliti, con i parametri dell'ellissoide ultimo determinato. Se si fa un raffronto tra l'ellissoide internazionale e gli ultimi determinati con metodi orbitali, si rileva che questi sono più piccoli e meno schiacciati dell'ellissoide internazionale di Hayford, e che la gravità normale è diminuita di 16 mgal (il gal, o galileo, è l'unità di misura dell'accelerazione nel sistema cgs – centimetro, grammo, secondo – espressa in centimetri per secondo quadrato) all'equatore e di 3 mgal ai poli. I parametri degli ellissoidi ultimi determinati (come il WGS84 – World Geodetic System - e il GRS80 – Geodetic Reference System) vengono utilizzati sia per scopi geodetici ma anche cartografici. A partire da Marzo 2012 l'IGMI (Istituto Geografico Militare Italiano) ha adottato il GRS80 quale riferimento geodetico per inquadrare la propria cartografia a scala nazionale (vedi par. 2.5.4 e 2.5.6). Il WGS84 ed il GRS80 presentano differenze trascurabili nel semiasse minore (dopo la quarta cifra decimale) che non hanno alcuna importanza nelle applicazioni cartografiche e topografiche.

2.3. I sistemi di coordinate

L'operazione di determinazione della posizione di un punto o di un elemento geografico appartenenti alla superficie terrestre viene definita georeferenziazione o georiferimento. La posizione quindi viene espressa attraverso un opportuno sistema di coordinate a loro volta riferite ad un datum (o sistema geodetico) di riferimento. Delle caratteristiche dei datum, con particolare attenzione a quelli utilizzati per il territorio nazionale, se ne parlerà espressamente nei paragrafi successivi, per ora ci interessa sapere che una volta assegnato un datum (un ellissoide di riferimento) è possibile, attraverso l'utilizzo di un sistema di coordinate, stabilire su di esso la posizione di un punto. Di sistemi di coordinate utilizzati in geodesia e cartografia ne esistono diversi e, a seconda dei tipi, possono esprimere una posizione planimetrica (coppia di coordinate) o tridimensionale (terna di coordinate) ma per gli scopi di questo volume, soffermeremo l'attenzione sui due più comunemente utilizzati: coordinate geografiche (ellissoidiche o astronomiche) e le coordinate cartesiane (geocentriche o ellissocentriche). Le coordinate geografiche ellissoidiche sono quelle utilizzate maggiormente in tutti i campi della geodesia e della cartografia oltre che quelle che vengono fornite dai più comuni ricevitori satellitari. La posizione di un punto viene quindi individuata dalla sua longitudine (λ) e dalla sua latitudine (ϕ) ellissoidica e se a queste si aggiunge la quota ellissoidica (h vedi figura 2.14) si ottiene anche la posizione altimetrica del punto. La latitudine ellissoidica di un punto è pari alla distanza angolare di questo dall'equatore, misurata in gradi e frazioni di grado sull'arco di meridiano passante per quel punto (varia da 0 – equatore – a 90 – polo – Nord e Sud a seconda che il punto si trovi nell'emisfero boreale o australe) mentre la longitudine ellissoidica è pari alla distanza angolare del punto dal meridiano di riferimento misurata in gradi e frazioni di grado sull'arco di parallelo passante per quel punto (varia da 0 a 180 Est o Ovest rispetto al meridiano di riferimento passante per Greenwich). Le coordinate geografiche possono essere espresse o in gradi sessagesimali (gradi, minuti secondi) o con i gradi decimali. Le coordinate cartesiane geocentriche (se l'origine è il centro di massa della Terra) o ellissocentriche (se l'origine del sistema coincide con il centro dell'ellissoide) sono coordinate riferite ad un sistema di assi cartesiano in cui l'asse Z è orientato secondo l'asse polare medio terrestre l'asse X e l'asse Y, entrambi perpendicolari a Z, disposti sul piano equatoriale con X orientato secondo il meridiano fondamentale (Greenwich) e Y posizionato in maniera tale da formare una terna destrorsa. La posizione planoaltimetrica è definita quindi da una terna di coordinate X, Y e Z. Le coordinate cartesiane ellissocentriche vengono utilizzate per gli ellissoidi dei datum locali il cui centro non coincide con il centro di massa della Terra. Oltre a questi sistemi di coordinate esistono anche le coordinate cartesiane locali o Euleriane, le coordinate geodetiche polari e le coordinate geodetiche ortogonali. Non fanno riferimento ad un ellissoide le coordinate astronomiche o geodetiche, basate sulla verticale fisica del filo a piombo e sulla forma geoidica del globo. Queste rivestono

un ruolo di primaria importanza e vengono qui segnalate, in quanto sono quelle che vengono utilizzate dagli astronomi per posizionare ed utilizzare gli strumenti di osservazione e misura come ad esempio i datum stessi. La latitudine astronomica e la longitudine astronomica servono infatti a determinare la posizione di un punto sulla superficie del geoide rispetto alla posizione di alcune stelle note.

2.4. Le reti geodetiche

Come accennato all'inizio di questo capitolo, per descrivere la superficie terrestre in modo matematico vengono utilizzate le reti geodetiche in quanto ognuna di esse costituisce una rappresentazione della superficie fisica della Terra. Una rete geodetica è quindi costituita da un insieme finito di punti posti sul terreno di cui si

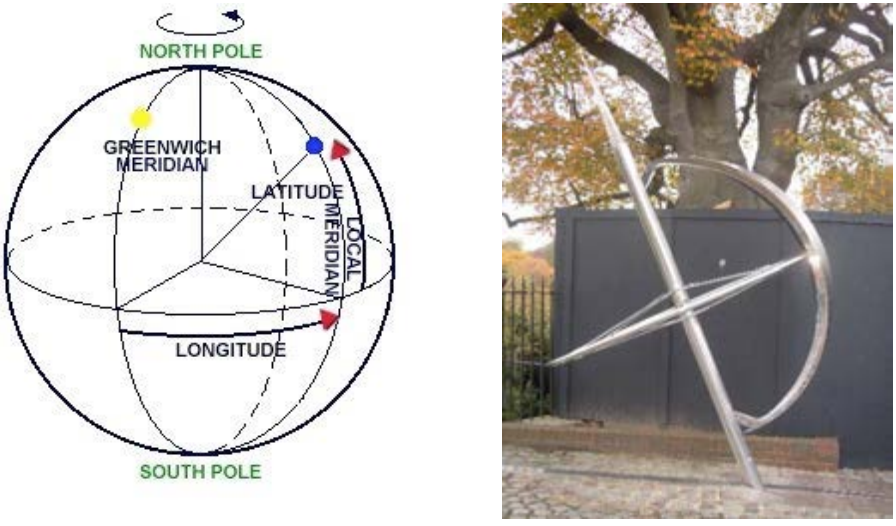


Figura 2.16 - A sinistra immagine con indicazione della longitudine e della latitudine; a destra il meridiano zero di Greenwich (foto F. Zullo).

conosce la loro posizione in un definito sistema di coordinate. Naturalmente la rappresentazione fisica della superficie terrestre sarà tanto più precisa quanto più alta sarà la densità dei punti che costituiscono la rete e che verranno misurati. Le reti geodetiche inoltre, a seconda del tipo di risultato che forniscono, possono essere distinte in tre categorie: altimetriche o verticali, planimetriche orizzontali, planoaltimetriche o tridimensionali. Le reti geodetiche altimetriche forniscono la quota H (quota ortometrica) rispetto al geoide mentre la posizione planimetrica dei punti è generalmente più approssimativa; al contrario le reti planimetriche orizzontali forniscono con una certa precisione la latitudine e la longitudine dei punti mentre il relativo valore di quota risulta essere molto meno preciso. Le reti planoaltimetriche forniscono le tre coordinate (latitudine, longitudine e quota) con un ottimo grado di precisione. La risoluzione di queste reti attraverso una serie di

calcoli e misure (procedure di triangolazione e trigonometria) è legata, come vedremo, al concetto di datum. I punti che costituiscono la rete possono essere divisi in caposaldi (punti di osservazione) e vertici (tutti gli altri punti) e, a seconda della distanza tra i punti di osservazione, vengono classificate in reti di primo ordine (distanza tra i punti di osservazione molto elevata), secondo e terzo e così via dove, andando avanti con gli ordini, aumenta la precisione delle misure e diminuisce la distanza tra i punti di osservazione. La rete geodetica nazionale è costituita da 4 ordini, quella di primo ordine venne realizzata nel 1880 ed formata da vertici distanti tra loro 50-60 km, mentre gli ordini successivi sono formati da densificazioni della rete dell'ordine precedente con vertici posti all'incirca nei baricentri dei triangoli derivanti dal processo di triangolazione tra i punti che la costituiscono. Naturalmente vertici e caposaldi di tutte le reti sono segnalati in maniera adeguata e permanente, sono inoltre descritti in schede monografiche dove sono riportate, oltre naturalmente alle coordinate, tutta una serie di informazioni utili per l'individuazione del vertice o del caposaldo. La rete geodetica fondamentale italiana, detta IGM95, è costituita dall'insieme di tutti questi caposaldi e vertici ed è una rete di tipo statico (per distinguerla da quelle di tipo dinamico dove le stazioni di rilevamento sono solidali con la placca su cui vengono poste). Lo sviluppo della tecnologia satellitare, unitamente all'utilizzo di reti geodetiche sempre più fitte, ha permesso di migliorare notevolmente la precisione dei rilevamenti di uso comune nella cartografia. Si è già parlato della tecnologia GPS (Global Positioning System box 1) e di come i dati derivanti da essa vengono correntemente utilizzati ed integrati nei GIS, mentre negli ultimi anni viene utilizzato l'acronimo GNSS (Global Navigation Satellite System) per indicare il sistema globale di navigazione satellitare basato sull'insieme del sistema statunitense GPS, del russo GLONASS (Global Navigation Satellite System), del sistema europeo Galileo in via di sviluppo (operativo dal 2014 sarà completato nel 2020) e del Cinese Beidou o Big Dipper. Più in generale l'acronimo GNSS viene utilizzato per indicare un sistema di navigazione basato sulla ricezione di segnali radio emessi da costellazioni di satelliti artificiali in orbita attorno alla Terra. Normalmente un tipico ricevitore GPS genera coordinate nel sistema WGS84 (ellissoide di riferimento WGS84) con una precisione dell'ordine di alcuni metri circa la sua posizione. Per avere una maggiore precisione circa le correzioni di posizione i dati derivati da queste strumentazioni vengono incrociati con quelli generati da opportune stazioni permanenti GNSS distribuite su di un territorio. Ognuna di queste stazioni è costituita da un ricevitore e da una antenna satellitare ricevente, sono organizzate in rete su di un territorio e collegate ad un centro di calcolo che analizza ed elabora i dati. Il centro di calcolo permette di avere correzioni di posizione in tempo reale migliorando notevolmente la precisione del dato di partenza (precisioni dell'ordine dei centimetri). Le stazioni sono di tipo dinamico permettono infatti di monitorare le deformazioni della crosta terrestre (dovute a subsidenza, movimenti sismici o tettonici) oltre che gli spostamenti dovuti alla

deriva dei continenti ed appunto per questo, le misure derivanti da reti di questa natura devono essere sempre riferite ad un certo anno di riferimento (misure valide per un certo lasso temporale). Nel 1993 a livello mondiale nasce la rete dinamica IGS (International GPS Service for Geodynamics) costituita da circa 400 stazioni (alcune di queste impiegate per la valutazione delle deformazioni della crosta terrestre) non solo ricevitori GNSS ma anche VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) e DORIS (Ground Deformations Risk Scenarios: an Advanced Assessment Service) che osservano la Terra 24 ore su 24 (http://igscb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html#rfsites) la cui soluzione è costituita dall' ITRF (International Terrestrial Reference Frame) frame del datum ITRS (International Terrestrial Reference System) di cui si parlerà più in dettaglio nel prossimo paragrafo. Le misure di questa rete sono eseguite in continuo e risultano essere molto accurate. In Europa esiste la rete di stazioni permanenti GPS EPN (EUREF - EUropean Reference Frame – Permanent Network) la cui soluzione determina il datum ETRS (European Terrestrial Reference System). Le soluzioni di ETRS (coordinate e velocità degli spostamenti) vengono definite ETRF (European Terrestrial Reference Frame), quelle più importanti sono l'ETRF89 e l'ETRF2000 che costituisce, così come indicato nella Direttiva INSPIRE (Technical Guidelines Annex I – D2.8.I.1), il nuovo frame ufficiale europeo. La Rete Dinamica Nazionale (RDN) creata dall'IGM insieme a varie sedi universitarie italiane, nasce con l'obiettivo di dotare il territorio nazionale di un supporto geodetico valido per tutti gli scopi geotopocartografici, in linea con le nuove tecnologie. Consiste in un network di 100 stazioni permanenti GNSS (comprende 13 stazioni IGS e 28 EPN) che osservano in continuo i segnali satellitari e li trasmettono ad un centro di calcolo. La distanza media tra le varie stazioni è di circa 100 – 150 km (una stazione ogni 3000 km^2 all'incirca). La Rete Dinamica Nazionale si affianca a IGM95 ed insieme costituiscono la realizzazione italiana del nuovo frame europeo ETRF2000. Tra le misure adottate nei decreti ministeriali del 10 novembre 2011 del Ministro per la pubblica amministrazione e l'innovazione, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27 febbraio 2012 - Supplemento ordinario n. 37), sulla scorta di quanto indicato nella direttiva Inspire, viene adottato e definito il Sistema di riferimento nazionale che, così come riportato nell'art.1 del presente decreto, *"...consente la documentazione, la fruibilita' e lo scambio di dati territoriali fra le amministrazioni centrali, regionali e locali"*. L'Art. 2 infatti stabilisce che il nuovo sistema di riferimento geodetico nazionale adottato dalle amministrazioni italiane è costituito dalla realizzazione dell'ETRF 2000 (anno di riferimento 2008), del sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, ottenuta nell'anno 2009 dall'Istituto Geografico Militare, mediante l'individuazione delle stazioni permanenti, l'acquisizione dei dati ed il calcolo della Rete Dinamica Nazionale. Dall'entrata in vigore del suddetto decreto, così come riportato nell'art.3, le amministrazioni "*…utilizzano il Sistema di riferimento*

geodetico nazionale per georeferenziare le proprie stazioni permanenti, nonché per i risultati di nuovi rilievi, le nuove realizzazioni cartografiche, i nuovi prodotti derivati da immagini fotografiche aeree e satellitari, le banche dati geografiche e per qualsiasi nuovo documento o dato da georeferenziare".

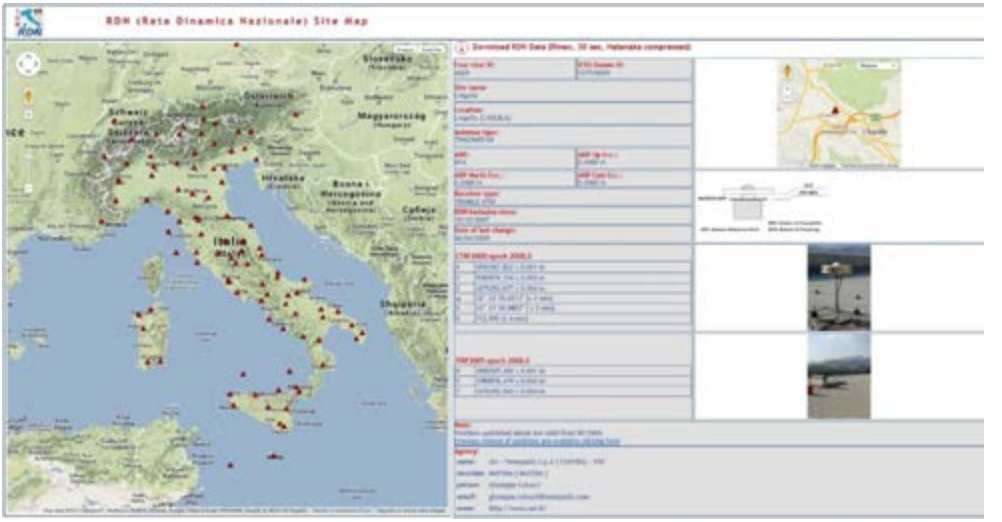


Figura 2.17 - La Rete Dinamica Nazionale (tratto da http://www.igmi.org/rdn/).

E' inoltre indicato (art. 4) come i dati pregressi prodotti e a disposizione delle amministrazioni nei sistemi di riferimento geodetico Roma40, ED50 e ETRF89 verranno convertiti nel nuovo sistema di riferimento utilizzando dati e procedure messe a disposizione in maniera gratuita dall'IGM, utilizzabili anche presso il Geoportale nazionale (Servizio WCTS – Web Coordinate Transformation Service - http://www.pcn.minambiente.it/wctsclient/).

2.5. Datum geodetici

Finora si è sempre utilizzato il termine rilevamento, concetto questo fondamentale nella geodesia, ma che negli ultimi anni, con l'utilizzo dei sistemi GNSS è stato sostituito da quello di posizionamento. Il concetto di posizionamento è strettamente legato a quello di datum e del sistema di coordinate utilizzato. Un datum geodetico, o semplicemente datum o sistema di riferimento, è appunto un sistema di riferimento che permette di esprimere in termini matematici la posizione di punti della superficie fisica della Terra (Smith 1997, Mattiozzi *et alii*, 2013). In altre parole è un sistema di riferimento che permette di georeferenziare punti ed oggetti mediante l'utilizzo di opportune coordinate. La definizione di datum è sempre un'operazione di tipo teorico, la concretizzazione avviene attraverso la sua realizzazione tramite l'attribuzione dei valori di coordinate (attraverso una serie di misure e calcoli

geodetici) a un insieme di punti materializzati sulla superficie terrestre e che costituiscono la rete di inquadramento associata a quel particolare datum. Ad esempio le soluzioni ETRF89, ETRF2000 della rete europea EPN sono realizzazioni del datum europeo ETRS89. Ad ogni datum quindi è associata una rete che ne permette la sua realizzazione. Per tutte le applicazioni geodetiche, cartografiche e topografiche si utilizzano sistemi di riferimento solidali con la Terra (sistemi non inerziali anche detti Earth-Fixed). In questa tipologia di sistemi l'assunto è che le coordinate dei punti della superficie terrestre non variano nel tempo anche se, come è noto, queste variano per effetto delle deformazioni della crosta terrestre in maniera molto lenta. A seconda del tipo di rete (vedi paragrafo precedente) utilizzata per la loro realizzazione, i datum possono essere distinti in: altimetrici, planimetrici e tridimensionali. Le reti vengono, ovviamene, periodicamente rimisurate e ricalcolate; ciò comporta nuove e aggiornate realizzazioni dei sistemi di riferimento. Da un po' di anni il rilascio di nuove realizzazioni dei datum è divenuto sempre più frequente in quanto le strumentazioni moderne permettono di eseguire misure molto accurate ed in continuo evidenziando anche le deformazioni della crosta terrestre che nel passato erano trascurate poiché le monografie associate ai vertici ed ai capisaldi di una determinata rete restavano valide per parecchie decine di anni. Naturalmente l'utilizzo dei satelliti e di altre tecnologie di rilevamento globale ha cambiato anche il modo di definire il datum nella geodesia moderna rispetto a quella classica. In quest'ultima infatti venivano utilizzati datum locali (nazionali, al più porzioni di continente) attraverso l'adozione di ellissoidi orientati localmente come superficie di riferimento. L'orientamento locale di un datum veniva fatto in maniera tale da annullare la deviazione dalla verticale in un punto centrale della zona da rappresentare. In questo punto, definito punto di emanazione del datum, inoltre la quota ellissoidica e quella ortometrica coincidono per cui lo scostamento dal geoide è nullo (N=0). Praticamente il punto di emanazione è il punto di tangenza tra l'ellissoide orientato localmente ed il geoide. Così facendo la deviazione dalla verticale diventa trascurabile per tutto il campo di applicazione del datum e quindi tutte le misure di angoli e distanze (tutte misure eseguite a terra) effettuate con strumentazione orientata secondo la verticale possono essere direttamente proiettate sull'ellissoide. Questi tipi di datum nella geodesia classica erano impiegati solo per la planimetria (horizontal datum) mentre l'altimetria veniva trattata a parte. Nella geodesia moderna vengono utilizzati datum globali basati quindi su misure di tipo satellitare, la cui definizione è basata su una terna cartesiana geocentrica solidale alla Terra alla quale è associato un ellissoide di tipo geocentrico il cui asse Z è disposto secondo l'asse di rotazione terrestre, l'asse X (insieme all'asse Y sul piano equatoriale) secondo la direzione del meridiano fondamentale mentre l'asse Y disposto in maniera tale da formare una terna destrorsa. In questa tipologia di datum la deviazione dalla verticale è sempre ed ovunque diversa da zero ma questi datum sono pensati e realizzati attraverso misure satellitari e non rilevamenti a terra per cui

non risentono di questa tipologia di errore. Sono infatti le effemeridi, vale a dire le orbite dei satelliti in funzione del tempo, ad essere utilizzate per le misure nel sistema geocentrico. Anche per questi datum esistono delle reti associate, come ad esempio le già menzionate reti IGS-EUREF o la rete IGM95. I datum altimetrici o vertical datum, sono dei sistemi di riferimento dove vengono definite le quote ortometriche dei punti. In questa tipologia di datum devono essere individuate una origine delle quote (detto caposaldo fondamentale a cui si assegna la quota zero) collegata ad un mareografo (strumento in grado di misurare e registrare la quota del livello del mare in un determinato punto), una rete di livellazione (o altimetrica) associata a quel datum che rechi fisicamente le quote su tutto il territorio interessato. Con l'utilizzo della tecnologia satellitare è inoltre necessario un modello di geoide che può essere globale (generalmente più approssimato e valido per tutta la Terra) o locale (più accurato e valido localmente), necessario per convertire le altezze ellissoidiche in quote geoidiche valutando così gli scostamenti lineari tra le due superfici (definite dalle ondulazioni geoidiche N – vedi par. 2.1.1.). In Italia ci sono tre definizioni del datum altimetrico: per la Sardegna il riferimento è il livello medio del mare nel 1956 rilevato dal mareografo di Cagliari, per la parte peninsulare si utilizza il livello medio del mare del 1942 rilevato dal mareografo di Genova e per la Sicilia il riferimento è dato dal livello medio del mare del 1965 rilevato dal mareografo di Catania. Il modello di geoide locale utilizzato è Italgeo2005, calcolato dal Politecnico di Milano in collaborazione con l'IGM (fig. 2.18). Italgeo2005 è coerente con il datum altimetrico della rete di livellazione nazionale; l'accuratezza assoluta del modello è dell'ordine dei 10 cm mentre l'accuratezza relativa (variazione di ondulazione tra due punti) è migliore. L'utilizzo del geoide avviene attraverso i grigliati IGM di uso corrente per le trasformazioni di datum (i grigliati .gr1 incorporano il modello ITALGEO99, i grigliati .gr2 e .grk incorporano ITALGEO2005). L'interpolazione tra i nodi del grigliato per la georeferenziazione avviene ad opera di algoritmi presenti in una serie di software (ad esempio Cartlab, Verto, Ferens+, ConveRgo). Per il corretto utilizzo dei dati nei sistemi informativi territoriali e di tutte le operazioni connesse ad essi (analisi spaziale, georiferimento, analisi tridimensionali) è di fondamentale importanza conoscere il datum in cui l'informazione geografica viene prodotta o importata. Uno stesso punto o oggetto se riferito a datum diversi ha coordinate diverse con differenze che possono essere dell'ordine di alcuni metri, ma possono arrivare anche a centinaia di metri. E' di fondamentale importanza specificare sempre il datum al quale le coordinate degli oggetti geografici nei layers si riferiscono. Riassumendo quindi le caratteristiche necessarie per definire un sistema di riferimento sono: un datum geodetico corrispondente all'ellissoide di riferimento ed al suo orientamento (locale o globale), una rete geodetica di inquadramento ad esso associata (tipo di rete e anno di determinazione) ai quali poi andrà aggiunto un sistema cartografico con un particolare tipo di proiezione e delle zone di validità, di cui si parlerà in dettaglio nel prossimo paragrafo, che permettono

di passare dall'ellissoide al piano della carta. Abbiamo visto come diversi siano i dati utilizzati dalla geodesia classica (datum locali di tipo planimetrico o horizontal datum) rispetto a quelli utilizzati nella geodesia moderna dove le tecnologie satellitari rendono possibili applicazioni con datum geodetici globali e tridimensionali. Generalmente ogni nazione si è dotata nel tempo di datum geodetici propri (naturalmente realizzati con le tecniche della geodesia classica) che nel tempo sono poi stati sostituiti dai moderni datum globali. I datum di interesse, sia locali che globali, per la cartografia italiana sono riportati nella tabella seguente nella quale viene inoltre specificato il sistema cartografico utilizzato per ognuno di essi:

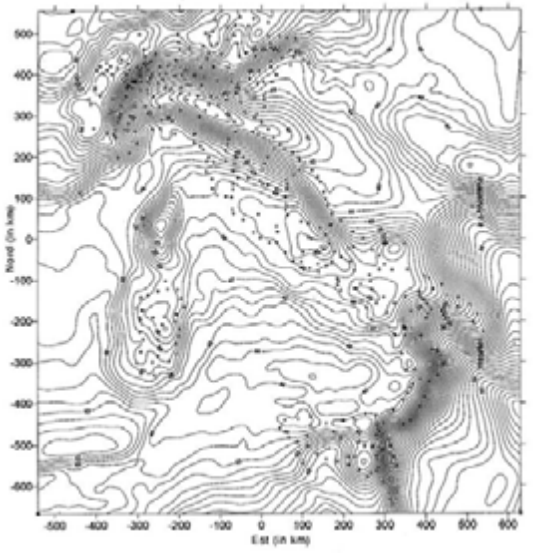


Figura 2.18 – Italgeo2005, rappresentazione grafica sotto forma di curve di ondulazione costante

	Parametri Datum geodetici				Sistema cartografico	
	Tipologia	**Ellissoide**	**Orientamento**	**Meridiano di riferimento**	**Tipo di proiezione**	**Zone di riferimento per l'italia**
Roma40	**Datum classico**	Internazionale di Hayford	Roma Monte Mario 1940	Roma Monte Mario o Greenwich	Gauss - Boaga	Fuso 1 (ovest), Fuso 2 (Est)
European Datum 50 (ED50)	**Datum classico**	Internazionale di Hayford	Potsdam 1950	Greenwich	Universal Trasversal Mercatore (UTM)	Fuso 32, 33, 34
Datum catastali	**Datum classico**	Bessel	3 orientamenti principali: Genova, Roma, Castanea delle Furie (ME)	3 Meridiani: Genova, Roma, Castanea delle Furie (ME) (uno per ogni orientamento)	Cassini - Soldner	31 grandi sistemi e 818 piccoli
WGS84	**Datum satellitare**	WGS84	Geocentrico	Greenwich	Universal Trasversal Mercatore (UTM)	Fuso 32, 33, 34
ITRS	**Datum satellitare**	WGS84	Geocentrico	Greenwich	Ad uso esclusivo per la Geodesia	
ETRS	**Datum satellitare**	WGS84	Geocentrico	Greenwich	Universal Trasversal Mercatore (UTM)	Fuso 32, 33, 34

Tabella 2.2 - Caratteristiche dei principali datum utilizzati in Italia (Elaborazione dell'autore)

I datum riportati sono stati definiti nel tempo attraverso strumentazioni, metodi e tecniche naturalmente diverse che hanno poi prodotto risultati diversi in termine di accuratezza e di precisione. E' abbastanza intuitivo capire come non si tratti di un'operazione semplice armonizzare informazioni riferite a sistemi di natura diversa, concepiti in epoche diverse e per scopi diversi. Nei paragrafi seguenti analizzeremo in dettaglio tutti i datum indicati nella tabella 2.2.

2.5.1. Datum classici: datum catastali

Rappresenta il datum alla base del sistema catastale italiano, il quale ha avuto origine dalla legge n. 3682 del 1 Marzo 1886 (Legge Messedaglia) sulla perequazione dell'imposta fondiaria il cui scopo era quello di istituire il catasto per calcolare le imposte. L'ellissoide adottato fu quello di Bessel orientato su Genova per l'Italia centro-nord comprensiva dell'Umbria, a Roma Monte Mario per una parte dell'Italia centrale e a Castanea delle Furie per l'Italia meridionale, dando origine quindi a tre datum diversi (datum principali). A questi vanno aggiunti Guardia Vecchia, nell'arcipelago dell'isola della Maddalena, che può essere considerato un sistema di riferimento a sé stante e valido per la Sardegna, e St. Stephen Turm a Vienna per coprire le zone dell'Alto Adige, dell'Istria e del Bellunese a seguito della Prima Guerra Mondiale (in questo caso venne adottato l'ellissoide di Oriani non quello di Bessel). Il meridiano fondamentale è quello passante per il rispettivo punto di emanazione (Genova, Monte Mario e Castanea delle Furie). La rete geodetica attraverso la quale avvenne la realizzazione di questi datum fu quella del I, II e III ordine dell'IGM con i valori di coordinate che queste avevano quando il catasto venne formato (fine '800 inizi del '900), successivamente integrata da una rete catastale di raffittimento distinta in rete, sottorete e dettaglio. L'utilizzo dei datum catastali avviene solo ed esclusivamente per la cartografia catastale italiana e anche se risulta obsoleta per alcuni aspetti, viene ancora oggi molto utilizzata per la tipologia di informazioni e la scala presenti nelle mappe catastali. Le mappe catastali rappresentano la collocazione geografica ed i limiti della proprietà fondiaria ed immobiliare, le aree occupate dalle strade e dalle acque pubbliche, gli elementi trigonometrici catastali che complessivamente riportano una elevata ricchezza di dettaglio geocartografico che non è presente nelle carte realizzate con tecniche moderne nella maggior parte degli enti italiani (principalmente regioni, province, comuni). Questo è dovuto essenzialmente a motivi legati al costo delle tecniche utilizzate per produrre questa cartografia catastale che viene elaborata a grande scala (1:2.000 extraurbana e 1:1.000 nei centri urbani) mentre normalmente la cartografia disponibile ed utilizzata negli uffici tecnici degli enti precedentemente indicati si ferma al massimo alla scala 1:5.000. Viene inoltre utilizzata per la redazione di strumenti urbanistici, come i Piani Regolatori Generali, in quanto è l'unica cartografia che riporta appunto i confini di proprietà. La validazione e la conservazione delle carte catastali è oggi a cura dell'Agenzia del Territorio (istituita

con il D.Lgs. 300/1999 e resa operativa dal 1° gennaio 2001 a seguito del decreto 1390/2000 del Ministero delle Finanze, con la legge 135/2012 - questa agenzia fiscale è stata incorporata nell'Agenzia delle Entrate). In questi datum sono definite, per la maggior parte delle aree, le coordinate piane Cassini – Soldner, ma sono state utilizzate anche quelle del sistema sinusoidale Sanson-Flamsteed (par. 2.6.1.).

2.5.2. Datum classici: Roma40

Il datum geodetico Roma40, o anche detto Monte Mario 1940, era il datum che costituiva il sistema geodetico nazionale prima della realizzazione del datum ETRS89 (ETRF2000 – realizzazione 2008) appunto per questo fondamentale nella realizzazione cartografica italiana. L'ellissoide adottato in questo particolare datum è l'ellissoide internazionale, o anche detto di Hayford (1924), orientato sull'Osservatorio astronomico di Roma Monte Mario, con misure astronomiche di riferimento del 1940 (deviazione nulla dalla verticale lungo il lato M.Mario - M.Soratte della rete geodetica fondamentale). La rete geodetica di realizzazione del datum è la vecchia rete geodetica nazionale dell'IGM nei suoi ordini I, II, III, e IV una rete questa che, a seguito della realizzazione della rete IGM95, sta divenendo priva di manutenzione, soggetta quindi ad un progressivo abbandono.

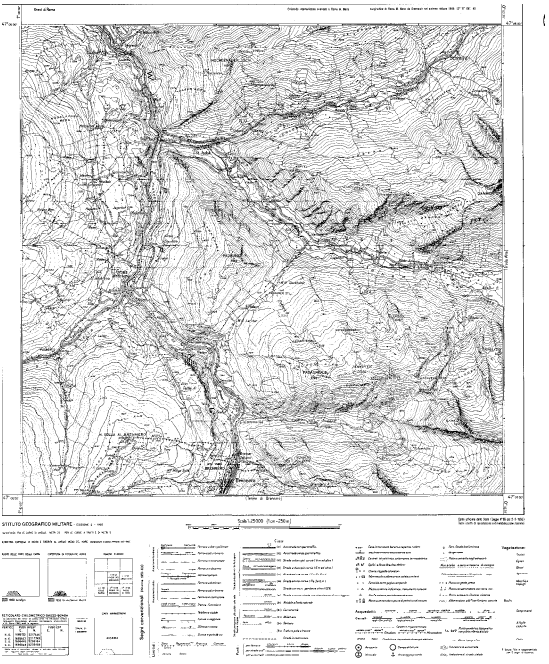


Figura 2.19 - Esempio di tavoletta della serie 25V dell'IGM realizzata con il Datum di riferimento Roma40. Nei 4 vertici sono riportate le coordinate geografiche rispetto al meridiano di Roma Monte Mario, con l'indicazione della distanza di questo da Greenwich. Sono inoltre riportate, in basso a destra le coordinate cartografiche piane dei 4 vertici nel sistema Gauss – Boaga. (Elaborazione dell'autore)

Il meridiano zero è quello passante per Monte Mario cui corrisponde una longitudine pari a zero gradi che, convenzionalmente, diventa positiva se ci sposta a est di questo e negativa verso ovest. In questo datum, al fine di agevolare i passaggi ed i confronti con altri datum come ad esempio quelli derivanti dalla geodesia moderna con tecniche satellitari o anche l'European Datum 1950, viene utilizzato come

riferimento anche il meridiano zero di Greenwich. Sommando algebricamente la costante pari a 12°27'08,40'' di longitudine, cioè la longitudine di Roma Monte Mario rispetto a Greenwich, si trasforma la longitudine di un punto da quella rispetto a Monte Mario a quella misurata rispetto a Greenwich. Come indicato in precedenza, essendo stato questo il datum di riferimento della cartografia italiana per molti anni, la cartografia nazionale prodotta dall'IGM è stata realizzata fino agli anni 2000 utilizzando proprio questo datum (serie 25V, 50V, 100V con successive produzioni aggiornate, per la 25DB e la 50DB il datum di riferimento è divenuto il WGS84-ETRS89). Questo sistema è ancora utilizzato da alcuni enti regionali per la produzione della propria Carta Tecnica Regionale. In questo datum sono definite le coordinate piane cartografiche "Gauss–Boaga".

2.5.3. Datum classici: European Datum 50

Questo tipo di datum è definito tramite l'ellissoide internazionale di Hayford orientato a Potsdam (Berlino) in Germania, le cui misure astronomiche si basano su calcoli del 1950. Più in dettaglio, la deviazione dalla verticale è nulla a Potsdam mentre il suo orientamento medio europeo è stato ottenuto dalla media delle misure degli azimut in vari punti. L'European Datum 1950, più comunemente noto come ED50, come è facile intuire, è stato impiegato con lo scopo di armonizzare e di unificare la cartografia a piccola e media scala prodotta a livello europeo. Il meridiano di riferimento è quello passante per Greenwich. Questo datum presenta una accuratezza inferiore rispetto a quelli utilizzati a scala nazionale in quanto la rete geodetica che lo realizza è composta da un numero di vertici e capisaldi inferiori rispetto a quelli considerati a scala nazionale. Ciò è dovuto all'utilizzo di uno dei primi computer moderni per l'elaborazione delle misure di compensazione di questa rete europea (misure eseguite dalla americana A.M.S. Army Map Service poi divenuta D.M.A. Defense Mapping Agency ed oggi N.I.M.A. National Imagery Mapping Agency dell'USGS statunitense) composta da una selezione di catene di triangoli estratte, a loro volta, considerando solo le reti di primo ordine di ogni singolo stato (la potenza di calcolo non era all'epoca sufficiente a compensare in blocco l'insieme di tutte le reti di ciascuno Stato). Per questi motivi, la rete che realizza questo datum non copre tutto il territorio europeo lasciando così alcune zone scoperte, risultando però pienamente funzionale per lo scopo per il quale è stato creato. In questo datum vengono utilizzate per la rappresentazione cartografica le coordinate piane U.T.M. (Universal Trasversal Mercatore). L'adozione nella cartografia italiana di tale sistema ha inizialmente comportato, a partire dal 1951, il riporto del reticolato ED50 sulla cartografia IGM prodotta dopo tale data (inizialmente solo per l'edizione militare, poi anche su quella per usi civili) fino ad arrivare, nel 1964, alla progettazione della nuova carta topografica d'Italia alla scala 1:50.000 da utilizzare per scopi civili e militari. E' un datum ancora oggi abbastanza importante in quanto gran parte della Cartografia Tecnica Regionale è inquadrata su

questi fogli al 50.000 della carta d'Italia IGM. Il reticolato è inoltre riportato su un gran numero di carte tematiche prodotte ed utilizzate in vari settori. Tutto questo vale anche per molti stati europei ed appunto per questo viene definito Sistema Europeo Unificato.

Figura 2.20 - Rete utilizzata per il sistema ED50 (tratto da: http://www.camilab.unical.it/didattica/cartografia_online/cartografia/indice.html

2.5.4. Datum satellitari: World Geodetic System 84

I datum visti sinora sono datum prodotti attraverso le tecniche utilizzate dalla geodesia classica, quelli di cui ci occuperemo ora derivano dall'utilizzo invece di tecniche geodetiche che si appoggiano a sistemi satellitari (i sistemi GNSS) introdotti e descritti precedentemente. L'utilizzo di questi sistemi è di fondamentale importanza nel concetto di posizionamento che caratterizza la geodesia satellitare e non di rilevamento termine questo proprio della geodesia classica. Il posizionamento dei punti (l'individuazione delle coordinate) sulla superficie terrestre o in prossimità di essa è quindi eseguita per mezzo di misure su satelliti orbitanti. A differenza dei datum prodotti dalla geodesia classica che hanno una validità locale (anche se per zone abbastanza estese come ad esempio l'ED50), i datum di tipo satellitare costituiscono dei datum geodetici di tipo globale per cui essi sono validi per l'intero globo terrestre. Essi non sono basati su di una superficie di riferimento, ma sono dei sistemi geocentrici (origine coincidente con il centro di massa terrestre) costituiti da una terna di assi cartesiani XYZ (X diretto secondo il meridiano fondamentale di

Greenwich, Z diretto secondo l'asse polare e Y diretto in maniera tale da formare una terna destrorsa con gli altri due). Questi sistemi sono solidali con la Terra (detti anche EC – Earth Centered – o EF – Earth Fixed) seguono quindi rigidamente la Terra nel suo moto. Ovviamente sono queste definizioni di tipo convenzionale in quanto sia la posizione del centro del sistema sia la direzione dell'asse polare devono essere stabilite convenzionalmente poiché la Terra, in quanto corpo celeste, compie tutta una serie di moti con tempi più o meno lunghi. In particolare l'asse polare di rotazione terrestre, come noto, è inclinato di un angolo di 23°27' rispetto alla perpendicolare al piano dell'eclittica (l'eclittica è l'intersezione del piano d'orbita terrestre con la sfera celeste) ed è soggetto a dei movimenti, le nutazioni (perturbazioni del moto di precessione dell'asse di periodo di circa 18,6 anni) che fanno sì che questo nel suo moto, anziché descrivere coni circolari, si muova lungo coni leggermente ondulati. Nel tempo sono stati elaborati e vengono utilizzati datum globali diversi, in funzione della costellazione satellitare e del tipo di applicazioni le cui definizioni vengono periodicamente aggiornate per adattarsi ai cambiamenti occorsi alla Terra e ad i suoi moti. Alla terna cartesiana che costituisce datum di questo tipo viene associato un ellissoide geocentrico sia per analogia con i sistemi classici, sia anche per facilitare la georeferenziazione di punti con le classiche coordinate geografiche, molto più intuitive e facilmente utilizzabili rispetto a quelle cartesiane geocentriche. Questi ellissoidi vengono definiti utilizzando due parametri quali l'eccentricità e la lunghezza del semiasse maggiore (vedi paragrafo 2.2.2.) in quanto utili per le applicazioni geodetiche e topografiche più comuni, ma la definizione dei datum globali è molto più complessa in quanto comprende anche altri parametri quali la massa della Terra la sua velocità di rotazione, la direzione dell'asse polare terrestre ed altri ancora. La rete di realizzazione di questi datum è costituita sia dai satelliti (le coordinate vengono determinate in funzione del tempo – effemeridi orbitali) sia da punti materializzati a terra le cui coordinate vengono elaborate nella stessa maniera utilizzata per i datum classici (la strumentazione e la precisione sono diverse). Satelliti e punti a terra in sistemi di questa natura sono integrati in quanto i punti a terra vengono utilizzati per determinare le orbite dei satelliti e viceversa, le posizioni dei punti a terra e le variazioni nel tempo di questi vengono determinate attraverso i satelliti. Le reti geodetiche che definiscono datum di questa natura sono reti di tipo internazionale integrate poi da reti di raffittimento a livello locale. Queste reti geodetiche possono essere di tipo statico (passive) o dinamico (attive) (vedi par.2.4). Le reti dinamiche permettono di elaborare soluzioni di queste in continuo in quanto dotate di un ricevitore GNSS che è attivo 24 ore su 24. Il Datum globale World Geodetic System 1984 meglio conosciuto come WGS84 è un sistema terrestre convenzionale (CTS – Conventional Terrain System – con questo termine vengono indicati i sistemi geocentrici solidali con la Terra e riferiti ad elementi convenzionalmente fissati quali il polo medio e Greenwich), cioè un sistema di riferimento cartesiano utilizzato per descrivere la Terra, introdotto dal

governo Americano nel 1984 come sistema di riferimento geodetico per la costellazione satellitare NAVSTAR GPS. Questo sistema di riferimento ha il centro coincidente con il centro di massa terrestre, l'asse Z passante per il Polo Nord terrestre così come definito dal BIH (Bureau International de l'Heure – organismo internazionale con sede a Parigi) al 1984, l'asse X passante per il meridiano di Greenwich definito dal BIH al 1984 e l'asse Y disposto in modo da completare una terna ortogonale destrorsa e quindi giacente sul piano equatoriale 90° gradi ad Est dell'asse X. L'ellissoide è stato denominato WGS84, le cui caratteristiche sono state scelte dalla Difesa statunitense in maniera da uniformarlo alle impostazioni dell'Unione Internazionale di Geodesia e Geofisica che aveva portato all'adozione del sistema di riferimento geodetico GRS80 (Geodetic Reference System 1980). Il sistema geodetico globale WGS84 è quello adottato nel posizionamento mediante satelliti GPS per cui è largamente diffuso ed è oggi il più utilizzato nei sistemi di navigazione e nella maggior parte della cartografia prodotta di recente. Per quanto riguarda il territorio europeo, la rete di realizzazione di questo datum è la rete EUREF rete dinamica denominata per questo EPN (EUREF Permanent Network), per cui il datum WGS84 può essere considerato, ai soli fini pratici, coincidente con la realizzazione ETRF89 al 1 Gennaio 1989 del datum europeo ETRS (European Terrestrial Reference System).

Figura 2.21 - Rete Europea EPN (tratto da http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/it/home/topics/survey/sys/frames/global.htm)

Nel nostro territorio sono circa una ventina le stazioni della rete EPN, un numero insufficiente per le operazioni geodetico-topografico comuni. Lo scopo della già citata rete IGM95 (si ricorda rete di tipo statico) è appunto quello di raffittire questa

rete. Essa è costituita da circa 1200 vertici distribuiti in maniera uniforme sul territorio italiano la cui soluzione risulta coerente con la realizzazione ETRF89 per cui, in base a quanto riportato prima, la rete IGM95 costituisce la prima realizzazione ufficiale del datum WGS84. Trattandosi appunto di una rete di tipo statico le coordinate dei vertici vengono considerate costanti nel tempo per lunghi periodi e vengono aggiornate quando i movimenti delle placche che si accumulano nel tempo raggiungono valori non più trascurabili. La prima definizione del WGS84 venne elaborata in funzione delle posizioni di un insieme di stazioni satellitari di tipo Transit, una flotta di satelliti statunitensi costruiti dalla U.S. Navy per consentire a navi e sommergibili di determinare la propria posizione in mare in qualsiasi condizione meteorologica, e dal confronto tra il già esistente WGS72 ed il sistema CTS elaborato dal BIH. L'obiettivo era appunto quello di allineare (origine, scala ed orientamento) il sistema WGS84 al sistema CTS. Nel tempo questo allineamento è stato notevolmente affinato e il nuovo WGS84 può essere considerato coincidente con il sistema ITRF (International Terrestrial Reference Frame vedi oltre). Il livello di allineamento tra i due è monitorato costantemente dalla National Imagery Mapping Agency (NIMA) e dall'IGS (International GPS Service for Geodynamics) attraverso calcoli sulle effemeridi. Nelle versioni migliorate del WGS84 viene aggiunta una sigla tra parentesi (Gxxxx) dove G indica che il miglioramento è stato ottenuto con tecniche GPS e XXXX è un numero che indica la settimana GPS in cui è reso disponibile presso la NIMA questo nuovo sistema di riferimento. Al sistema WGS84 ufficialmente non è associato alcun sistema cartografico, anche se è frequente l'adozione della rappresentazione UTM con inquadramento WGS84 denominato UTM-WGS84 o più correttamente UTM-ETRF89.

2.5.5. Datum satellitari: International Terrestrial Reference System ITRS

Questo datum viene realizzato e gestito dallo IERS (International Earth Rotation Service – nel 2003 è divenuta International Earth Rotation and Reference Systems Service) una istituzione mondiale nata nel 1987 tra i cui obiettivi c'è quello di definire e mantenere "…*The International Terrestrial Reference System (ITRS) and its realization, the International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*" (www.iers.org). L'ITRS è un datum globale di notevole rilevanza scientifica, basato anch'esso su di una terna geocentrica, la cui definizione solo inizialmente coincideva con quella del WGS84. Infatti proprio per la sua caratteristica di essere di tipo dinamico, nel tempo si è discostato dal WGS84 in quanto le coordinate e le velocità dei punti che lo caratterizzano vengono costantemente ricalcolate variando nel tempo in quanto dipendono dalle deformazioni subite dalla crosta terrestre (es. deriva dei continenti). Questo datum viene realizzato attraverso una rete mondiale di stazioni permanenti costituita da una serie di ricevitori GNSS, ma anche da un insieme di altri tipi di sensori. Le soluzioni di questa rete costituiscono l'International Terrestrial Reference Frame o ITRF acronimo questo sempre accompagnato da 4

cifre finali che indicano l'anno di riferimento della soluzione. La realizzazione più recente è l'ITRF2008 (Altamimi et al., 2011), quella precedente era del 2005 (Altamimi et al., 2007). La già menzionata rete IGS rappresenta un sottoinsieme della rete IERS, le cui soluzioni vengono elaborate con maggior frequenza rispetto a quelle della rete ITRS fornendo così realizzazioni continue ed aggiornate. La realizzazione più recente è quella denominata IGS08 (coordinate 2005) sistema di riferimento anch'esso globale calcolato con le sole stazioni GNSS che ne costituiscono la rete (fig. 2.22).

Figura 2.22 – La rete IGS (settimana GPS 1709 – 07 Ottobre 2012) (tratto da http://igscb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html)

L'ITRS resta comunque un datum di prevalente uso scientifico in quanto in grado di descrivere in maniera accurata le deformazioni della crosta terrestre oltre ad essere utilizzato da molti gestori di reti dinamiche GNSS regionali con finalità di posizionamento per via del calcolo continuo della rete. Tuttavia, essendo un sistema di coordinate di tipo dinamico e quindi con riferimento temporale, il suo utilizzo in ambito tecnico è ancora piuttosto scarso; non essendo appunto un datum molto utilizzato in ambito tecnico, i dati di posizionamento acquisiti in ITRS devono essere forniti sempre con i parametri di trasformazione per renderli compatibili poi con il datum ufficiale della cartografia italiana ETRF89 – WGS84 coerente con la rete IGM95.

2.5.6. Datum satellitari: European Terrestrial Reference System ETRS

L'European Terrestrial Reference System (ETRS) è un sistema di riferimento geodetico cartesiano dinamico di tipo geocentrico (o Earth-centred, Earth-fixed)

basato sull'ellissoide GRS80 e rappresenta il datum ufficiale adottato dall'Europa. Ha lo stesso ruolo del NAD83 (North American Datum 1983) per l'America, sistema di riferimento in cui la placca nordamericana viene complessivamente considerata statica ed utilizzata per mappare e compiere rilievi in Canada, Messico e Stati Uniti. E' stato istituito nel 1990 a Firenze alla riunione di EUREF (ente che ancora oggi si occupa della sua gestione – http://www.euref.eu/), dove fu stabilito che questo nuovo sistema doveva essere coincidente con ITRS nel 1989 (il 1989 non è l'anno di realizzazione ma l'anno in cui ETRS89 era equivalente a ITRS89) corrispondente alla parte stabile della placca euroasiatica. Anche se l'Europa si sposta, il riferimento ETRS è agganciato ad essa e non subisce - internamente - significative deformazioni. Questo fa si che, pur essendo un sistema di tipo dinamico e quindi caratterizzato da coordinate variabili nel tempo, le coordinate e le mappe basate sull'ETRS non sono soggette al cambiamento causato dalla deriva continentale. La deriva continentale provoca infatti uno spostamento annuo della placca europea di circa 1,8 cm in direzione Est-Nord-Est. La rete che definisce questo datum essendo solidale alla piattaforma europea la segue nei suoi spostamenti complessivi e non risente di questi movimenti. Le variazioni di coordinate nel tempo dei punti sono variazioni di tipo relativo tra un punto ed un altro, di portata minore e con velocità molto più piccole rispetto a quelle della rete ITRS. La rete dinamica ITRS tiene conto come abbiamo visto dei movimenti d'insieme del continente per cui tra ETRS e ITRS si è accumulata una differenza negli anni dell'ordine di alcune decine di centimetri. La rete geodetica alla base dell'ETRS è la EPN (In Italia è stata raffittita sia con reti statiche – IGM95 – sia con reti dinamiche – Rete Dinamica Nazionale) le cui soluzioni (calcoli delle coordinate delle stazioni) costituiscono la realizzazione concreta denominata ETRFyy (European Terrestrial Reference Frame yy è l'anno di riferimento delle coordinate). Quella più utilizzata è la ETRF89 che può essere considerata coincidente con WGS84, ci sono anche realizzazioni più recenti come la ETRF2000 o anche la ETRF2000(2008) le cui coordinate sono state determinate nel 2008 e riportate al 2000 attraverso opportuni calcoli. Tra ETRF2000 e WGS84 (G1130) in Europa negli anni si è cumulata una differenza di circa 40 centimetri. In sostanza, per qualche decina di anni e per fini cartografici su scale medio piccole, ogni ETRFyy può essere genericamente indicato come ETRS89 anche se, come abbiamo visto, i due concetti sono diversi. Può infatti succedere che in alcuni software GIS non vi sia in elenco lo specifico ETRFyy per cui va benissimo indicarlo come generico ETRS89. Il discorso cambia quando invece devono essere fatti rilievi di dettaglio dove risulta essenziale rilevare queste differenze dell'ordine dei centimetri. Come precedentemente riportato, l'art. 2 del Decreto del 10 Novembre 2011 ha adottato quale sistema di riferimento geodetico nazionale la realizzazione ETRF2000 - all'epoca 2008.0 - del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89 per cui, a partire dal 2012 e secondo quanto indicato negli articoli 3 e 4, sia

la formazione di nuovi set di dati sia i dati pregressi dovranno necessariamente essere georeferenziati (o convertiti) in questo nuovo sistema di riferimento.

2.6. Le proiezioni cartografiche

Le scienze geodetico-topografiche hanno da sempre rivestito un ruolo di primaria importanza nelle vicende legate alle scoperte geografiche, al commercio, all'espansione e di conseguenza al conflitto. All'inizio di questo capitolo abbiamo visto come lo sviluppo delle tecniche cartografiche ha avuto un notevole progresso con l'avvio del periodo coloniale in quanto le carte geografiche rappresentavano uno strumento fondamentale sia per le rotte nautiche sia per la gestione e delimitazione dei nuovi territori. E' evidente quindi l'importanza di una linea di confine tracciata su di una carta geografica (e la sua reale corrispondenza su di un territorio), da un lato simbolo della vastità di una nazione dall'altro causa di conflitti e continui riassetti politico-territoriali. La conquista e la gestione delle risorse delimitate da questi perimetri infatti hanno determinato (e determinano) nel tempo, insieme alle istituzioni economico-politiche ivi presenti, la ricchezza o la povertà di un Paese. In questa chiave hanno giocato quindi un ruolo fondamentale le tecniche di rilievo e di rappresentazione cartografica influenzando il destino di interi territori e popoli: un episodio curioso accadde in Francia nel 1682 dove a seguito di nuove misure e correzioni di errori su precedenti rilievi cartografici, come ad esempio la differenza di longitudine tra Parigi e Brest con conseguente riduzione della superficie della Francia di un quinto rispetto alle misure precedenti, il re Luigi XIV nell'apprendere questa notizia si lamentò di aver perso più terre a causa dei suoi astronomi che a causa dei suoi nemici. Una carta geografica può essere definita come una raffigurazione simbolica ed approssimata su un piano di una parte o di tutta la superficie terrestre. Viene definita simbolica in quanto tutti gli elementi presenti vengono rappresentati attraverso l'utilizzo di simboli convenzionali di tipo altimetrico relativi ad elementi alla morfologia dell'area rappresentata e planimetrico i quali invece vengono utilizzati per rappresentare sia elementi naturali che artificiali del paesaggio come fiumi, boschi o centri abitati, limiti amministrativi, sistema infrastrutturale ecc.. Uno dei maggiori problemi in ambito cartografico è stato da sempre quello di rappresentare porzioni di superfici terrestre da un sistema tridimensionale (Terra) ad uno bidimensionale quale quello della carta geografica. Passare quindi da una superficie sferica ad una piana comporta inevitabilmente delle deformazioni legate alla distorsione degli angoli e delle forme oltre che variazioni delle distanze e delle superfici, deformazioni che saranno tanto maggiori quanto più è estesa la porzione di sfera interessata. Questo passaggio avviene attraverso l'utilizzo delle proiezioni cartografiche, cioè un sistema matematico (equazioni della rappresentazione) che permette di calcolare le coordinate piane ortogonali (coordinate cartografiche x e y) per ogni punto di cui siano note le coordinate geografiche, contenendo in tal modo le deformazioni entro limiti accettabili. Non

esiste un'unica proiezione, ma nel tempo ne sono state elaborate diverse in quanto ogni proiezione ha delle proprie caratteristiche tali da conservare talune proprietà in funzione dell'elaborato cartografico da produrre. Prima di entrare nel merito delle proiezioni cartografiche e in particolare di quelle utilizzate nella cartografia italiana, è utile fare alcune precisazioni sul concetto di scala che poi è alla base della rappresentazione cartografica. Per ovvie ragioni dimensionali non è possibile rappresentare un settore di superficie terrestre nelle sue dimensioni reali su di un piano. E' necessario quindi che gli oggetti geografici vengano ridotti di un certo rapporto 1:n, che poi rappresenta la scala sulla carta, attraverso un passaggio quindi da una fase analitica ad una grafica che, come detto, comporta sempre delle deformazioni. In sostanza la scala di una carta è il rapporto tra la lunghezza di un elemento lineare misurata sul piano della rappresentazione e quella del corrispondente elemento oggettivo misurata sulla superficie dell'ellissoide. La scala è un elemento fondamentale per la lettura di una mappa e per questo viene sempre inserita come informazione al suo interno. Per conoscere la scala di una mappa che ne è priva si può ad esempio utilizzare una distanza reale nota in linea d'aria tra due punti ed utilizzarla poi per definirne appunto la scala oppure, se nella mappa sono disegnati, si può utilizzare la distanza tra due paralleli. In particolare la distanza reale lineare di un grado di meridiano corrisponde mediamente alle nostre latitudini a 111,121 km pari a 11.112.100 cm. Questo vuol dire che se la distanza misurata sulla carta è di 4 cm la scala sarà pari a 11.112.100/4 cioè 1:2.778.025. Nelle mappe prodotte nell'ambito cartografico la scala utilizzata può essere di due tipi: numerica e grafica. La scala numerica è espressa attraverso una frazione dove il numeratore è l'unità ed il numero del denominatore indica le volte che deve essere moltiplicata una distanza misurata sulla carta per ottenere la reale distanza sul terreno. Ad esempio una scala 1:10.000 vuol dire che un cm sulla carta rappresenta 10.000 cm nella realtà cioè 100 metri. La scala grafica è invece un segmento suddiviso in parti uguali, ognuno dei quali corrisponde ad un'unità di misura lineare indicata sui segmenti stessi ed è un tipo di scala che veniva già usata nella cartografia antica. L'utilizzo è molto più semplice ed immediato rispetto alla scala numerica in quanto non occorrono calcoli, ma basta misurare con una riga la distanza tra due punti sulla carta e rapportarla poi con le unità di misura della scala grafica per rendersi conto della distanza reale corrispondente. Molto spesso si ingenera tra i non esperti del settore una certa confusione su quale sia una grande scala ed una piccola scala in quanto a trarre in inganno è il valore del denominatore. Il termine grande scala si riferisce a mappe che hanno un rapporto di scala 1:n grande quindi con un denominatore piccolo mentre si parla di piccola scala quando il rapporto 1:n è piccolo quindi con un denominatore grande. In altre parole le carte a grande scala hanno una minore riduzione dimensionale, rappresentano una piccola parte di territorio e contengono molti particolari viceversa quelle a piccola scala hanno invece una maggiore riduzione dimensionale rappresentano parti di territorio più

estese e hanno un minor grado di dettaglio. Sulla base della scala ed in maniera indicativa, le cartografie possono essere classificate in:

- Grandissima scala 1:500/1:1000 – 1:10.000. Rientrano in quest'area piante, mappe e carte tecniche molto dettagliate, utilizzate spesso per scopi pratici, come ad esempio la costruzione di infrastrutture o la redazione di piani regolatori comunali in quanto le informazioni presenti in esse (elementi catastali come particelle ed edifici, centri urbani, infrastrutture, coperture del suolo) ben si prestano a questo utilizzo.
- Grande scala 1:10.000 – 1:100.000. Vengono definite carte topografiche e sono utilizzate per vari scopi che riguardano l'uso e l'organizzazione del territorio.
- Media scala 1:100.000 – 1:1.000.000. Sono carte con un livello di particolari minore rispetto alle precedenti, adatte per lo più alla conoscenza generale del territorio, come ad esempio le carte stradali e turistiche dove vengono messe in rilievo le vie di comunicazione. Sono definite carte corografiche ed utilizzate anche per rappresentare una regione più o meno ampia della superficie della Terra sotto il profilo sia fisico che antropico.
- Piccola e piccolissima 1:1.000.000 – 1:100.000.000. Vengono definite carte generali o geografiche, le quali possono rappresentare anche un intero continente includendo anche i planisferi (rappresentazione in piano di tutta la Terra) ed i mappamondi (raffigurazione in piano della Terra suddivisa in due emisferi).

E' abbastanza intuitivo comprendere come la scala della mappa ne determina anche l'uso che di questa può essere fatto. In sintesi quindi non è possibile spianare una superficie sferica su di un piano senza deformarla, ciò vuol dire che tutte le relazioni di tipo geometrico presenti sulla sfera come la convergenza dei meridiani, il parallelismo dei paralleli e la perpendicolarità nell'intersezione tra meridiani e paralleli non possono essere completamente rispettate. Inoltre, come abbiamo visto, le variazioni interessano anche le distanze, le aree, gli angoli e le direzioni oltre alle variazioni dovute alla scala di rappresentazione. Le proiezioni cartografiche, a seconda del tipo e quindi delle caratteristiche intrinseche di ognuna, sono in grado di mantenere una di queste proprietà. In particolare vengono definite:

- **Proiezioni equidistanti** quelle che, nel passaggio dalla sfera al piano, mantengono inalterate le distanze. Nelle cartografie con questo tipo di proiezione il rapporto tra due distanze sulla carta è uguale al rapporto tra le corrispondenti distanze nella realtà.
- **Proiezioni conformi** quelle che, nel passaggio dalla sfera al piano, mantengono inalterati gli angoli. Nelle cartografie con questo tipo di

proiezione vengono mantenute le forme degli oggetti rappresentati in quanto vengono conservati gli angoli tra due direzioni qualsiasi.

- **Proiezioni equivalenti** quelle che, nel passaggio dalla sfera al piano, mantengono inalterate le aree. Nelle cartografie con questo tipo di proiezione il rapporto tra due superfici sulla carta e le stesse nella realtà resta inalterato.
- **Proiezioni afilattiche** quelle che, nel passaggio dalla sfera al piano, minimizzano tutte le deformazioni senza però annullarne nessuna. Sono delle proiezioni modificate al fine di minimizzare le distorsioni e conservare il più possibile tutte le proprietà.

Tipologia	Caratteristiche	Vantaggi	Svantaggi	Esempio
Proiezione Conforme o isogona	Conserva forme e angoli localmente	Rappresentazione accurata delle forma piccole, distorsione minima delle forme grandi. Conservano la direzione	Distorsione delle forme (angoli) verso i Poli	**Proiezione di Mercatore**
Proiezione Equivalente	Mantiene i rapporti tra le superfici	Rappresentazione accurata dell'area, valori angolari localmente corretti, scala accurata lungo tutti i paralleli e il meridiano centrale	Distorsione delle forme e degli angoli allontanandosi dal meridiano centrale	**Proiezione Sinusoidale**
Proiezione Equidistante	Conserva le distanze tra punti	Accuratezza nelle misure di distanza	Distorsione di forma e angoli (ecceto il centro). Distorsione crescente dal centro della proiezione	**Proiezione azimutale equidistante**

Tabella 2.3 – Caratteristiche e proprietà dei vari tipi di proiezione (elaborazione dell'autore).

Per ovvie ragioni in nessun tipo di proiezione possono verificarsi contemporaneamente tutte queste proprietà (equivalenza, conformità, equidistanza) è possibile quindi scegliere quali distorsioni introdurre e quale proprietà conservare ed è inoltre possibile passare da un tipo di proiezione ad un'altra attraverso operazioni di conversione. Per completezza di informazione (per approfondimenti si rimanda a testi più specifici sull'argomento) va detto che le proiezioni cartografiche vengono classificate in funzione dei principi con le quali vengono costruite:

- in base alla superficie di sviluppo della proiezione vengono distinte in coniche, piane (o prospettiche) e cilindriche;

- in base all'orientamento della superficie di proiezione vengono distinte in dirette, trasverse e oblique;
- in base alla posizione della superficie di proiezione rispetto alla superficie terrestre vengono distinte in tangenti, secanti e polisuperficiali;
- in base alla posizione dell'ipotetica sorgente luminosa che dà origine alla proiezione rispetto al globo terrestre vengono distinte in centrografiche, stereografiche, scenografiche ed ortografiche;
- in base al metodo matematico o geometrico utilizzato per la costruzione della proiezione vengono distinte in vere, modificate e convenzionali.

Una stessa area geografica può quindi essere rappresentata utilizzando proiezioni diverse che quindi producono risultati diversi. Ciò vuol dire che proiezioni diverse di una stessa area aventi in comune il centro di proiezione sono sovrapponibili nei pressi di esso ma tale sovrapposizione viene meno e in misura sempre maggiore a distanze maggiori da questo (fig. 2.23).

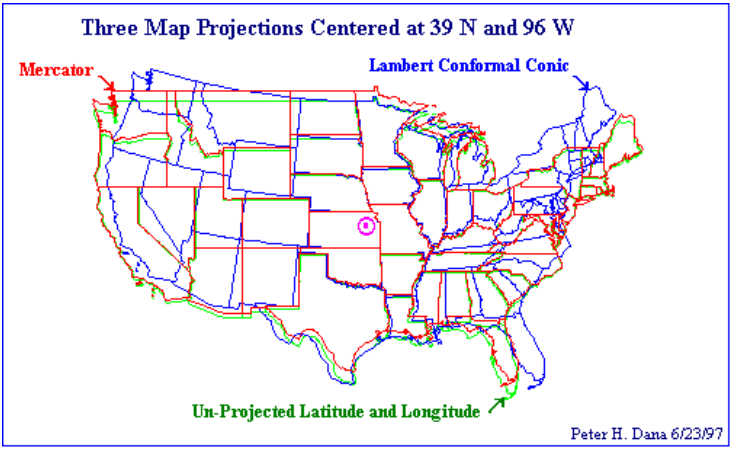


Figura 2.23 - Rappresentazione del territorio degli Stati Uniti d'America attraverso tre tipi di proiezione diversa. (Peter H. Dana 23/6/97)

L'immagine in alto mostra infatti come la sovrapposizione sia maggiore nei pressi del centro di proiezione mentre le distanze tra le tre aumentano in maniera sempre più evidente allontanandosi da questo tanto che diventano tre rappresentazioni separate come ad esempio nei pressi della penisola della Florida, nello stato del Maine o anche nello Stato di Washington. Non esiste quindi una proiezione migliore in senso assoluto ma, a seconda dello scopo per cui viene elaborata una determinata cartografia, la scelta ricade sull'una piuttosto che su un'altra. In questo volume soffermeremo l'attenzione sulle caratteristiche delle proiezioni che vengono utilizzate in ambito cartografico italiano di cui si è già fatto cenno in precedenza. In

particolare verranno analizzate la proiezione UTM (Universal Trasversal Mercator) utilizzata anche a livello mondiale, la proiezione Gauss – Boaga e la Cassini – Soldner utilizzata invece in ambito catastale.

2.6.1. Proiezione Cassini-Soldner

E' un tipo di proiezione cilindrica trasversa che considera la Terra come una sfera. Come indicato in precedenza, il datum di questa proiezione è definito dall'ellissoide di Bessel con 3 diversi orientamenti (Genova, Roma e Castanea delle Furie a cui vanno aggiunti Guardia La Vecchia e Vienna; vedi Par.2.5.1.) quindi una rappresentazione policentrica che ha visto l'adozione complessiva di 849 origini, 31 con grandi estensioni e 818 con piccole estensioni, per coprire l'intero territorio italiano. E' una proiezione afilattica ma che dà deformazioni accettabili per aree limitate per cui può essere considerata equivalente ed appunto per questo viene utilizzata dal sistema catastale italiano. Come centri sono stati usati i vertici trigonometrici di I, II e III ordine (Ministero delle Finanze, 1951), raffittita con la triangolazione catastale di rete, sottorete e dettaglio, mentre l'estensione massima associata a ciascuno di questi centri di proiezione è di 70 km dall'origine in direzione delle ordinate ad Est e ad Ovest del meridiano principale (140 km totali) e 100 km in direzione Nord-Sud lungo l'asse delle ascisse (in quest'area il modulo di deformazione superficiale, calcolato attraverso le equazioni della proiezione di Cassini – Soldner, è di 1,00005 tale quindi da poter considerare appunto la proiezione equivalente).

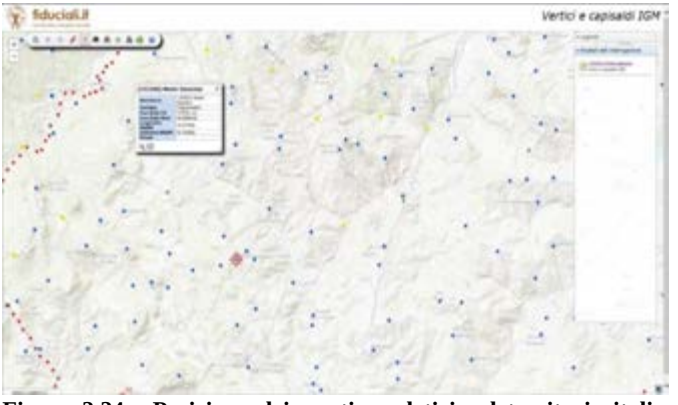


Figura 2.24 - Posizione dei punti geodetici nel territorio italiano con associate le coordinate geografiche (WGS84). Mappa estratta dal sito www.fiduciali.it

I calcoli delle rete di triangolazione catastale vengono eseguiti in coordinate piane rettilinee (x,y) nel sistema Cassini-Soldner riferite al centro di sviluppo stabilito per la zona. Le coordinate geografiche delle 31 grandi origini sono derivate da una tabella pubblicata dalla Direzione Generale del Catasto (Ministero delle Finanze, 1951) in seguito rivista ed integrata (Antongiovanni e Ghetti, 1985). Per quanto

riguarda invece le origini locali non sono disponibili dati bibliografici ma, grazie ad un lavoro svolto dalla Globo srl (http://www.globogis.it/fiduciali.it) è possibile oggi utilizzare le coordinate di queste origini direttamente dal loro portale (http://ags.globogis.it/fiduciali_gfmaplet/?map=igm – fig. 2.24). Queste sono di fondamentale importanza nelle operazioni di trasformazione e conversione dei dati di natura catastale negli altri sistemi di riferimento utilizzati in ambito cartografico italiano (vedi paragrafo successivo). Il catasto raccoglie e gestisce informazioni di carattere amministrativo - censuario e geometrico degli immobili e si divide in catasto terreni e catasto edilizio urbano. Le mappe catastali hanno una rappresentazione di tipo planimetrico in quanto l'altimetria non viene considerata. La scala principale utilizzata per la rappresentazione su carta è 1:2.000 che assume un dettaglio maggiore (1:1.000) per i centri urbani ed uno minore (1:4.000) per le zone a latifondo.

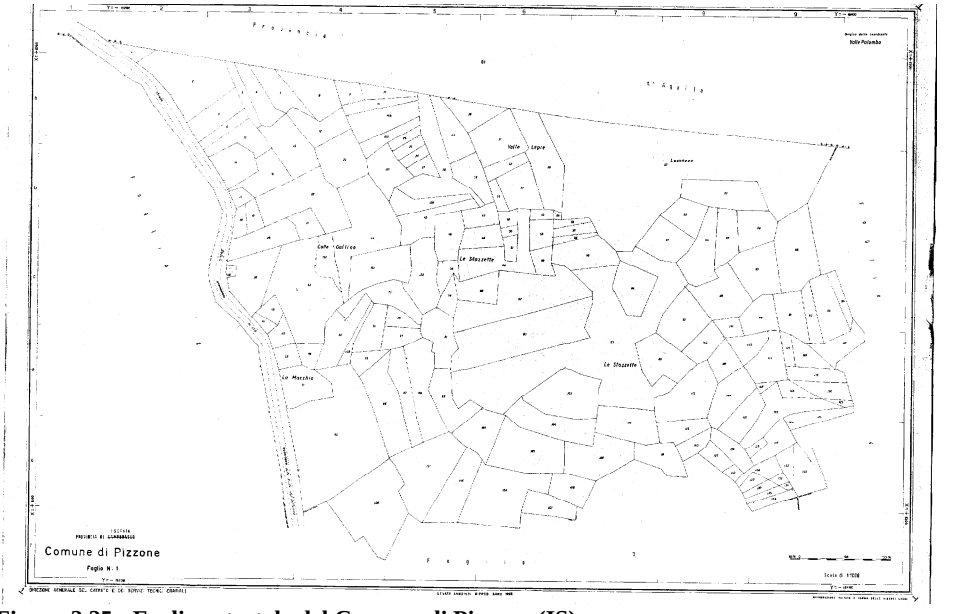


Figura 2.25 - Foglio catastale del Comune di Pizzone (IS).

L'immagine 2.25 relativa ad un foglio catastale, mostra come le linee degli oggetti geografici (non solo particelle ed edifici ma anche delimitazioni della viabilità, delle acque, ed ogni altro particolare topografico di pubblica proprietà) ivi rappresentati, in origine curve, vengono rappresentate come delle spezzate al fine di permettere il calcolo analitico delle aree una volta note le coordinate dei vertici. In origine queste carte sono state rilevate a terra e disegnate a mano, intorno agli anni novanta è stata digitalizzata ed è disponibile oggi nei formati **.**dxf e .ntf (National Transfer Format). Quest'ultimo formato è usato anche a livello internazionale per la gestione delle

mappe e può essere gestito attualmente anche attraverso alcuni programmi GIS come ad esempio Arcgis della ESRI. L'Agenzia del Territorio distribuisce questi dati in un formato diverso la cui estensione è .cxf**.** Questi ultimi sono file ASCII, contenenti dati organizzati su più record ciascuno dei quali termina con la coppia di caratteri ASCII CR (carriage return) LF (line feed). Le coordinate dei punti sono rappresentate con numeri reali e l'unità di misura da utilizzare è il metro. Le coordinate inoltre hanno una accuratezza non inferiore ai 5 mm. Questi file possono essere gestiti dai più comuni programmi GIS (QGIS ha un plugin adatto allo scopo) ma esistono anche dei programmi (ad esempio CXFtoshape) che convertono questi file in quello più comune di interscambio GIS cioè il file shape. Aprendo una mappa catastale con un qualunque programma GIS coerente con il sistema di riferimento Cassini – Soldner, si noterà come le coordinate visualizzate dal programma hanno anche un valore negativo cosa che invece non succede negli altri sistemi di riferimento in uso in Italia dove per evitare numeri negativi vengono fissate delle false origini. Questo è dovuto all'utilizzo appunto di un sistema di riferimento cartesiano di posizionamento basato su più origini lungo tutto il territorio nazionale.

2.6.1.1. Trasformare e convertire coordinate Cassini – Soldner

Per poter convertire coordinate dal sistema Cassini – Soldner nel primo sistema di riferimento ufficiale della cartografia italiana (Roma40 – Gauss Boaga da qui poi è possibile operare delle conversioni e trasformazioni in maniera tale da ottenere le coordinate anche negli altri sistemi di riferimento) esiste un software gratuito di nome CartLab 1 sviluppato da Virgilio Cima, Renzo Maseroli e Luciano Surace che permette di effettuare queste trasformazioni per punti (nella versione licenziata è possibile convertire direttamente i file per i quali però va precisato che, in assenza dei grigliati, l'accuratezza del georiferimento risulta essere minore).

Figura 2.26 - Interfaccia del programma Cartlab

In linea teorica sarebbe possibile utilizzare le matrici di trasformazione e conversione per passare dal sistema Cassini – Soldner a quello Gauss-Boaga ma è molto difficile ed appunto per questo risulta più facile e molto più pratico stabilire una corrispondenza tra i valori delle coordinate nei due sistemi di riferimento per punti chiaramente riconoscibili sulla mappa. Cliccando sulla voce catasto nella barra grigia, l'interfaccia successiva è quella mostrata in figura 2.27 dove è possibile inserire le coordinate originali sviluppate in Cassini – Soldner e ottenere quelle in Gauss – Boaga una volta fornite al programma le *"coordinate del centro del Sistema Catastale riferite a Bessel (Genova) con longitudine da Genova"*. Nel programma però non sono presenti le coordinate di tutte e 31 le grandi origini, tanto meno le 818 delle piccole origini, è però possibile inserirle manualmente lasciando selezionata l'opzione "Definite dall'utente". Le coordinate di questi punti possono essere desunte direttamente dal portale del sito www.fiduciali.it dove sono indicate in forma geografica con la longitudine misurata da Genova. Una volta inserite le coordinate da trasformare e l'origine del sistema catastale cliccando sul tasto "esegui" le

coordinate vengono convertite automaticamente e riportate nell'apposito spazio. Queste poi possono essere utilizzate all'interno dei programmi GIS per georeferenziare dati geografici di questa natura tramite gli strumenti di georeferencing o di georiferimento.

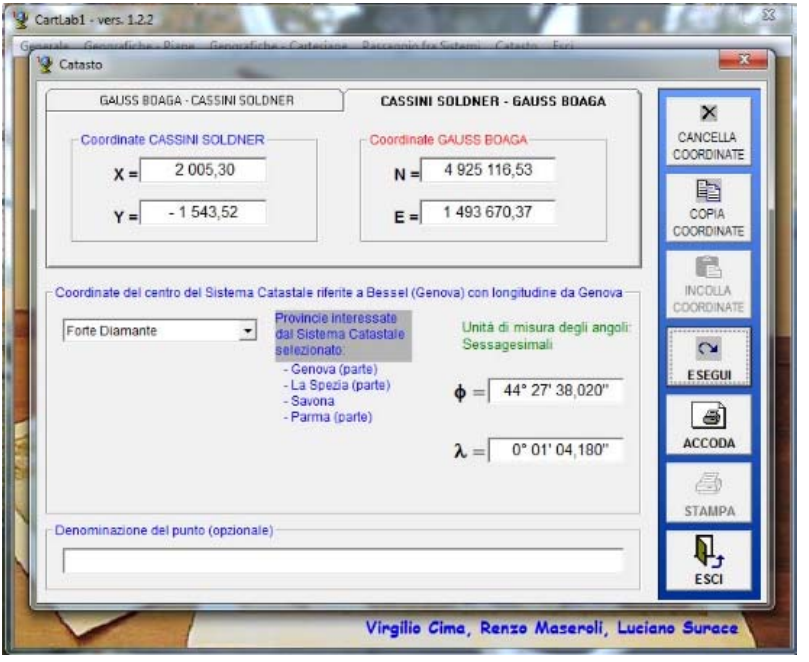


Figura 2.27 - Inserimento dati per la conversione delle coordinate da Cassini - Soldner a Gauss Boaga.

Abbiamo visto in precedenza come i file catastali possono essere sia di natura raster (.tif, .jpg) sia vettoriale (.dxf, .ntf). Per quanto riguarda il dato raster nell'operazione di georiferimento è possibile inserire un numero maggiore di punti di controllo (o Ground Control Point GCP) di coordinate note, mentre per il file di tipo vettoriale, solitamente un dxf (l'operazione è effettuata sulla sua entità Polyline), è possibile inserire solamente due GCP il che può creare problemi circa l'accuratezza dell'operazione. In quest'ultimo caso è preferibile trasformare tramite Cartlab1 tutti e 4 i vertici della mappa di coordinate note da Cassini – Soldner a Gauss – Boaga utilizzando due di questi disposti lungo una delle due diagonali (Es. NW-SE) per georeferenziare il file e i restanti due (NE-SW) come controllo dell'operazione di georiferimento effettuata dal programma (verifica della differenza tra i valori delle coordinate calcolate con Cartlab rispetto a quelle elaborate in automatico dal processo di georiferimento). Per i dati CAD (.dxf, .dwg, .dgn) la georeferenziazione avviene attraverso una trasformazione di tipo similare con al massimo due punti di

controllo al fine di mantenere i rapporti geometrici tra gli elementi CAD ed evitare la rotazione degli assi, in pratica vengono minimizzate le distorsioni di tipo geometrico. Nel caso in cui si voglia ottenere un risultato di maggiore accuratezza e quindi con un utilizzo di un numero maggiore di GCP, è necessario convertire il file CAD in *features class* e utilizzare altri strumenti di georiferimento (Es. Spatial Adjustment di arcgis) (Fantozzi, 2013). Il risultato dell'operazione di georeferenziazione di un file di tipo CAD è un world file la cui struttura verrà approfondita insieme con le operazioni di georiferimento nel paragrafo 2.7. Per il georiferimento dei raster invece, come vedremo, è possibile sia creare un world file sia anche un geotiff o un file .ecw la cui struttura è appositamente studiata per contenere anche le informazioni relative al loro posizionamento rispetto ad un sistema di riferimento.

2.6.2. Proiezione Gauss – Boaga

La proiezione Gauss – Boaga venne elaborata dal matematico tedesco Karl Friedrich Gauss, modificata da Kruger nel 1912 ed adottata poi nel 1940 dal Professor Giovanni Boaga, allora capo dell'Istituto Geografico Militare, come riferimento per la cartografia ufficiale italiana. L'ellissoide di riferimento è quello internazionale di Hayford (1924) dal quale, attraverso una trasformazione matematica, si ottengono le coordinate cartografiche su di un piano (x e y) partendo da quelle geografiche (latitudine e longitudine) individuate su di esso. Per quanto riguarda la cartografia italiana, Boaga (da cui poi deriva il nome della proiezione Gauss-Boaga) definì la posizione dell'ellissoide orientandolo in maniera tale che la sua normale coincidesse con la verticale passante per il vertice geodetico di Roma Monte Mario, datum denominato poi Roma40 (vedi par. 2.5.2). Si tratta di una proiezione cilindrica trasversa (asse del cilindro perpendicolare all'asse di rotazione terrestre), con cilindro tangente ad un meridiano definito meridiano di riferimento. Le distanze lungo il meridiano di riferimento sono proporzionali a quelle sferiche mentre quanto più ci si allontana da questo lungo gli altri meridiani tanto più vengono deformate le distanze. Le deformazioni risultano essere minime lungo i paralleli in prossimità del meridiano centrale ed aumentano allontanandosi da questo. Le sue caratteristiche sono tali che questo tipo di proiezione viene utilizzata spesso per la produzione di cartografia a grande scala: è stata infatti utilizzata per la costruzione di sistemi cartografici di molti Paesi. Per la rappresentazione vengono utilizzati fusi di 6° di longitudine di ampiezza (per l'Italia si hanno due fusi compresi tra i 6 ed i 18 gradi di longitudine Est da Greenwich), questo accorgimento serve a utilizzare la proiezione nella parte in cui presenta deformazioni trascurabili. Ognuno di questi fusi è centrato poi su di un meridiano di riferimento (per l'Italia sono posti rispettivamente a 9° di longitudine Est da Greenwich per il fuso 1 e 15° di longitudine Est per il secondo). Per ridurre l'entità della deformazione per questa proiezione nell'ambito del fuso viene utilizzato un cilindro secante l'ellissoide (raggio minore

di quello terrestre, 99,96% del semiasse maggiore dell'ellissoide). In questo modo la distorsione di scala viene ridotta e viene maggiormente distribuita: praticamente una lunghezza di 1 metro sulla superficie terrestre verrà rappresentata sulla mappa da un segmento di lunghezza pari a 0,9996 metri lungo il meridiano di riferimento e di 1,0004 m ai margini del fuso. L'utilizzo di un cilindro tangente avrebbe portato questa lunghezza a 1,0008 metri ai margini del fuso.

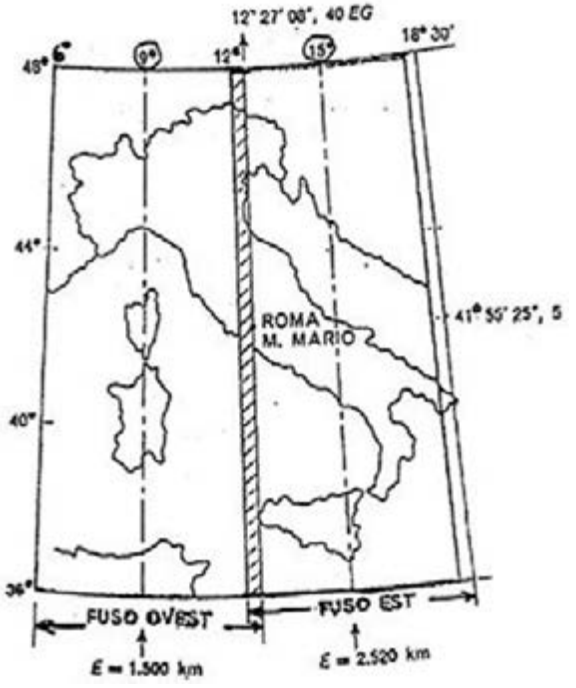


Figura 2.28 - La proiezione Gauss - Boaga per l'Italia (tratto da: http://gisnetwork.provincia.ms.it/ CARTOTECA/Sistemidiproiezione.aspx)

Come già accennato in precedenza, la proiezione Gauss-Boaga per l'Italia fa riferimento a due fusi denominati Fuso Ovest (o fuso 1) Fuso Est (o fuso 2). Per collegare le rappresentazioni nei due fusi nazionali è stata creata una zona di sovrapposizione estendendo il fuso Ovest dell'ampiezza di 30' in longitudine; in tale zona i vertici trigonometrici sono riferiti sia al fuso Est sia al fuso Ovest, e sulla cartografia vengono impressi i riferimenti dei due sistemi. Per consentire poi l'intera rappresentazione del territorio nazionale in soli due fusi, anche il fuso Est è stato esteso di 30' in modo da comprendere la penisola salentina che altrimenti andrebbe rappresentata in un terzo fuso. In questi sistemi di coordinate piane proiettate per evitare di avere coordinate negative per quei territori che si trovano a Est di Greenwich, ma ad Ovest del meridiano di riferimento, vengono fissate delle false

origini da sommare alle coordinate originarie in modo tale che, in tutto il campo di applicazione del fuso non si ottenga mai una coordinata Est negativa. Per quanto riguarda la nostra penisola i valori delle false origini sono stati fissati in 1500 km per il fuso 1 (ovest) e 2520 km per il fuso 2 (Est). Un punto in questa proiezione viene individuato tramite una coppia di coordinate x e y dove x rappresenta la distanza in metri del punto dal meridiano centrale: tenendo conto della falsa origine fissata la coordinata x per punti che si trovano nel fuso ovest inizia sempre per 1 (ordine di grandezza 1.000.000 di metri) per i punti che si trovano nel fuso est inizia sempre per 2 (ordine di grandezza 2.000.000 di metri) mentre la coordinata y rappresenta la distanza in metri di un punto dall'equatore (ordine di grandezza tra i 4 ed i 5 milioni di metri).

2.6.3. Proiezione Universal Trasversal Mercatore

La proiezione UTM (Universal Trasversal Mercatore) è una proiezione isogona e conforme (detta anche proiezione conforme di Gauss), una delle soluzioni meglio riuscite al problema di rappresentare la superficie terrestre a due raggi di curvatura. E' una proiezione convenzionale pseudocilindrica ottenuta immaginando di avvolgere l'ellissoide terrestre con la superficie laterale di un cilindro, tangente non lungo l'equatore, ma lungo un meridiano (meridiano centrale) della parte di superficie che deve essere rappresentata. Sviluppando la superficie cilindrica su un piano, l'equatore e il meridiano di tangenza sono rappresentati da linee rette fra loro ortogonali; gli altri paralleli e meridiani appaiono come linee curve, simmetriche rispettivamente al meridiano centrale e all'equatore. Questo tipo di rappresentazione è equidistante lungo il meridiano di tangenza ed elimina il problema della deformazione alle alte latitudini; tuttavia, forti sono le deformazioni allontanandosi dal meridiano centrale (il massimo di longitudine accettabile, oltre il quale le deformazioni non sono più tollerabili, è 6°, cioè 3° a est e 3° a ovest del meridiano centrale). La proiezione cilindrica di Mercatore si è rivelata essere inizialmente molto utile alla navigazione in quanto rispetta la condizione di isogonia per cui una linea retta che unisce due punti interseca tutti i meridiani con angolo costante rappresentando in tal modo una linea di direzione (azimuth) costante sulla Terra. Questo tipo di proiezione viene utilizzata dal parallelo di 80° nord a quello di 80° sud, mentre per le zone polari è utilizzata la proiezione Stereografica Polare (UPS) secondo la quale la calotta nord viene divisa in due parti dal meridiano e antimeridiano di Greenwich: la zona ovest è indicata con la lettera Y e la zona est con la lettera Z. La calotta polare sud è ugualmente divisa in due zone: quella ovest contraddistinta dalla lettera A e quella est con la lettera B. La Terra viene così divisa in 60 fusi (in senso longitudinale numerate da 1 a 60) e 20 fasce (in senso latitudinale individuate dalla lettera C alla lettera X a partire da sud escludendo la O e la I per possibili ambiguità con i numeri 0 e 1): ogni fuso copre un territorio di 6° di longitudine a partire dall'antimeridiano di Greenwich in direzione Est mentre le

fasce si estendono per 8° di latitudine. L'intersezione tra fuso e fascia costituisce la zona (1200 totali). L'Italia è compresa quasi interamente nei fusi 32 (da 6° a 12° di longitudine est) e 33 (da 12° a 18° di longitudine est) mentre una parte della penisola salentina è contenuta nel fuso 34 (da 18° a 24° di longitudine est), le fasce che invece interessano il nostro territorio sono la S (da 32° a 40° di latitudine nord) e la T (da 40° a 48° di latitudine Nord). La nostra penisola è quindi ricompresa nelle zone 32T, 33T, 34T e 32S, 33S, 34S.

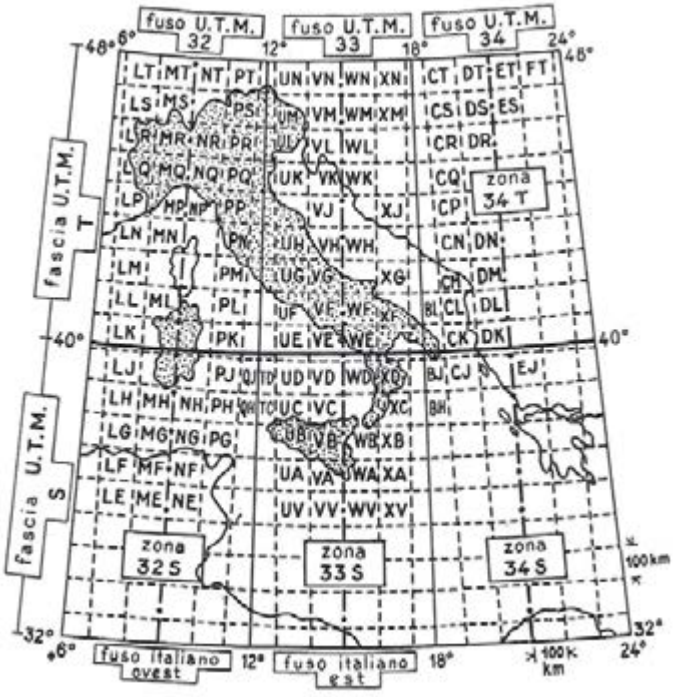


Figura 2.29 - Proiezione UTM per la penisola italiana (tratto da: http://geomatica.como.polimi.it/corsi/cartografialaurea/cartografiaufficialeitaliana/cartografiaufficialeitalianaigmi.htm)

Il modulo di deformazione lineare adottato è di 0.9996 per ridurre al minimo le deformazioni delle distanze. Il sistema UTM è adottato oggi a livello internazionale ed è stato utilizzato dall'Istituto Geografico Militare per la costruzione della carta topografica d'Italia in quanto molto utile ai fini geodetici poiché il rilevamento è molto preciso e particolareggiato. Nel sistema UTM un punto può essere individuato attraverso una coppia di coordinate chilometriche x e y dove la y rappresenta la distanza in metri del punto dall'equatore (ordine di grandezza dell'ordinata tra i 4 ed i 5 milioni di metri) mentre la x è la distanza in metri del punto dal meridiano centrale

del fuso al quale viene data una falsa origine di 500 km (semplicemente per evitare che siano presenti coordinate negative). Ogni zona è suddivisa in un reticolato quadrato di 100 km di lato attraverso una serie di rette parallele all'equatore e al meridiano centrale. Anche questo reticolato presenta una nomenclatura per cui ogni quadrato è identificato attraverso una coppia di lettere dove la prima indica la colonna e la seconda la riga (tali lettere non hanno riferimento alcuno con le fasce). Questi quadrati di 100 km di lato vengono ulteriormente suddivisi in quadrati più piccoli (10 km per le carte in scala 1:100.000) fino ad arrivare a ad 1 km (per le carte in scala 1: 50.000 e 1:25.000). A differenza di quanto visto per il sistema Gauss-Boaga, le coordinate piane nel sistema UTM non ci danno informazioni sul fuso di appartenenza. Inoltre uno stesso punto ha nel sistema UTM coordinate differenti (di decine o centinaia di metri, a parte le false origini) da quelle del sistema Gauss – Boaga differenza dovuta principalmente al diverso datum geodetico utilizzato oltre che alle diverse reti geodetiche impiegate per la triangolazione per le coordinate UTM e Gauss – Boaga.

2.7. L'operazione di georiferimento

Le immagini digitali grezze subiscono tutta una serie di operazioni di taglio tecnico volte ad eliminare le possibili distorsioni presenti che possono derivare dalla topografia, dalla curvatura terrestre, dalla rifrazione atmosferica, dalle variazioni della quota di acquisizione o anche dalla velocità del mezzo sul quale è posto il sensore. Queste distorsioni di tipo geometrico vengono suddivise in distorsioni sistematiche, qualora prevedibili, e distorsioni casuali. Le distorsioni di tipo sistematico vengono corrette attraverso l'applicazione di formule derivanti dalla modellizzazione matematica delle loro sorgenti. Le distorsioni di tipo casuale vengono invece corrette attraverso l'analisi dei punti di controllo o GCP (Ground Control Points). Queste operazioni sono fondamentali per poter poi utilizzare dati di questa natura con le piattaforme GIS. In particolare l'utilizzo dei GCP associa l'immagine di partenza ad un sistema di riferimento noto che permette l'integrazione successiva di questa immagine con dati geografici di altra natura sulla base della caratteristica comune rappresentata proprio dal sistema di riferimento. E' questa la procedura che viene definita georiferimento o georeferenziazione dell'immagine. I GCP sono dei punti di riferimento di sicura localizzazione al suolo che possono poi essere localizzati sull'immagine digitale. Possono essere ad esempio punti di coordinate note (ad esempio i vertici di una normale cartografia IGM), intersezioni di assi stradali, limiti di particelle di terreno, spigoli dei tetti degli edifici. Il punto quindi viene identificato in due modi differenti: da una riga e da una colonna nella matrice di pixel che costituisce l'immagine da georeferenziare e da una coppia di coordinate al suolo che possono provenire sia da una immagine già georiferita o tramite acquisizione diretta con strumentazione GPS. Come verrà illustrato di seguito l'insieme dei GCP verrà poi utilizzato, attraverso una trasformazione

matematica, per georeferenziare l'insieme dei pixel che costituiscono l'immagine di partenza. Il risultato della georeferenziazione può quindi essere un world file associato al file raster originario o anche un file raster ex novo che viene generato attraverso un ricampionamento (resampling), utilizzato per determinare i valori dei pixel dell'immagine corretta sulla base di quelli dell'immagine di partenza non corretta. Questo secondo metodo è funzione del fatto che le coordinate elaborate dalla trasformazione per i pixel dell'immagine corretta non sempre ricadono nel centro dell'omologo pixel del raster di partenza (coordinate in questo caso sono riferite ad un normale sistema cartesiano). Per cui l'operazione di georiferimento assegna le nuove coordinate a ciascun pixel della nuova matrice (la cui risoluzione è la stessa del file di partenza) ma al contempo, devono essere anche assegnati i corrispondenti valori che caratterizzano l'immagine stessa come ad esempio i valori originari derivanti dalla strumentazione utilizzata (es.: acquisizione allo scanner). Esistono per questa operazione diverse tipologie di algoritmi che possono essere adoperati allo scopo, il cui utilizzo è funzione delle informazioni geografiche riportate nei dati di partenza. In particolare algoritmi come il nearest neighbor (metodo del vicino più prossimo) assegna al pixel nell'immagine corretta il valore del pixel più vicino al punto corrispondente nell'immagine non corretta ed il suo utilizzo è consigliato per dati che variano in maniera discreta sul territorio come strade, edifici, uso del suolo, ecc., informazioni queste riportate su carte tecniche, carte topografiche o cartografia tematica di vario genere. Inoltre il metodo del vicino più prossimo fa si che il dominio dei valori dell'immagine corretta sia lo stesso di quella di partenza poiché sceglie per i pixel dell'immagine georeferenziata il valore del pixel più vicino di quella di partenza. Algoritmi invece del tipo bilinear interpolation (media dei 4 pixel circostanti il punto di partenza) o cubic convolution (media dei 16 pixel circostanti il punto di partenza) vengono utilizzati per il resampling di immagini a seguito di georeferenziazione che contengono informazioni di tipo geografico che variano in maniera continua sul territorio come ad esempio l'altimetria (DTM/DEM), concentrazioni di inquinanti nel suolo, esposizione dei versanti, ecc. Altri algoritmi sono il Kriging (vedi box 3.1) spesso utilizzato nella geostatistica, e l'Inverse Distance Weighted o IDW utilizzati su dati di questa natura proprio perché riescono a mantenere la continuità del dato di partenza effettuando una interpolazione dei valori dei pixel all'intorno di quello in esame. Va inoltre sottolineato che per quanto riguarda immagini telerilevate in aree dove la topografia risulta essere abbastanza articolata, la correzione geometrica avviene attraverso un procedimento che va sotto il nome di ortorettifica che consiste nell'utilizzo di un modello digitale del terreno che permette di assegnare a ciascun GCP anche un valore altimetrico e di ricostruire per ogni punto la geometria rispetto alla sorgente di illuminazione (sole) ed al sensore. Arrivati a questo punto è lecito domandarsi: per una buona georeferenziazione quanti GCP occorrono? Qual è l'errore massimo ammissibile? Per rispondere al primo quesito innanzitutto va

specificato che a seconda del tipo di trasformazione da adottare abbiamo bisogno di un numero minimo di GCP da inserire per poterla applicare (Tab. 2.4) ed inoltre l'inserimento di questi ultimi deve essere fatto in modo da minimizzare l'errore che viene misurato attraverso il Root Mean Square (RMS o errore quadratico medio). La tabella mostra come all'aumentare dell'ordine della trasformazione sarà necessario un maggior numero di GCP sull'immagine. Per la georeferenziazione di carte topografiche o anche carte tematiche acquisite tramite scanner generalmente viene utilizzata la trasformazione di Helmert, per le immagini satellitari si usano polinomiali del primo ordine mentre per le foto aeree polinomiali del secondo ordine o superiori.

Tipo di trasformazione	Descrizione	Numero minimo di GCP
Lineare	Traslazione e non rotazione del raster	3
Helmert	Rototraslazione del raster con fattore di scala e ricampionamento dell'immagine	3
Polinomiale	Usa il polinomio che è costruito sui punti di controllo attraverso il metodo dei minimi quadrati	3 - ordine 1 6 - ordine 2 10 - ordine 3
Spline	Metodologia ottimizzata per l'accuratezza a scala locale e non globale; adatta il raster in modo che passi per tutti i punti di controllo ma l'accuratezza non è garantita nelle altre zone del raster	10

Tabella 2.4 - Caratteristiche principali delle tipologie di trasformazione. Tratto da Casagrande L., Cavallini P., Frigeri A., Furieri A., Marchesini I., Neteler M., 2012. GIS Open Source. GRASS GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Elementi di software libero applicati al territorio.

L'RMS (espresso in unità di mappa e quindi in metri o gradi, o anche in pixel) in pratica misura l'accuratezza della georeferenziazione attraverso la deviazione standard della differenza tra le coordinate inserite dei GCP e quelle calcolate in base all'algoritmo di trasformazione adottato. Tali differenze sono definite errori residuali. Il numero di GCP naturalmente influenza il risultato finale dell'operazione per cui è fondamentale che questo sia sufficientemente alto (6/8 punti) ed uniformemente distribuiti all'interno dell'area da georiferire cercando di utilizzare la massima precisione possibile. Un numero troppo elevato di GCP non sarà utile se l'RMS assume valori che non consideriamo accettabili ai fini del nostro lavoro alla stessa stregua un esiguo numero di GCP molto vicini tra di loro in quanto, anche se l'errore quadratico medio assumerà valori bassi, la georeferenziazione non risulterebbe valida per l'intera immagine. Detto ciò risulta quindi essenziale che i GCP siano il più uniformemente distribuiti all'interno dell'immagine partendo dai

quattro vertici e procedendo poi verso l'interno utilizzando punti presi lungo le diagonali. In generale la deformazione massima ammissibile deve essere inferiore al pixel se possibile (qualora espressa in tale unità di misura) o comunque, se espressa in metri, deve essere inferiore al fattore di scala di realizzazione della cartografia (acquisita poi in formato raster) moltiplicato per l'errore di graficismo convenzionalmente assunto pari a 0,02 cm pari allo spessore di una linea sottile (spessore della linea utilizzata per cartografare elementi geografici su mappe cartacee). La tabella seguente riporta i valori della deformazione massima ammissibile per le principali scale di acquisizione utilizzate in ambito cartografico.

Fattore di scala	Cartografia di riferimento	Deformazione massima ammissibile
1 : 500	Carte catastali	10 cm
1 : 1000		20 cm
1 : 2000		40 cm
1 : 5000	CTR, Carte di Uso del suolo, carte geobotaniche, Cartografia tematica di dettaglio	1 m
1 : 10000		2 m
1 : 25000	Cartografia IGM serie 25V, 25DB.	5 m
1 : 50000	Carte topografiche a piccola scala, carte geolitologiche, carte di permeabilità dei suoli...	10 m
1 : 100000		20 m

Tabella 2.5 - Deformazione massima ammissibile per le principali mappe utilizzate in ambito cartografico

2.7.1. La georeferenziazione di dati geografici in formato raster in QGIS

La procedura di georeferenziazione viene mostrata in ambiente QGIS, utilizzando il plugin georeferenziatore raster GDAL installato di default nel programma (il plugin è presente anche nelle precedenti versioni del software).

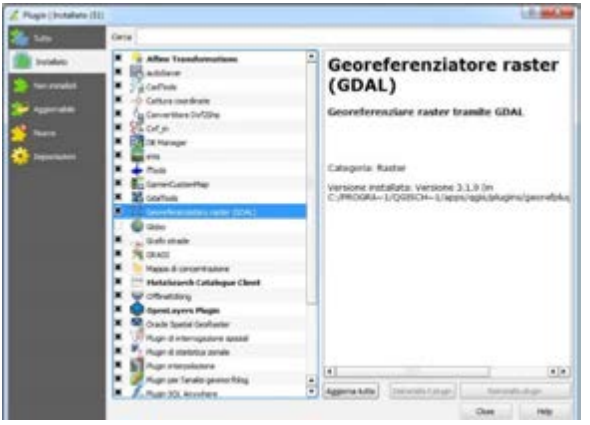


Figura 2.30 - Plugin Georeferenziatore raster presente nel programma QGIS

Avviamo il programma ed apriamo il plugin "Georeferenziatore raster" (Raster – Georeferenziatore).

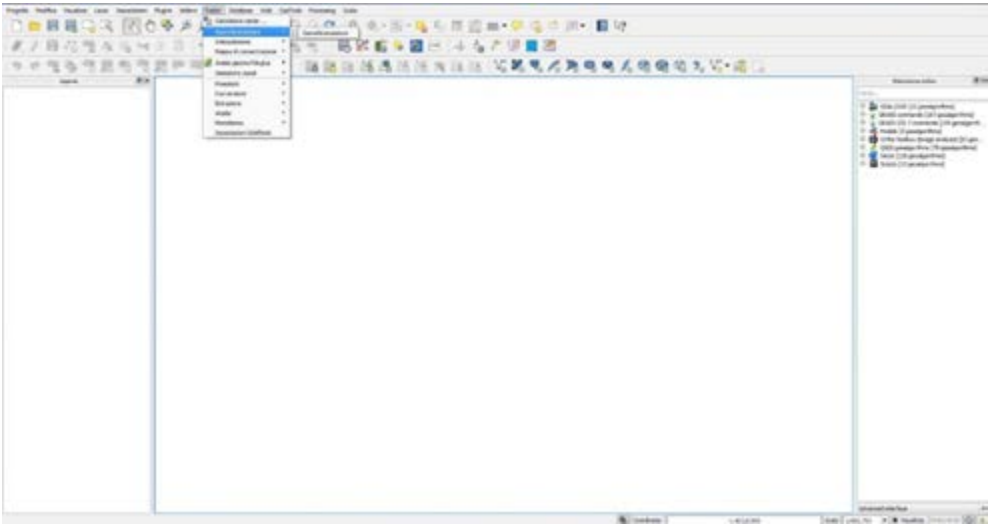


Figura 2.31 - Attivazione del plugin georeferenziazione raster

L'interfaccia gestita dal plugin è quella mostrata nella figura successiva:

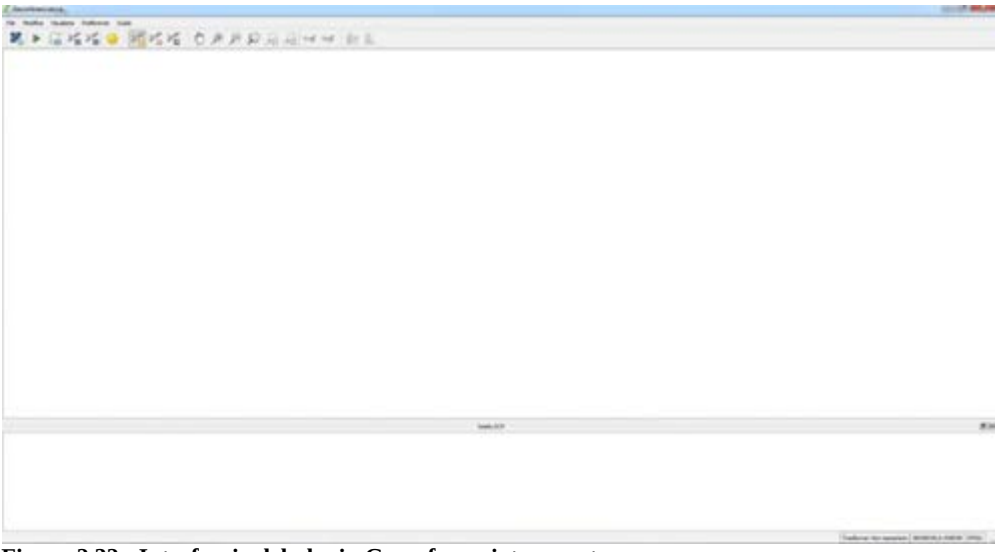


Figura 2.32 - Interfaccia del plugin Georeferenziatore raster

Nell'esempio illustrato verrà georeferenziata una carta topografica dell'IGM serie 25V Foglio 104 della Carta d'Italia Quadrante I, tavoletta SE (Massarosa).

Figura 2.33 - Carta topografica serie 25V 104ISE

La cartografia IGM può essere georeferenziata utilizzando le coordinate dei 4 vertici dell'area rappresentata riportata come informazione nel cartiglio nel sistema di riferimento Roma 40 Gauss – Boaga, in coordinate geografiche (suddivisione

riportata sul bordo dell'area rappresentata con suddivisione di 1' sia per la longitudine che per la latitudine, meridiano di riferimento Roma Monte Mario – Ellissoide Internazionale) o anche nel sistema di riferimento ED50 UTM 32N che è quello che è stato adottato dall'IGMI per la redazione della carta topografica d'Italia il cui reticolato con passo di un chilometro è disegnato su tutta la superficie territoriale interessata. La scelta del sistema di riferimento da utilizzare per georeferenziare la mappa deve essere fatta tenendo conto non solo dello scopo del lavoro per il quale si sta effettuando l'operazione, ma anche della possibilità della scelta del numero dei GCP da utilizzare. Come descritto in precedenza i GCP devono essere scelti in funzione dell'algoritmo da applicare per la georeferenziazione ed inoltre devono essere distribuiti in modo uniforme all'interno della mappa. In questo caso è possibile, per le coordinate geografiche e per il sistema Gauss – Boaga, utilizzare con estrema facilità le coordinate dei 4 vertici dell'area in quanto riportate numericamente sulla carta ma, nel caso in cui abbiamo bisogno di ulteriori GCP interni alla mappa per ridurre ancora l'RMS e aumentare l'accuratezza della precisione, questi devono essere calcolati utilizzando ulteriori strumenti quali ad esempio il coordinatometro. E' comunque sempre possibile passare da un sistema di riferimento ad un altro, da un sistema proiettivo ad un altro attraverso operazioni di trasformazione e conversione presenti in tutti i software GIS (va sottolineato inoltre che la precisione di questa operazione aumenta notevolmente utilizzando i già menzionati grigliati, griglie a passo regolare uniformemente distribuite sul territorio utilizzate per il passaggio tra i sistemi geodetici più diffusi in Italia). Utile allo scopo è il servizio di conversione di coordinate offerto dal Geoportale Nazionale (http://www.pcn.minambiente.it/GN/ conversione-di-coordinate) che permette la conversione tra i più comuni sistemi geodetici di riferimento, geografici e proiettati, utilizzati in Italia, quali Roma 1940, ED50, ETRS89 nella realizzazione ETRF89 ed ETRS89 nella realizzazione ETRF2000 (per file di natura sia vettoriale che raster). Prima di procedere con il georiferimento è utile, attraverso un programma qualsiasi che gestisce immagini, creare una copia del file da georiferire lasciando solo ed esclusivamente il territorio cartografato che andrà poi georeferenziato (fig.2.34).

Caricare quindi questo file sul georeferenziatore di QGIS utilizzando il tasto (fig. 2.35). Il sistema di riferimento con il quale verrà georeferenziata la mappa è ED50 UTM32N. Gran parte dei software GIS, tra cui QGIS, relativamente l'identificazione dei sistemi di riferimento utilizza dei codici numerici che riportano i parametri geodetici (ellissoidi terrestri, datum geodetici, sistemi di coordinate geografiche e proiettate e unità di misura) per ciascuno di essi. L'Organizzazione scientifica composta da specialisti in geodesia applicata, analisi e cartografia riferita alla ricerca del petrolio EPSG (http://www.epsg.org/) acronimo di European Petroleum Survey Group cura gestisce e distribuisce "set di parametri geodetici" che possono essere globali, nazionali, regionali e locali definendo inoltre le formule di

trasformazione e conversione necessarie per cambiare il Coordinate Reference System o CRS.

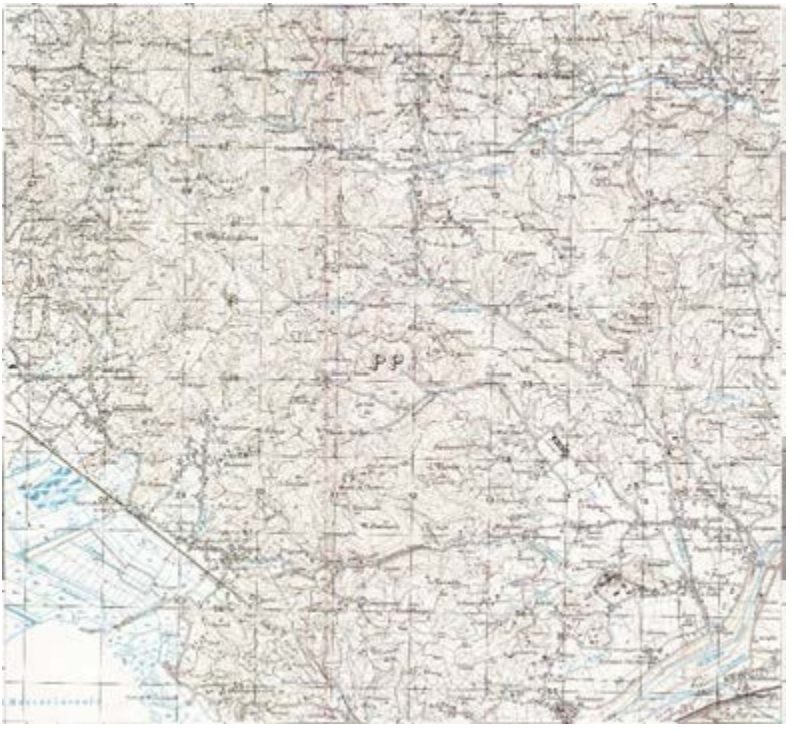


Figura 2.34 - Mappa serie 25V 104ISE con la sola area da georiferire.

Un ulteriore sito dove è possibile reperire informazioni di questa natura è spatialreference (http://spatialreference.org/). Oltre all'EPSG anche l'NGF (Nivellement général de la France, http://www.ign.fr/) ha creato un proprio registro di codici numerici associati a sistemi geografici. Al sistema di riferimento ED50 UTM32N è associato il codice EPSG 23032.

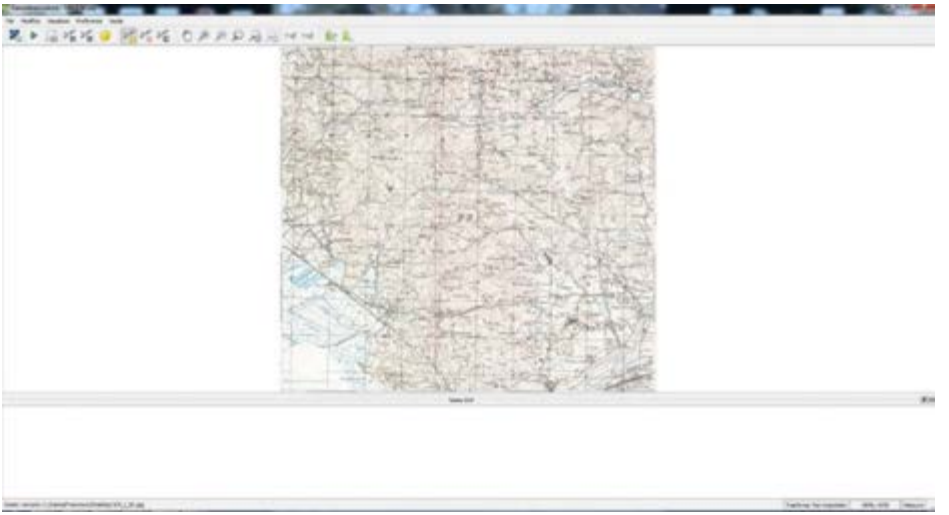


Figura 2.35 - Mappa non ancora georeferenziata caricata nel plugin

Per inserire i GCP utilizzeremo il tasto presente sulla barra degli strumenti. Effettuiamo quindi uno zoom opportuno (con la rotellina del mouse o con gli strumenti della barra visualizza) sulla zona dove si intende inserire il GCP e clicchiamo con il tasto sinistro del mouse in modo che compaia l'interfaccia all'interno del quale scriveremo le coordinate da associare a quel punto desunte dal file raster originario (fig.re 2.36 e 2.37).

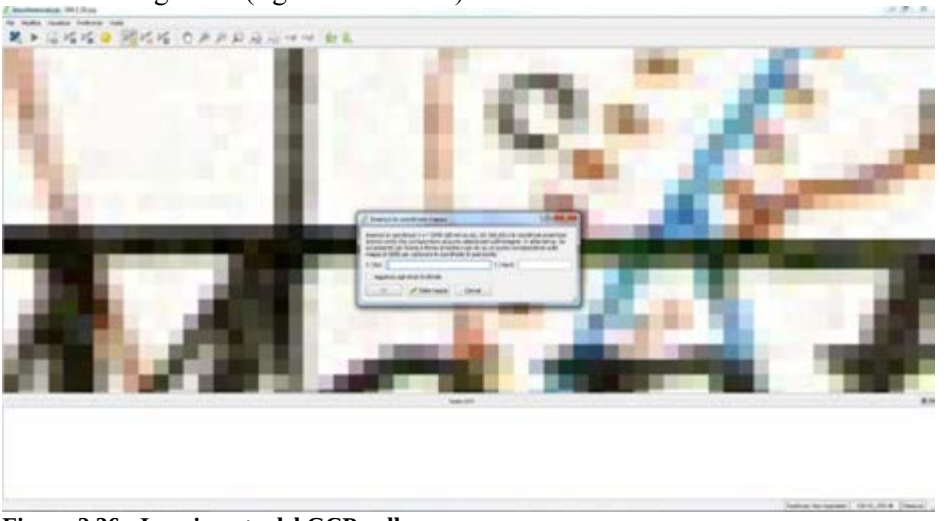


Figura 2.36 - Inserimento del GCP nella mappa

Le coordinate in UTM riportate sulla mappa originaria esprimono la distanza in migliaia di metri dall'equatore (per la coordinata y) e dal meridiano centrale del fuso di riferimento (per la coordinata x) per cui il numero indicato va moltiplicato per mille prima di inserirlo nell'interfaccia dedicata alle coordinate.

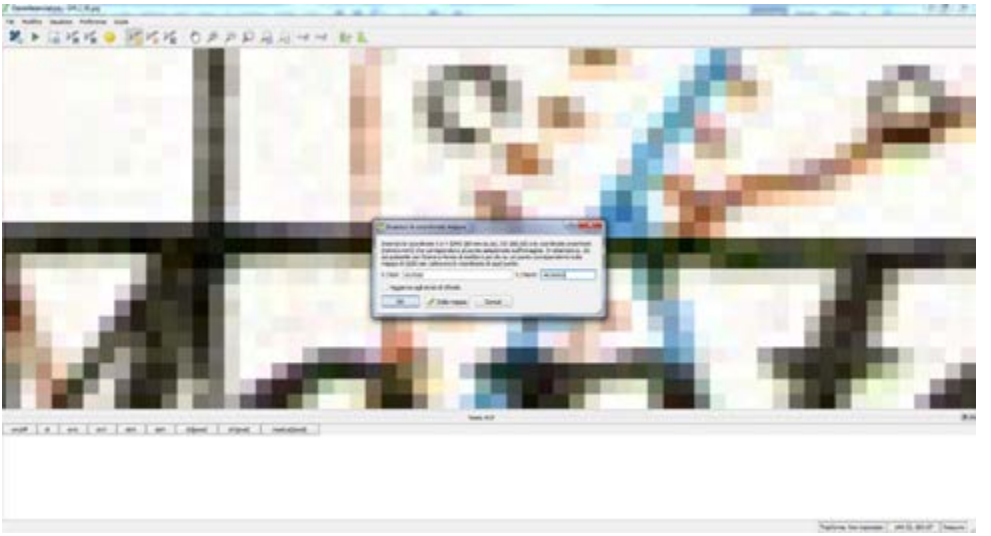


Figura 2.37 Inserimento delle coordinate del GCP

Una volta inseriti i valori corretti si può cliccare sul tasto ok ed il risultato viene visualizzato in basso nella sezione denominata "Tabella GCP".

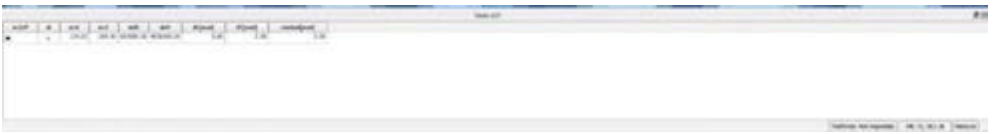


Figura 2.38 - Informazioni presenti nella Tabella GCP

L'operazione appena compiuta è quella che viene definita georeferenziazione per inserimento diretto delle coordinate ma, nel caso in cui disponiamo di una mappa della stessa estensione geografica già georeferenziata con lo stesso sistema di riferimento, è possibile utilizzarla per assegnare le coordinate esatte attraverso l'individuazione di punti omologhi distinti in maniera univoca su entrambe le mappe (intersezioni stradali, spigoli delle falde dei tetti, ecc..). In questo caso si parla di "georeferenziazione in appoggio" e al momento dell'inserimento delle coordinate (fig. 2.37) bisogna cliccare sul tasto "dalla mappa" che, naturalmente, è stata preventivamente caricata sulla view. Ripetiamo quindi la stessa operazione per

inserire l'intero set dei GCP (in questo caso ne verranno inseriti 4). Una volta completato l'inserimento il set di GCP inseriti comparirà nell'apposita tabella in basso.

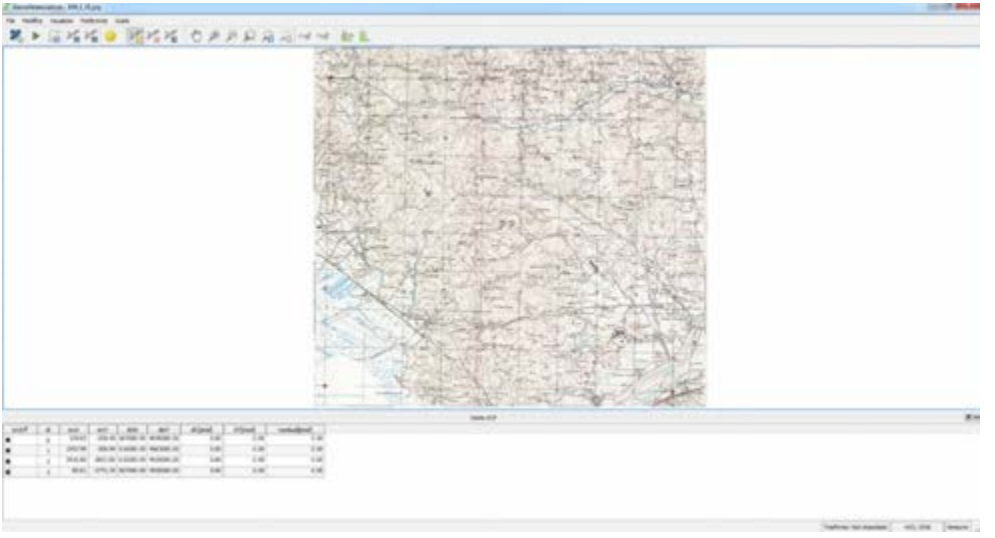


Figura 2.39 – Mappa non ancora georiferita con l'indicazione dei GCP e delle relative coordinate

Una volta inserito il set completo dei GCP possiamo eseguire la parte finale dell'operazione di georiferimento utilizzando la trasformazione più opportuna e controllando poi il relativo RMS (misurato in questo caso in pixel). E' inoltre possibile scegliere quali e quanti GCP del set inserito devono essere presi in considerazione nell'algoritmo di trasformazione (basta semplicemente accendere/spegnere la casella relativa nella Tabella dei GCP), naturalmente questo influirà sul valore finale dell'RMS. In altri termini è possibile effettuare dei test di georeferenziazione controllando di volta in volta il risultato ottenuto e l'RMS in modo poi da scegliere il risultato migliore. Per inserire l'algoritmo di trasformazione ed il metodo di ricampionamento da utilizzare per i pixel della nuova immagine cliccare sul tasto "Impostazioni di trasformazione" dalla barra degli strumenti. Nell'interfaccia successiva possiamo settare tutti i parametri necessari. Così come descritto in precedenza, per mappe topografiche di questa origine il tipo di trasformazione da utilizzare è quella di Helmert (almeno 3 GCP attivi per applicarla) mentre il metodo di ricampionamento è il vicino più prossimo (Nearest Neighbor) in quanto si tratta di una mappa topografica con dati che variano in maniera discreta sul territorio. Possiamo inoltre inserire già in questa fase il giusto codice EPSG

assegnato al sistema di riferimento che abbiamo utilizzato per la georeferenziazione (EPSG:23032 – ED50UTM32N).

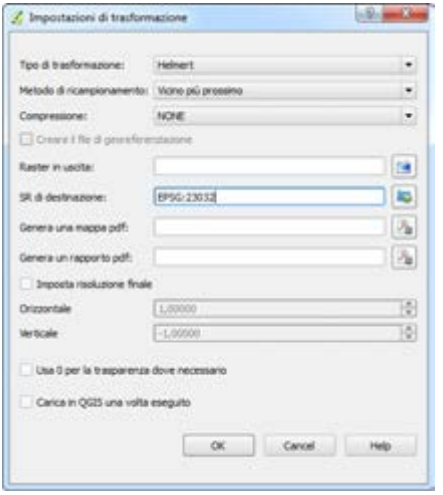


Figura 2.40 - Interfaccia utilizzata per settare il tipo di trasformazione, il metodo di ricampionamento il sistema di riferimento e la destinazione dove sarà creato il nuovo file

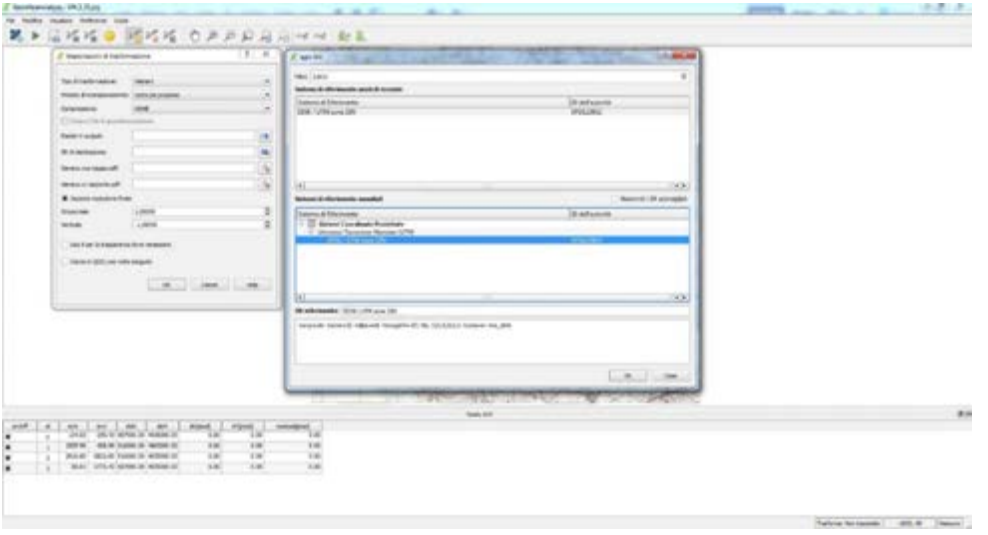


Figura 2.41 - Inserimento del codice EPSG nelle impostazioni di trasformazione

Per fare ciò clicchiamo sul tasto e nell'interfaccia successiva inserire il codice 23032 alla voce filtro selezionandolo poi o da "Sistemi di riferimento usati di

recente" (in questo caso comparirà solo se lo stesso è stato già utilizzato almeno una volta) o da "Sistemi di riferimento mondiali" dove sono presenti tutti i codici dei sistemi di riferimento utilizzati a scala planetaria, accertandosi poi che questo compaia anche nel riquadro sottostante "SR selezionato". Alla voce raster in output indicare la directory dove andrà salvato il nuovo file georeferenziato (il programma offre l'opportunità di creare solo immagini in formato GeoTIFF, cfr. Cap.1).

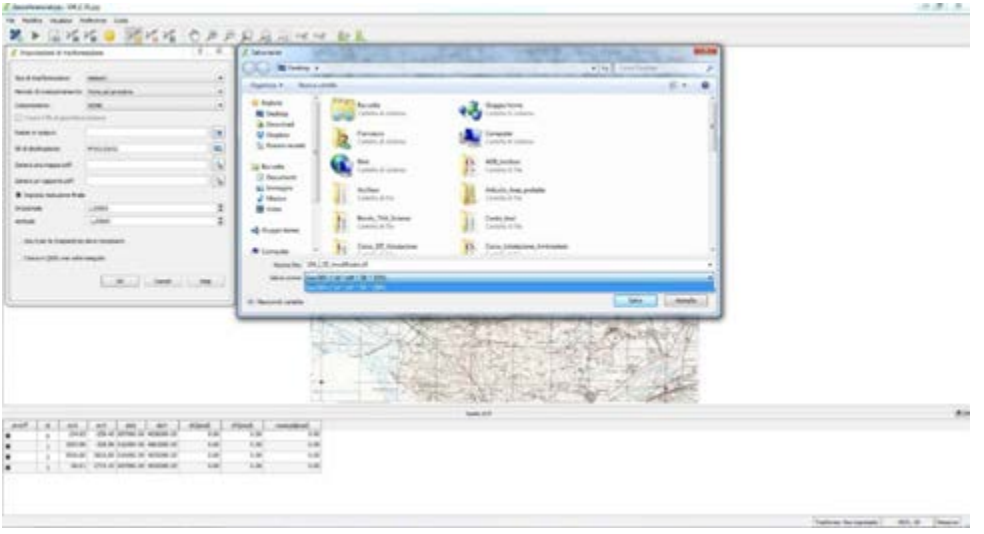


Figura 2.42 - Inserimento della directory del nuovo file e scelta del formato in output

A questo punto possiamo uscire da questa schermata cliccando su ok. Automaticamente il programma esegue la trasformazione (quella di Helmert in questo caso) e nella parte in basso a destra dello schermo compaiono i risultati dell'operazione tra cui l'RMS totale, mentre quello per ogni singolo GCP è indicato accanto ad ognuno di essi nella voce Residual nel riquadro "Tabella GCP". Giunti a questa fase è sempre possibile scegliere quali tra i GCP inseriti devono essere utilizzati dall'algoritmo di trasformazione (anch'esso può essere modificato nelle impostazioni di trasformazione, come anche il metodo di ricampionamento), inserire nuovi GCP o eliminare quelli precedentemente inseriti (selezionare il tasto e cliccare poi sul GCP da eliminare). Una volta ottenuto il risultato desiderato è possibile salvare il nuovo file in formato geotiff cliccando sul tasto . A questo punto il raster georiferito può essere caricato nella view di QGIS insieme anche ad altri dati con lo stesso sistema di riferimento (fig. 2.44). Terminata l'operazione di georiferimento è possibile esportare i GCP utilizzati (formato .points) ed utilizzarli per georeferenziare carte tematiche di altra natura ma riferite allo stesso ambito

territoriale. Il file Geotiff, come anche i file .ecw, sono in grado di memorizzare nel loro header le informazioni che derivano dall'operazione di georiferimento in modo che, una volta aperti nella view di un qualsiasi programma GIS, si posizioneranno correttamente nello spazio rispetto ad un sistema di riferimento noto.

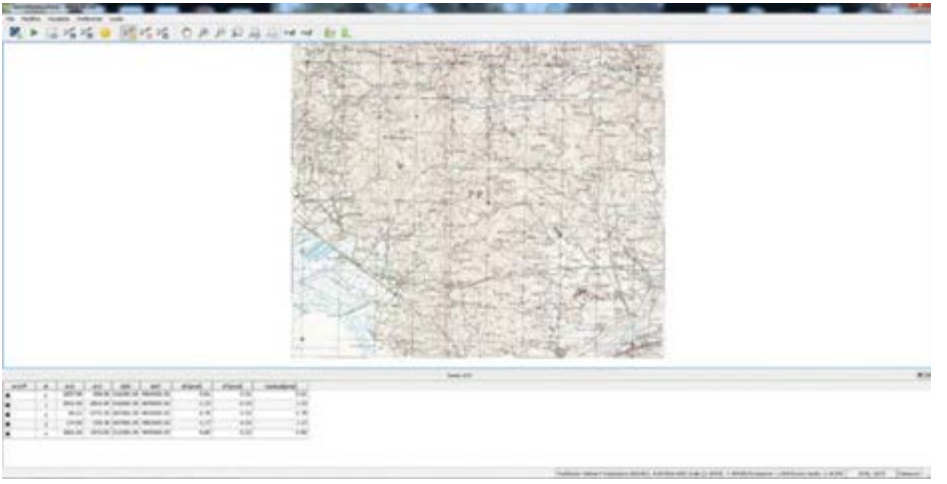


Figura 2.43 - Esito dell'applicazione della trasformazione sul raster con il valore dell'RMS relativo all'accuratezza dell'operazione di georiferimento.

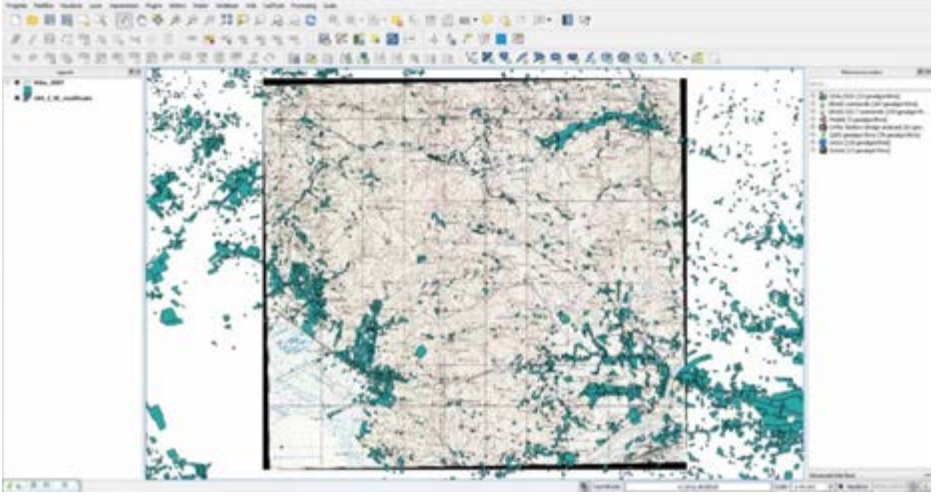


Figura 2.44 - Carta topografica georeferenziata aperta in ambiente QGIS con sovrapposizione di dati geografici di natura vettoriale

La dichiarazione del sistema di riferimento deve essere sempre presente nel file raster. Qualora il dato sia incompleto, cioè georeferenziato ma con la dichiarazione del sistema di riferimento assente, è fondamentale l'attribuzione attraverso dei tools presenti nel software GIS. Questi si trovano all'interno del menù "Raster – Proiezioni":

- Assegna proiezione: Permette di assegnare il sistema di riferimento ad un layer raster che ne risulta privo. Non sostituisce le operazione viste per georiferire una immagine ma serve solo per definire/dichiarare il sistema di riferimento utilizzato per la georeferenziazione di quella data immagine.

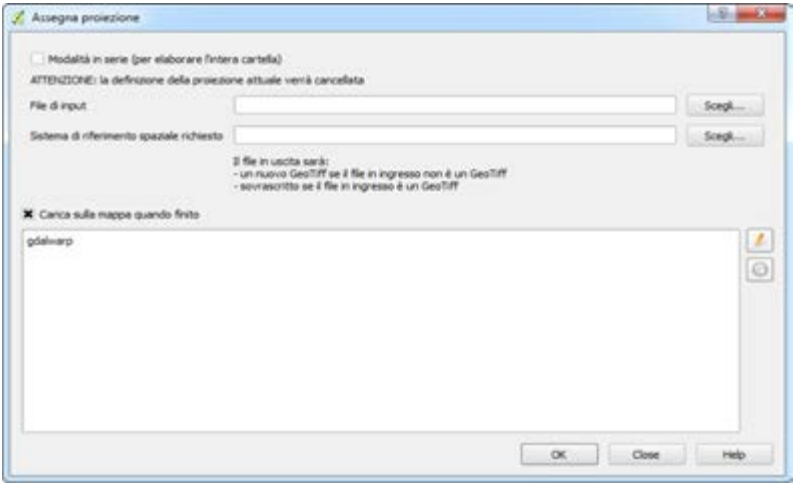


Figura 2.45 - Finestra di configurazione dello strumento di assegna proiezione.

Lo strumento può operare sia in serie (in tal caso attivare con la spunta "Modalità in serie") ed eseguire il comando su tutti i file raster che si trovano all'interno di una data cartella, oppure può essere applicato su un singolo file raster definito all'interno del box "File di input" (fig. 2.45). Successivamente va dichiarato il codice EPSG del sistema di riferimento da utilizzare (voce "Sistema di riferimento spaziale richiesto"). L'esecuzione del comando comporta l'automatica trasformazione dei file di input in Geotiff se questi sono stati archiviati in altri formati o la sovrascrittura degli stessi se già sono dei file Geotiff.

- Riproiezione: permette di riproiettare il file raster in un diverso sistema di riferimento rispetto a quello assegnato all'origine. E' una operazione più complessa rispetto a quella descritta in precedenza in quanto comporta trasformazioni e/o conversioni che possono incidere sui tempi di esecuzione dell'algoritmo. La finestra di configurazione è mostrata in figura 2.46.

Anche in questo caso il tool può sia essere eseguito su tutti i raster di una intera cartella (selezionare la "Modalità in serie" spuntando la relativa casella) o su un singolo file selezionandolo nel box "File di input". Dopo aver definito la directory di archiviazione del file di output, bisognerà spuntare la casella "SR Sorgente" specificando qual è il codice EPSG del file in input e "SR di destinazione" indicando quale invece deve essere il codice EPSG del sistema di riferimento da assegnare allo strato in output.

Figura 2.46 - Finestra di configurazione dello strumento di Riproiezione.

Di norma in output verrà generato un file che avrà naturalmente la stessa risoluzione tematica e quindi lo stesso dominio del file in input per cui il metodo di ricampionamento (vicino più prossimo, bilineare, cubico…) da utilizzare andrà opportunamente selezionato in funzione della tipologia di variabile rappresentata nel file raster. Abbiamo visto che il metodo di ricampionamento vicino più prossimo, o nearest neighbour, assegna al pixel dell'immagine in output il valore del pixel più vicino al punto corrispondente dell'immagine in input e viene utilizzato per raster che rappresentano dati discreti. Metodi quali quello bilineare e cubico possono essere invece utilizzati per ricampionare raster che rappresentano dati di tipo continuo (concentrazioni di inquinanti, modelli digitali del terreno, carte di temperatura…), in quanto il valore assegnato al pixel dell'immagine in output è mediato sui 4 pixel (bilineare) o sui 16 pixel (cubico) adiacenti al corrispondente punto dell'immagine in input. La finestra di configurazione permette inoltre di applicare il tool ad una sola parte del raster in input utilizzando una maschera che ne delimita l'estensione spaziale o anche di ridimensionare l'immagine in output settando opportunamente il numero di celle orizzontali e verticali. Abbiamo inoltre visto come il georiferimento di una immagine raster (Jpeg, Tiff,…) genera un geotiff che comporta un netto aumento delle dimensioni finali del file (anche oltre 30/40 volte le dimensioni originarie del file di partenza), per cui aprire una serie di geotiff in una view può portare a dei rallentamenti nei processi di gestione dei file nei momenti in cui vengono effettuati degli zoom o ci si sposta lungo di essi, anche dopo aver creato le piramidi (molto dipende anche dalle caratteristiche tecniche dell'hardware, in particolare dalla RAM e dal processore). Il file di tipo .ecw risente molto meno di questi problemi in quanto, a parità di risoluzione geometrica e di territorio rappresentato, ha una struttura molto più leggera in grado di bypassare i processi di decompressione del dato come accade per altri tipi di formato. Come indicato nel capitolo precedente, esiste anche la possibilità di creare un world file per la georeferenziazione di una immagine raster che viene automaticamente associato ad essa (non tutti i software GIS permettono questo tipo di operazione, ma comunque

sono in grado di leggerli, nel senso che riescono a posizionare correttamente una immagine georeferenziata attraverso un world file). Il world file è un formato di file creato per la prima volta dall'americana ESRI. Esso viene quindi utilizzato per descrivere la localizzazione, la scala e la rotazione dell'immagine raster che accompagna. Sono dei file compilati in formato testo (generalmente di pochi kilobyte) che contengono sei stringhe di caratteri ciascuna delle quali riporta un particolare tipo di informazione (fig.2.47).

```
3.1798745505094725
0.071897220099699427
0.074699271733596612
-3.1802487948498874
646354.62179363775
4883020.4820980541
```

Figura 2.47 - Contenuto di un World file

La prima e la quarta stringa rappresentano la dimensione del pixel dell'immagine lungo l'asse X e Y (in pratica la risoluzione geometrica; la coordinata Y è negativa in quanto i dati all'interno dell'immagine vengono memorizzati in sequenze che vanno dall'alto verso il basso mentre i software utilizzano di base sistemi cartesiani la cui origine è fissata nell'angolo in basso a sinistra con valori dell'asse Y crescenti verso l'alto), la seconda e la terza i parametri di roto-traslazione dell'immagine (pari a zero nel caso di assenza di rotazione; da alcuni anche definiti *"*y skew*"* e *"*x skew*"*) mentre la quinta e la sesta invece le coordinate X e Y del centro del pixel posto in alto a sinistra dell'immagine. Il world file ha il nome identico all'immagine alla quale si riferisce e un estensione specifica che lo contraddistingue (.tfw nel caso di una immagine .tif, .jpw nel caso di immagini in formato .jpeg). Questo file non incide per nulla sulle caratteristiche del file al quale è associato, ma permette al software GIS di posizionarla correttamente nello spazio rispetto ad uno specifico sistema di riferimento. Così come mostrato nella figura 2.47, il world file non presenta nessuna indicazione esplicita (come vedremo più avanti per il file .prj ad esempio) circa il sistema di riferimento utilizzato per cui, una volta caricato il file raster nella view, andrà automaticamente settato/indicato il codice EPSG corretto. Naturalmente il georiferimento viene meno una volta che il file viene eliminato. Questo tipo di file viene creato anche nella georeferenziazione di file vettoriali in formato CAD. Molto spesso le immagini da georiferire in ambiente GIS derivano da scansione di materiale cartaceo operazione questa effettuata ad una certa risoluzione misurata in dpi (dot per inchs o punti per pollici). La risoluzione scelta in questa fase si traduce direttamente sul numero di pixel che saranno utilizzati per rappresentare ogni

centimetro della mappa. La scelta della risoluzione da utilizzare deve avvenire sempre in maniera ragionata in quanto deve rappresentare il giusto compromesso tra dimensioni del file (più la dimensione della cella è minore più aumentano le dimensioni su disco del file) e la risoluzione geometrica in rapporto alla scala utilizzata nella mappa cartacea. E' infatti la risoluzione impostata nello scanner a determinare indirettamente la risoluzione geometrica del pixel dell'immagine scannerizzata. Se ad esempio effettuiamo una scansione a 200 dpi (1 inch corrisponde a 2,54 cm) di una mappa cartacea in scala 1:25.000 avremo 78,74 pixel per ogni centimentro di mappa (200 pixel/ 2.54 cm = 78,74 pixel/cm). La risoluzione geometrica del pixel sarà data invece dal rapporto tra la scala della mappa e la risoluzione utilizzata per la scansione (25.000 cm / 78,74 pixel = 3,17 m/pixel). Naturalmente è anche possibile il processo inverso e cioè decidere preventivamente quale deve essere la risoluzione geometrica del pixel del raster scannerizzato e calcolare la risoluzione in dpi con la quale acquisire una mappa di cui si conosce la scala.

2.7.2. La georeferenziazione di dati geografici in formato vettoriale in QGIS

La georefereziazione di file di tipo vettoriale presenta caratteristiche diverse rispetto a quanto visto per i file di natura raster. Alcuni software GIS in commercio possiedono dei moduli molto simili al georeferenziatore per i raster il cui target di riferimento è rappresentato da layer di tipo vettoriale, altri utilizzano lo stesso modulo utilizzato per i dati raster anche per dati cartografici prodotti con applicativi CAD. Per quanto riguarda questi ultimi è utile fare alcune precisazioni. Innanzitutto la tecnologia alla base dei dati CAD è totalmente diversa rispetto ai dati di natura GIS. Un dataset CAD è contenuto in un unico file sorgente, la cui geometria viene tradotta automaticamente dai software GIS in features class virtuali distinte in primitive geometriche. Il posizionamento dei dati CAD avviene sulla base di coordinate XY rispetto ad un sistema cartesiano la cui origine è generalmente fissata su una coppia di coordinate di valore 0 (salvo il caso in cui l'utente non decida di inserire coordinate di origine diverse). Non essendo quindi fissato un sistema di riferimento geografico è impossibile per dati di questo genere, anche una volta convertiti in shapefiles, applicare degli algoritmi di trasformazione e di conversione che permetterebbero il passaggio ad un sistema di riferimento in uso in un particolare settore geografico al quale l'informazione in esso contenuta si riferisce. Per dati di questa natura infatti si utilizzano i moduli cui si faceva riferimento in precedenza. E' possibile sia applicare una trasformazione di tipo similare, basata su un massimo di due GCP, che serve a mantenere i rapporti geometrici dei dati CAD evitando la rotazione degli assi X e Y (piccole distorsioni geometriche, il file di georeferenziazione è un world file in questo caso) mentre altri metodi, come ad esempio lo spatial adjustment, permettono l'inserimento di più GCP una volta trasformato il file CAD in uno shapefiles ed eseguire poi trasformazioni di tipo

diverso (in questo caso l'informazione legata alle coordinate delle primitive geometriche rispetto ad un sistema di riferimento è contenuta nel file .shp). Nell'ambito dei sistemi informativi geografici ci si trova comunemente ad utilizzare dati di varia provenienza (per esempio regioni, province, comuni, enti locali, ecc…) georeferenziati spesso utilizzando sistemi di riferimento diversi per cui è di fondamentale importanza che questa informazione sia esplicitata nella struttura stessa del file. In particolare questa deve essere riportata sia nel metadata del file che in un file accessorio (.prj per gli ESRI shapefile o .qpj per shapefile prodotti con QGIS) in formato testo al cui interno sono riportate tutte le informazioni necessarie (fig. 2.48).

```
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 32N",GEOGCS["WGS 84",DATUM["WGS_1984",
SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,AUTHORITY["EPSG","7030"]],AUTHORITY["EPSG","6326"]],
PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]],UNIT["degree",0.0174532925199433,
AUTHORITY["EPSG","9122"]],AUTHORITY["EPSG","4326"]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],
PARAMETER["latitude_of_origin",0],PARAMETER["central_meridian",9],PARAMETER["scale_factor",0.9996],
PARAMETER["false_easting",500000],PARAMETER["false_northing",0],UNIT["metre",1,AUTHORITY["EPSG","9001"]],
AXIS["Easting",EAST],AXIS["Northing",NORTH],AUTHORITY["EPSG","32632"]]
```

Figura 2.48 - Contenuto di un file .qpj relativo al sistema di riferimento EPSG:32632 (WGS84 UTM 32N)

Questo file, pur se non direttamente legato con la struttura delle features class di uno shapefiles, gioca un ruolo primario relativamente al suo utilizzo in quanto ne esplicita il sistema di riferimento permettendone una corretta utilizzazione e l'integrazione di questo con altri dati geografici. Va detto però che se questo file viene eliminato, non viene perso il georiferimento in quanto le coordinate dei punti che costituiscono le primitive geometriche sono immagazzinate nel main file (.shp), bensì viene meno l'indicazione del sistema di riferimento utilizzato per quel dato per cui diventa difficile, anche all'occhio dell'esperto, individuarlo per poi poter utilizzare il dato stesso. Dati geografici privi di file .prj o .qpj, georeferenziati ma con un sistema di riferimento non definito (dati incompleti), vanno quindi corretti assegnando loro il giusto sistema di riferimento. Cosa succede quando dati di questa natura vengono caricati in QGIS? Il software carica lo shapefiles non segnalando alcun tipo di errore ma nella view è possibile evidenziare delle incongruenze che fanno capire immediatamente l'assenza del file accessorio di georeferenziazione (.prj o .qpj). Informazioni relative a coordinate e sistema di riferimento in utilizzo nella view sono riportati nella sua parte bassa, dove è possibile anche modificare la scala di visualizzazione della mappa.

Figura 2.49 - Barra con le informazioni relative al sistema di riferimento e alle coordinate

Il codice EPSG 4326, sistema di riferimento che il software utilizza di default (ma che può essere cambiato da "Impostazioni – Opzioni – SR") nel momento in cui il file .prj o .qpj è assente, è associato al sistema di riferimento WGS84 con coordinate in formato geografico (latitudine e longitudine) mentre le coordinate dello shapefiles sono espresse in formato planimetrico (riquadro in fig. 2.49). L'assenza del file accessorio di georeferenziazione è evidente anche esplorando le proprietà del layer (voce "generale") caricato nella view, dove alla voce "Sistema di riferimento delle coordinate" il software associa quello di default EPSG 4326 (fig.2.50).

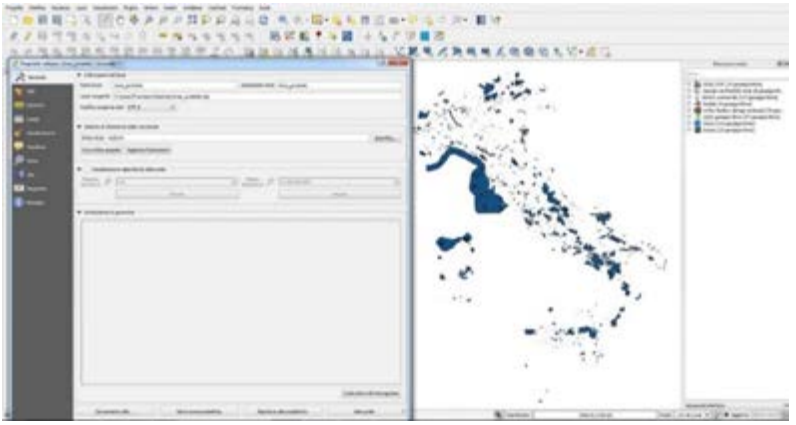


Figura 2.50 – Informazioni presenti alla voce generale delle proprietà del layer.

Il file utilizzato nell'esempio rappresenta la dislocazione geografica delle aree protette in Italia. L'ordine di grandezza della coordinata x (centinaia di migliaia di metri) fa immediatamente escludere la proiezione di Gauss (fuso 1 ordine di grandezza della coordinata x 1.000.000 fuso 2 2.000.000) e quella Cassini Soldner (sistema di coordinate nettamente diverso). Il tipo di proiezione utilizzata è la UTM ma resta difficile associare ad essa il datum di riferimento (ED50, WGS84, ETRF89), in quanto le differenze tra le coordinate possono andare da pochi centimetri (WGS84 e ETRF89) ad alcune centinaia di metri (ED50 e WGS84). In questi casi possono essere d'aiuto dati geografici che riguardano lo stesso ambito territoriale e che hanno assegnato un sistema di riferimento noto. Qualcosa può essere intuito per quanto riguarda il fuso di riferimento utilizzando contemporaneamente il software Google Earth impostato con le coordinate planimetriche e con la visualizzazione sul globo dei fusi e delle fasce UTM. Infatti basta individuare punti omologhi tra la mappa nel software GIS e Google Earth e confrontare le loro coordinate per capire quale è il fuso di riferimento utilizzato. Per assegnare quindi il corretto sistema di riferimento in QGIS ad un layer che ne è sprovvisto bisogna cliccare sulla voce "Vettore" tra i vari menù a tendina selezionare "Strumenti di Gestione dati – Definisci proiezione in uso". Nell'interfaccia

successiva si può assegnare il sistema di riferimento scegliendolo tra quelli proposti digitando alla casella “Filtro” il codice EPSG corrispondente al giusto sistema di riferimento (fig.re 2.51 e 2.52).

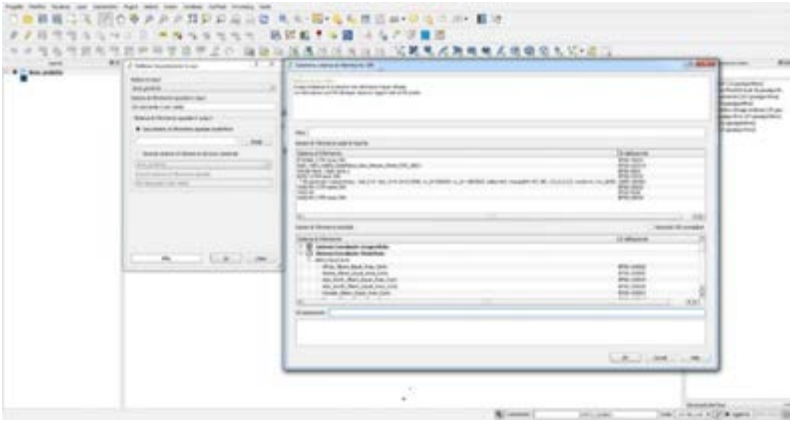


Figura 2.51 - Definizione della proiezione in uso per un layer sprovvisto

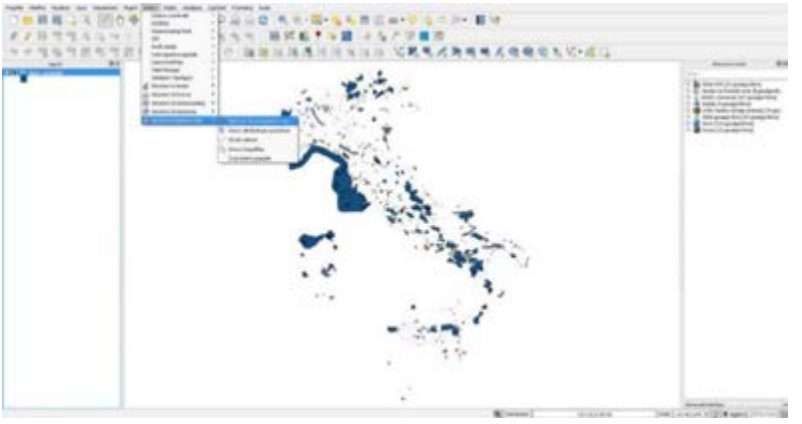


Figura 2.52 - Scelta del sistema di riferimento da utilizzare

Una volta individuato, va selezionato nella casella “Sistemi di Riferimento Mondiali” in modo che compaia nella casella “SR selezionato”; per concludere il processo bisogna poi cliccare sul tasto “ok” di entrambe le schermate. In tal modo il file .qpj viene creato ed assegnato al relativo layer. Il file accessorio di georeferenziazione è fondamentale anche per applicare algoritmi di trasformazione e di conversione per passare da un sistema di riferimento ad un altro. Altro caso che può verificarsi è quello in cui il dato geografico vettoriale non ha il file accessorio di georeferenziazione e inoltre le coordinate dei punti che definiscono le sue features class non rientrano nel dominio di validità di nessun sistema di riferimento noto (il software posiziona questi dati nella view sulla base di un sistema di riferimento

cartesiano con origine nel punto di coordinate 0,0). Si tratta di dati definiti non corretti che vanno dapprima georeferenziati con gli opportuni strumenti e successivamente va definito il sistema di riferimento utilizzato attraverso il file accessorio di georeferenziazione. Per un corretto utilizzo quindi dell'informazione geografica, specie se di provenienza diversa, è fondamentale la presenza di questo file o almeno l'indicazione del sistema di riferimento utilizzato all'interno della struttura del metadata. Il software QGIS permette di utilizzare anche la riproiezione dei layer on fly (al volo). Nel momento in cui vengono caricati nella view strati informativi, sia raster che vettoriali, con sistemi di riferimento diversi è possibile riproiettarli on fly in un nuovo sistema di riferimento abilitando l'apposito comando e scegliendo il sistema di riferimento voluto tra quelli proposti (fig.2.53).

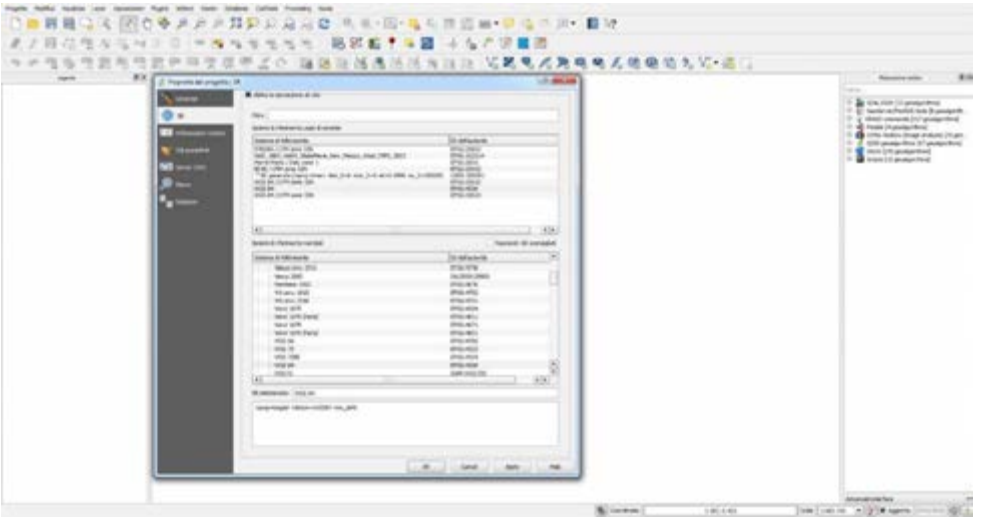


Figura 2.53 - Interfaccia grafica relativa alla riproiezione on fly

La riproiezione on fly comporta un carico computazionale sul computer, in quanto vengono ricalcolate le coordinate di ogni punto o pixel nel nuovo sistema di riferimento impostato. Va da se che la riproiezione al volo non funziona quando lo strato informativo caricato non possiede la dichiarazione del relativo sistema di riferimento. Una operazione di questa natura può causare dei rallentamenti del computer qualora gli strati da riproiettare siano molti o anche complessi da un punto di vista della struttura. La riproiezione al volo risulta utile nel momento in cui si vogliono sovrapporre layer con sistemi di riferimento diversi ma che riguardano lo stesso ambito territoriale per allestire un layout, non certo per procedere con elaborazioni di tipo overlay mapping o geostatistico dove è proprio la sovrapposizione su base geografica di strati con informazione di tipo diverso che

permette l'applicazione di operazioni di questa natura. In questo caso conviene riproiettare i layer in questione in maniera statica. Questa operazione può essere effettuata cliccando semplicemente con il tasto destro sul layer da riproiettare nella TOC (Table Of Contents) e selezionare nel menù successivo la voce "Salva con nome…" (fig. 2.54).

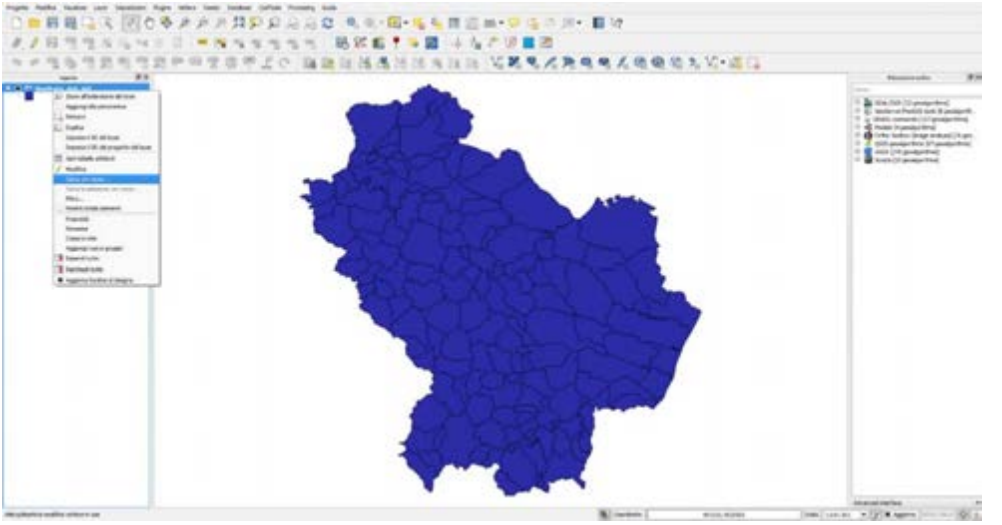


Figura 2.54 - Operazione di riproiezione statica di un layer

Nell'interfaccia successiva, una volta scelta la directory dove salvare il nuovo file, è possibile scegliere il nuovo sistema di riferimento nell'apposito menù. La libreria utilizzata da QGIS per le riproiezioni è la PROJ4 che è la stessa utilizzata in molti software GIS sia proprietari che Open Source. Ogni riproiezione comporta un certo tipo di errore che dipende dal tipo di algoritmo utilizzato (errore che può andare da qualche centimetro fino a decine di metri). Per aumentare la precisione si possono utilizzare i grigliati che vengono prodotti dall'Istituto Geografico Militare per il territorio italiano (già illustrati in precedenza) o anche i grigliati in formato NTv2 (National Trasformation Version 2), sviluppato dalla "Geodetic Survey Division" dell'ente canadese "Geomatics Canada" diffusosi a livello internazionale diventando uno standard per le griglie di traslazione tra sistemi geografici mediante modelli a maglia regolare, che vengono utilizzati comunemente nei più diffusi ambienti GIS / CAD. Per il territorio nazionale possono essere scaricati al sito www.globogis.it sezione download per eseguire i passaggi tra i datum usati in Italia: da Roma40 a WGS84, da ED50 a WGS84, da Roma40 a ED50.

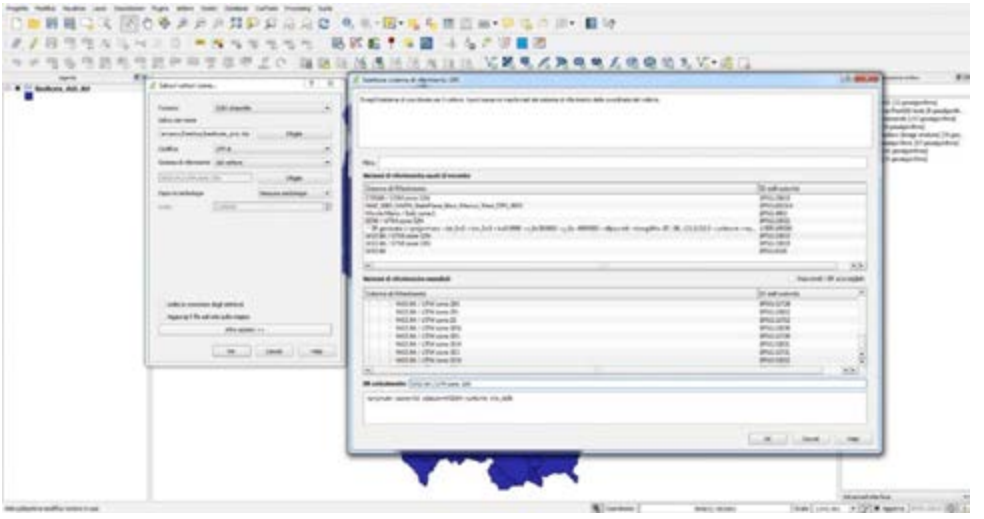


Figura 2.55 – Cambio del sistema di riferimento e salvataggio del nuovo layer.

E' inoltre a disposizione sul Geoportale Nazionale (www.pcn.minambiente.it) un servizio di conversione di coordinate sia di file di natura raster che vettoriale. E' sufficiente infatti effettuare l'upload del file da riproiettare (.shp, .dbf e .shx per gli shapefiles) indicare il sistema di riferimento in entrata e quello con il quale si vuole georiferire il file in questione e fornire poi l'indirizzo mail al quale, una volta effettuata la conversione, il sistema provvede a reinviare i file. Si tratta di un servizio completamente gratuito che utilizza inoltre anche i grigliati prodotti dall'IGM e che permette di georeferenziare i dati geografici anche nei sistemi ETRS89 e ETRF2000 adottati a livello europeo con una precisione elevata (in genere dell'ordine dei decimetri o anche meno, in funzione della distanza tra i punti della griglia). Come precedentemente accennato, la gestione dei sistemi di riferimento nella view di un progetto di QGIS avviene attraverso una interfaccia specifica alla quale vi si accede dal menù a tendina delle impostazioni cliccando poi su opzioni e selezionando la voce SR (Fig. 2.56). Alla luce di quanto sin qui specificato, alla voce "SR predefinito per nuovi progetti" conviene selezionare "Non abilitare la riproiezione al volo" sia perché essa è sempre attivabile utilizzando il tasto presente nella parte in basso a destra dell'interfaccia sia perché, in funzione dei layer caricati (si pensi anche a quelli inseriti tramite la rete con servizi del tipo WMS o WFS) il programma potrebbe incorrere in importanti rallentamenti derivanti dal calcolo computazionale delle nuove coordinate. La voce successiva "inizia un nuovo progetto sempre con questo SR" ha un valore alquanto relativo perché, se lo strato informativo inserito nella view è correttamente georeferenziato (possiede cioè il file di

georeferenziazione) questa automaticamente assumerà il sistema di riferimento del primo strato caricato.

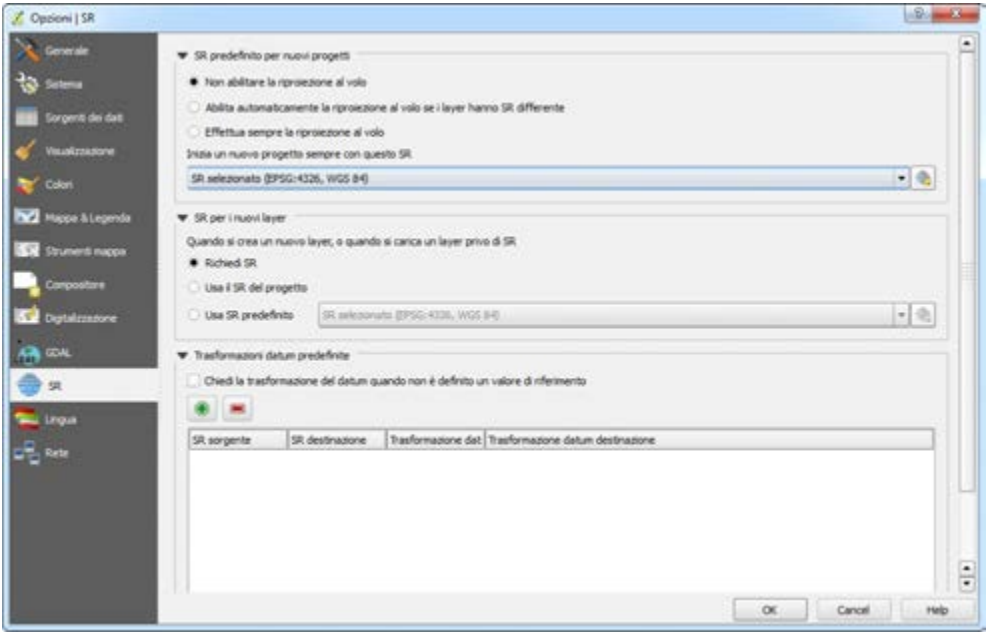


Figura 2.56 - Finestra di gestione dei sistemi di riferimento all'interno di una view di QGIS

Qualora invece la riproiezione on fly fosse attiva, lo strato informativo caricato verrebbe automaticamente riproiettato nel sistema di riferimento indicato in questa sezione. Nella parte relativa ai “SR per i nuovi layer” dove si specifica che sistema di riferimento adottare quando viene creato un nuovo layer o quando ne viene caricato uno privo della dichiarazione del relativo sistema di riferimento è utile spuntare la voce “Richiedi SR” in modo da sceglierlo di volta in volta. Nel momento in cui viene caricato un layer privo della dichiarazione del sistema di riferimento il software chiederà di sceglierne uno tra quelli a disposizione che automaticamente assegnerà alla view ma non allo shapefiles. Inoltre non essendoci la dichiarazione del sistema di riferimento adottato, non può essere effettuata la riproiezione on fly nel nuovo sistema di riferimento. Va sottolineato che indipendentemente dal tipo di sistema di riferimento scelto tramite questa procedura uno strato informativo, sia esso di tipo raster o vettoriale, viene posizionato nella view sulla base delle coordinate dei suoi vertici (file vettoriale) o dei suoi pixel (file raster) le cui posizioni sono relative ad un sistema di riferimento utilizzato nella fase di elaborazione del file stesso. Questo vuol dire che, qualunque sistema di riferimento venga scelto, lo strato informativo non risentirà per nulla di questa selezione, pertanto è necessario

individuare il corretto sistema di riferimento del layer e assegnarglielo attraverso le operazioni viste in precedenza. Si ricorda che per rendere effettive le modifiche effettuate nei vari menù nella sezione impostazioni bisogna chiudere e riavviare il programma.

"…I Sistemi Informativi Geografici sono tanto rilevanti per l'analisi spaziale quanto le invenzioni del microscopio e del telescopio lo furono per la scienza, il computer per l'economia, e la stampa per la diffusione dell'informazione…"

(Department of Environment,1987)

Cap. 3. L'analisi spaziale nel software QGIS

Obiettivi e finalità

L'obiettivo principale del capitolo è quello di far comprendere le tecniche, le modalità di produzione e di inserimento *ex novo* di dati geografici di natura vettoriale nel software QGIS ed il loro utilizzo per l'implementazione di indici di supporto all'analisi e alla valutazione ambientale. Inoltre particolare attenzione verrà data alla formazione e alla gestione del database geografico e alle modalità di gestione degli attributi collegati all'informazione geografica stessa. Già nel primo capitolo si è parlato dei problemi legati all'interoperabilità dei dati e degli standard (servizi WMS, WFS, WCS) messi a disposizione dall'OGC, in questo si vedrà come questi vengono introdotti e gestiti dal software. Fondamentale poi è anche la rappresentazione e la classificazione tematica unitamente alla gestione dei prodotti di stampa, per cui una parte del capitolo è interamente dedicata alla tecniche di elaborazione di layout grafici. La parte finale del capitolo è invece dedicata alla spiegazione dei principali geoprocessi comunemente utilizzati per layer vettoriali, raster e della map algebra strumenti questi propedeutici alla comprensione degli indici territoriali e dei metodi per la loro implementazione presentati nel capitolo 4.

3.1. Breve introduzione sugli aspetti tecnico - strumentali dell'interfaccia di QGIS.

L'interfaccia grafica del software appare abbastanza intuitiva e semplice da utilizzare anche per utenti meno esperti.

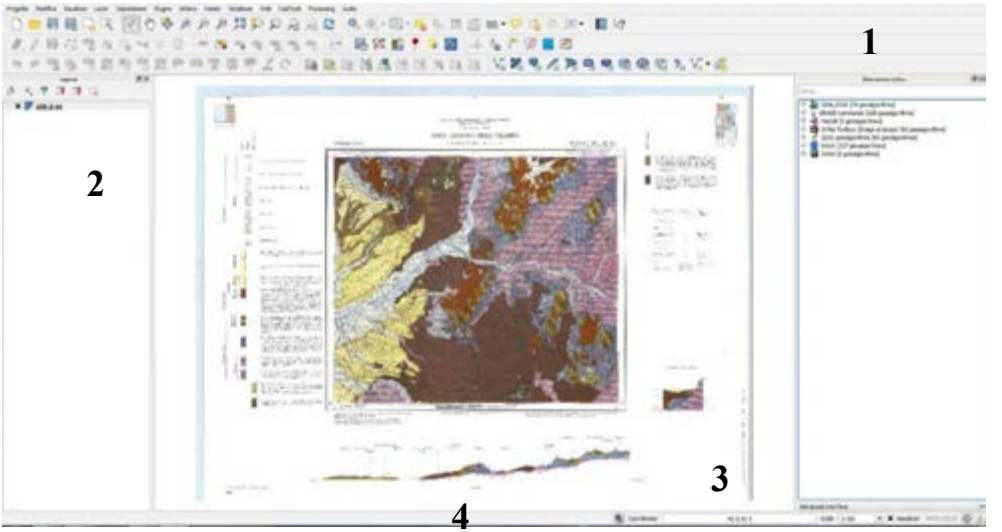


Figura 3.1 - Interfaccia grafica del software QGIS 2.8.4.1 Wien

La figura 3.1 mostra la schermata di apertura del programma: la parte grigia in alto (num.1 in fig.3.1) rappresenta l'area nella quale vengono caricate le toolbar (barre degli strumenti) gestite dal software (le toolbar vengono attivate/disattivate semplicemente cliccando con il tasto destro del mouse all'interno della parte grigia spuntando poi quella da attivare/disattivare); sono inoltre presenti tutta una serie di menù a tendina raggruppati in base alle funzioni che svolgono dai quali è possibile compiere set di operazioni di vario tipo oltre che modificare le impostazioni di base del software stesso. In particolare:

- **Progetto:**

Al suo interno si trovano tutta una serie di comandi per gestire il progetto (proprietà, modalità di salvataggio, uscita dal programma) e il layout di stampa (Toolbar corrispondente: File).

- **Modifica:**

E' il menù collegato con le funzioni di editing (si attiva contestualmente all'attivazione dell'editing di dati); permette quindi l'inserimento di features vettoriali ex novo e la relativa modifica (modifica della forma, aggiunta di elementi, divisione/unione degli elementi…) oltre che funzioni quali l'annullamento e la ripetizione dell'ultimo comando eseguito o anche il copia e incolla di elementi (Toolbar corrispondenti: Digitalizzazione e Digitalizzazione avanzata).

- **Visualizza:**

Contiene tutti gli strumenti per la visualizzazione dei dati e la navigazione all'interno della view. In esso si trovano strumenti di zoom in/out, il comando pan per spostare la mappa, ma anche strumenti che permettono si selezionare, interrogare e misurare le geometrie appartenenti ad uno shapefile inserito nella view. Permette inoltre di creare e gestire i bookmark (segnalibro) che servono a salvare impostazioni relative alla scala di visualizzazione di una mappa nell'ambiente di lavoro. Infine in questo menù è possibile gestire anche la barra degli strumenti (Toolbar corrispondenti: Attributi e orientazione della mappa).

- **Layer:**

Permette la gestione degli strati geografici di varia natura. Attraverso questo menù è quindi possibile aggiungere un nuovo layer alla view, creare un nuovo strato informativo di tipo vettoriale (shapefile, vettore SpatiaLite, vettore GPX,…), attivare una sezione di editing (strumento modifica) e salvare le relative modifiche, visualizzare la tabella degli attributi, accedere al menù delle proprietà dello strato selezionato, effettuare operazioni di interrogazioni (query) dei database associati agli strati vettoriali (comando filtro). Permette inoltre la gestione del sistema di etichettatura (labeling).

- **Impostazioni:**

Rappresenta il menù principale relativamente le impostazioni di gestione del software, di quelle associate al progetto oltre che importanti proprietà legate alla

digitalizzazione di dati vettoriali. Esso infatti permette la creazione di un sistema di riferimento personalizzato, la gestione della simbologia a disposizione del software per la rappresentazione di dati vettoriali e raster, la personalizzazione dei comandi del software stesso. La voce "Opzioni" consente di modificare tutta una serie di proprietà relative a varie componenti del programma (Sistema di riferimento, impostazioni di visualizzazione, compositore di stampa, libreria per la gestione di varie tipologie di file, lingua, rete…), modifiche che, per essere effettive, necessitano spesso del riavvio del programma. Sempre in questo menù è possibile gestire le opzioni di snap che verranno analizzate più avanti nel capitolo.

- **Plugin:**

Il software viene installato insieme a tutta una serie di strumenti di base ma che possono comunque essere implementati tramite plugin scaricati direttamente attraverso i repository ufficiali di QGIS (Fig.3.2). L'utilizzo richiede la connessione ad internet.

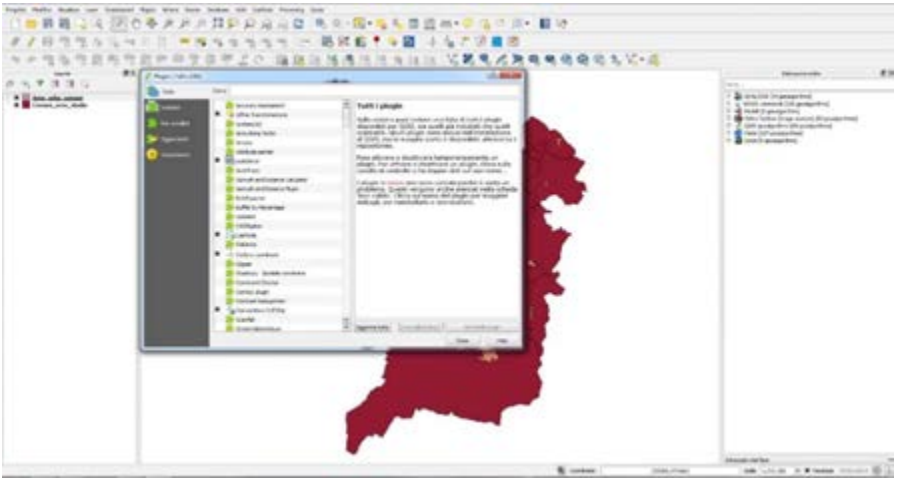


Figura 3.2 - L'interfaccia grafica relativa alla gestione dei plug-in.

- **Vettore:**

Contiene tutta una serie di comandi legati all'informazione geografica su base vettoriale. Al suo interno è possibile accedere a strumenti di geoprocessing, di analisi e ricerca dati, strumenti collegati alla geometria e alla gestione dei dati di questa natura. Al suo interno si trovano inoltre strumenti legati alla gestione/implementazione di dati provenienti da strumenti GPS come importazione/conversione/esportazione di tracce .gpx, (waypoints, route, track), contiene uno strumento ("Validatore topologico") in grado di verificare la presenza di errori topologici eventualmente presenti all'interno di uno strato vettoriale e permette inoltre di importare dati da OpenstreetMap relativamente l'ambito

territoriale mostrato nella view (ovviamente bisogna accertarsi di essere connessi ad Internet). Una volta caricati è possibile poi effettuare un download dei dati geografici stessi (Toolbar corrispondente: vettore). In questo menù vengono caricati anche i plugin scaricati che riguardano dati di natura vettoriale.

- **Raster:**

Contiene tutta una serie di comandi legati all'informazione geografica su base raster. Strumenti quali il calcolatore raster (map algebra), georeferenziatore, algoritmi di interpolazione di dati discreti per la creazione di mappe raster, cambio del sistema di riferimento, analisi/gestione di dati di questa natura sono solo alcuni di quelli disponibili al suo interno (Toolbar corrispondente: raster).

- **Database:**

Al suo interno sono presenti strumenti per creare/importare/gestire database geografici di varia natura (PostGIS SQL, SpatiaLite, eVis).

- **Web:**

Permette il collegamento ai servizi di tipologia CSW (Catalog Service for the Web) standard OGC che definisce un'interfaccia per servizi di ricerca, di navigazione, e di interrogazione di metadati su dati, servizi, a altre risorse potenziali (Toolbar corrispondente: web). Contiene inoltre i plugin scaricati ed installati che necessitano di un collegamento internet per il funzionamento (es. Open layer Plugin)

- **Processing:**

Permette di creare e gestire modelli per l'analisi dell'informazione geografica (comando modellatore grafico), consente l'accesso al modulo "Strumenti" il quale contiene tutta una serie di algoritmi (alcuni propri di QGIS altri provenienti da software diversi come GRASS e SAGA Gis) applicabili sia su dati raster che vettoriali che implementano i comandi per l'analisi spaziale (vedi par. 3.9.12).

- **Guida:**

Contiene una serie di collegamenti relativi alle informazioni base sul software (sponsor, homepage, supporto commerciale), oltre che una guida di supporto all'utilizzo del programma attivabile anche utilizzando il tasto di funzione F1 della tastiera.

La parte indicata dal numero 2 in figura 3.1 mostra la TOC (Table of Content) un elenco di tutti i dati geografici e non, gestiti dal GIS nell'ordine della loro apparizione (solitamente le basi raster vengono poste alla fine dell'elenco mentre i layer vettoriali vengono ordinati ponendo gli strati con geometria puntuale in alto, seguiti da quelli con geometria lineare ed infine quelli con elementi di tipo poligonale). L'ordine di apparizione nella TOC, e con esso la visualizzazione nella view (num.3 in Fig. 3.1), può essere modificato semplicemente spostando in alto gli strati da visualizzare. Inoltre il software permette di raggruppare i layer, strumento molto utile in fase di elaborazione dei layout di stampa (par. 3.8). Il numero 4 indica una componente fondamentale ed alla base del funzionamento di un software GIS:

coordinate e sistema di riferimento (cfr. cap.2). La prima parte mostra le coordinate dei punti relativamente al movimento del cursore all'interno della view, accanto ad esso è presente la scala di visualizzazione del dato seguito poi da un codice EPSG (vedi par. 2.6.1) che esprime il sistema di riferimento utilizzato per quel particolare dato geografico caricato. Al sistema di riferimento è collegata anche l'unità di misura della mappa stessa, anche per questo è fondamentale che ogni layer caricato/creato in un qualsiasi software GIS abbia dichiarato questo tipo di informazione (vedi Cap. 2, Par. 2.6.2.). E' comunque possibile gestire le unità di misura della mappa dalle proprietà del progetto ("Progetto – Proprietà di progetto – Generale"). La scala di visualizzazione/rappresentazione del dato geografico viene ovviamente cambiata dinamicamente ogni volta che viene fatto uno zoom in avanti o indietro ma può essere settata ad un particolare dettaglio semplicemente digitando il numero corrispondente all'interno del box relativo. Non va naturalmente confusa con la scala di rilevamento (o scala nominale di acquisizione) del dato geografico che, insieme all'unità minima di rilevamento, invece restituisce il grado di precisione con cui quel particolare tipo di informazione è stata acquisita. Inoltre, prima di iniziare a lavorare con i dati geografici, è utile conoscere alcuni comandi fondamentali per l'utilizzo di un software GIS in particolare gli strumenti di salvataggio e gestione del progetto e quelli di navigazione. I primi si trovano all'interno del menù progetto collegato con la toolbar file.

Il foglio bianco permette di creare un nuovo progetto, la cartella invece di aprire un progetto già esistente mentre gli ultimi due tasti permettono il salvataggio del progetto stesso. Il progetto viene salvato ed archiviato come un file con estensione .qgs, il quale non salva nuovamente tutti i file presenti nella TOC ma solo le loro path (posizione del file all'interno della gerarchia di un file system), l'ordine con cui sono disposti in essa, il tipo di classificazione adottato e il file di composizione del layout se presente, può essere quindi associato ad una sorta di printscreen. Il software permette di gestire il salvataggio in due modi diversi: relativo ed assoluto ("Progetto – Proprietà progetto – Scheda generale"). La differenza tra i due modi è sostanziale: se si salva il progetto in maniera assoluta e in un secondo momento vengono modificati i percorsi di archiviazione di uno o più shapefile coinvolti nel progetto, nel momento in cui verrà riaperto il progetto il software darà degli errori in quanto non trovando più gli shapefile nei percorsi memorizzati questi non verranno più caricati nella view, per cui verrà richiesto di inserire i nuovi percorsi dove questi files sono stati spostati. E' utile invece salvare il progetto utilizzando la modalità relativa: se si salva il progetto in questo modo all'interno di un'unica cartella dove sono contenuti tutti i file coinvolti nel progetto stesso, può essere modificato il percorso

della cartella stessa ma il progetto verrà riaperto senza rilevare i problemi descritti in precedenza. Questo tipo di modalità risulta essere molto utile quando si vuole trasferire un progetto con relativi file da un computer ad un altro o da un utente all'altro. La toolbar "Orientazione mappa" (riportata in basso) contiene invece tutta una serie di strumenti che permettono la navigazione all'interno della view:

Zoom e sposta con il tocco: permette di spostare e zoomare all'interno della view cliccando semplicemente all'interno di essa;

Mano: permette di spostare la mappa all'interno della view senza modificare il livello di zoom;

Sposta la mappa sulla selezione*:* permette di spostare la mappa sugli elementi selezionati;

Ingrandisci*:* effettua operazioni di zoom in;

Rimpicciolisci*:* effettua operazioni di zoom out;

Zoom alla risoluzione nativa del pixel*:* permette di effettuare uno zoom alla risoluzione originale del pixel (attivabile ovviamente con dati in formato raster);

Zoom completo*:* effettua uno zoom tale da permettere la visualizzazione di tutti i layer presenti nella TOC;

Zoom alla selezione*:* effettua uno zoom in sugli elementi selezionati;

Zoom sul layer: permette di effettuare uno zoom alla massima estensione geografica del layer selezionato sulla TOC (evidenziato in blu);

Ultimo zoom: riporta la view nelle condizioni di scala di rappresentazione dello zoom precedente;

Zoom successivo: riporta la view nelle condizioni di scala di rappresentazione dello zoom successivo;

3.2 Inserimento, creazione di dati all'interno del campo di lavoro

Una volta aperto il programma è quindi possibile inserire all'interno della view dati geografici di varia natura o anche crearne di nuovi attraverso l'utilizzo degli strumenti di editing messi a disposizione del software. Gli strati di informazione geografica possono essere inseriti utilizzando la toolbar "Gestione layer". Al contrario di molti altri software di natura GIS, QGIS ha a disposizione un tasto specifico per ogni tipologia di strato di informazione geografica:

Aggiungi vettore: permette di inserire nella view layer in formato vettoriale (.dxf, .shp, .mif, .kml…);

Aggiungi raster: permette di inserire nella view layer in formato raster (.asc, .ecw, .tif, .grd, .png…);

Aggiungi vettore PostGIS: permette di inserire layer derivanti da PostgreSQL (Geodatabase - Opensource);

Aggiungi vettore SpatiaLite: permette di inserire nella view vettori derivanti da SpatiaLite (Geodatabase - estensione spaziale di SQlite - Opensource)

Aggiungi vettore MSSQL: permette di inserire layer derivanti da MSSQL (database prodotto da Microsoft);

Aggiungi vettore spaziale Oracle: permette di inserire layer derivanti da Oracle (database – Open source);

Aggiungi layer Oracle GeoRaster: permette di inserire layer raster derivanti da Oracle (database – Open source);

Aggiungi layer WMS/WMTS: permette l'inserimento di layer di informazione geografica attraverso un servizio di tipo WMS/WMTS (tipologia raster);

Aggiungi layer WCS: permette l'inserimento di layer di informazione geografica attraverso un servizio di tipo WCS (tipologia raster);

Aggiungi layer WFS: permette l'inserimento di layer di informazione geografica attraverso un servizio di tipo WFS (tipologia vettoriale);

Aggiungi layer di testo delimitato: permette di caricare un file di testo delimitato (es.:.csv, .txt) come un layer all'interno della view; per essere inserito il testo deve contenere:

- Una riga di intestazione per il nome dei campi (prima riga del file di testo);
- La riga di intestazione deve contenere un campo x e uno y (che possono essere denominati in qualsiasi modo) relativi alle coordinate;
- Le coordinate devono essere espresse in formato numerico.

N.B. una volta importato nella view, per essere convertito definitivamente in un formato vettoriale va effettuata l'operazione di salvataggio del file (tasto dx sul layer nella TOC – salva con nome…). Va specificato che lo stesso strumento può essere utilizzato per l'inserimento di tabelle che non hanno campi contenenti coordinate per il posizionamento degli elementi, bensì solo informazioni di tipo alfanumerico che possono poi essere utilizzate in vario modo all'interno del software. Si consiglia di usare questo tasto ogni volta che si deve inserire una tabella all'interno della view.

Nuovo shapefile: Permette di creare un nuovo shapefile o anche un nuovo vettore SpatiaLite ;

Nuovo vettore GPX: permette di inserire un vettore in formato .gpx;

Qualunque tipo di strato informativo viene caricato attraverso gli strumenti visti in precedenza, contestualmente questi vengono inseriti nella TOC dove è anche possibile gestire l'ordine di sovrapposizione degli stessi che ne determina poi la loro visualizzazione nella view. Questo vuol dire che, se un layer caricato nella view (e quindi nella TOC) non è immediatamente visibile in essa, è semplicemente perché si trova al di sotto di altri strati vettoriali (partendo dal presupposto che i layer hanno lo stesso sistema di riferimento e coprono la medesima porzione di territorio). Per sovrapporre un layer ad un altro basta semplicemente evidenziarlo e con il tasto sinistro del mouse premuto trascinarlo al di sopra. E' inoltre possibile attivare/disattivare la visualizzazione di uno strato nella view semplicemente attivando/disattivando la spunta nella casella associata al layer nella TOC. Può risultare inoltre molto utile modificare il nome visualizzato nella TOC di un qualsiasi strato informativo caricato senza modificare il nome con il quale questo viene archiviato; è un tipo di operazione molto utilizzata in fase di allestimento dei layout.

A tal fine basta semplicemente entrare nelle proprietà del layer (doppio click sullo stesso o tasto dx – proprietà) e dalla scheda generale, sezione vettore, modificare il nome vettore e contestualmente verrà modificato il nome di visualizzazione. Vediamo ora come procedere con la creazione di un nuovo set di dati digitalizzando a video l'informazione geografica e alfanumerica estrapolandola da una base cartografica raster, nel caso specifico una mappa recante l'informazione relativa ad un uso del suolo. Le cartografie su supporto cartaceo rappresentano una fonte di informazione importante che può essere utilizzata nel GIS solo attraverso la digitalizzazione a video dell'informazione ivi contenuta. Non solo, spesso alcune cartografie tematiche sono disponibili in formato pdf o immagine dalle quali non è possibile trarre alcuna informazione di tipo quantitativo, ne informazioni spaziali derivate. La sola scansione (creazione del file raster) seguita da georeferenziazione (corretto posizionamento rispetto ad un sistema di riferimento geografico) della mappa, non permette infatti di effettuare ad esempio operazioni di analisi spaziale o di calcolo numerico per via della differente struttura rispetto ad uno strato vettoriale (vedi par. 1.7). L'operazione di digitalizzazione, anche se onerosa in termini di tempo e di lavoro, comporta la creazione di uno strato vettoriale e di un database ad esso associato che ha delle potenzialità di utilizzo diverse. Vediamo ora come procedere. La prima cosa da fare è caricare nella view lo strato raster che andrà digitalizzato, quindi cliccare sul tasto e nella schermata successiva indicare la directory del file in questione, selezionarlo (in basso a destra della schermata mettere la dicitura "tutti i file (*), (*.*)) e cliccare poi sulla voce "Apri".

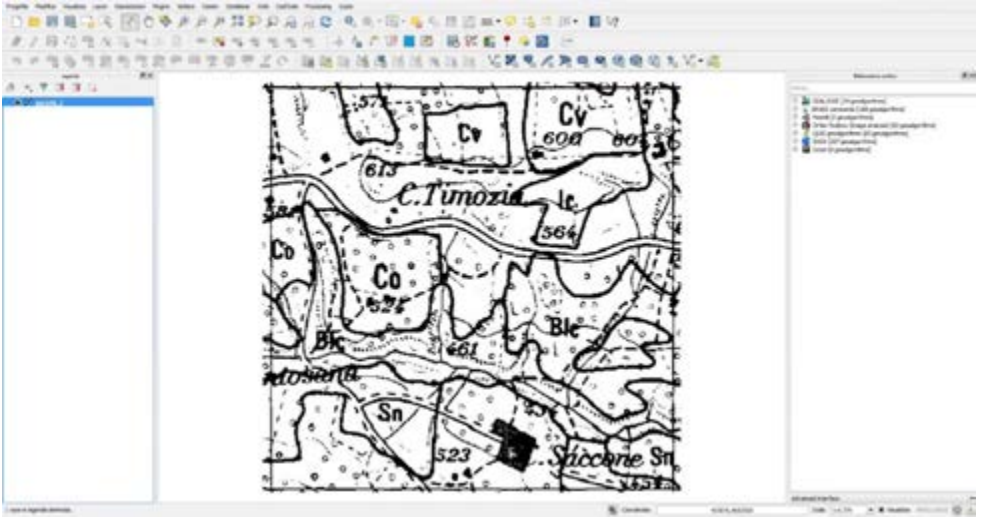
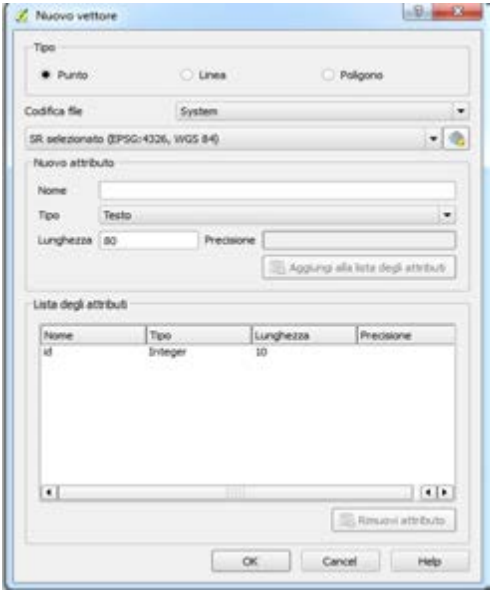


Figura 3.3 - Dato raster caricato nella view.

Accertarsi sempre che la mappa sia georeferenziata (congruo sistema di coordinate) e che il sistema di riferimento sia dichiarato (nel caso specifico EPSG:32633 – WGS84 UTM 33N). Il passo successivo e quello di creare uno shapefile di tipo poligonale che conterrà in formato vettoriale e alfanumerico l'informazione geografica riportata nel raster sotto forma di pixel. Per creare lo strato vettoriale cliccare su (o anche menù "Layer – Crea vettore – Nuovo shapefile"), si aprirà una nuova schermata dove andranno settate opportunamente le specifiche tecniche del nuovo file vettoriale (Fig.3.4).



Nella sezione "tipo" va indicato il feature type (punto, linea, poligono) del nuovo shapefile, cioè il tipo di geometria da utilizzare per la digitalizzazione degli oggetti presenti sulla mappa (in questo caso poligono). Nella sezione successiva va specificato il sistema di riferimento che dovrà essere identico a quello adottato per la base raster per cui cliccare su "Specifica SR" e nella sezione filtro scrivere il relativo codice EPSG (32633 nel caso specifico) selezionandolo poi dalla sezione sistemi di riferimento mondiali in modo che compaia alla voce "SR selezionato".

Figura 3.4 – Schermata per la creazione di un nuovo shapefile

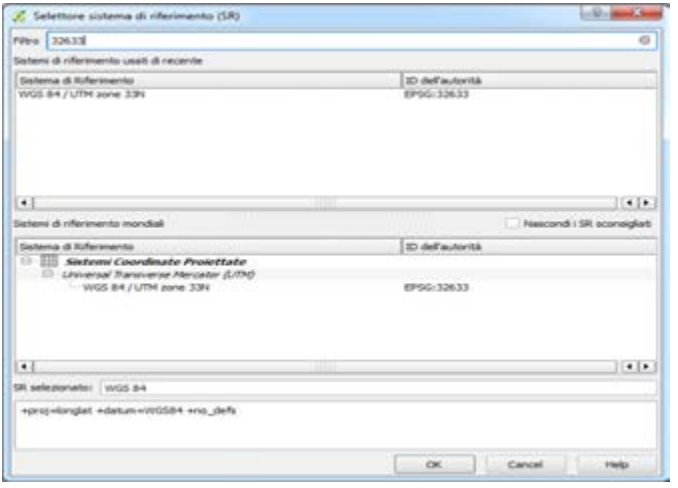


Figura 3.5 - Selettore sistema di riferimento

Il filtro facilita notevolmente la ricerca del corretto sistema di riferimento (può essere applicato utilizzando solo i codici EPSG) ma comunque all'interno del box "Sistemi di riferimento mondiali" sono presenti tutti i sistemi di riferimento suddivisi nelle due macro categorie distintive "Sistemi con coordinate geografiche" e "Sistemi con coordinate proiettate". E' possibile già in questa fase di creazione dello shapefile allestire il database associato utilizzando il box "Nuovo attributo". E' di fondamentale importanza la corretta costruzione del database prima di iniziare a digitalizzare in quanto in questo modo sarà possibile riportare contestualmente l'attributo alfanumerico, oltre a quello spaziale, relativamente l'elemento territoriale digitalizzato. Naturalmente è possibile modificare (aggiungere/eliminare campi) la tabella associata allo shapefile anche successivamente alla creazione dello stesso. Possiamo quindi ora aggiungere il campo "COD_USO" che conterrà l'informazione relativa alla categoria di uso del suolo del territorio oggetto di studio attraverso i codici ivi riportati. Ciascuno di questi codici è naturalmente associato ad un particolare uso del territorio (Blc: Bosco di latifoglie ceduo; Cv: Vigneto specializzato e così via) la cui descrizione sarà inserita all'interno del database attraverso ulteriori tecniche descritte più avanti. Nel box "Nuovo attributo" (fig. 3.6) alla voce "Nome" (indica il nome che verrà assegnato al nuovo campo) scrivere "COD_USO", alla voce "Tipo" (indica la tipologia di contenuto del campo quindi testo, numeri interi, numeri decimali, data) selezionare testo mentre alla voce "Lunghezza" (indica il numero massimo di caratteri che ciascuna riga del campo può contenere - la voce "precisione" indica il numero delle cifre decimali e si attiva ovviamente nel momento in cui si seleziona numeri decimali alla voce tipo) impostare un numero di caratteri tali da evitare che l'informazione trascritta venga troncata (nel caso specifico 10). Per inserire il campo così creato all'interno della tabella del nuovo shapefile cliccare su "Aggiungi alla lista degli attributi" (fig. 3.6). Nel caso si siano commessi degli errori nei parametri di definizione del campo, è sempre possibile rimuoverlo semplicemente selezionandolo dalla lista degli attributi e cliccare su "Rimuovi attributo". Una volta accertato di aver inserito i parametri in modo corretto, bisogna cliccare sul tasto "ok" e indicare il nome e la directory di salvataggio del file. Una volta indicate queste informazioni e cliccato sul successivo "ok" l'operazione di creazione del nuovo shapefile è conclusa. Il software QGIS genera 6 file (.shp, .shx, .dbf, .prj, .cpg, .qpj) e lo carica come unico strato direttamente nella TOC. Prima di procedere con la digitalizzazione degli elementi territoriali riportati sulla mappa raster è opportuno impostare alcuni parametri fondamentali dal menù a tendina "Impostazioni – Opzioni di snap" (fig.3.7). Vediamo ora come è strutturata e quali sono le sue funzioni. La prima cosa da fare è spuntare la casella a sinistra dello strato (o degli strati) al quale andranno applicati i parametri di snapping. La voce "Layer" riporta infatti tutti i layer caricati nella TOC. La voce "Modalità" indica l'elemento geometrico al quale viene applicata l'operazione di snapping (al vertice, al segmento, al vertice e al segmento).

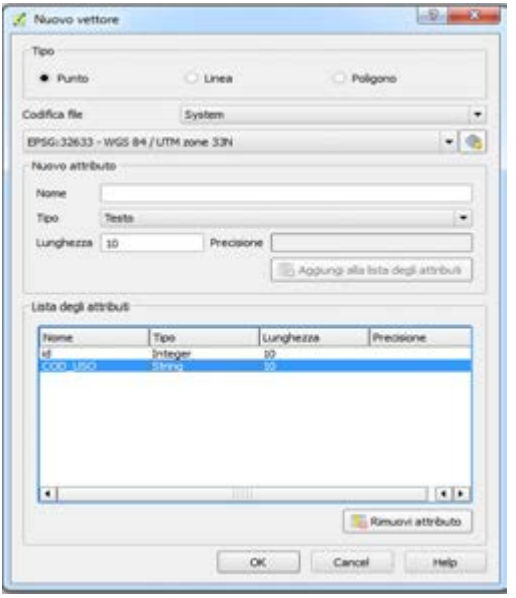


Figura 3.6 - Inserimento parametri per la creazione di un nuovo shapefile

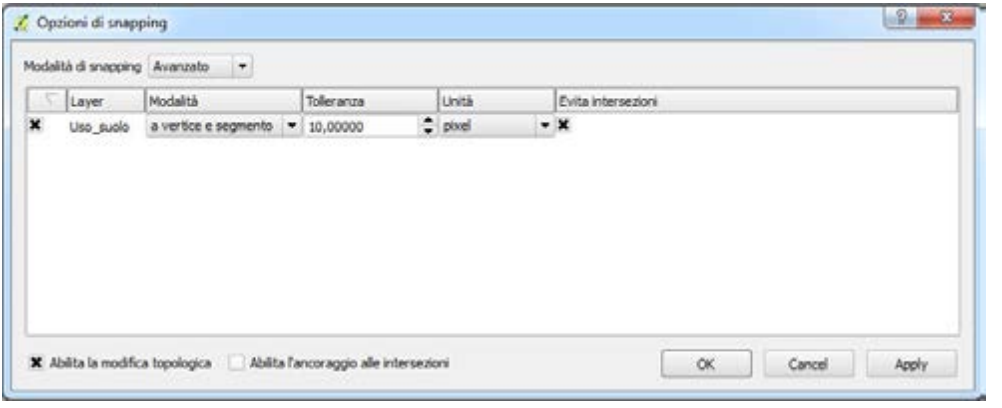


Figura 3.7 - Finestra relativa alle opzioni di snapping

Alla voce tolleranza va indicato il numero di pixel o di unità di mappa (scelta da effettuare alla voce unità) al di sotto del quale praticamente un punto viene agganciato al vertice e/o segmento più prossimo. E' utile selezionare pixel e non unità di mappa in quanto quest'ultima varia in funzione dei diversi livelli di zoom che possono essere fatti all'interno della view. Va detto che la tolleranza di snapping gestita attraverso questa finestra sovrascrive la tolleranza globale impostata nella scheda "Digitalizzazione" ("Impostazioni – Opzioni – Digitalizzazione") (fig. 3.8).

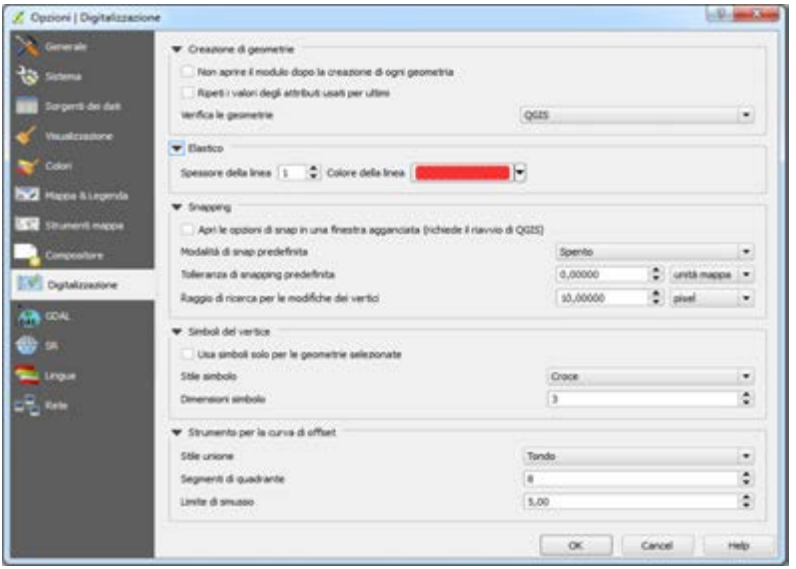


Figura 3.8 - Interfaccia relativa alle opzioni generali di digitalizzazione

La tolleranza di snapping deve essere settata in funzione delle proprie esigenze di lavoro in quanto se impostata su valori troppo alti, il vertice editato potrebbe essere agganciato a quello sbagliato al contrario, se troppo bassa, non verrà agganciato affatto. Infine vanno spuntate le caselle relative alla voce "evita intersezioni" e "abilita la modifica topologica". La voce "evita intersezione" corrisponde a quella che in molti programmi GIS viene indicata con "autocomplete polygon" e serve ad evitare l'intersezione di poligoni digitalizzati con parti tra loro in sovrapposizione, rendendo di fatto molto più agevole questo procedimento. In altri termini, se l'opzione è attiva, a partire da un poligono isolato è possibile digitalizzarne un altro in modo che si sovrapponga a questo ed il programma lo taglierà seguendo il bordo comune. L'opzione "abilita modifica topologica" ha la funzione di mantenere bordi comuni tra poligoni adiacenti in fase di editazione; ciò vuol dire che nel momento in cui vengono modificati i vertici/segmenti di un poligono in comune con altri, automaticamente il programma aggiornerà anche quelli dei poligoni ad essi collegati. Vediamo ora quali sono e come funzionano gli strumenti di editing messi a disposizione dal programma. Questi sono contenuti in due toolbar distinte: "digitalizzazione" e "digitalizzazione avanzata". In dettaglio:

Modifica: Serve ad iniziare e a terminare una sessione di editing (attivabile anche cliccando con il tasto destro sul layer da editare selezionandolo poi contestualmente dal successivo menù);

Salva modifiche vettore: permette di salvare le modifiche effettuate su di un layer senza dover terminare la sessione di editing;

Aggiungi elemento: serve ad aggiungere un elemento di tipo poligonale (attivabile quando l'editing avviene su shapefile il cui feature type è il poligono);

Aggiungi elemento: serve ad aggiungere un elemento di tipo lineare (attivabile quando l'editing avviene su shapefile il cui feature type è la linea);

Aggiungi elemento: serve ad aggiungere un elemento di tipo puntuale (attivabile quando l'editing avviene su shapefile il cui feature type è il punto);

Muovi elemento/elementi: permette di muovere gli elementi vettoriali selezionati nella view;

Strumento vertici: serve per modificare la posizione dei vertici/segmenti di un elemento vettoriale; permette inoltre di aggiungere nuovi vertici attraverso un doppio click sul segmento da modificare;

Elimina selezionato: serve ad eliminare le features selezionate;

Taglia, copia, incolla: permette di copiare/tagliare gli elementi da uno shapefile ad un altro all'interno di uno stesso progetto.

Di seguito gli strumenti di corrente utilizzo facenti parti della toolbar "digitalizzazione avanzata":

Annulla/Ripristina: permette di annullare/ripristinare le modifiche effettuate ad un layer vettoriale;

Ruota elemento/i: serve a far ruotare l'elemento vettoriale (poligono) attorno al proprio baricentro;

Semplifica geometria: riduce il numero dei lati del poligono al quale viene applicato attraverso una tolleranza il cui valore massimo è funzione del numero di vertici e segmenti che costituiscono il poligono stesso;

Aggiungi buco: questo strumento permette di creare un foro all'interno di un poligono già esistente; è utile quando ad esempio si vuole distinguere/caratterizzare una porzione di territorio con caratteristiche appunto diverse da quello all'interno del quale è contenuta necessitando pertanto di due poligoni distinti;

Aggiungi parte: questo strumento funziona solamente quando all'interno della view è selezionato un poligono; abbiamo visto come la relazione tra record della tabella ed elementi nella view sia uno ad uno, questo strumento permette invece di associare allo stesso record (quello appunto selezionato) due o più features esterne ad esso creando di fatto un multipart features; può essere utilizzato quando si devono associare le stesse informazioni alfanumeriche a più poligoni. Per convertire poi un multipart features in singlepart features QGIS dispone di un tool (Vettore – Strumenti di geoprocessing - da parti multiple a parti singole) che crea di fatto un nuovo shapefile con associazione record-elementi geometrici di tipo uno a uno.

Elimina buco: permette di eliminare i fori all'interno di un poligono semplicemente cliccando all'interno del foro;

Elimina parte: elimina le features associate ad un unico record di uno shapefile multiparte attraverso un semplice click su di esse.

Modifica la forma: modifica la forma di un poligono; si effettua un primo click all'interno del poligono da disegnare, dopodiché si procede digitalizzando la forma esterna al poligono (la modifica appunto) per poi chiudere la spezzata (tasto destro del mouse) disegnata all'interno del poligono di partenza;

Spezza elemento: permette di suddividere un poligono in due o più elementi secondo la spezzata disegnata al suo interno. Il primo click va effettuato all'esterno del perimetro del poligono, successivamente andrà digitalizzata la linea lungo la quale suddividerlo per poi terminare l'operazione con un click con il tasto destro del mouse al di fuori di esso. Ogni nuovo poligono così creato avrà un corrispondente record all'interno della tabella;

Unisci gli elementi selezionati: permette di unire in un'unica feature due o più elementi selezionati. L'operazione genera quindi un solo elemento cui andranno associati gli attributi presenti nel/nei record collegato (un attributo per ogni campo). Il comando ci permette di scegliere tra varie opzioni per la formazione del relativo database: è possibile associare all'elemento risultante l'attributo descrittivo di una delle features selezionate, l'insieme degli attributi presenti in quel campo (concatenazione) o anche lasciarlo vuoto (salta attributo).

Unisci gli attributi degli elementi selezionati: esegue la stessa operazione del comando precedente ma in questo caso a livello geometrico le features selezionate restano distinte mentre a livello di database è possibile scegliere quale, tra gli attributi presenti all'interno dei record di ciascun campo, associare a tutte le feature selezionate.

Dopo aver visto quali sono gli strumenti di editing messi a disposizione da QGIS vediamo ora come procedere con l'inserimento dei dati vettoriali e l'implementazione del relativo database dello shapefile creato in precedenza (fig. 3.9).

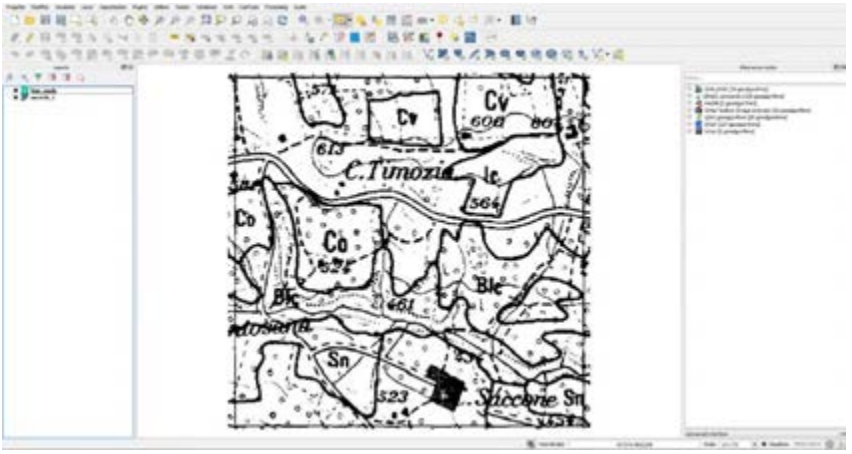


Figura 3.9 - Caricamento dati sulla view di QGIS

La prima cosa da fare è evidenziare il layer "uso_suolo" e cliccare sul tasto per iniziare ad editarlo. Settiamo quindi una opportuna scala di visualizzazione dei dati da utilizzare per la digitalizzazione scrivendola nell'apposito box in basso a destra e cliccare sul tasto invio per renderla effettiva; nel caso specifico è stata impostata ad 1:5.000. Naturalmente una operazione di questo genere comporta una

approssimazione nel rilevamento poi delle varie unità territoriali di uso del suolo, approssimazione che viene evidenziata anche quando una serie di pixel (la cui dimensione dipende dalla risoluzione geometrica del raster ed, in questo caso, dalla risoluzione utilizzata per acquisire l'immagine) che rappresentano il limite di ciascuna unità vengono approssimati ad una linea. Per iniziare ad inserire gli elementi poligonali cliccare sul tasto e iniziare a digitalizzare le unità distinte di uso del suolo rappresentate nel raster cliccando con il tasto sinistro del mouse lungo i bordi di ciascuna chiudendo il poligono con il tasto destro del mouse (fig.3.10).

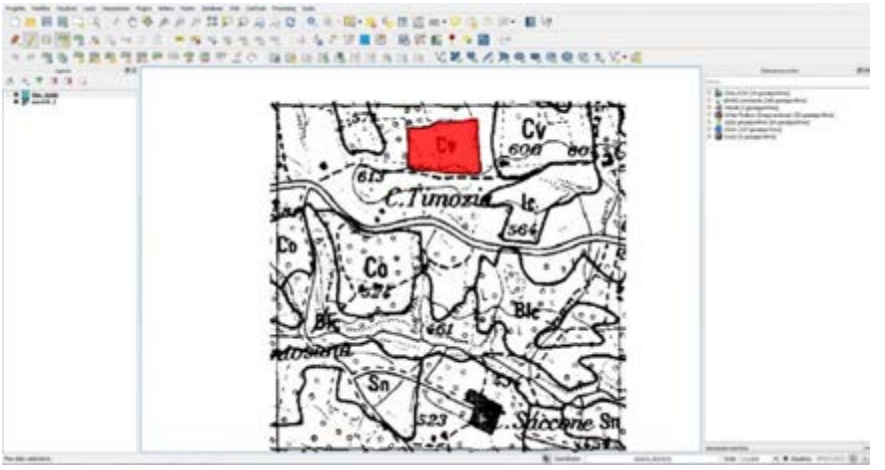


Figura 3.10 - Inserimento di un elemento vettoriale nel campo di lavoro

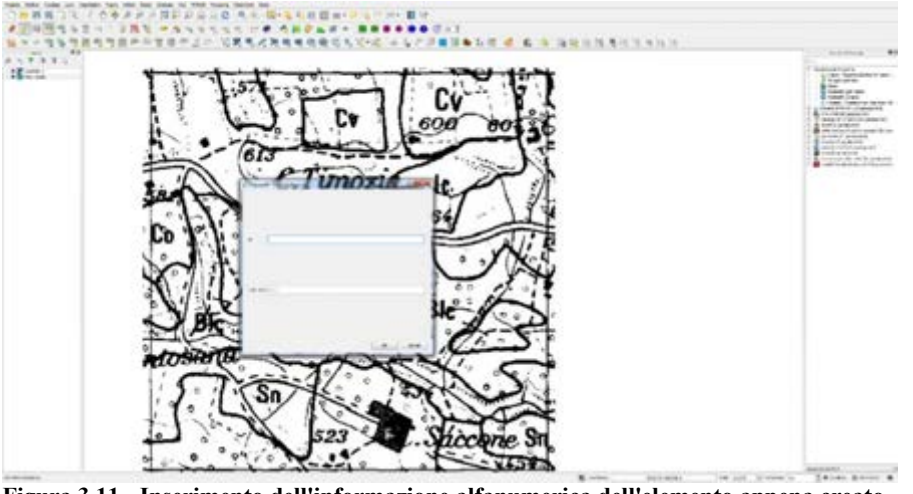


Figura 3.11 - Inserimento dell'informazione alfanumerica dell'elemento appena creato

Nel momento in cui il poligono viene terminato, automaticamente il programma aprirà una finestra contenente i campi del database precedentemente inseriti con il record associato all'elemento appena creato (fig. 3.11); ciò permette già in questa fase l'inserimento della relativa informazione alfanumerica. Appunto per questo è fondamentale allestire in maniera opportuna il database prima di iniziare con la digitalizzazione, escludendo da questo i campi la cui informazione può essere inserita in maniera automatica (e per più record contemporaneamente) come ad esempio l'area ed il perimetro che vengono calcolate dal software attraverso appositi script ed in tempi abbastanza rapidi anche per migliaia di elementi. Procediamo quindi con la digitalizzazione degli altri elementi, compilando contemporaneamente il database, fino a coprire l'intera estensione territoriale della mappa raster. La spunta attiva sul comando "Evita intersezioni" relativa al layer in fase di editazione permette di evitare il disegno di geometrie poligonali sovrapposte (fig.3.12).

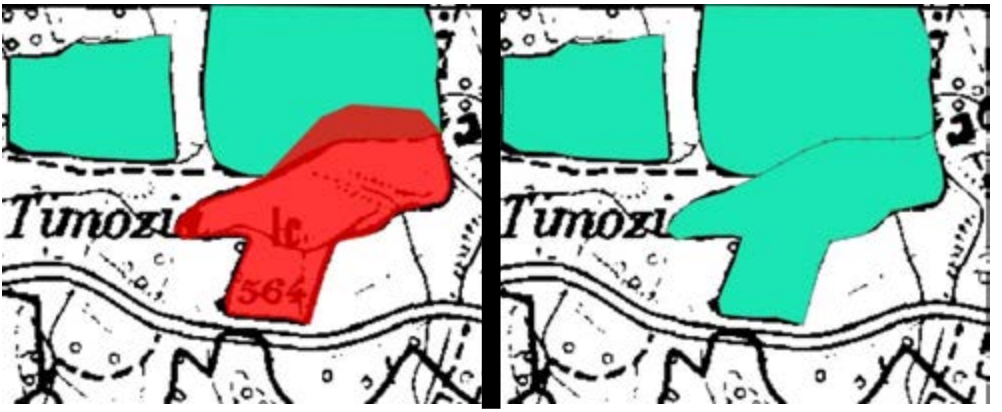


Figura 3.12 - Applicazione del comando evita intersezioni

E' utile salvare progressivamente il lavoro svolto cliccando sul tasto "Salva modifiche vettore" . Una volta terminata l'operazione il risultato è quello mostrato in figura 3.13. L'informazione semantica associata alla componente alfanumerica del dato geografico riveste un ruolo chiave in quanto serve ad attribuire significato ai dati attraverso la loro classificazione, interpretazione, descrizione o codifica. Come abbiamo visto nell'esempio illustrato, l'inserimento nel database risulta essere una operazione abbastanza onerosa in termini di tempo con la possibilità di commettere errori nella trascrizione delle diverse stringhe di caratteri utilizzate per la descrizione. Infatti anche un solo carattere diverso nella trascrizione di una stringa di caratteri associata ad una determinata descrizione comporta in fase di classificazione la creazione di due o più classi distinte pur essendo associate allo stesso tipo di informazione.

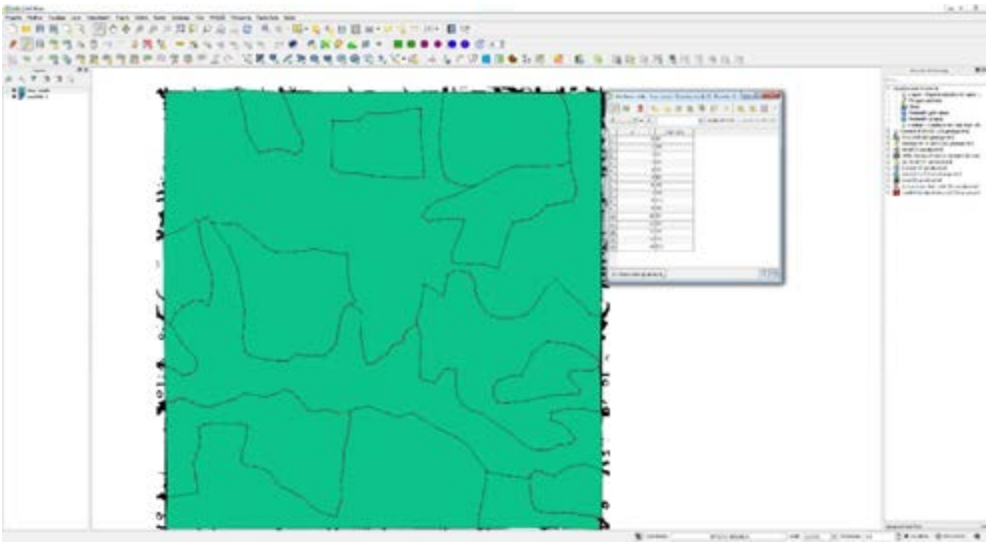


Figura 3.13 - Risultato dell'operazione di digitalizzazione.

Questo tipo di errore può essere evitato utilizzando il widget "Valori mappa" disponibile in QGIS o, come descritto nel paragrafo successivo, con una operazione di join. L'uso del widget permette infatti di creare un dominio di validità di un campo e di inserire quindi una sola volta i valori ammissibili per quel dato campo utilizzandoli poi per l'assegnazione del relativo valore agli elementi dello strato informativo. E' necessario quindi creare un nuovo campo di tipo testo (lunghezza tale da poter contenere le intere descrizioni sinottiche) e successivamente, dalle proprietà del layer, nella sezione campi modificare il "Widget per la modifica" da "Modifica testo" a "Mappa valori". Nel momento in cui viene selezionata la voce "Mappa valori" bisogna implementare il dominio di validità. Questa operazione può essere effettuata in tre modi diversi:

- Carica dati dal vettore (a): permette di utilizzare gli attributi provenienti da una tabella di uno shapefile diverso;
- Carica dati da un file di tipo CSV (b): permette di utilizzare gli attributi provenienti da una tabella in formato .csv;
- Creazione diretta (c) del dominio di validità direttamente dalla finestra di configurazione del "Widget della modifica" (fig. 3.14).

La finestra di configurazione mostra inoltre come deve essere organizzata la tabella del dominio di validità, indipendentemente dalla modalità scelta. La tabella è costituita da due campi (Valore e Descrizione): nel campo "Valore" va indicato un codice che verrà associato automaticamente alla descrizione relativa trascritta

nell’altro campo. Ciò vuol dire che, anche in caso di utilizzo delle modalità (a) e (b) la tabella deve essere strutturata alla stessa maniera indipendentemente dal nome assegnato ai campi (in sostanza codice e descrizione del codice) (fig. 3.15).

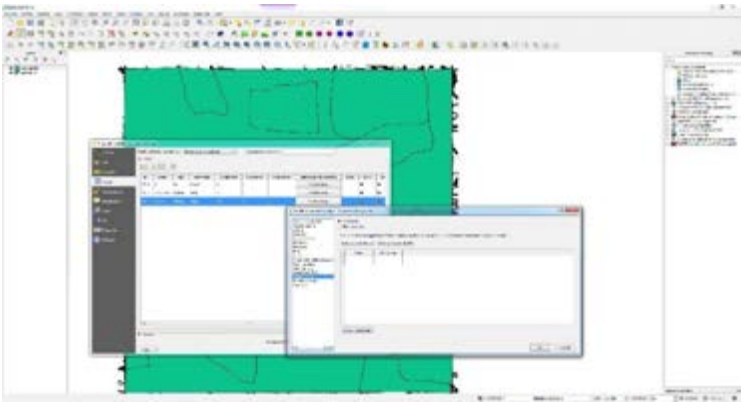


Figura 3.14 - Finestra di configurazione del widget per la modifica sezione "Mappa valori".

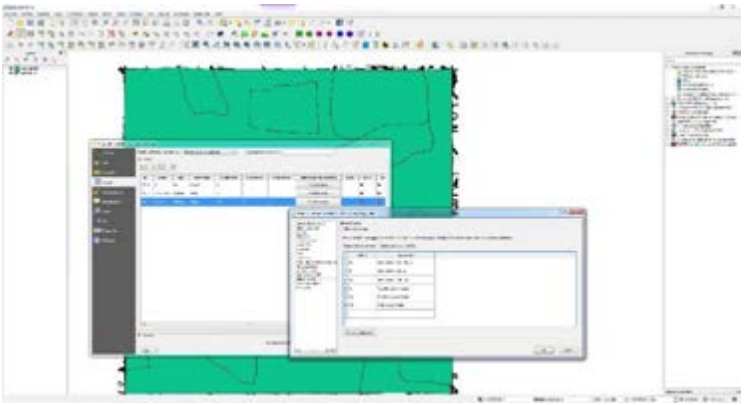


Figura 3.15- Inserimento del dominio di validità.

A questo punto, sia creando un nuovo elemento sia accedendo al form di modifica attraverso il tasto “informazioni elementi”, al campo con il dominio associato viene collegato un menù a tendina che permette l’inserimento del relativo attributo semplicemente selezionandolo da quelli disponibili (fig. 3.16). Salvando il progetto tutta l’informazione alfanumerica inserita in tale modo è prontamente disponibile ed utilizzabile, mentre esportando il layer o comunque caricando lo stesso in altri progetti, nel campo con il dominio di validità associato comparirà l’informazione trascritta nel campo “Valore” all’interno del widget “Mappa valori” per cui è necessaria una successiva operazione di join.

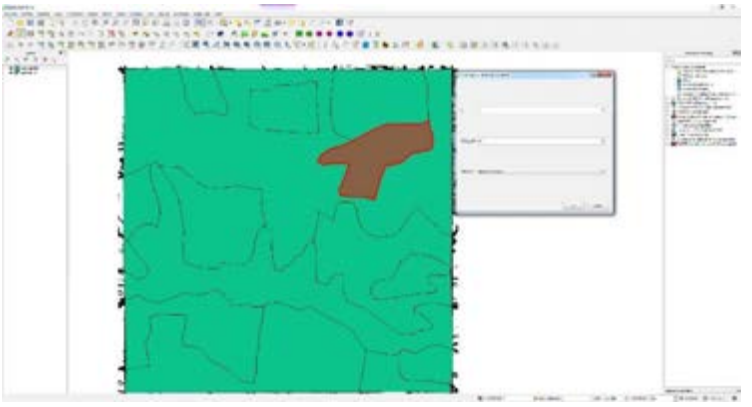


Figura 3.16 - Inserimento degli attributi attraverso il widget "Mappa valori".

Detto ciò, conviene quindi costruire sempre il dominio di validità su una tabella esterna in formato .csv in modo da poterla utilizzare sia per questa operazione sia per il join ed in progetti diversi che prevedono l'utilizzo di uno stesso strato informativo. Nel caso in cui sia stata trascritta o inserita una informazione non corretta nel database, questa può essere modificata anche in un secondo momento. Per farlo bisogna innanzitutto aprire la tabella e selezionare il record da modificare direttamente dalla tabella (cliccando sul numero corrispondente progressivo a lato – l'intero record verrà evidenziato rispetto al resto della tabella) o anche sulla relativa feature dalla view utilizzando il tasto "Seleziona geometria per rettangolo o per tasto singolo" presente nella toolbar "Attributi". Per una selezione multipla in entrambi i casi utilizzare congiuntamente il tasto CTRL della tastiera (nella tabella la selezione multipla "da" "a" si attiva utilizzando tenendo premuto il tasto SHIFT prima di cliccare sull'ultimo record da selezionare). Una volta selezionato il record cliccare poi sulla voce da modificare ed inserire quella corretta che diventerà effettiva una volta cliccato con il cursore del mouse in un qualsiasi altro punto della tabella o semplicemente premendo il tasto "invio" della tastiera. Relativamente la selezione delle geometrie, QGIS mette a disposizione alcuni strumenti di selezione interattiva molto utili allo scopo:

seleziona gli elementi con un poligono: permette di selezionare gli elementi i cui limiti si trovano interamente o anche solo in parte all'interno di un poligono disegnato attraverso questo strumento;

seleziona elementi a mano libera: effettua una selezione degli elementi di un layer i cui limiti ricadono interamente o in parte all'interno di una figura disegnata

tramite l'utilizzo di questo strumento. In pratica lo si seleziona, si fa un click con il tasto sinistro del mouse in una parte del layer oggetto della selezione e, tenendolo premuto, ci si muove con il mouse lungo gli elementi da selezionare rilasciando il tasto una volta che la selezione è stata completata.

seleziona elementi con un cerchio: permette di selezionare gli elementi che si trovano totalmente o in parte all'interno di un cerchio. Con lo strumento selezionato si effettua un click con il tasto sinistro all'interno dello spazio occupato dagli elementi da selezionare (questo punto corrisponderà al centro del cerchio) e, tenendolo premuto, vedremo comparire un cerchio il cui raggio aumenta a mano a mano che ci si allontana dal punto iniziale.

Per eliminare invece uno o più elementi dallo shapefile, basta semplicemente selezionarli attraverso una delle modalità precedentemente esposte, e premere poi il tasto CANC/DEL della tastiera. Al contrario per deselezionare gli elementi si può utilizzare il tasto ("deseleziona tutto") presente sia nella toolbar "Attributi" sia nella serie di strumenti inseriti nella tabella. Vediamo ora come fare ad inserire nuovi campi all'interno del database dello shapefile e calcolare in maniera automatica l'area ed il perimetro dei poligoni in esso contenuti. Sempre in modalità di editing, aprire la tabella degli attributi dello shapefile "Uso_suolo" utilizzando l'apposito tasto oppure cliccando con il tasto destro su di esso e selezionare la voce "Apri tabella degli attributi".

Gli strumenti per lavorare direttamente sulla tabella sono i seguenti:

Elimina gli elementi selezionati: permette di eliminare i record (e le relative features) selezionati nella tabella;

Muovi la selezione in alto: sposta tutti i record selezionati in parti diverse della tabella sulla sua sommità.

Inverti la selezione: a partire da una selezione preesistente, il comando seleziona tutti quelli non interessati dalla precedente selezione, deselezionando gli altri;

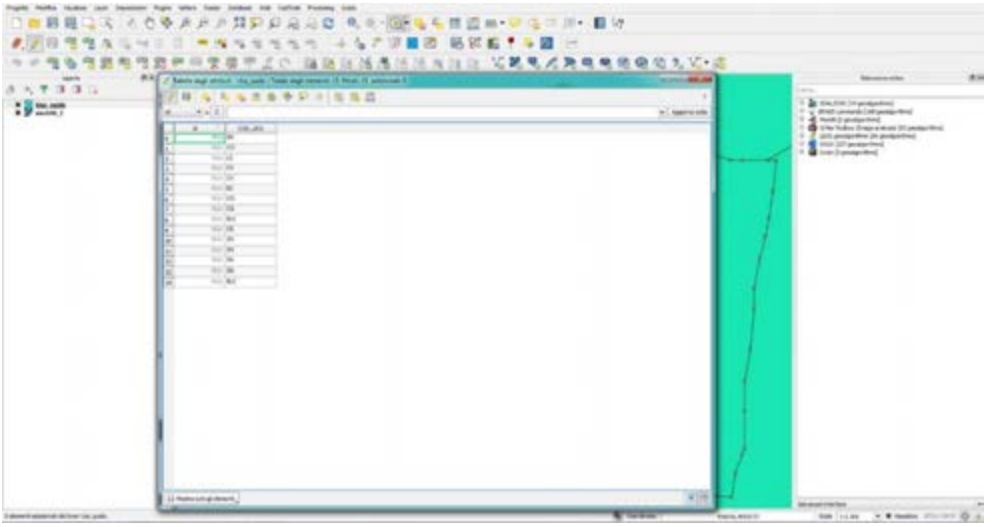


Figura 3.17 - Tabella degli attributi relativa allo shapefile "Uso_suolo"

Sposta mappa alle righe selezionate: sposta la mappa sull’area individuata dai record selezionati;

Zoom mappa alle righe selezionate: effettua uno zoom sull’area che comprende i record selezionati in tabella;

Elimina colonna: serve ad eliminare un campo all’interno del database; una volta attivato il comando nell’interfaccia successiva verranno mostrate tutte le intestazioni dei campi presenti in tabella per cui andranno selezionati quelli da eliminare e cliccare poi su ok.

Nuova colonna: serve ad aggiungere un nuovo campo nella struttura della tabella; nell’interfaccia successiva andranno indicati il nome del campo, il tipo di informazione che dovrà contenere (numeri interi, numeri decimali, testo o una data) ed il numero di caratteri massimo che ciascun record può contenere.

Apri il calcolatore di campi: permette di eseguire una serie di operazioni all’interno di un campo;

L'aggiunta di un nuovo campo è sempre possibile in modalità di editing per cui, una volta attivato, aprire la tabella degli attributi e cliccare sul tasto . Il campo che stiamo inserendo è quello che conterrà la superficie di ciascun poligono quindi alla voce "Nome" inseriremo la stringa "Area", mentre dal menù a tendina della voce "Tipo" sceglieremo "Numero decimale" settando a 15 il numero di cifre totali contenute (Lunghezza) di cui 3 decimali (Precisione) (fig. 3.18).

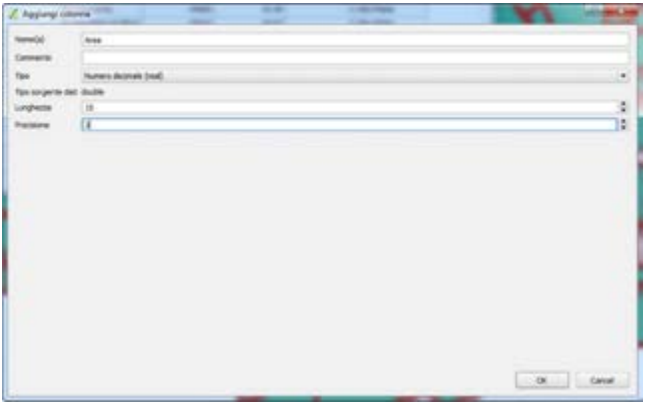


Figura 3.18 - Inserimento di un nuovo campo in tabella.

Vediamo in dettaglio le opzioni messe a disposizione dal calcolatore di campi. La figura 3.19 mostra la schermata del calcolatore di campi che possiamo sostanzialmente dividere in 3 parti distinte: nella parte riportata con il numero 1 bisogna scegliere se la funzione/algoritmo da applicare verrà inserito in un nuovo campo oppure andrà ad aggiornare un campo esistente (spunta sulla voce "Aggiorna campo esistente"). Nella parte riportata con il numero 2 sulla parte sinistra ci sono tutta una serie di funzioni ed operatori matematici/logici raggruppati per categoria (la prima riga permette di ricercare le funzioni al suo interno attraverso l'inserimento del nome della funzione o parte di esso) mentre nella parte destra viene specificata la funzione che ognuno di essi assolve (basta cliccare sulla funzione relativa a sinistra e automaticamente a destra verrà esplicitato il tipo di funzione che essa svolge). La categoria "Campi e Valori" presente nella lista funzioni contiene l'elenco completo di tutti i campi presenti all'interno della tabella e permette di compiere operazioni utilizzando le informazioni già presenti all'interno di essi.

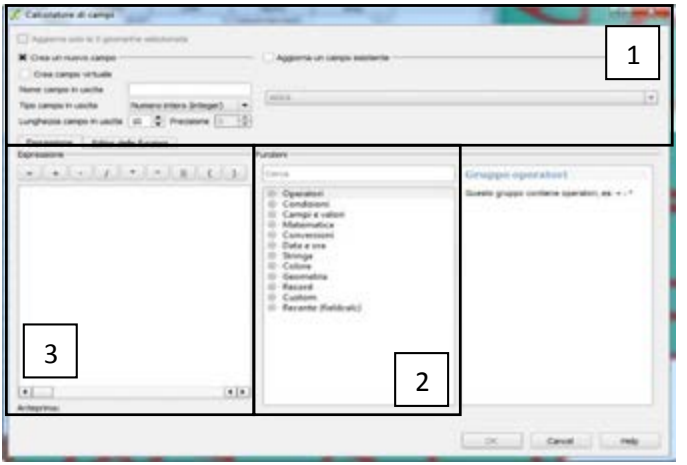


Figura 3.19 - Schermata relativa al calcolatore di campi.

Qualsiasi tipo di operazione/funzione viene applicata a ciascun record all'interno del campo. Questo vuol dire che se l'algoritmo da applicare è basato sull'informazione contenuta all'interno di uno o più campi già esistenti verrà elaborato sulla base dell'informazione contenuta nei record corrispondenti. Inoltre è un processo non dinamico nel senso che, nel momento in cui vengono variati uno o più valori all'interno di un campo utilizzato nell'ambito di un algoritmo, il software non aggiorna automaticamente l'informazione nel/nei campo/i ad esso collegati per cui, una volta effettuate delle modifiche, gli algoritmi andranno elaborati nuovamente. E' possibile anche applicare la funzione solo ad alcuni record, basta che questi siano stati selezionati in precedenza (spunta attiva su "Aggiorna solo le geometrie selezionate"; se spenta in presenza di una selezione, la funzione è applicata a tutti i record della tabella). La parte indicata con il numero 3 trascrive l'espressione che viene via via composta utilizzando la lista delle funzioni (per la trascrizione basta fare un doppio click per il tipo di funzione un solo click per gli operatori). Nella parte finale è riportato anche il risultato in anteprima dell'algoritmo applicato. Per procedere con l'algoritmo basta cliccare sul tasto ok.

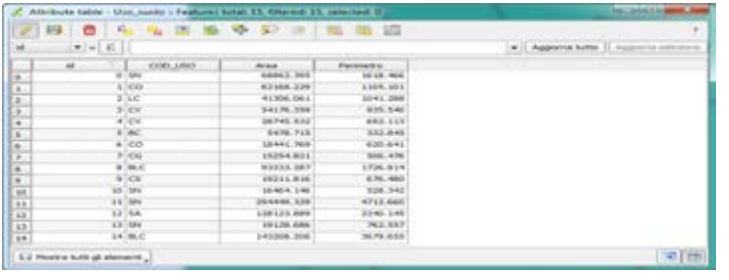


Figura 3.20 - Tabella recante l'informazione circa l'area ed il perimetro delle features create.

L'area è calcolata dal software attraverso la funzione *$area* presente all'interno del menù delle funzioni geometria. In questo caso potremo utilizzare l'opzione "aggiorna campo esistente" in quanto il campo Area era già stato creato in precedenza. Per il calcolo del perimetro dei poligoni si procede allo stesso modo ma la funzione da utilizzare è *$perimeter*. Il risultato di queste operazioni è mostrato nella figura 3.20. E' possibile inoltre copiare/tagliare elementi geometrici di un layer ed importarli in un altro attraverso l'uso degli strumenti "Taglia", "Copia" ed "Incolla". Naturalmente questa operazione può essere effettuata all'interno di uno stesso progetto di QGIS. Per meglio comprendere il procedimento immaginiamo di dover creare uno strato informativo contenente la sola informazione geografica di alcuni comuni i cui confini ricadono all'interno di un'area protetta specifica partendo da un layer contenente i limiti amministrativi comunali della regione di appartenenza ed uno relativo al perimetro delle aree protette regionali. Più avanti nel capitolo vedremo meglio le tecniche di selezione degli elementi ma in questa fase ci interessa capire come utilizzare i comandi elencati in precedenza. Nell'immagine 3.21 vengono mostrati i layer.

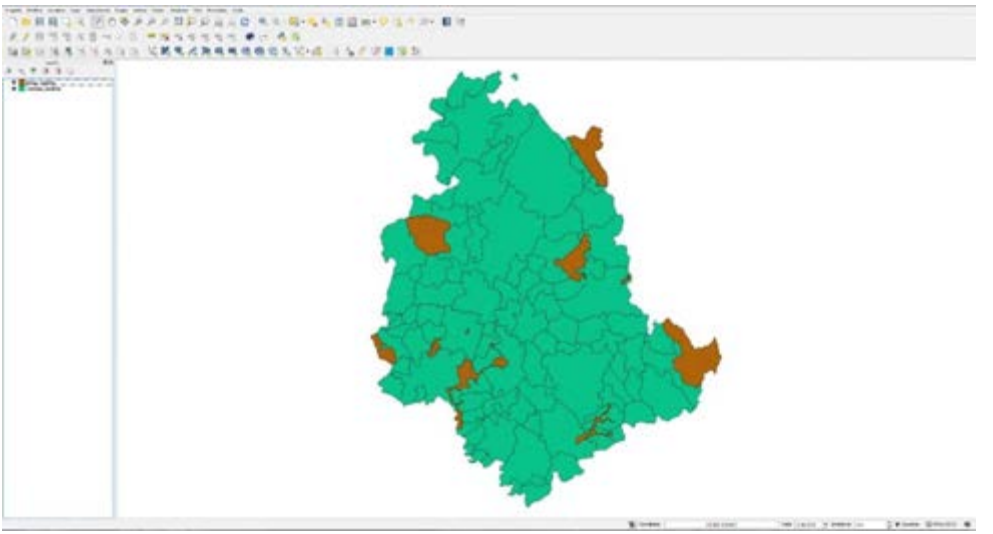


Figura 3.21 - Layer relativi ai confini comunali e delle aree protette umbre

Attraverso le tecniche viste in precedenza, creeremo un nuovo shapefile (comuni_parco_trasimeno.shp) che avrà lo stesso sistema di riferimento dei layer già presenti (EPSG:32633) e di tipo poligonale in quanto gli elementi che inseriremo al suo interno saranno i comuni umbri i cui confini sono ricompresi in quelli del Parco regionale del Lago Trasimeno. La prima operazione da effettuare è quella di attivare

la modalità "modifica" sul layer "Comuni umbria" (layer sorgente dal quale verranno copiate le features dei comuni di interesse) e contestualmente su "comuni_parco_trasimeno" (layer contenitore sul quale verranno incollate le features selezionate).

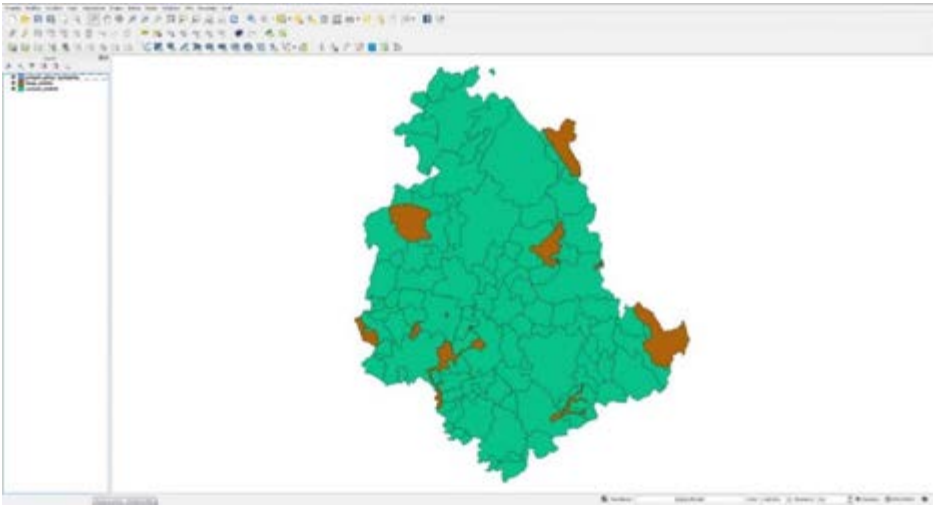


Figura 3.22 - Inserimento del layer "comuni_parco_trasimeno"nell'area di lavoro.

Utilizzando uno dei tasti di selezione descritti in precedenza, selezionare i comuni che rientrano nei confini dell'area Parco (se si utilizza il tasto "Seleziona geometria

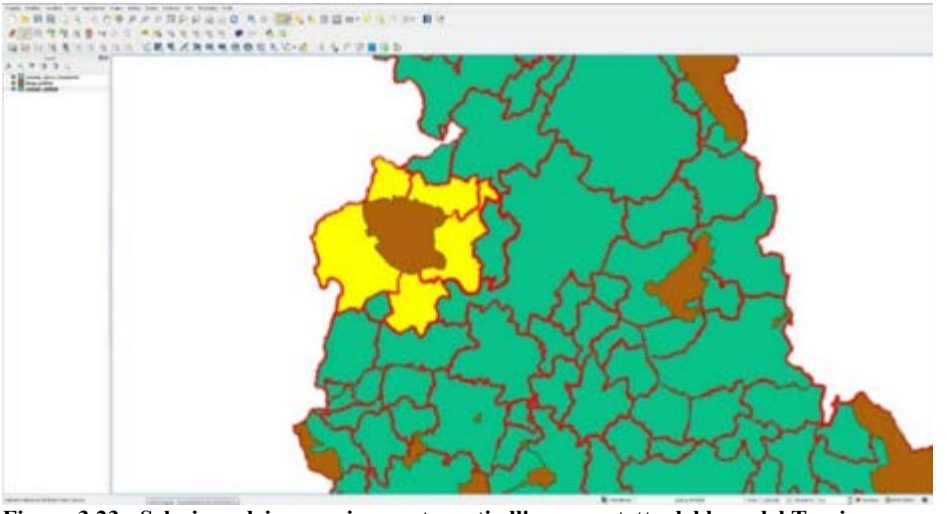


Figura 3.23 - Selezione dei comuni appartenenti all'area protetta del lago del Trasimeno.

per rettangolo o per tasto singolo" per una selezione multipla tenere premuto il tasto CTRL mentre si effettua il click sui vari elementi).

Nella TOC attivare il layer sorgente (semplicemente cliccandoci con il tasto sinistro del mouse) e cliccare poi sul tasto "Copia" . Successivamente attivare il layer contenitore ("Comuni_parco_trasimeno") e cliccare sul tasto "Incolla" . In questa maniera i 5 elementi evidenziati vengono incollati nel nuovo shapefile che quindi conterrà la sola informazione relativa a questi comuni. Per rendere definitiva la modifica, chiudere l'editing e salvare.

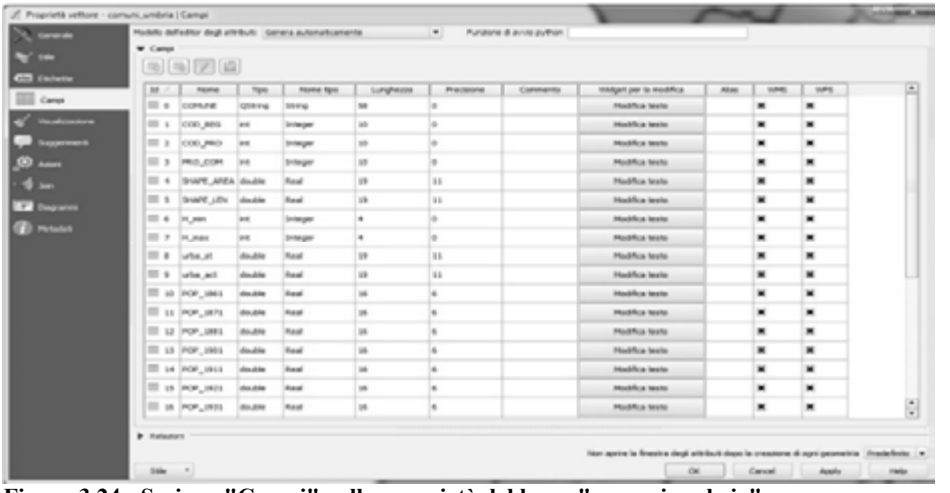


Figura 3.24 - Sezione "Campi" nelle proprietà del layer "comuni umbria".

Qualora i campi dei database associati ai due shapefile (sorgente e contenitore) sono differenti (nomi e tipologie diverse), il software si limita a copiare ed incollare solo l'informazione geografica, mentre quella alfanumerica viene trasposta solo nei campi comuni ad entrambi i layer. Questo vuol dire che, qualora si ha bisogno di informazioni alfanumeriche presenti nel layer sorgente che si vuole vengano riportate nel layer contenitore, prima di procedere con l'operazione di copia/incolla bisognerà creare nel layer contenitore i campi che dovranno contenere questa informazione utilizzando lo stesso nome e gli stessi parametri utilizzati nei campi del layer sorgente. Queste possono essere visualizzate nelle proprietà del layer nella sezione "Campi".

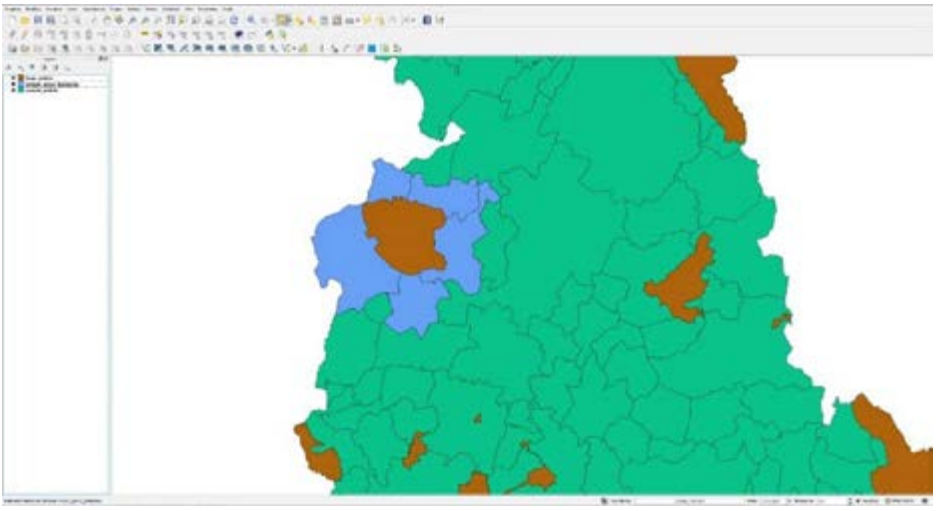


Figura 3.25 - Risultato dell'operazione di copia/incolla tra i due layer.

3.2.1. Collegare foto e testi alle features

E' possibile associare agli elementi geometrici di uno shapefile delle foto, dei testi o anche dei collegamenti a pagine web esterne attraverso l'uso delle azioni che vengono appunto collegate all'informazione presente nei campi dello stesso shapefile. Per meglio comprendere il funzionamento di questi comandi, di seguito verrà illustrato con un esempio come collegare una foto ed un testo in formato pdf ad una feature. Per prima cosa creeremo i campi dove inseriremo poi i collegamenti alla foto ed al testo. In modalità modifica aggiungiamo quindi due campi di tipo testo che chiameremo "FOTO" e "PDF". Questa volta la modifica verrà fatta direttamente dalle proprietà del layer nella sezione "Campi".

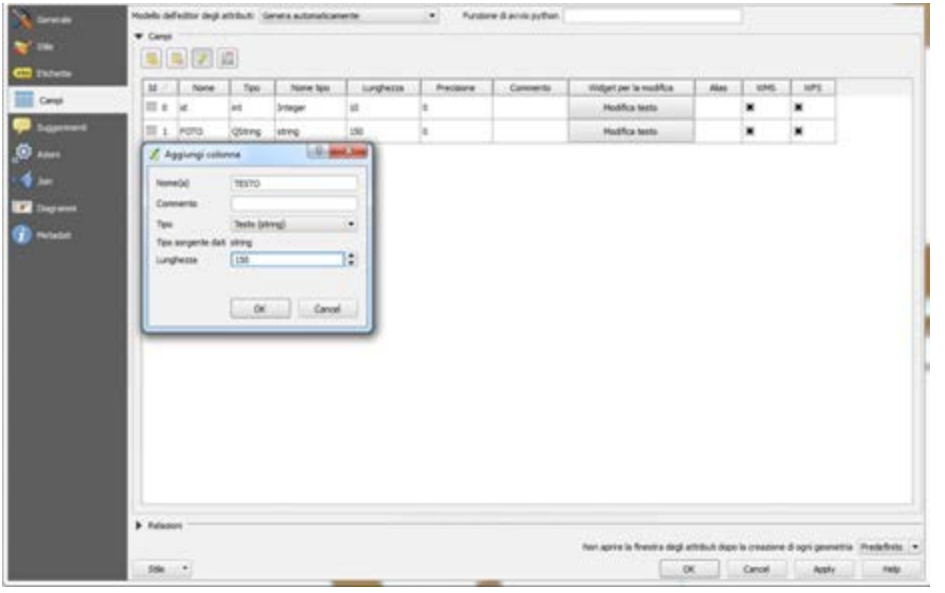


Figura 3.26 - Inserimento dei nuovi campi dalle proprietà del layer

Il passo successivo è quello di associare ai campi il tipo di modifiche possibili al loro interno, in particolare entrambi i campi non dovranno essere quindi un testo modificabile bensì di tipo "nome file" opzione che permetterà poi di specificare il percorso del file da aprire. Clicchiamo quindi su "Widget per la modifica" sul rigo relativo e cambiare la voce "Modifica testo" con "Nome file" (fig. 3.27).

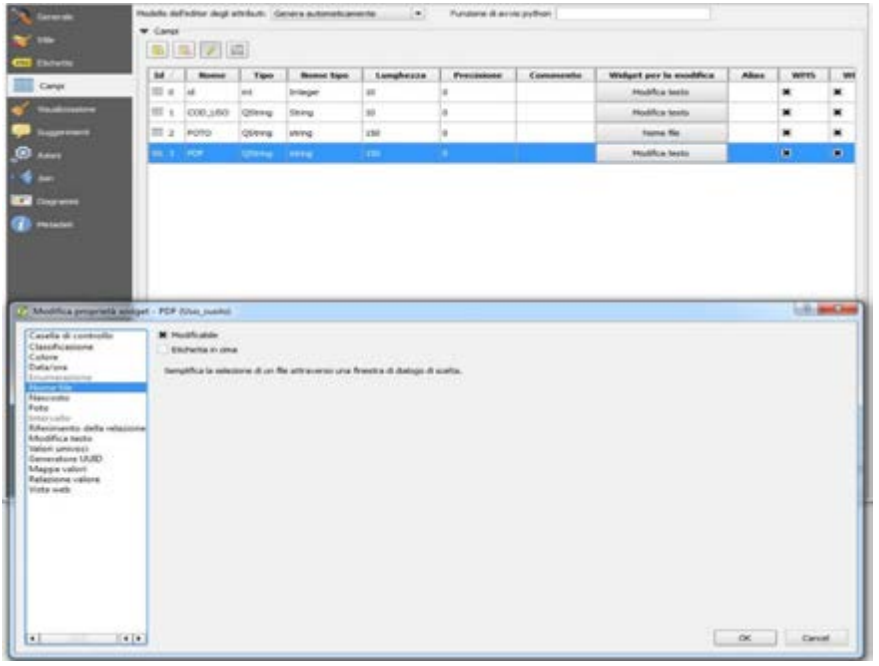


Figura 3.27 - Cambio del tipo di modifiche possibili all'interno del campo.

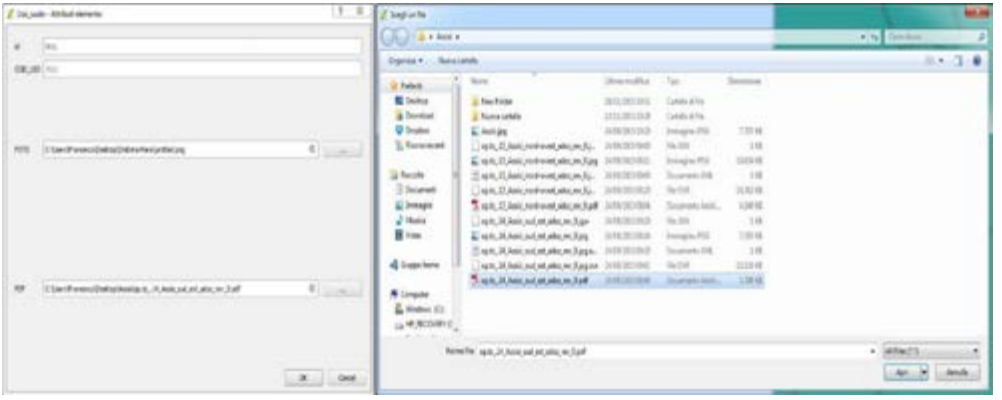


Figura 3.28 - Inserimento dei percorsi dei file negli attributi dell'elemento

Ora bisognerà creare la feature (in questo caso un punto, ma funziona anche con le altre geometrie) alla quale poi verrà associata la foto (nel campo "FOTO") e una relazione in pdf (nel campo "PDF"). Nel momento in cui viene creato l'elemento il programma aprirà automaticamente la finestra per l'inserimento degli attributi e qui andranno specificati i percorsi dei file (foto e testo) da associare allo stesso (fig.

3.28). Arrivati a questo punto andranno create le azioni per aprire poi i file. Nella sezione "Azioni" delle proprietà del layer, nella parte relativa alle proprietà di queste, andranno inseriti opportunamente i parametri relativi: nel menù a tendina della voce "Tipo" scegliere "Apri" (di default è settato "Generico"); la voce nome serve a denominare l'azione (in questo caso inseriremo "Apri foto" – questa stringa la ritroveremo poi nel comando "avvia azione sull'elemento"). Nel box "Azione" andrà indicata la stringa per l'apertura del relativo file in questo caso inseriremo il nome del campo ("FOTO") selezionandolo tra quelli presenti nel database associato presenti all'interno del menù a tendina relativo. Per renderla effettiva cliccare quindi prima su "inserisci campo" e poi su "Aggiungi alla lista di azioni" (fig. 3.29). La stessa operazione andrà fatta anche per il campo "PDF" con le opportune associazioni (la denominazione per questa seconda azione sarà "apri pdf" ed il campo da associare sarà "PDF").

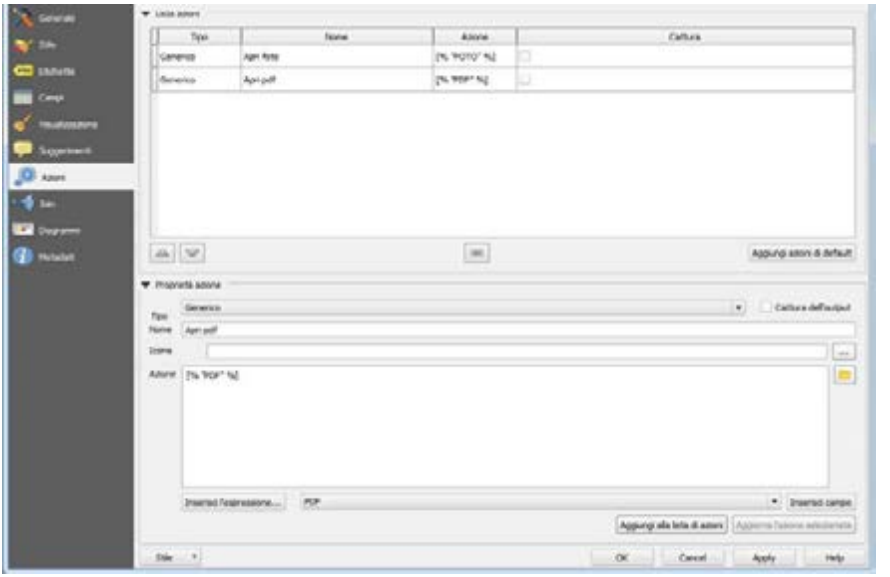


Figura 3.29 - Finestra di inserimento delle azioni.

Per attivare le azioni appena impostate QGIS è possibile seguire strade diverse: il comando "Avvia azioni sull'elemento" permette di selezionare tra le azioni create (apri foto e apri pdf in questo caso) e di applicare (cliccando sull'elemento) l'azione creata. E' anche possibile utilizzare il comando "Informazione elementi" per aprire una nuova interfaccia che contiene tutte le informazioni associate a

quel determinato elemento presenti nel suo database comprese le azioni che possono quindi essere visualizzate/modificate contestualmente anche da questa schermata.

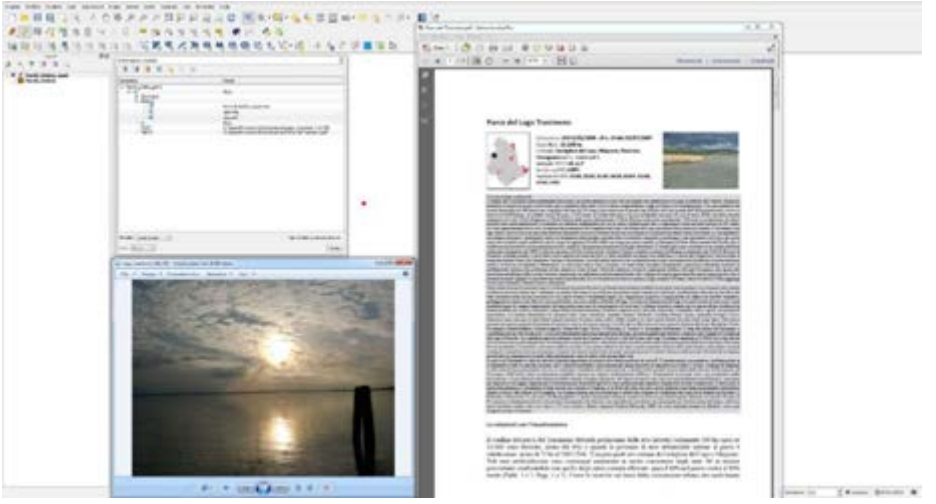


Figura 3.30 - Visualizzazione degli elementi associati (foto e pdf) alle azioni create.

Le azioni non vengono associate direttamente allo shapefile ma è un tipo di comando che viene memorizzato a livello di progetto di QGIS per cui se il layer al quale queste sono state applicate viene rimosso e caricato nuovamente nello stesso progetto o in un altro vengono perse, al contrario vengono prontamente mantenute quando invece il progetto è stato salvato. Detto ciò conviene salvare il progetto ed i file ad esso collegati (shapefile, raster, immagini, pdf…) all'interno di un'unica cartella principale (naturalmente possono essere presenti altre cartelle al suo interno) e nella modalità "relativa" in modo poi da poterlo gestire anche con computer diversi.

3.3. Lavorare con le tabelle: join e relate

Attraverso i procedimenti mostrati in precedenza è quindi possibile elaborare la struttura ed implementare il contenuto di una tabella di uno shapefile. L'informazione alfanumerica, che costituisce una parte fondamentale dell'informazione geografica, può quindi essere gestita attraverso l'utilizzo dei comandi e delle modalità precedentemente illustrate. E' comunque possibile effettuare operazioni di unione tra tabelle appartenenti a shapefile diversi o con tabelle di provenienza diversa anche prive di un attributo spaziale. Una operazione di questa natura va sotto il nome di "Join" e serve appunto ad unire due tabelle sulla base di una chiave primaria che identifica in maniera univoca tutti i record della tabella. La chiave primaria permette quindi di stabilire relazioni tra le tabelle ed è rappresentata da un campo il cui contenuto non presenta ripetizioni e, ovviamente,

deve essere presente in entrambe le tabelle da unire. Esempi di chiavi primarie sono il codice fiscale di una persona, il codice ISBN di un libro, il codice identificativo ISTAT di un comune o anche il nome di un comune se in ambito regionale. Questo tipo di operazione è possibile grazie appunto alla struttura relazionale del database GIS che ci permette di unire tabelle ma anche, attraverso il linguaggio SQL (Structured Query Language), di interrogare il database ed estrapolare solo alcune informazioni di interesse. L'operazione di join può essere effettuata attraverso due tipi di relazione: uno a uno e molti a uno. Le immagini che seguono illustrano molto bene i due concetti: nella relazione di tipo "uno a uno" a ciascun record della tabella viene associato uno ed un solo record dell'altra.

Nome Comune	Regione	Provincia	CodISTAT
Peglio	11	Pesaro-Urbino	41041
Brione	3	Brescia	17030
L'Aquila	13	L'Aquila	66049
Peglio	3	Como	13178
Pietrabbondante	14	Isernia	94035
Lavarone	4	Trento	22102
Brione	4	Trento	22028
Musei	20	Carbonia-Iglesias	107011
Ciampino	12	Roma	58118

Tabella A

Nome Comune	CodISTAT	Pop_1951	Pop_2011
Peglio	41041	1472	735
Brione	17030	629	685
L Aquila	66049	54633	66964
Peglio	13178	305	185
Pietrabbondante	94035	2599	826
Lavarone	22102	1468	1087
Brione	22028	237	140
Musei	107011	1188	1522
Ciampino	58118	5510	37235

Tabella A'

Osservando attentamente le due tabelle A ed A' appare subito chiaro che non è possibile utilizzare come chiave primaria il campo "nome comune" in quanto ci sono due entità comunali, Peglio e Brione, che hanno lo stesso nome ma appartengono a due province diverse (sono sedici – a due a due - i casi di omonimia nei comuni italiani – Dati ISTAT 2011) per cui il risultato dell'operazione di join effettuato sulla

base di questo campo sarà di sicuro sbagliato, in quanto l'associazione non potrà avvenire in maniera univoca. Inoltre non sarà possibile l'associazione per il comune de L'Aquila (in tabella A è scritto come L'Aquila mentre in tabella A' è scritto L Aquila), per cui anche piccoli errori di trascrizione come un accento o un apostrofo possono portare a mancate associazioni. E' possibile invece utilizzare come chiave primaria il campo "codISTAT" al cui interno si trova il codice che l'Istituto Nazionale di Statistica utilizza per identificare in maniera univoca le unità amministrative (regionali, provinciali, comunali) sul territorio italiano. Il risultato è mostrato nella tabella seguente.

Nome Comune	Regione	Provincia	CodISTAT	Pop_1951	Pop_2011
Peglio	11	Pesaro-Urbino	41041	1472	735
Brione	3	Brescia	17030	629	685
L'Aquila	13	L'Aquila	66049	54633	66964
Peglio	3	Como	13178	305	185
Pietrabbondante	14	Isernia	94035	2599	826
Lavarone	4	Trento	22102	1468	1087
Brione	4	Trento	22028	237	140
Musei	20	Carbonia-Iglesias	107011	1188	1522
Ciampino	12	Roma	58118	5510	37235

Nella relazione di tipo molti a uno ad un record di una tabella corrispondono più record di un'altra. Un esempio è riportato nelle tabelle seguenti dove vengono indicate le informazioni inerenti l'uso del suolo sulla base del codice Corine Land Cover:

Uds_cod	Area	Perimetro
111	105245,43	10052,6
212	52655,33	1125,3
121	77456,85	1256,32
111	14306,5	678,95
311	18965,5	785,32
212	89456,38	1350,25
511	78954,6	1123,56
111	47589,63	986,58
411	89562,35	1305,9

Tabella B

La chiave primaria in questo è costituita dal campo "Uds_cod" e come si può vedere ad un record della tabella B' corrispondono più record della tabella B per cui l'informazione sarà ripetuta più volte nei record corrispondenti. Il risultato è mostrato nella tabella seguente.

Tabella B'

Uds_cod	Descrizione
111	Zone residenziali a tessuto continuo
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
212	Seminativi in aree irrigue
311	Boschi di latifoglie
411	Paludi interne
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Uds_cod	Area	Perimetro	Descrizione
111	105245,43	10052,6	Zone residenziali a tessuto continuo
212	52655,33	1125,3	Seminativi in aree irrigue
121	77456,85	1256,32	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
111	14306,5	678,95	Zone residenziali a tessuto continuo
311	18965,5	785,32	Boschi di latifoglie
212	89456,38	1350,25	Seminativi in aree irrigue
511	78954,6	1123,56	Corsi d'acqua, canali e idrovie
111	47589,63	986,58	Zone residenziali a tessuto continuo
411	89562,35	1305,9	Paludi interne

E' importante sottolineare che i nomi dei campi che contengono la chiave primaria nelle tabelle da unire possono avere anche intestazioni diverse, ciò che invece è fondamentale è la stringa univoca identificativa che deve essere trascritta allo stesso identico modo in entrambe le tabelle. Una relazione di join è molto utile in quanto arricchisce il contenuto informativo iniziale del file sul quale l'operazione viene effettuata, ed inoltre questo contenuto è prontamente utilizzabile per l'analisi spaziale e la visualizzazione/rappresentazione. Dopo queste brevi note introduttive, vediamo ora come realizzare un'operazione di join in QGIS, in particolare

aggiungeremo una tabella esterna allo shapefile creato in precedenza ("Uso_suolo") contenente la descrizione, tratta dalla relativa legenda, dei codici che sono stati utilizzati all'interno del campo "COD_USO". Il software permette di gestire tabelle in formato .csv, .dbf o anche .txt, per cui la tabella dovrà essere prodotta in uno dei suddetti formati. L'informazione contenuta nella tabella è riportata di seguito:

USO_SUOLO	Descrizione
BC	Bosco di conifere
BLC	Bosco di latifoglie, ceduo
CG	Frutteto specializzato
CO	Oliveto specializzato
CS	Serre e vivai
CV	Vigneto specializzato
LC	Incolto cespugliato
SA	Seminativo arborato
SN	Seminativo non irriguo

Per caricare una tabella nella TOC di QGIS dobbiamo utilizzare il tasto che permette di inserire nella maniera corretta una qualsiasi tabella in uno dei formati riconosciuti dal software, in quanto evita possibili errori nei formati dei vari campi. L'interfaccia di configurazione è mostrata in figura 3.31.

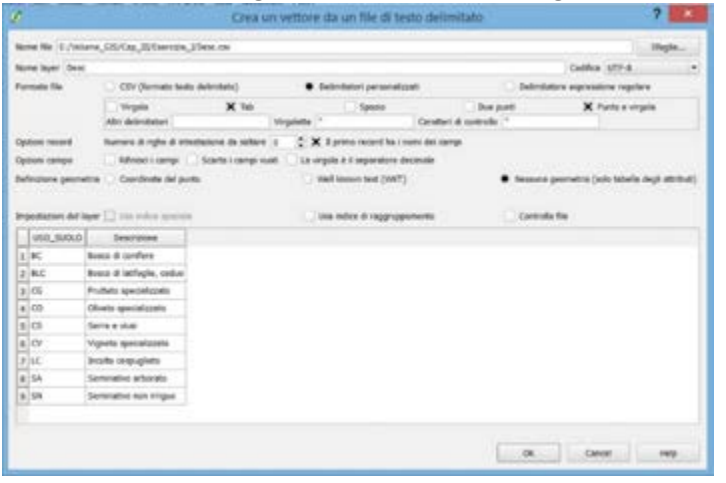


Figura 3.31 – Interfaccia di configurazione del comando "Aggiungi layer di testo delimitato".

Nella sezione formato file va indicato il tipo di delimitatore utilizzato per separare i campi (diverso a seconda del tipo di file); nella sezione relativa alla geometria, in caso di tabelle che non hanno un attributo spaziale, come in questo caso, bisognerà selezionare la spunta "Nessuna geometria". Nel caso si disponga di una tabella che contiene dei campi con una coppia di coordinate che identificano un punto per i quali

si dispone di una serie di informazioni di qualsiasi genere (rilievi di campo, campionamenti puntuali di inquinanti in aria o in acqua ad esempio) è possibile creare attraverso l’opzione “Coordinata del punto” uno shapefile virtuale (che può essere poi salvato in maniera definitiva tramite il comando salva con nome) semplicemente indicando nella parte sottostante quali tra quelli disponibili, rappresentano i campi che contengono le coordinate x ed y dei punti. La parte in basso dell’interfaccia mostra un’anteprima di quella che sarà la struttura della tabella in funzione delle opzioni settate. Negli esempi riportati in precedenza abbiamo visto quali sono i principi alla base del funzionamento del collegamento tra le tabelle, appunto per questo non abbiamo considerato la sequenza di collegamento che invece risulta essere oltremodo importante soprattutto per il calcolo e la rappresentazione di indici territoriali. Se vengono collegate tra loro due tabelle che non hanno associato un file di natura geometrica la sequenza con cui questo processo viene portato a termine non ha alcuna rilevanza ai fini pratici. Cosa ben diversa accade quando abbiamo a che fare con il collegamento di due tabelle appartenenti a due shapefile diversi o di una sola di queste con un'altra tabella esterna. In questo caso la sequenza è fondamentale in quanto poi se l’informazione da collegare servirà per l’analisi spaziale (es. calcolo di un indice) o per la tematizzazione di uno shapefile (come in questo caso) il primo layer da selezionare deve essere quello che contiene gli elementi geometrici da classificare. Nel caso specifico la tabella “Desc” andrà collegata allo shapefile “Uso_suolo”. Il join si attiva dalle proprietà del layer per cui clicchiamo con il tasto destro (o anche doppio click) del mouse sul layer “Uso_suolo” (layer al quale andrà collegata l’altra tabella) e selezioniamo la voce “Join” (fig. 3.32).

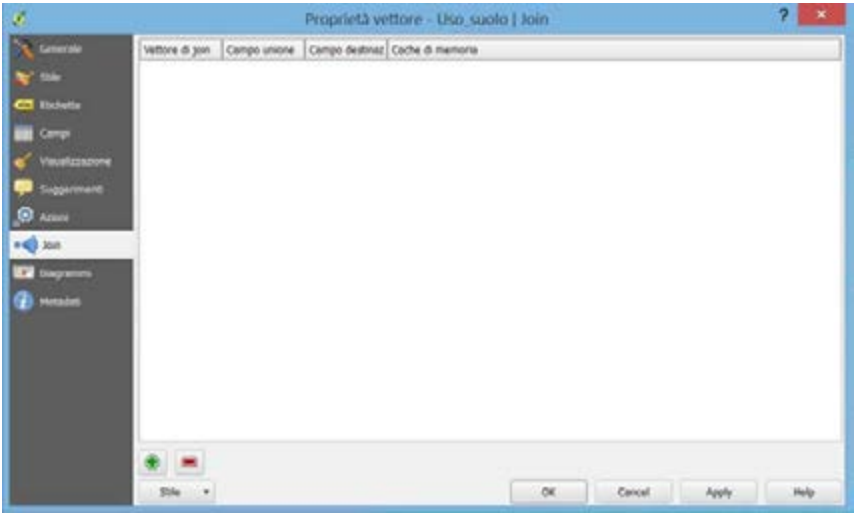


Figura 3.32 - Finestra relativa al comando "Join"

Successivamente clicchiamo sul tasto in basso a sinistra per attivare la finestra delle opzioni del join (fig.3.33).

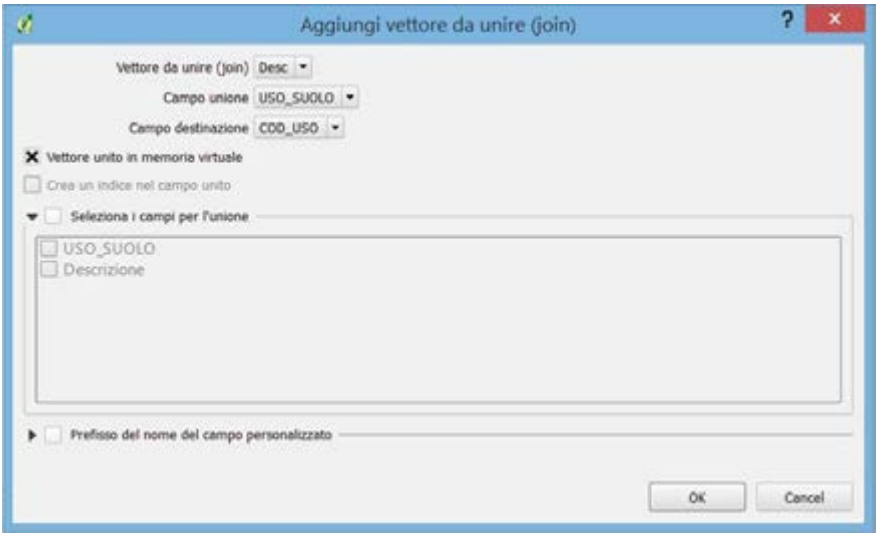


Figura 3.33 - Opzioni relative al comando join.

Selezioniamo quindi all'interno del menù a tendina della voce "Vettore da unire" la tabella "Desc" (nel menù sono presenti tutte le tabelle caricate sulla TOC). La voce "Campo unione" contiene tutti i campi presenti nella tabella selezionata in "Vettore da unire" per cui andrà selezionato il campo "Uso_suolo" che rappresenta la chiave primaria di unione tra le due tabelle. Questa stessa chiave primaria andrà naturalmente selezionata anche alla voce "Campo destinazione", voce che contiene tutti i campi presenti nella tabella alla quale si sta collegando l'altra. Una volta settato i parametri si può cliccare su ok (sia sulla finestra delle opzioni sia su quella delle proprietà) ed il software effettuerà il collegamento. Per essere certi che l'operazione sia andata a buon fine apriamo la tabella dello shapefile "Uso_suolo" e controlliamo che i campi della tabella "Desc" siano stati collegati nella maniera giusta (fig.3.34).

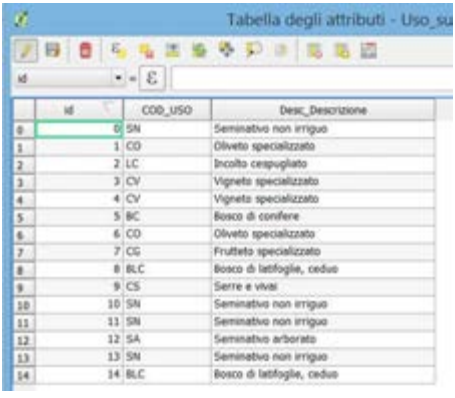


Figura 3.34 - Tabella del layer "Uso_suolo" a seguito dell'operazione di join

La modifica è evidenziata anche dalla modalità che ha il software di denominare poi i campi che vengono uniti: infatti inserisce il nome del file di provenienza come suffisso (Desc*)* seguito da un _ che precede il nome del campo così come è riportato nella tabella da unire. Nel caso in cui ci siano molti più record da collegare e tutti devono avere una voce corrispondente derivante dal join, è utile effettuare un controllo per verificare se l'operazione è stata effettuata nella maniera corretta, cliccando con il tasto sinistro del mouse sull'intestazione di uno dei campi uniti alla tabella iniziale (serve ad ordinare in senso crescente/decrescente l'informazione ivi contenuta) e verificare che non ci sia nessuna dicitura "Null" che indica un valore nullo per quel record e quindi un collegamento non avvenuto. In tal caso basta eliminare il collegamento (selezionare il collegamento creato nell'interfaccia join delle proprietà del layer relativo e cliccare su) correggere l'errore ed effettuare nuovamente l'operazione di join. Il join è prontamente mantenuto se viene salvato il file del progetto all'interno del quale esso è stato applicato, tuttavia è utile rendere definitivo questo collegamento esportandolo in un nuovo shapefile semplicemente cliccando con il tasto destro del mouse sul layer "Uso_suolo" e poi sulla voce "Salva con nome…" (fig.3.35).

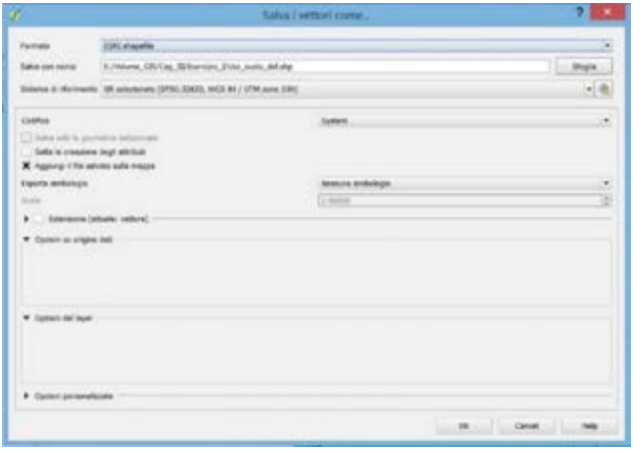


Figura 3.35 - Le opzioni del comando "Salva con nome..."

Nel riquadro "formato" troveremo sempre l'ultimo formato utilizzato in fase di esportazione di un layer (di default è settato ESRI shapefile); è comunque sempre possibile esportare anche in altri tipi di formati vettoriali quali.kml,.dxf, .gpx, .mif, ed altri ancora. Nel secondo riquadro andrà specificata la directory da utilizzare per il salvataggio del nuovo file mentre nella terza andrà opportunamente selezionato il sistema di riferimento da associare allo stesso. Il sistema di riferimento può essere selezionato direttamente dal menù a tendina associato (contiene tutti i SR utilizzati almeno una volta) oppure attraverso il tasto lo si seleziona tra quelli disponibili.

La spunta attiva su "Aggiungi il file salvato sulla mappa" permette di caricare il nuovo layer direttamente nella TOC del progetto una volta terminata l'operazione di esportazione. Una operazione di questo genere si rivela molto utile nella creazione/gestione di un database sin dalla fase di digitalizzazione a video. Abbiamo visto infatti come il database associato allo strato informativo "Uso_suolo" sia stato implementato attraverso l'utilizzo di codici in fase di editing, codici il cui significato è stato esplicitato attraverso l'operazione di join avvalendoci poi di una tabella esterna. Questo particolare tipo di gestione ha ridotto notevolmente sia i tempi che le possibilità di errore dovuti alla trascrizione della descrizione di ciascun codice. Procedendo in maniera "tradizionale" dove una volta digitalizzato l'elemento vettoriale viene contestualmente implementata l'informazione alfanumerica del record creato è facile incappare in errori dovuti a trascrizioni diverse di uno stesso codice (errori di battitura, spaziatura diversa, ecc…). Possono sembrare errori all'apparenza banali ma che, nel momento in cui si utilizza l'informazione contenuta in questo campo per tematizzare una mappa, diventano grossolani in quanto una stessa descrizione di un codice scritta in due modi diversi rappresentano per il software due voci differenti quindi da rappresentare con due campiture diverse. Nell'esempio illustrato sono stati digitalizzati solo 15 elementi vettoriali in un ambito territoriale di un chilometro quadrato, per cui anche un metodo di digitalizzazione ed inserimento immediato dell'informazione alfanumerica potrebbe funzionare abbastanza bene in quanto la correzione di possibili errori del tipo precedentemente descritto potrebbe essere effettuata in maniera molto speditiva. Ma se immaginassimo di dover tradurre in formato vettoriale con relativo database l'informazione contenuta su strati di pixel di aree molto vaste si capisce molto bene che avremmo a che fare con numeri molto più grandi che comporterebbero di sicuro possibilità di errore di conseguenza molto più elevate, oltre che tempi di realizzazione totalmente differenti. In questo caso l'operazione di join si traduce in un enorme risparmio di risorse in termini di tempo riducendo praticamente a zero le possibilità di errore di trascrizione dell'informazione alfanumerica. Un'altra modalità di unire tabelle è rappresentato dal comando relate. Mentre il join viene utilizzato per relazioni di tipo "uno a uno" e "molti a uno", il relate si utilizza per relazioni di tipo uno a molti o molti a uno. Il relate definisce appunto una relazione tra tabelle basata su un campo comune ad entrambe ma, a differenza del join, non vengono agganciati gli attributi di una sull'altra. Inoltre il relate viene gestito a livello delle proprietà di un progetto e non di un singolo layer come avviene per il join. Nel comando relate quindi ad ogni record della tabella attributi di un tema vengono collegati più record della tabella esterna (uno a molti). La finestra di configurazione del comando relate si attiva dal menù "Progetto – Proprietà progetto – Relazioni" (fig. 3.36). Cliccando sul tasto "Aggiungi relazione" è possibile impostare una nuova relazione che poi è sempre possibile rimuovere con il tasto "Rimuovi relazione". La finestra di configurazione è mostrata in figura 3.37. Il relate

è strutturato come un modello di database gerarchico con una relazione di tipo "padre – figlio". Il modello gerarchico consente di rappresentare informazioni usando la relazione tra entità "padre" e entità "figli": ogni padre può avere molti figli, ma ogni figlio può avere un solo padre.

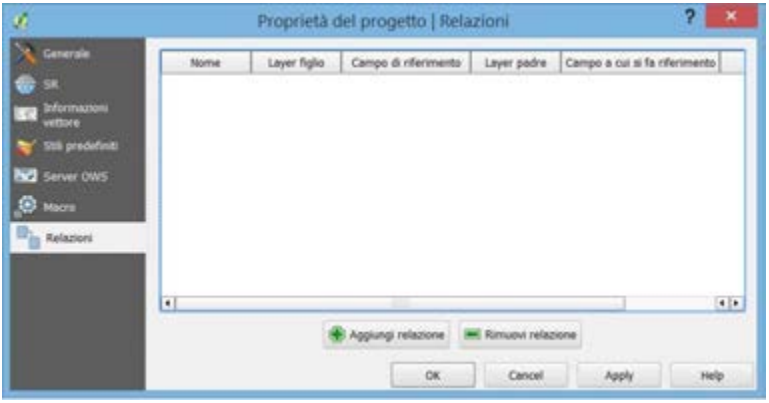


Figura 3.36 - Sezione per l'impostazione del Relate.

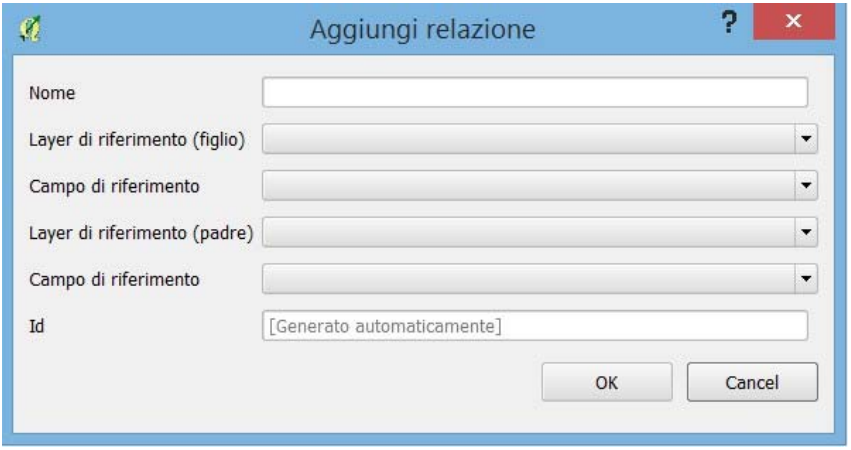
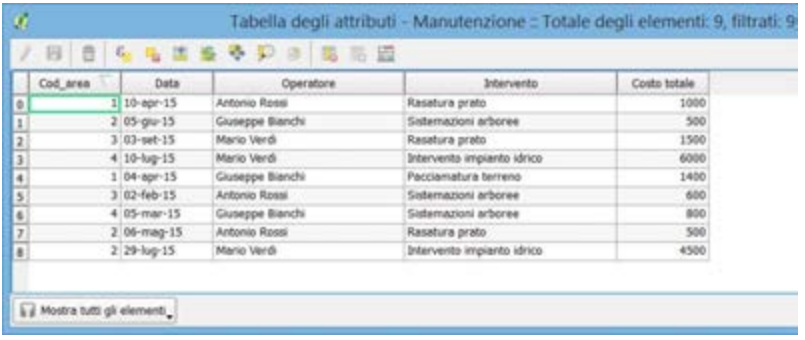


Figura 3.37 - Finestra di configurazione del Relate.

E' questa infatti la relazione che viene parametrizzata all'interno della finestra di configurazione: al box "Nome" va assegnato appunto il nome da associare alla relazione mentre nel box "layer di riferimento (figlio)" va inserita la tabella esterna selezionando contestualmente nel box successivo il campo che verrà utilizzato per il collegamento (chiave primaria). Nel box "layer di riferimento (padre)" va invece inserito lo strato vettoriale con il campo che contiene la chiave primaria che invece va indicata nel box successivo ("Campo di riferimento"). La voce "Id" fa da indice

della tabella e deve essere un codice univoco di relazione tra i campi collegati. Vediamo ora con un esempio come applicare una operazione di relate. Immaginiamo di avere a disposizione uno shapefile delle aree verdi di una città e una tabella (in formato .dbf) dove vengono riportate tutte le informazioni relative agli interventi di manutenzione compiuti su ciascuna di esse (data dell'intervento, nome e cognome dell'operatore, tipologia di intervento e costo). Una singola area verde quindi può avere diversi interventi nel tempo da operatori diversi e di tipologia differente quindi il tipo di relazione in questo caso è 1 a molti cioè ad ogni area verde possono corrispondere più record all'interno della tabella "manutenzioni". Le informazioni delle due tabelle sono riportate nella figure 3.38 e 3.39.



	Cod_area	Data	Operatore	Intervento	Costo totale
0	1	10-apr-15	Antonio Rossi	Rasatura prato	1000
1	2	05-giu-15	Giuseppe Bianchi	Sistemazioni arboree	500
2	3	03-set-15	Mario Verdi	Rasatura prato	1500
3	4	10-lug-15	Mario Verdi	Intervento impianto idrico	6000
4	1	04-apr-15	Giuseppe Bianchi	Pacciamatura terreno	1400
5	3	02-feb-15	Antonio Rossi	Sistemazioni arboree	600
6	4	05-mar-15	Giuseppe Bianchi	Sistemazioni arboree	800
7	2	06-mag-15	Antonio Rossi	Rasatura prato	500
8	2	29-lug-15	Mario Verdi	Intervento impianto idrico	4500

Figura 3.38 - Informazione alfanumerica contenuta nella tabella dati.

	id	Cod_area	Nome_areaV
0	1	1	Giardino comunale
1	2	2	Parco della Vittoria
2	3	3	Parco Costantini
3	4	4	Giardino della rimembranza

Figura 3.39 - Informazione alfanumerica contenuta nella tabella dello shapefile delle aree verdi urbane.

Il campo "Cod_area" comune ad entrambe le tabelle rappresenta il campo chiave che sarà utilizzato per relazionarle attraverso il relate. Una volta caricata, la finestra di configurazione del relate (fig. 3.37) andrà riempita nel modo seguente:

Nome: Inserire il nome da assegnare alla relazione che si sta creando (ad esempio relazione);

Layer di riferimento (Figlio): inserire la tabella "manutenzioni";

Campo di riferimento: scegliere tra quelli proposti (campi della tabella precedentemente inserita) il campo chiave "Cod_area";

Layer di riferimento (Padre): inserire il layer "Aree verdi urbane";

Campo di riferimento: scegliere tra quelli proposti (campi della tabella del layer precedentemente inserito) il campo chiave "Cod_area";

ID: inserire un identificativo della relazione creata (ad esempio 1).

Cliccando sul tasto "ok" la relazione è stata creata. Per verificare che sia andata a buon fine aprire la tabella degli attributi del layer e utilizzare la vista "modulo" che si attiva cliccando sul relativo pulsante in basso a destra nella schermata di visualizzazione della tabella stessa (fig. 3.40). Questa è un'altra modalità di visualizzazione della tabella che può essere utilizzata anche in fase di editing per l'inserimento delle informazioni alfanumeriche. Nella prima parte è riportato il codice identificativo associato agli elementi costitutivi del layer (in questo caso 4) mentre nella parte alta del secondo box sono riportati i relativi campi. Nella seconda parte è possibile identificare la relazione appena creata (il nome inserito all'interno del box "Nome" in fase di creazione serve appunto a contraddistinguerle all'interno di questa interfaccia) al di sotto della quale troviamo una serie di pulsanti il cui utilizzo sarà spiegato a breve.

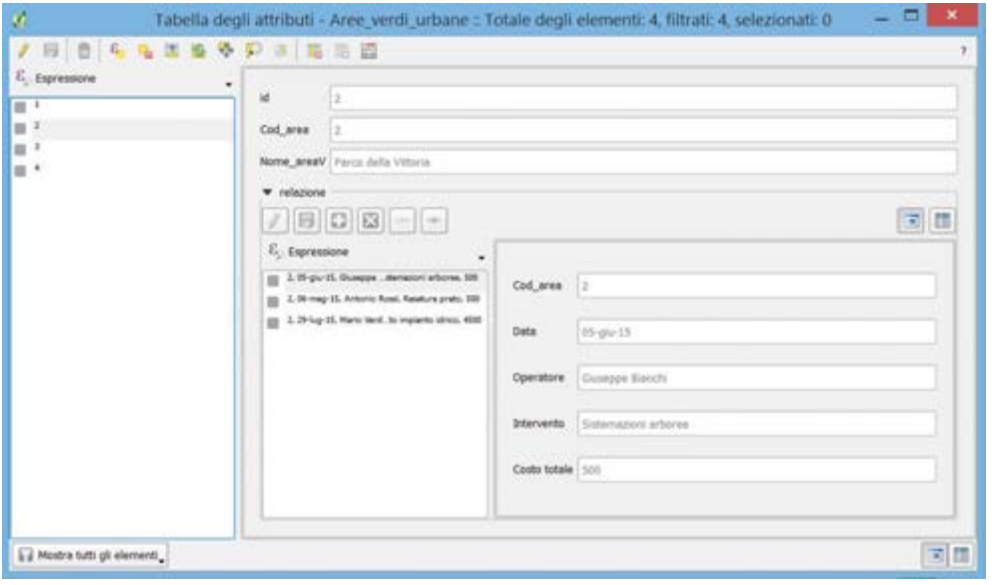


Figura 3.40 - Visualizzazione della tabella in modalità "Vista modulo"

Ogni volta che selezioniamo uno degli elementi posti in alto a sinistra, vale a dire un'area verde urbana, nel box seguente vengono mostrati i record con i relativi attributi ad essa collegati attraverso la relazione. Vediamo ora le funzioni espresse nei pulsanti che riguardano solo la tabella collegata:

: Serve ad attivare/disattivare l'editing;

: Salva le modifiche effettuate;

: Aggiunge un nuovo record alla tabella collegata; la successiva schermata di compilazione dei campi permette già di poter associare il record appena creato al relativo elemento dello shapefile semplicemente inserendo il codice identificativo dell'oggetto all'interno del campo utilizzato come chiave primaria;

: Cancella i record selezionati nella tabella;

: Serve per creare l'associazione tra un record della tabella associata e l'elemento del layer; bisogna per questo selezionare prima l'elemento geometrico al quale associare il record dopodichè cliccare sul pulsante e scegliere il record da associare;

: Effettua l'operazione contraria al pulsante precedente, serve quindi per eliminare l'associazione tra un record ed un elemento del layer.

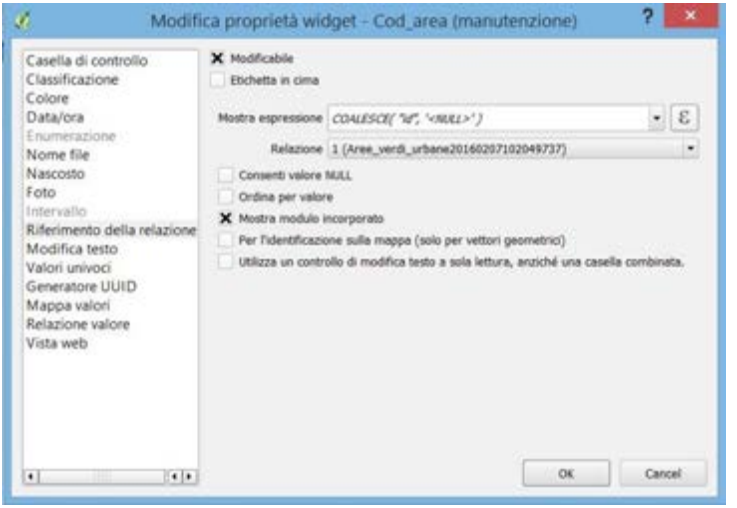


Figura 3.41 - Modifica del widget assegnato al campo chiave della tabella "Dati". Notare che il codice 1 assegnato al campo ID in fase di realizzazione della relazione viene utilizzato come codice identificativo di questa per distinguerla distintamente da altre eventuali relazioni create.

La relazione creata può essere visualizzata anche nella tabella "manutenzioni" semplicemente utilizzando la sezione "Campi" dalle proprietà di questa. Selezionare il campo chiave utilizzato per la relazione ("Cod_area" in questo caso) modificare il widget assegnato di default ("Modifica testo") cliccando su di esso e scegliere "Riferimento relazione" tra quelli proposti. Spuntare nella finestra di configurazione anche la voce "Mostra modulo incorporato". La figura 3.41 mostra quanto appena detto.

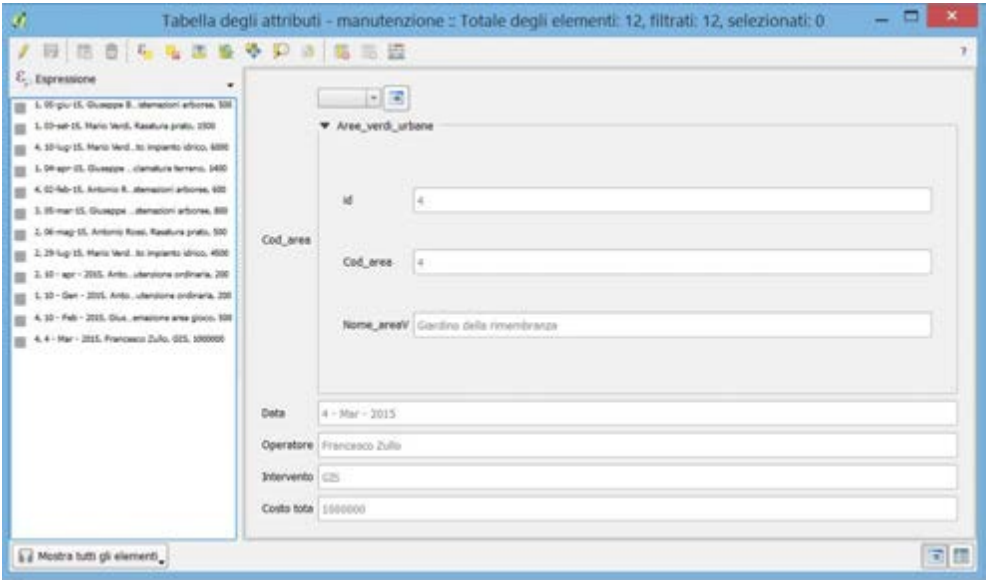


Figura 3.42 - Visualizzazione della relazione nella tabella "Dati".

Una volta terminata questa operazione, la relazione sarà visibile anche nella tabella utilizzando la modalità vista "Modulo" (fig. 3.42). Per aggiungere un record relativo ad una operazione di manutenzione ad un'area verde bisogna quindi aprire la tabella dello shapefile passare alla modalità vista modulo e attivare l'editing. Cliccando quindi sul tasto per aggiungere un nuovo record comparirà una nuova finestra all'interno della quale andranno inseriti i relativi dati (fig.3.43). Per associare il record appena creato all'elemento dello shapefile basterà semplicemente selezionare l'identificativo di questa (attributo del campo "Cod_area") all'interno del primo box (fig. 3.43). E' possibile inoltre anche creare un nuovo record dalla tabella stessa e associarlo poi con l'elemento dello shapefile (la finestra di inserimento dati è la stessa di quella mostrata in figura 3.40). Come precedentemente specificato, il relate viene salvato a livello di progetto, per cui non è possibile effettuare operazioni di esportazione sul file vettoriale per rendere definitiva questa associazione.

Figura 3.43 - Finestra di inserimento dati.

L'operazione di relate presenta delle complessità diverse rispetto al join ma risulta essere un valido strumento per la gestione ad esempio dei servizi pubblici e delle relative manutenzioni (si pensi ad esempio ai servizi di rete, alle strade o anche alla raccolta dei rifiuti) potendo in tal modo disporre di un database geografico ben congegnato ed organizzato che può, unitamente ad altri fattori, migliorarne l'efficienza nella gestione.

3.4 Interrogazioni e selezioni di dati.

Le operazioni di interrogazione e selezione permettono di estrarre/selezionare all'interno di un dataset geografico preesistente, un set di dati ad esso appartenente sulla base dell'informazione alfanumerica contenuta nel database o anche sulla base della componente spaziale (interrogazione spaziale - necessari in tal caso due layer vettoriali). Il principio fondamentale delle operazioni di interrogazione e di selezione è identico: esso è basato su una costruzione di una query più o meno complessa attraverso l'utilizzo dell'informazione contenuta nei campi di una tabella e di operatori (relazionali, logici e/o di confronto) che permettono di estrarre un preciso sottoinsieme della tabella che viene evidenziato nella mappa e che può, in un secondo momento, essere salvato come un nuovo strato informativo. La differenza tra la selezione e l'interrogazione sta nel fatto che nella selezione il sottoinsieme della tabella che risponde ai criteri impostati nella query viene evidenziato rispetto agli altri elementi dello strato/tabella mentre nell'interrogazione vengono visualizzati solo gli elementi che soddisfano i criteri di ricerca eliminando temporaneamente dalla view quelli che al contrario non la soddisfano. Possiamo attivare il costruttore di interrogazioni sia dal menù "Layer" (selezionando prima nella TOC il layer al quale si intende applicare il filtro) scegliendo la voce "Filtro"

sia anche cliccando con il tasto destro del mouse sul relativo strato e selezionando poi la stessa voce dal menù successivo. La schermata che verrà visualizzata è quella in figura 3.44. Questa è articolata in tre sezioni: nella prima in alto a sinistra denominata "Campi" si trovano tutte le intestazioni dei campi della tabella sulla quale si sta effettuando l'operazione di interrogazione; la sezione "Valori" mostra tutti i valori (ciascuno ripetuto una sola volta) presenti all'interno del campo selezionato nella sezione precedente cliccando contestualmente sul tasto "tutto" oppure ne mostrerà solo alcuni se si clicca sul tasto "Campione". Nella sezione "Espressioni filtro specifiche del gestore" viene trascritta la query composta attraverso le due sezioni precedenti con l'ausilio degli operatori ivi presenti localizzati in una sezione a loro dedicata nell'interfaccia di configurazione. Vediamo ora l'utilizzo degli operatori booleani ("OR" e "AND") che permettono di costruire query imponendo una o più condizioni. L'operatore "OR" impone che almeno una delle condizioni formulate deve essere verificata.

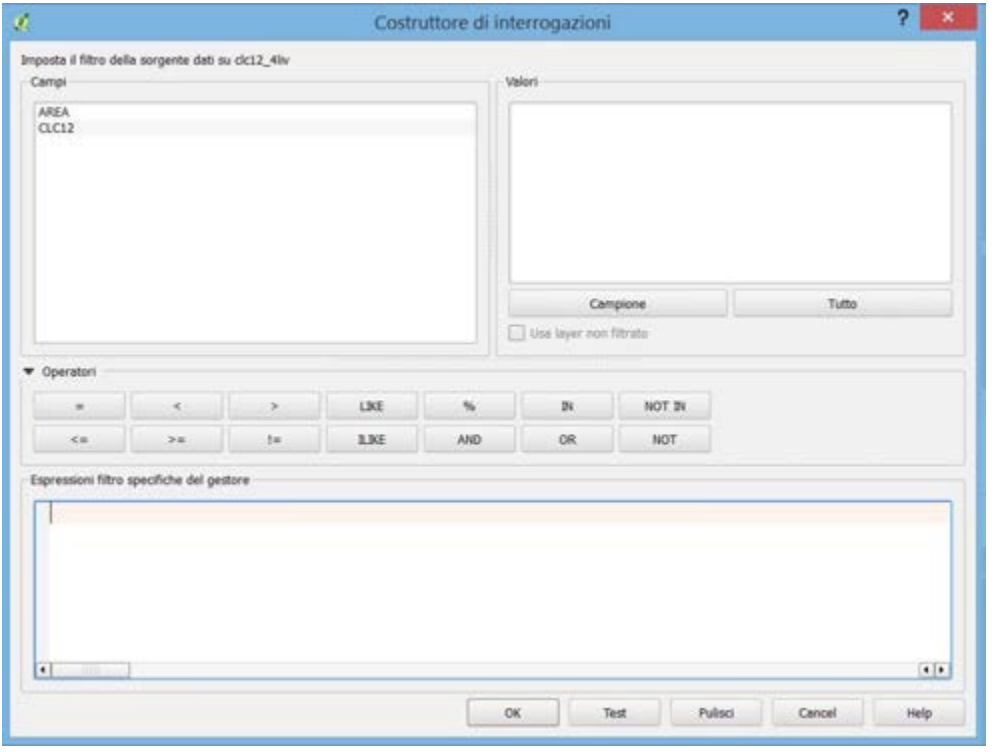


Figura 3.44 - Schermata del costruttore di interrogazioni di QGIS

Ipotizziamo di voler estrarre da un layer di copertura del suolo due o più categorie come ad esempio i vigneti e gli oliveti e di creare poi un nuovo shapefile contenente

l'informazione derivante da questa estrazione. Il layer utilizzato in questo esempio rappresenta la copertura del suolo a scala nazionale (corine IV livello) scaricato dal portale del SINAnet (Rete del sistema informativo Nazionale) relativo all'anno 2012 (fig.3.45).

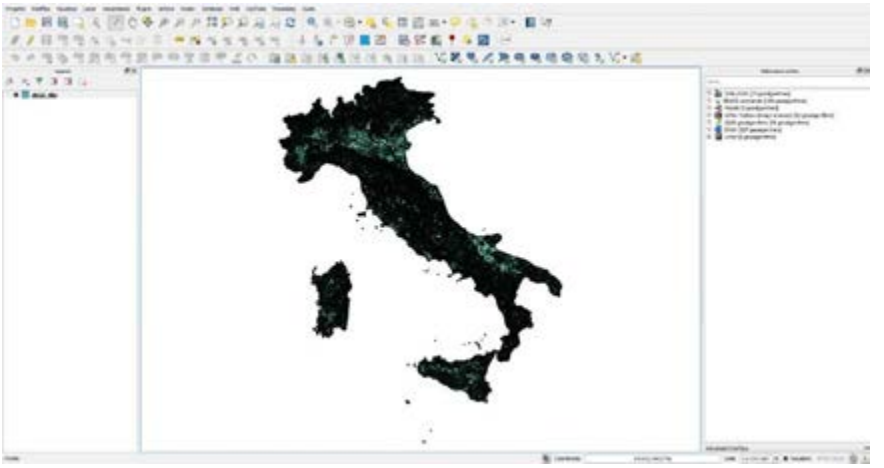


Figura 3.45 - Corine Land Cover IV livello anno 2012

Apriamo quindi la tabella degli attributi ad esso associata e controlliamo l'informazione contenuta nei campi in modo da individuare tra questi quello da utilizzare per l'interrogazione (fig. 3.46).

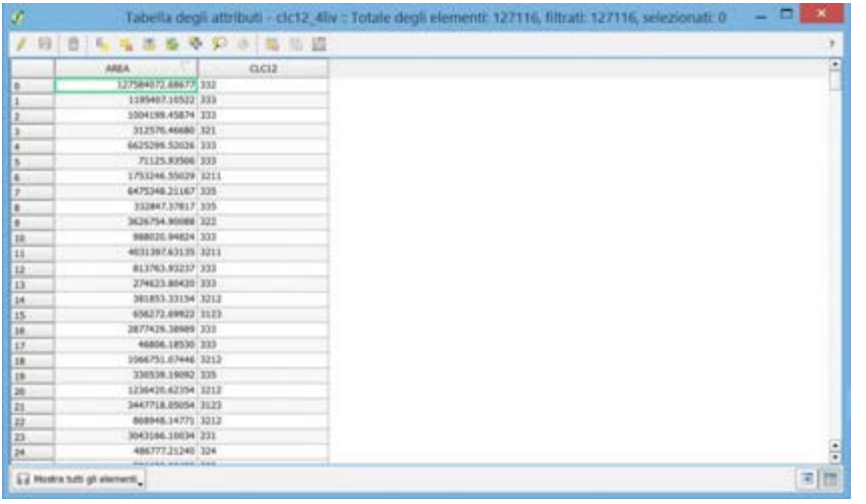


Figura 3.46 - Tabella associata al layer di copertura del suolo.

La figura precedente mostra come la tabella associata contiene solo 2 campi di cui uno contiene il valore dell'area ("AREA" espressa in metri quadrati – codice EPSG: 32632) di ogni poligono mentre l'altro ("CLC12") l'informazione relativa alla classificazione Corine, un codice numerico articolato su più livelli (in questo caso quattro) utilizzato per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio. Attraverso l'ausilio di una legenda esplicativa (i codici fanno parte di una nomenclatura universale valida a livello europeo) è possibile associare alle categorie da estrarre il relativo codice corine:

- **221: Vigneti;**
- **223: Oliveti;**

Questi codici dunque dovranno essere inseriti opportunamente all'interno dell'espressione che verrà composta in modo da estrarre solo ed esclusivamente queste due tipologie di uso dal dataset totale. Innanzitutto apriremo il costruttore di interrogazioni e selezioniamo con un doppio click dalla sezione "Campi" la voce "CLC12" in modo che questa venga trascritta nella sezione "Espressioni filtro specifiche del gestore" (fig. 3.47); selezioniamo poi l'operatore relazionale "=" e clicchiamo sul tasto "Tutto" nella sezione "Valori" in modo da visualizzare tutti i valori univoci presenti nel campo "CLC12".

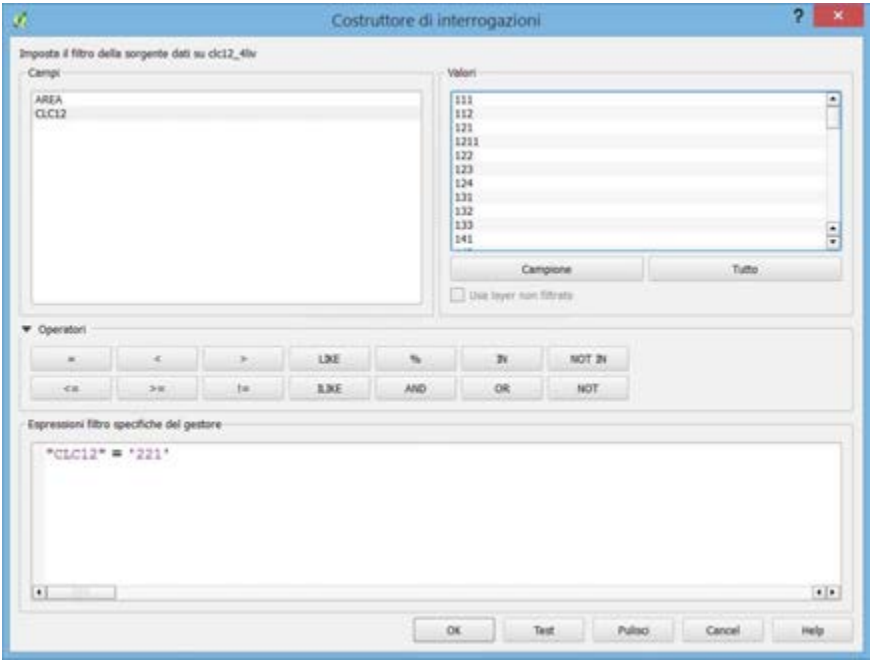


Figura 3.47 - Inserimento della query nel costruttore di interrogazioni.

Questa operazione permette infatti di visualizzare tutti i valori presenti nel campo evidenziato nella sezione "Campi" ciascuno trascritto una sola volta, in modo da poter selezionare direttamente il codice tra quelli presenti eliminando di fatto la possibilità di errori dovuti alla trascrizione diretta del codice. Una trascrizione diversa da quella presente nel database comporta un errore, segnalato dal software, che si traduce nella non realizzazione della query. Per selezionare quindi il relativo codice (in questo caso 221) e trascriverlo contestualmente nella sezione "Espressioni filtro specifiche del gestore" basterà effettuare un doppio click sul codice stesso nella sezione "valori". Per poter selezionare all'interno dello stesso campo anche il codice 223 che identifica gli oliveti, clicchiamo sull'operatore logico "OR" ripetendo poi la stessa operazione fatta in precedenza per il codice 221 selezionando però stavolta il codice 223, in modo che l'espressione finale sia questa di seguito riportata: *"CLC12" = '221' OR "CLC12" = '223'* (fig.3.48).

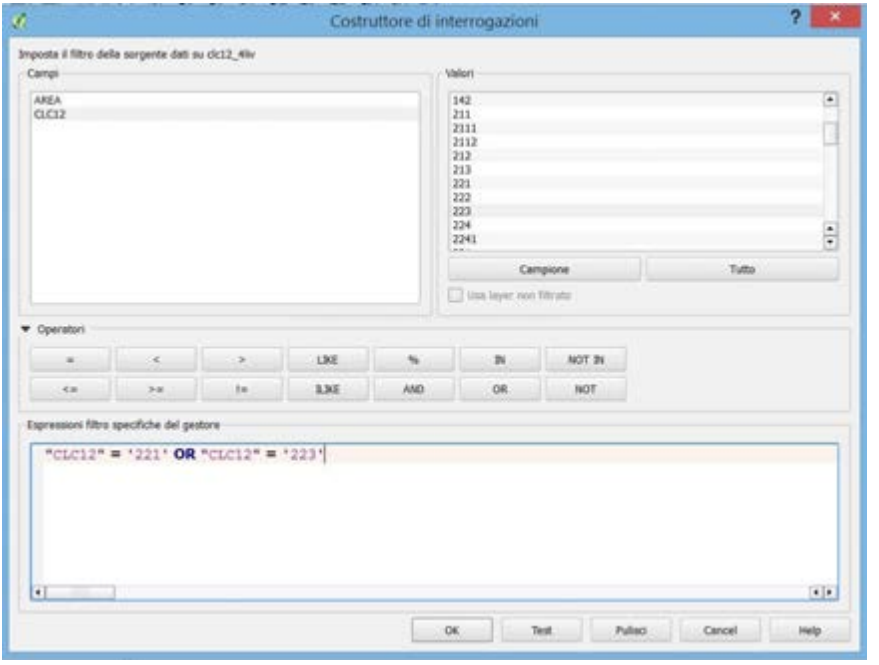


Figura 3.48 - Inserimento di una query nel costruttore di interrogazioni.

Il tasto "Test" restituisce l'informazione circa la validità della query (numero di record estratti se corretta, in caso contrario ci segnala un errore di sintassi), mentre "Pulisci" elimina l'espressione trascritta che invece viene attivata cliccando sul tasto "Ok". La figura 3.49 restituisce il risultato dell'espressione formulata ed in

particolare mostra tutte le superfici coperte da oliveti e vigneti rilevati attraverso il metodo Corine Land Cover.

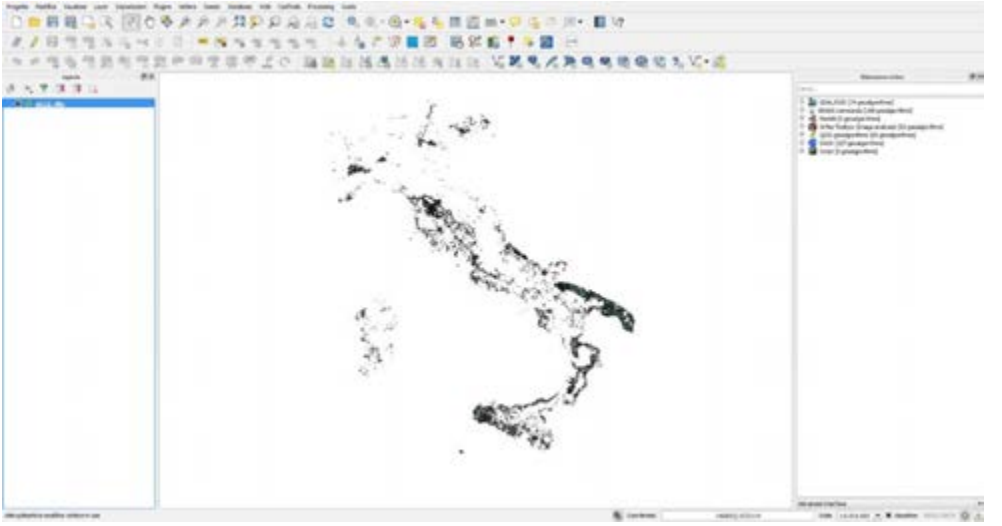


Figura 3.49 - Applicazione della query sul dataset di uso del suolo.

Per tornare alla situazione di partenza basta semplicemente aprire nuovamente il costruttore di interrogazioni cancellare l'espressione con il tasto "Pulisci" (oppure selezionarla e rimuoverla con il tasto CANC/DEL della tastiera) e cliccare su "Ok". Se si vuole creare un nuovo shapefile che contenga solo questa tipologia di informazione derivante dalla query, basterà semplicemente cliccare con il tasto destro del mouse sul layer e utilizzare l'opzione "Salva con nome", indicando poi la directory di salvataggio del nuovo file, il formato dello stesso ed un opportuno sistema di riferimento. L'operatore booleano "AND" impone che tutte le condizioni richieste siano soddisfatte. Ipotizziamo che dal dataset iniziale vogliamo estrarre tutti i territori coltivati a vigneti con superficie superiore ai 10 ha e quelli invece coperti da oliveti con una superficie compresa tra 5 ha e 10 ha. Anche in questo caso si aprirà il costruttore di interrogazioni dove andrà formulata la corretta espressione. Iniziamo selezionando la voce 221 (vigneti) all'interno del campo "CLC12" (*"CLC12" = '221'*). Per estrarre solo quelli con superficie superiore ai 10 ha si utilizzerà l'operatore "AND" (l'informazione relativa all'estensione territoriale di ciascun elemento è riportata all'interno del campo "AREA"), per cui l'espressione diverrà la seguente:

"CLC12" = '221' AND "AREA" >= 100000

Per estrarre contemporaneamente anche la categoria degli oliveti con superficie compresa tra 5 ha e 10 ha dobbiamo comporre una nuova espressione legata alla precedente dall’operatore logico “*OR*” che andrà appunto inserito tra la prima e la seconda espressione.

"CLC12" = '221' AND "AREA" >= 100000 OR "CLC12" = '223' AND "AREA" >= 50000 AND "AREA" <= 100000

Il risultato dell’applicazione dell’interrogazione è mostrato nella figura seguente. In sostanza quindi nel caso di composizione di espressioni di interrogazioni complesse l’operatore logico AND indica che tutte le espressioni/condizioni devono essere soddisfatte mentre l’operatore logico OR indica che almeno una di queste deve essere soddisfatta.

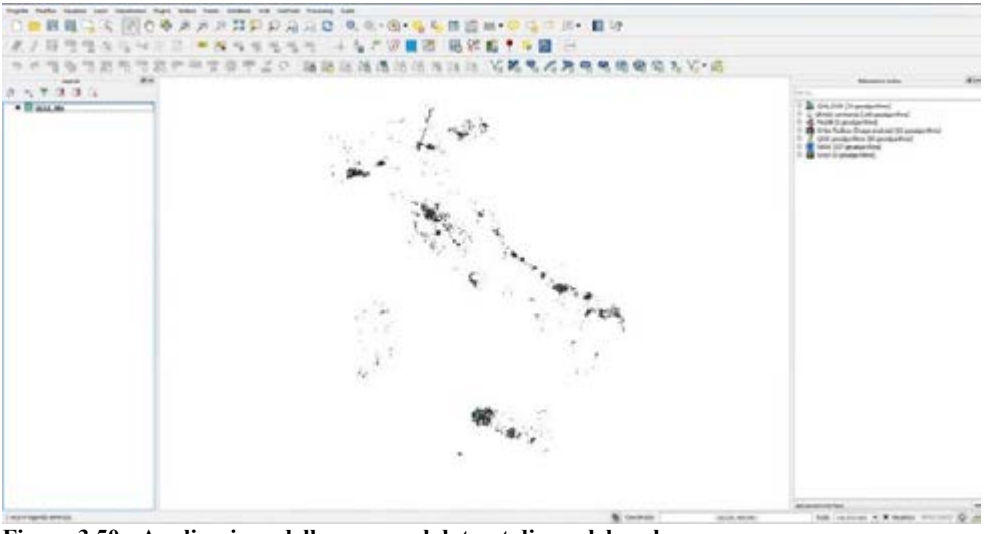


Figura 3.50 - Applicazione della query sul dataset di uso del suolo

Altri operatori che vengono generalmente utilizzati nelle interrogazioni sono “LIKE” e “ILIKE”. Questi permettono la ricerca di una particolare stringa alfanumerica all’interno di uno specifico campo di tipo testo. Entrambi hanno bisogno di una notazione da utilizzare nella formazione della query costituita dal simbolo “%” che traduce la condizione “qualsiasi gruppo di caratteri” o dal simbolo “_” che invece traduce la condizione “qualsiasi carattere”. L’utilizzo di questa notazione permette infatti di cercare quella specifica stringa in una particolare posizione all’interno del campo:

- '%STRINGA%' seleziona tutti gli elementi che contengono quella determinata stringa in una qualsiasi posizione all'interno del relativo attributo del campo scelto per la query;
- 'STRINGA%' seleziona tutti gli elementi che contengono quella determinata stringa all'inizio della definizione dell'attributo del campo scelto per la query;
- '%STRINGA' seleziona tutti gli elementi che contengono quella determinata stringa alla fine della definizione dell'attributo del campo scelto per la query.

L'operatore "LIKE" è case sensitive mentre "ILIKE" al contrario non lo è. Questo vuol dire che l'operatore "LIKE" gestisce in maniera differente i caratteri maiuscoli e minuscoli per cui la stringa da ricercare deve essere scritta nella query in maniera analoga a quanto riportato nel database da interrogare mentre se si utilizza l'operatore "ILIKE" questa differenziazione tra caratteri minuscoli e maiuscoli viene meno per cui vengono selezionati tutti gli elementi che contengono quella determinata stringa indipendentemente dalla modalità con cui la stessa è stata archiviata nel database. Sono operatori che vengono utilizzati per lo più quando non si è certi del valore che è stato trascritto nei vari record di uno strato informativo. L'operatore "NOT" impone che la condizione imposta nella query sia mono che multicriterio, non sia verificata. Ad esempio se si ha a disposizione un layer relativo ai comuni della regione Abruzzo con indicata la relativa provincia (L'Aquila, Teramo, Chieti, Pescara) di appartenenza in un campo del database ("Nom_pro") e la denominazione del comune in un altro ("Nom_com") la query "*NOT " Nom_pro " = 'Teramo'* mostrerà tutti i comuni abruzzesi che non appartengono alla provincia di Teramo. Ancora la query " *Nom_pro* " = *Teramo* AND NOT " *Nom_com* " = '*Giulianova*' mostrerà tutti i comuni della provincia di Teramo tranne il comune di Giulianova. L'operatore IN è un operatore di semplificazione della condizione espressa da OR. Permette di selezionare una serie di elementi sulla base dell'informazione contenuta in un determinato campo semplicemente inserendo tra parentesi i valori desiderati. Ad esempio se da uno strato informativo di uso del suolo abbiamo bisogno di estrapolare le categorie di uso A, B e C (informazione contenuta in un ipotetico campo che chiameremo "COD") con l'operatore OR la query da applicare sarebbe stata la seguente:

"COD" = 'A' OR "COD" = 'B' OR "COD" = 'C'

Con l'operatore IN invece:

"COD"IN ('A', 'B', 'C');

NOT IN invece segnala una condizione di disuguaglianza per cui utilizzando l'esempio precedente la query *"COD"NOT IN ('A','B','C')* seleziona tutti i record che all'interno del campo COD hanno attributi diversi da A, B e C. Nell'interrogazione abbiamo visto come nella view compaiono solo ed esclusivamente gli elementi geografici che soddisfano le condizioni inserite nell'espressione di interrogazione mentre i restanti vengono momentaneamente non visualizzati nella mappa. Nella selezione per attributi il sottoinsieme di elementi non viene isolato dal resto del dataset iniziale bensì viene appunto selezionato rispetto al resto sia nella tabella che nella view. La selezione per attributi funziona allo stesso modo del costruttore di interrogazioni l'unica differenza risiede quindi nelle modalità di restituzione del sottoinsieme degli elementi che soddisfano la query. Il comando "Seleziona elementi usando un'espressione" si trova sia sulla toolbar "Attributi" sia anche nella pulsantiera disponibile aprendo la tabella degli attributi associata ed è rappresentato dal tasto . La schermata relativa al comando è quella in figura 3.51. Come si vede è in parte simile al costruttore di interrogazioni ed in parte al calcolatore di campi: ha un'area denominata "Funzioni" dove ci sono appunto tutta una serie di funzioni raggruppate per tipo (attraverso il box cerca è possibile ricercare una particolare funzione oppure un operatore) oltre ad una sezione (Campi e valori) che permette di utilizzare i campi presenti nella tabella associata per formulare le condizioni di selezione.

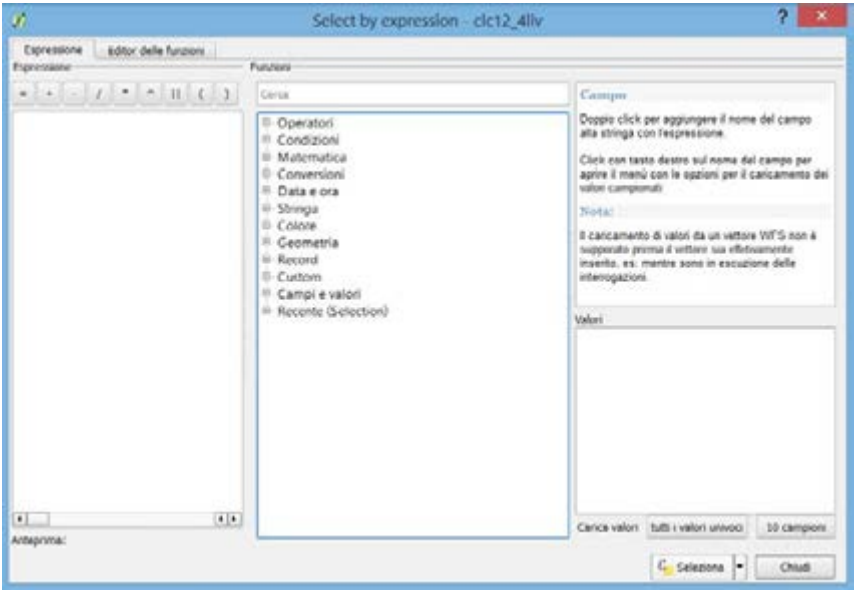


Figura 3.51 – Schermata di configurazione del comando "Seleziona elementi usando un'espressione"

Gli operatori illustrati in precedenza si trovano tutti all'interno del menù "Operatori" presente nella sezione "Funzioni". Nella parte a destra si trova l'help che ci permette di comprendere e applicare ognuna delle funzioni riportate, seguito dal box "Valori" dove è possibile trovare i valori presenti all'interno del campo utilizzato per l'espressione. Nella parte della finestra denominata "Espressione" vengono trascritte tutte le condizioni imposte. Il principio di composizione dell'espressione di selezione è lo stesso di quello utilizzato per l'estrazione attraverso l'utilizzo del costruttore di interrogazioni, appunto per questo soffermeremo la nostra attenzione sul risultato che è quello appunto che la differenzia da quest'ultima. A tal fine utilizzeremo la stessa espressione vista in precedenza:

"CLC12" = '221' AND "AREA" >= 100000 OR "CLC12" = '223' AND "AREA" >= 50000 AND "AREA" <= 100000

Un particolare del risultato dell'applicazione di questa espressione utilizzando il comando di selezione è riportato in figura 3.52. Come si vede il dataset iniziale resta tal quale in termini di elementi contenuti ma al suo interno sono appunto selezionati quelli che soddisfano le condizioni imposte. Anche in questo caso il comando "Salva con nome" permette di creare uno strato informativo che contiene solo ed esclusivamente gli elementi evidenziati prestando attenzione a spuntare la voce "Salva solo le geometrie selezionate".

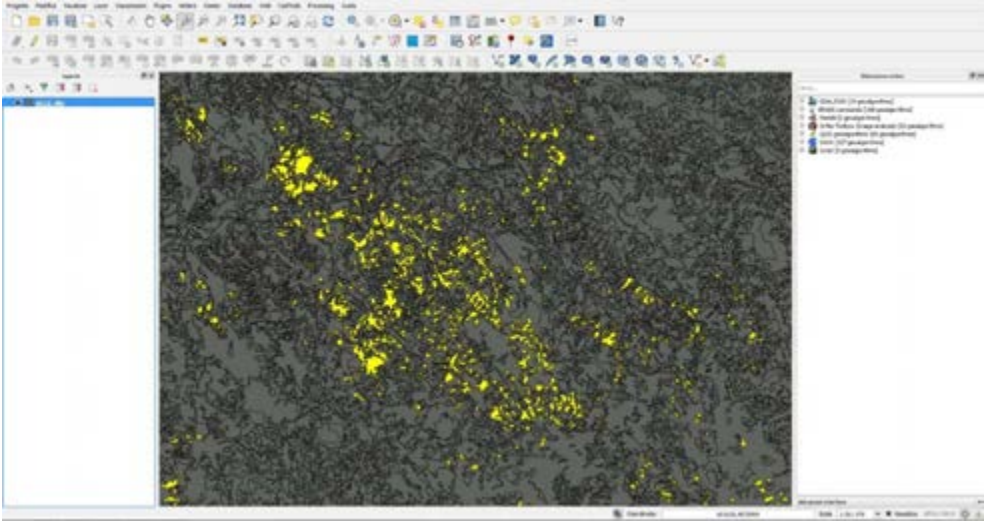


Figura 3.52 - Particolare del risultato dell'operazione di selezione

3.4.1. Interrogazione spaziale dei dati – selezione per posizione

La selezione per posizione è una operazione che permette di selezionare elementi su di un layer sulla base dell'attributo spaziale proprio di ogni elemento territoriale appartenente ad un sistema informativo geografico. E' un comando che, per essere applicato, ha bisogno di almeno due layer vettoriali ciò vuol dire che questi devono essere caricati all'interno della view. E' essenziale che gli elementi degli shapefile coinvolti devono avere lo stesso sistema di riferimento. Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Interrogazione spaziale" e la schermata di configurazione è quella mostrata nella figura 3.53.

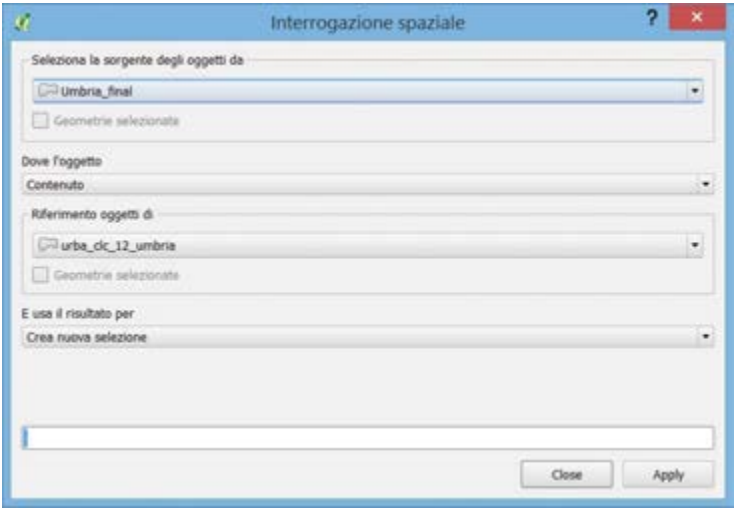


Figura 3.53 – Schermata di configurazione dell'interrogazione spaziale.

La finestra di configurazione è composta da quattro piccole sezioni nelle quali è possibile impostare i parametri della selezione. Nella sezione "Seleziona la sorgente degli oggetti da" deve essere scelto lo strato target della selezione (nel menù relativo sono presenti e quindi selezionabili tutti i layer presenti nella TOC – Layer A) quello cioè dove verranno selezionati gli elementi. Nella sezione "Riferimento oggetti di" va scelto il secondo layer sulla base del quale andrà effettuata la selezione spaziale (nel menù a tendina collegato sono presenti tutti i layer caricati nella TOC tranne naturalmente quello selezionato nella prima sezione – Layer B). Gli operatori che funzionano sulla base dell'attributo spaziale degli elementi si trovano all'interno della sezione "dove l'oggetto":

Contenuto: seleziona gli elementi di A interamente contenuti in B;

Contiene: seleziona gli elementi di A che contengono gli elementi di B;

Interseca: seleziona tutti gli elementi di A che intersecano, in toto o in parte, gli elementi di B; l'elemento di A viene selezionato interamente anche se ha una piccola parte in comune con gli elementi di B;

Sovrappone: seleziona tutti gli elementi di A che si sovrappongono, in parte o interamente, agli elementi di B.

Tocca: seleziona tutti gli elementi di A che confinano con quelli di B (hanno cioè uno o più lati in comune).

E' disgiunto da: seleziona gli elementi di A che non hanno parti in comune con gli elementi di B.

E' uguale a: seleziona gli elementi di A che hanno la stessa forma degli elementi di B.

Nel caso in cui nel layer A o nel layer B o anche in entrambi sono selezionati alcuni elementi, l'interrogazione spaziale sarà effettuata solo sulla base delle geometrie selezionate e quindi il risultato sarà funzione di queste. E' comunque possibile in fase di esecuzione del comando togliere la spunta alla voce "Geometrie selezionate" (attivo solo in presenza di una selezione di elementi nello strato corrispondente) in modo che l'operatore di interrogazione spaziale venga applicato su tutti gli elementi del layer. Per meglio comprendere il funzionamento dello strumento procederemo con qualche esempio pratico. Immaginiamo di voler computare la superficie totale delle aree urbanizzate contenute all'interno del comune di Perugia.

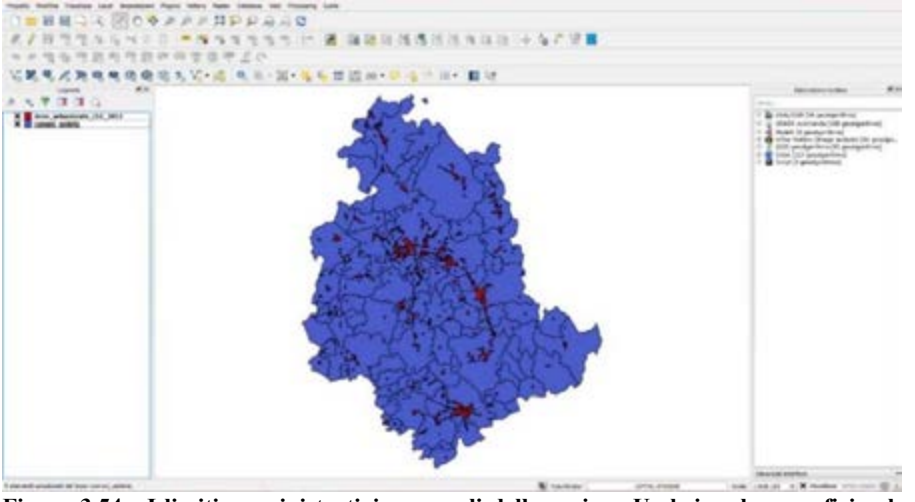
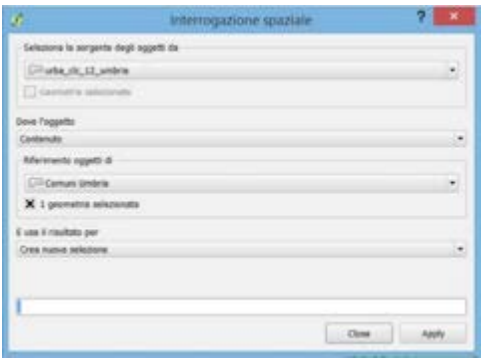


Figura 3.54 - I limiti amministrativi comunali della regione Umbria e le superfici urbanizzate rilevate dal CLC anno 2012.

Nella nostra view abbiamo a disposizione un layer relativo ai limiti amministrativi comunali della regione Umbria e uno della dislocazione geografica delle superfici urbanizzate relative ad un certo periodo (fig. 3.54). L'operazione di interrogazione spaziale andrà quindi eseguita solo per il comune di Perugia per cui quest'ultimo dovrà essere selezionato all'interno della view utilizzando uno dei metodi visti in precedenza come la selezione diretta all'interno della tabella o attraverso i comandi di selezione presenti nella toolbar "Attributi" o ancora attraverso l'operatore "Seleziona usando un'espressione". A questo punto applicheremo il comando di interrogazione spaziale ("Vettore – Interrogazione spaziale"):



Layer A: Aree urbanizzate CLC12;

Operatore: Contenuto;

Layer B: Comuni Umbria

Figura 3.55 - Interrogazione spaziale per selezionare le aree urbanizzate contenute interamente nei confini del comune di Perugia.

Il risultato è quello mostrato nella figura seguente:

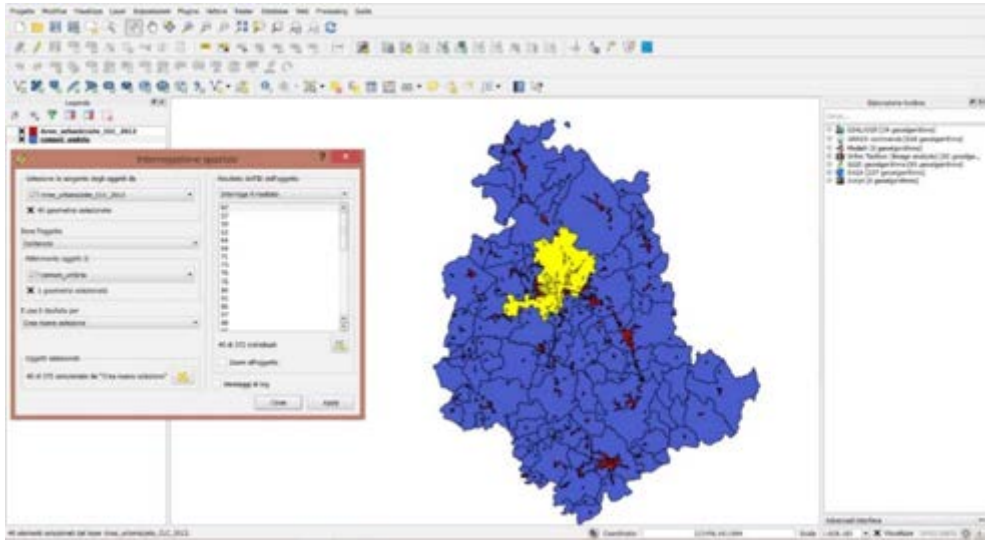


Figura 3.56 - Risultato dell'operazione di selezione spaziale.

Nella parte destra della schermata dell'interrogazione spaziale, compaiono il numero di record selezionati e la possibilità di creare (in memoria virtuale) un layer vettoriale con gli elementi selezionati cliccando sul tasto . L'operatore spaziale "contenuto" ha quindi selezionato solo le aree urbanizzate interamente ricomprese nel comune di Perugia, per cui le aree ricadenti su più comuni tra cui naturalmente Perugia non sono state incluse nella selezione. Per computare la somma di queste superfici senza lavorare su un nuovo strato derivante da questa interrogazione spaziale possiamo utilizzare un plugin denominato "Statist" che va installato nel software. Dal menù a tendina "Plugin" selezionare la voce "Gestisci e installa plugin" e, nella sezione dei plugin non installati, scrivere nel box cerca "Statist", selezionare poi il relativo plugin e cliccare su "installa plugin" (fig.3.57). Una volta installato comparirà come voce selezionabile all'interno del menù a tendina "Vettore". Per computare quindi la somma delle superfici urbanizzate interamente contenute nel comune di Perugia, basterà attivare il comando e inserire opportunamente i parametri all'interno dell'interfaccia successiva (fig. 3.55). Alla voce "Input vector layer" andremo naturalmente ad inserire il layer che contiene le aree urbanizzate lasciando attiva la spunta che permette di effettuare tutte le operazioni utilizzando solo gli elementi selezionati. Nel box "target field" sono presenti tutti i campi in formato numerico (quelli di tipo testo vanno attivati con la relativa spunta nel riquadro successivo) della tabella collegata al layer per cui andrà selezionato quello che contiene l'informazione di nostro interesse (campo "*AREA*"). Il plugin restituisce tutta una serie di informazioni statistiche (valore minimo, massimo, medio, somma, mediana, deviazione standard…) elaborate utilizzando l'informazione contenuta nei record del campo (vedi par. 3.9.9.).

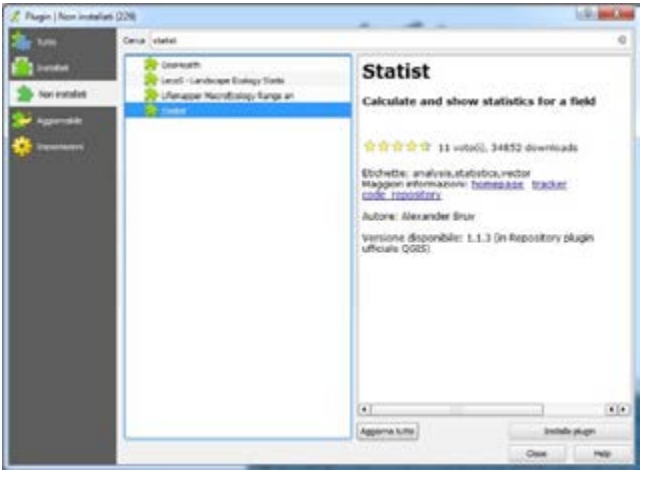


Figura 3.57 - Interfaccia di installazione del plug-in "statist "

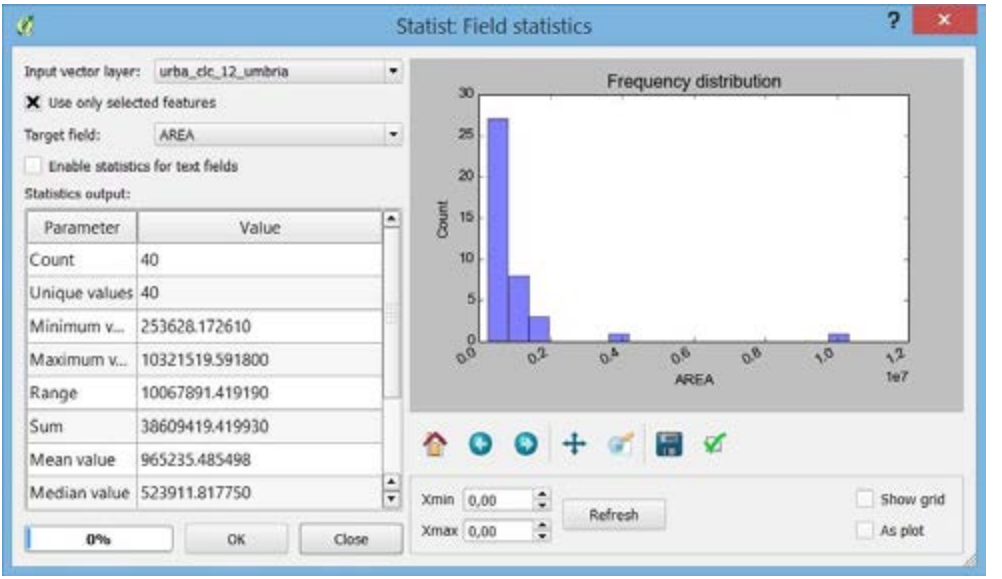


Figura 3.58 - Risultato dell'applicazione del plug-in "Statist"

In questo caso il parametro statistico di nostro interesse è la somma (3860 ha di aree urbane). Un ulteriore esempio per l'applicazione dell'operatore di interrogazione spaziale potrebbe essere quello di selezionare tutti i comuni all'interno dei quali scorre un determinato fiume. I layer utilizzati sono quelli mostrati in figura 3.59, dove è evidenziato in giallo il corso del fiume Aterno. Il nostro obiettivo è dunque quello di selezionare tutti i comuni attraversati dal corso del fiume Aterno.

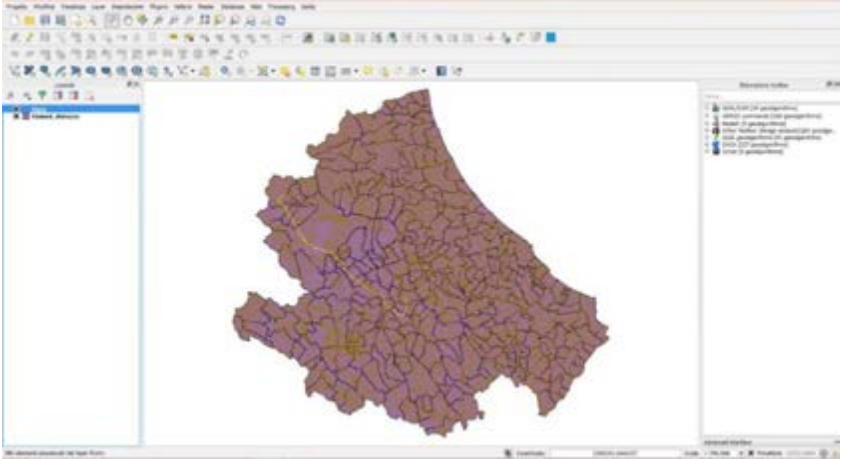
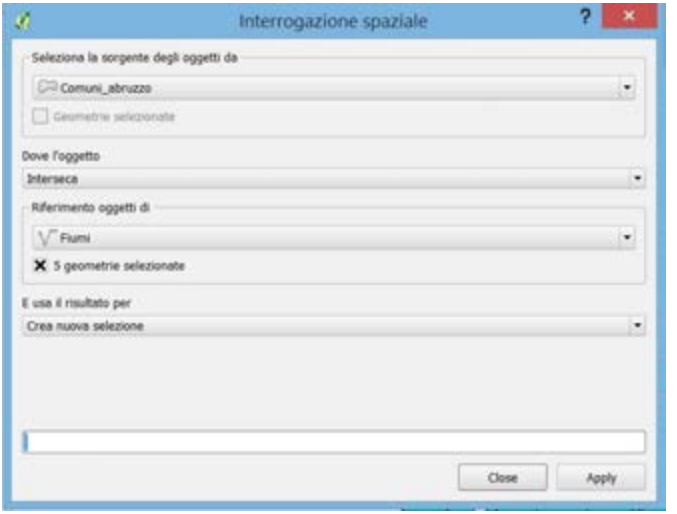


Figura 3.59 - Tracciato geografico del reticolo idrografico regionale abruzzese (in evidenza il fiume Aterno) ed i limiti amministrativi comunali.

L'applicazione dell'operatore di interrogazione spaziale dovrà essere formulato nel modo seguente:



Layer A: Comuni Abruzzo;

Operatore: Interseca;

Layer B: Fiumi

Figura 3.60- Interrogazione spaziale per selezionare i comuni attraversati dal corso del fiume Aterno.

Il risultato restituisce tutti i territori comunali attraversati dal corso del fiume Aterno i quali vengono evidenziati nella view (fig. 3.60):

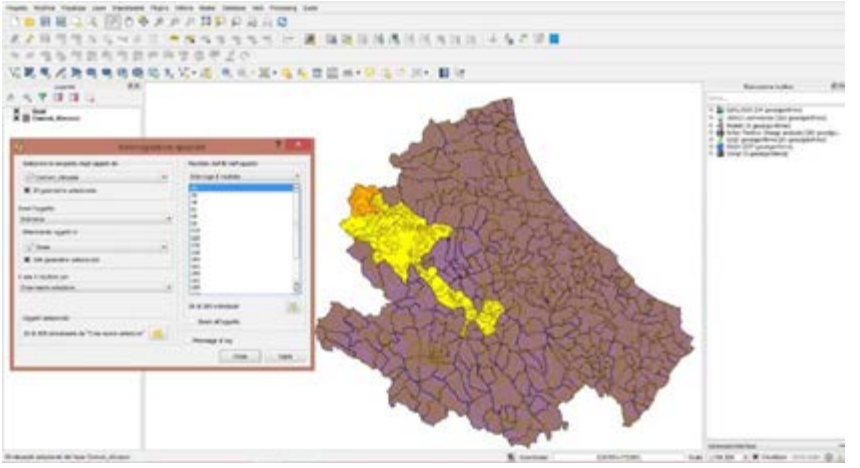


Figura 3.61 - Risultato dell'operazione di selezione spaziale.

Per conoscere i nomi dei comuni attraversati dal corso del fiume Aterno, basta aprire la tabella degli attributi del layer dei comuni e spostare i record selezionati in alto.

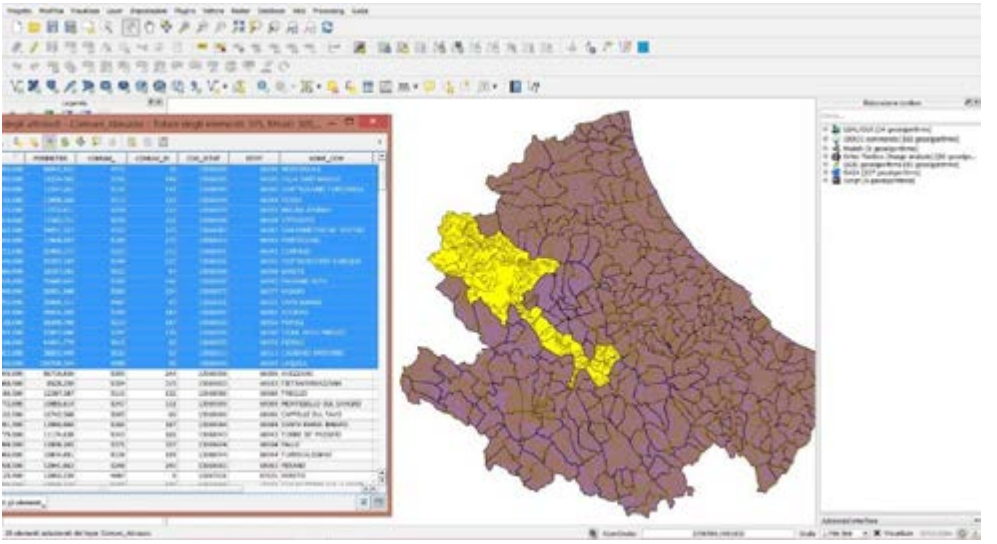


Figura 3.62 - Tabella degli attributi con la selezione evidenziata.

3.5. Inserimento dei servizi OGC nel campo di lavoro

Come è stato ampiamente descritto nel paragrafo 1.10, gli standard OGC nascono per risolvere il problema dell'interoperabilità dei dati geografici, problema derivante dai diversi linguaggi e architettura di programmazione usati nel corso degli anni per la produzione dell'informazione geografica. Gli standard WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) e WCS (Web Coverage Service) prodotti appunto dall'Open Geospatial Consortium possono essere caricati a video attraverso il software QGIS ed una connessione alla rete internet ed utilizzati per l'analisi ambientale. Questi servizi sono accessibili tramite indirizzi URL univoci per ogni particolare risorsa; essi sono contenuti all'interno di geoportali gestiti a vari livelli amministrativi dal nazionale al locale. Negli esempi che seguono utilizzeremo i servizi presenti sul geoportale nazionale (http://www.pcn.minambiente.it/GN/). Gli URL collegati ai vari servizi sono facilmente raggiungibili nella parte sinistra della pagina web nella sezione "Catalogo servizi OWS (OGC Web Services)". I servizi di tipo WMS restituiscono dinamicamente mappe di dati spazialmente georiferiti (formato jpeg, png, gif…) gestiti dal software come normali file raster sui quali però è possibile compiere solo alcune operazioni. Vediamo ora come fare ad utilizzare un servizio WMS attraverso QGIS. Una volta entrati nella sezione del geoportale nazionale dedicata ai servizi WMS scegliere, tra quelli proposti, il dato geografico da visualizzare (nell'esempio utilizzeremo la carta geolitologica d'Italia) e cliccare sulla voce URL copiando l'indirizzo relativo.

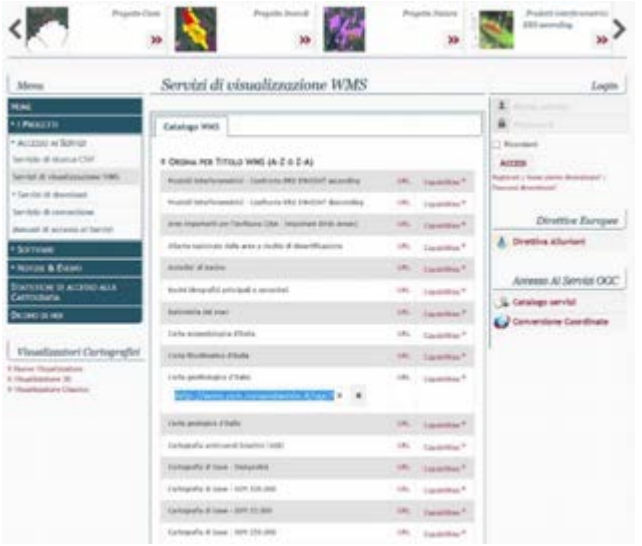


Figura 3.63 - La pagina web del geoportale nazionale dedicata ai servizi WMS con evidenziato l'URL della carta geolitologica d'Italia.

Per visualizzare con QGIS la risorsa geografica collegata a quel determinato URL, aprire il programma e selezionare il tasto "Aggiungi layer WMS" . Successivamente si aprirà una finestra come quella mostrata in figura 3.64:

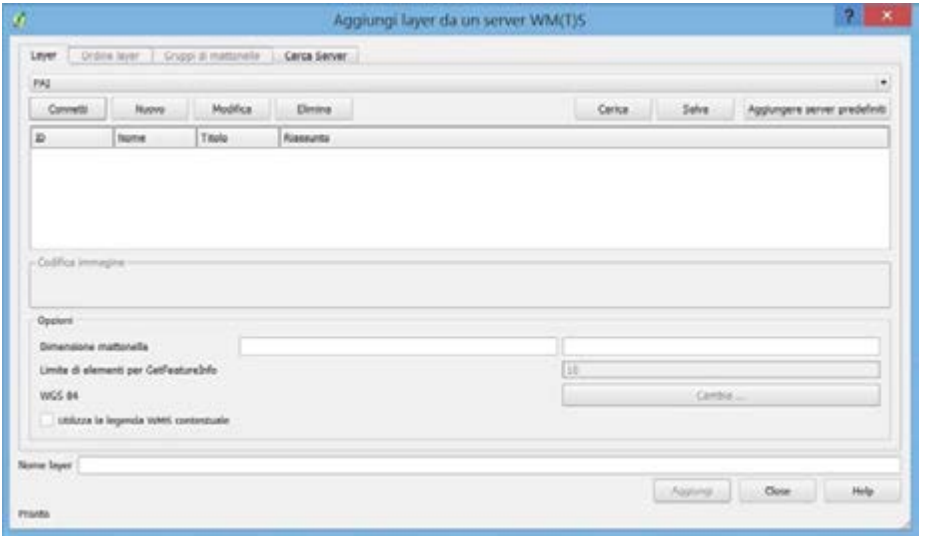


Figura 3.64 – Finestra di configurazione per l'inserimento e la gestione di un layer tramite WMS

Clicchiamo quindi sul tasto nuovo (stiamo infatti creando una nuova connessione con il server collegato a quel particolare URL) e inseriamo nel box "Nome" il nome da assegnare a quella connessione mentre la stringa copiata in precedenza va incollata nel box URL. Il click poi su "OK" crea definitivamente la connessione (fig. 3.66).

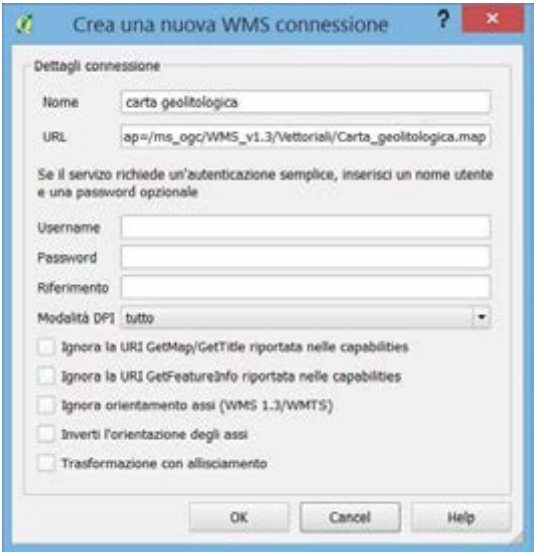


Figura 3.65 - Creazione connessione WMS.

Una volta creata la connessione il software la memorizza in modo da poterla utilizzare all'occorrenza (la connessione viene memorizzata attraverso la stringa inserita nel box nome); ogni qualvolta viene creata una nuova connessione automaticamente questa viene aggiunta nel menù a tendina delle connessioni presenti nella schermata legata all'inserimento dei servizi WMS (fig. 3.64).

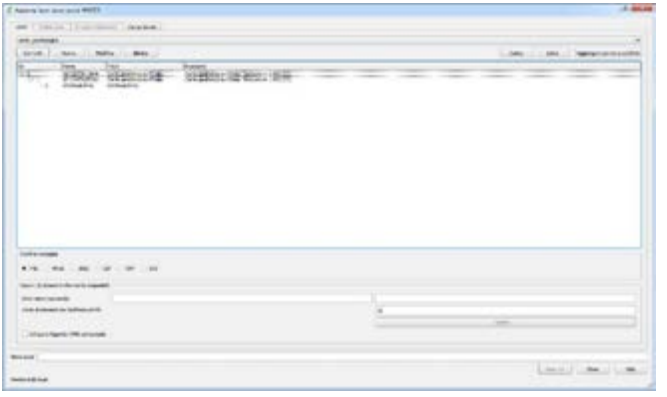


Figura 3.66 - Parametri di inserimento della risorsa WMS

In un secondo momento è anche possibile eliminare/modificare queste connessioni (tasto elimina/modifica presente nell'interfaccia di gestione delle connessioni – fig.3.64). Una volta inseriti i parametri, cliccare sul tasto "Connetti". Il nome della risorsa associata ed alcuni dei suoi parametri descrittivi compariranno nel box successivo così come mostrato in figura 3.66. Una volta selezionata la risorsa, ci sono ancora alcune operazioni da fare prima di caricarla a video: è possibile innanzitutto scegliere il formato di restituzione della stessa (png, jpeg, tif…) e in secondo luogo il sistema di riferimento (nel caso specifico la risorsa scelta è disponibile in 11 sistemi di riferimento diversi), che di default è settato come WGS84 in coordinate geografiche (EPSG: 4326). Immaginiamo di voler visualizzare questa risorsa nello stesso Datum (WGS84) ma in coordinate planimetriche nella proiezione di Mercatore con fuso di riferimento 33N (WGS84 UTM33N – EPSG:32633) per cui bisognerà clicchiamo sulla voce "Cambia…" e inseriamo poi il codice EPSG 32633 nella voce filtro nella successiva schermata del selettore del sistema di riferimento. La risorsa può essere caricata in diversi sistemi di riferimento se e solo se questa è presente sul server georeferenziata nei vari sistemi. Una volta terminata l'operazione cliccare sul tasto "Aggiungi" e la risorsa sarà caricata attraverso la rete nella view.

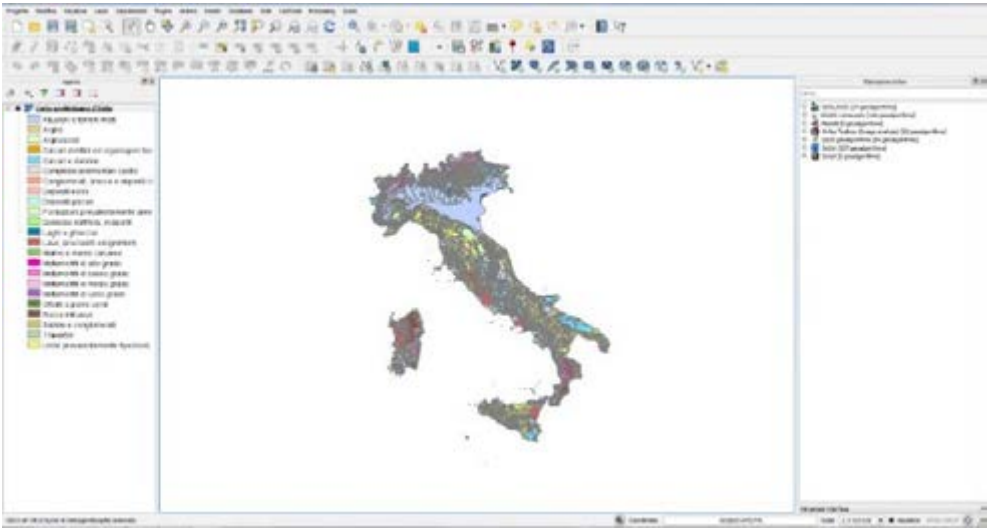


Figura 3.67 - Carta geolitologica d'Italia caricata attraverso un servizio WMS

Sono poche le operazioni che possono essere effettuate su una risorsa caricata attraverso un servizio WMS: è infatti possibile gestire la trasparenza, la luminosità il contrasto e la saturazione come anche visualizzare le informazioni relative ai metadati nell'apposita sezione delle proprietà. La legenda non può essere modificata

ed il layer non può essere scaricato in locale e gestito come un normale file raster. Resta pur sempre possibile effettuare un printscreen di una zona in particolare, salvare l'immagine ad alta risoluzione ed effettuare le operazioni di georiferimento necessarie. Possono comunque essere utilizzati come strati di base per l'allestimento di cartografie. I servizi WFS vengono caricati con lo stesso principio dei WMS, per caricare una risorsa di questo tipo a video si utilizzerà il tasto . Nell'esempio che segue utilizzeremo la stessa risorsa (Carta geolitologica d'Italia) caricata però attraverso un servizio di questa tipologia. Dalla pagina web del geoportale nazionale quindi selezioniamo l'apposita sezione dei servizi WFS e copiamo l'URL relativo alla carta geolitologica d'Italia. A questo punto apriamo il programma QGIS e cliccare sul tasto per caricare a video la risorsa. La finestra di configurazione relativa è quella mostrata nella figura seguente:

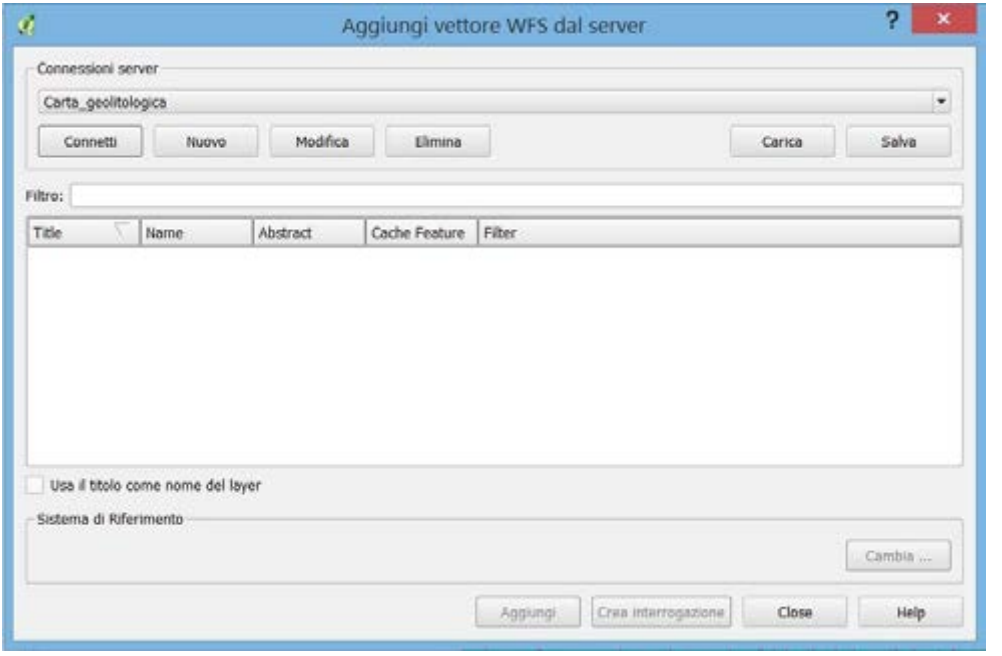


Figura 3.68 – Schermata per l'inserimento e la gestione di un layer tramite WFS

Dobbiamo quindi stabilire una nuova connessione, per cui clicchiamo sul tasto "Nuovo", ed inseriamo il nome relativo alla risorsa nell'apposito box incollando il relativo l'URL (fig. 3.69). Il nome che verrà inserito sarà quello con il quale poi il software memorizzerà la risorsa insieme anche con l'URL relativo e potrà quindi

essere utilizzato anche in altri progetti. Clicchiamo quindi su connetti e la risorsa ivi contenuta comparirà nell'apposita sezione.

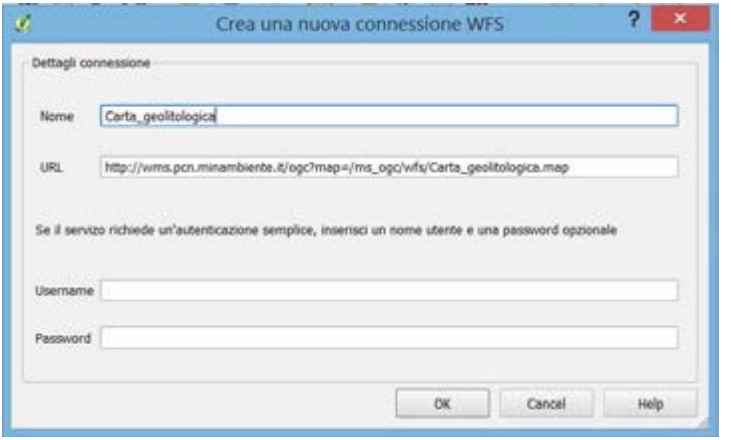


Figura 3.69 - Creazione di una nuova connessione di tipo WFS

Prima di visualizzarla è possibile ancora effettuare delle operazioni come il cambio sistema di riferimento tra quelli proposti e disponibili (opzione attivabile attraverso il tasto "Cambia"; in questo caso l'unico disponibile è il WGS84 in coordinate geografiche EPSG: 4326) o anche compiere una interrogazione in modo tale da caricare solo gli elementi di nostro interesse contenuti nella risorsa (N.B. bisogna conoscere preventivamente la struttura dell'informazione contenuta nei record in quanto il software non permette di creare in questa fase la lista di valori univoci relativi ad un campo).

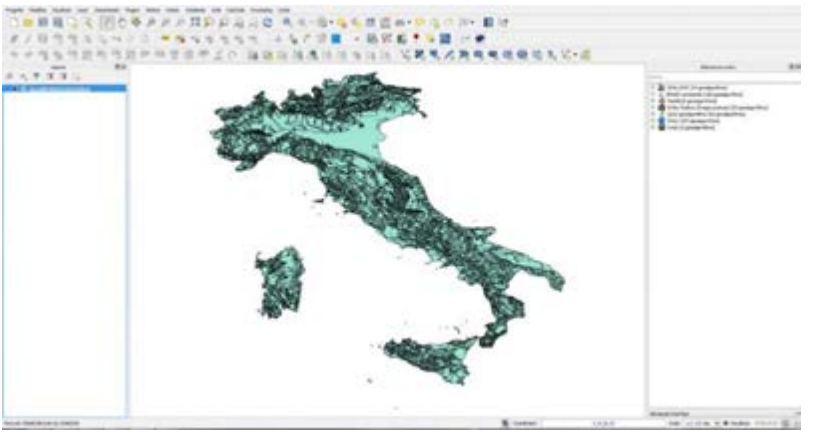


Figura 3.70 - Carta geolitologica d'Italia caricata attraverso un servizio WFS

Una volta eseguite queste operazioni clicchiamo sul tasto "Aggiungi" per caricare la risorsa nella view. Da un rapido confronto con la stessa risorsa caricata però con un servizio di tipo WMS (fig. 3.67) emergono importanti e sostanziali differenze che distinguono appunto i due servizi. Il WFS permette di caricare una risorsa di tipo vettoriale che può essere gestita dal software come un comune shapefile con tutte le proprietà ad esso annesse. E' infatti possibile utilizzare tutti i sistemi di classificazione tematica, inserire le etichette, effettuare operazioni di join ma, cosa ben più importante, è possibile effettuare il download della risorsa. Infatti cliccando con il tasto destro sulla stessa nella TOC e scegliendo la voce "Salva con nome" è possibile salvare la risorsa in locale scegliendo quindi anche il formato del file e il sistema di riferimento che può ovviamente essere diverso da quello con cui la risorsa è stata caricata. Una volta esportata, la risorsa può essere anche modificata (sia da un punto di vista spaziale sia a livello di database) ed utilizzata nei geo processi per l'analisi spaziale. Una risorsa di tipo WCS viene introdotta nella view attraverso il tasto . Il WCS restituisce i dati insieme alle loro descrizioni dettagliate permettendo inoltre la loro manipolazione e interpretazione (formato raster di tipo matrix con i relativi attributi). La finestra per la gestione e l'introduzione di risorse attraverso un WCS è riportata di seguito:

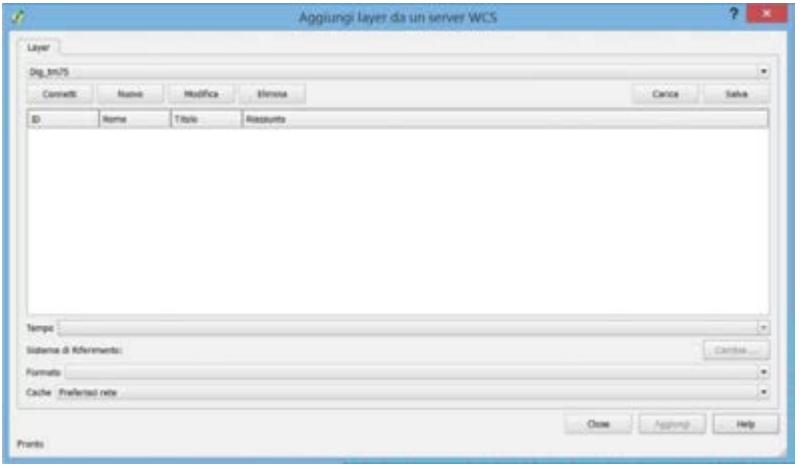


Figura 3.71 – Finestra di configurazione per l'inserimento e la gestione di un layer tramite WCS

I servizi WCS si trovano nell'apposita sezione del geoportale nazionale per cui, anche in questo caso, andrà copiato l'URL relativo alla risorsa che si intende caricare (nell'esempio di seguito riportato è stato scelto il modello digitale del terreno con risoluzione geometrica di 75m) ed incollato nell'apposito box editabile una volta che si attiva la finestra di inserimento della nuova connessione (fig.3.72).

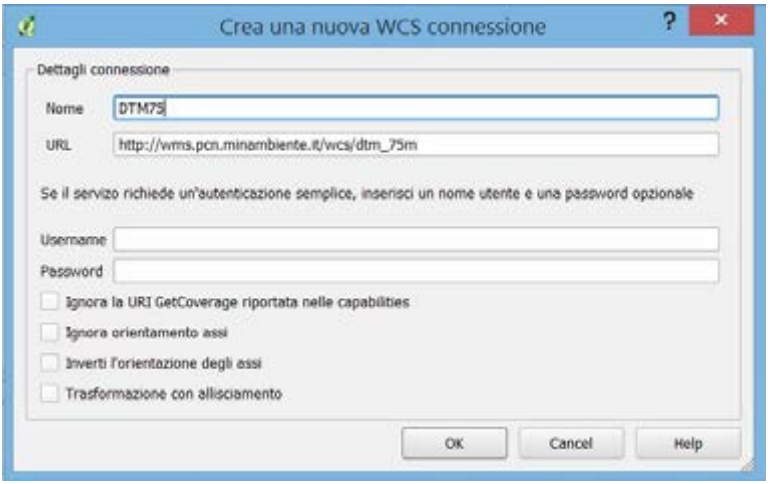


Figura 3.72 - Inserimento di una nuova connessione WCS

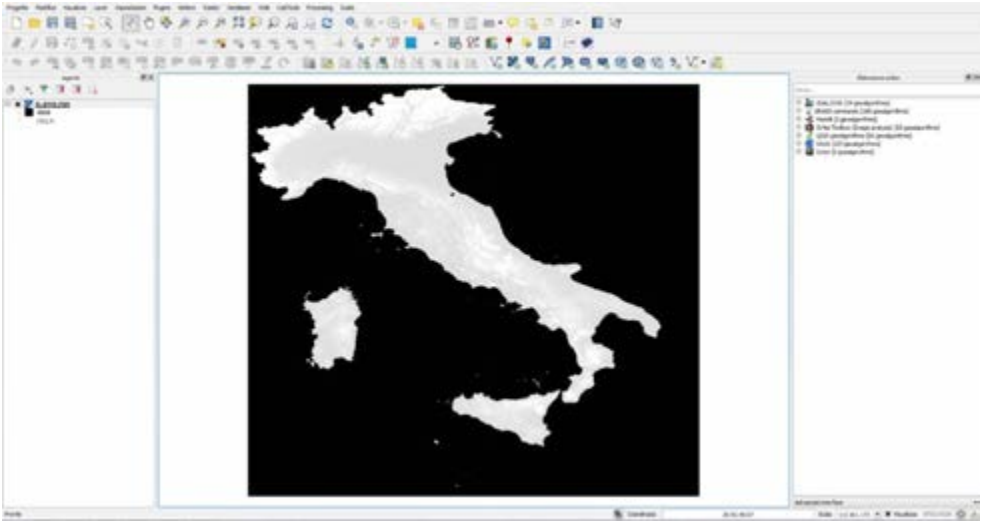


Figura 3.73 – Modello digitale del terreno (75m) caricato attraverso un servizio WCS.

Anche in questo caso la connessione viene salvata e la risorsa ad essa collegata può anche essere utilizzata in altri progetti. Se disponibile, è possibile caricare la risorsa anche in un sistema di riferimento diverso rispetto a quello proposto automaticamente dalla stessa (tasto "Cambia"). Per visualizzare la risorsa a video cliccare su "Aggiungi" ed il risultato è mostrato nella figura 3.73. L'immagine caricata è un Geotiff che può essere esportato in locale attraverso il comando "Salva

con nome" che permette di cambiare il sistema di riferimento al nuovo file e di lavorare sulle opzioni di creazione dello stesso (compressione, risoluzione…).

Figura 3.74 - Esportazione del layer da un servizio WCS

Figura 3.75 - Catalogo dei metadati del Geoportale nazionale.

Una importante sezione del portale cartografico nazionale è dedicata al "Catalogo dei metadati" accessibile cliccando sulla voce "Servizio di catalogazione" sulla homepage del sito. Da qui si accede ad una nuova pagina dove sono presenti i metadati relativi all'informazione geografica a livello nazionale. Il catalogo è

suddiviso in tipo di risorsa (Dataset, Servizi, Serie), Categoria tematica (Confini, Ambiente, Elevazione…), Tema INSPIRE (Indirizzi, Unità Amministrative…).

3.6. Modalità di rappresentazione dei dati geografici vettoriali

Aspetti molto importanti legati all'uso e alla diffusione dell'informazione geografica sono le modalità di classificazione e di rappresentazione dei dati geografici: la tematizzazione grafica e la classificazione quantitativa di un fenomeno su base territoriale risultano essere fondamentali poi nell'allestimento di layout di stampa, ed aiutano anche a comprendere in maniera più efficace le dimensioni e la dislocazione geografica del fenomeno indagato. Le operazioni di classificazione e rappresentazione (o vestizione) del dato geografico sono quindi finalizzate alla produzione di cartografia tematica. Una carta tematica è una mappa che rappresenta su base geografica un singolo evento o un fenomeno (definito tema), sia esso di natura fisica o antropica, di carattere qualitativo o quantitativo. Le carte tematiche costituiscono una base indispensabile per ogni ricerca a carattere regionale, in particolare quando si desidera conoscere gli aspetti evolutivi dei fenomeni e degli insiemi spaziali da essi originati. La classificazione del fenomeno permette appunto di coglierne l'andamento, la distribuzione e le differenze mentre la rappresentazione ci dà la possibilità di identificare, attraverso opportune campiture, il risultato dell'operazione di classificazione. Sono operazioni strettamente correlate ed in effetti sono gestite entrambe nella sezione "Stile" delle proprietà del layer (si attiva attraverso un doppio click sul layer oppure tasto destro proprietà). Naturalmente la scelta del metodo di classificazione e di quello di rappresentazione è funzione del fenomeno che si deve tematizzare: ad esempio un uso del suolo può essere tematizzato attraverso una classificazione di tipo categorizzato, mentre l'andamento dei valori di un indicatore territoriale attraverso una tematizzazione di tipo graduato. La tematizzazione grafica degli elementi degli strati informativi su base numerica è uno degli aspetti più importanti nella rappresentazione che presuppone anche conoscenze base di statistica come l'analisi della distribuzione del dato, o la sua variabilità interna. Bisogna sempre avere ben chiaro in mente che il GIS è uno strumento di supporto alle decisioni, per cui le cartografie prodotte ed utilizzate in vari ambiti (tecnico-scientifici, sanitari, ambientali…) rappresentano elementi in base ai quali vengono effettuate scelte che si traducono poi in piani, programmi, progetti con diversi effetti non solo territoriali ma anche sociali ed economici. Classificazioni diverse si traducono in rappresentazioni diverse. Per cui quello che viene trasmesso dalla mappa deve essere frutto di una analisi statistica coerente svolta dall'operatore. Vediamo ora come è strutturata la sezione "Stile" ed il suo utilizzo (fig.3.76). Il metodo di classificazione impostato di default è "Simbolo singolo", il quale assegna una simbologia unica che viene utilizzata per rappresentare tutti gli elementi del layer. E' quella con la quale vengono rappresentati gli strati informativi vettoriali quando vengono caricati nella view. Per modificare la struttura

della rappresentazione bisogna cliccare su riempimento semplice e modificare i parametri nella apposita parte a questo dedicata. Il “selettore di simbolo” gestisce le modalità di rappresentazione ed è naturalmente attivabile per ogni tipo di classificazione. In esso è possibile modificare la tipologia di riempimento, i colori utilizzati (interno e bordo), lo stile del riempimento come anche lo spessore del bordo. Il software non scala la rappresentazione dei simboli per cui se lo spessore di un bordo viene fissato a 3 mm questo resterà tale a qualunque scala sarà utilizzata per la visualizzazione a video. E’ anche possibile creare un nuovo tipo di simbolo e salvarlo per ulteriori rappresentazioni.

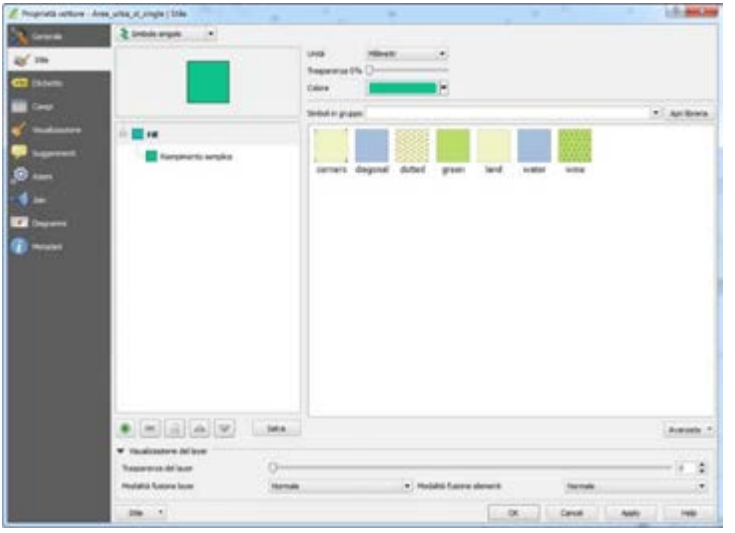


Figura 3.76 - Sezione stile delle proprietà del layer

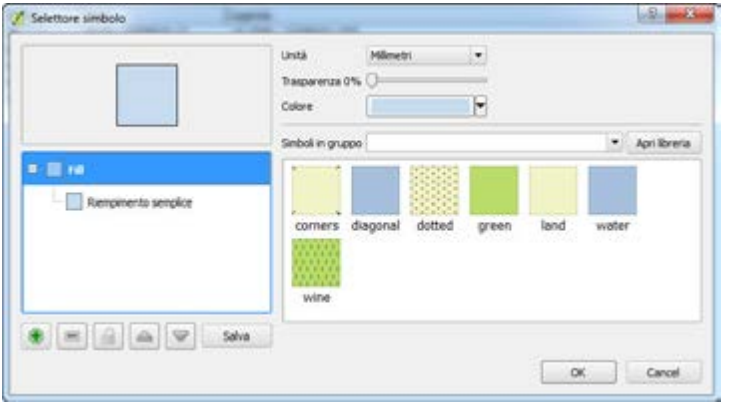


Figura 3.77 - Selettore di simbolo

La classificazione di tipo "Categorizzato" (definita da altri software come "Unique Values") assegna una campitura diversa a ciascun valore presente all'interno del campo utilizzato per la tematizzazione. E' un tipo di classificazione utilizzata per rappresentare ad esempio carte di uso del suolo, zoning di piano, layer di strade su base tipologica (comunale, provinciale, statale,…) o comunque per distinguere oggetti geografici sulla base di attributi qualitativi. Nella classificazione di tipo "categorizzato" bisogna quindi settare nel box "colonna" il campo di classificazione contenente l'informazione alfanumerica che si intende utilizzare per la tematizzazione degli elementi dello shapefile in questione. E' possibile anche effettuare una query in questa fase sul campo utilizzato che modifica poi la rappresentazione grafica del dataset. Infatti gli elementi del dataset verranno rappresentati mediante due sole campiture: quelli che soddisfano la query (indicati con il numero 1) e quelli che al contrario non la soddisfano (indicati con il numero 0). Il box "Scala di colori" permette di scegliere la colorazione da usare nella rappresentazione (questa può essere cambiata anche dopo ed anche per ogni singola categoria). Per procedere con la classificazione bisogna cliccare sul tasto "Classifica".

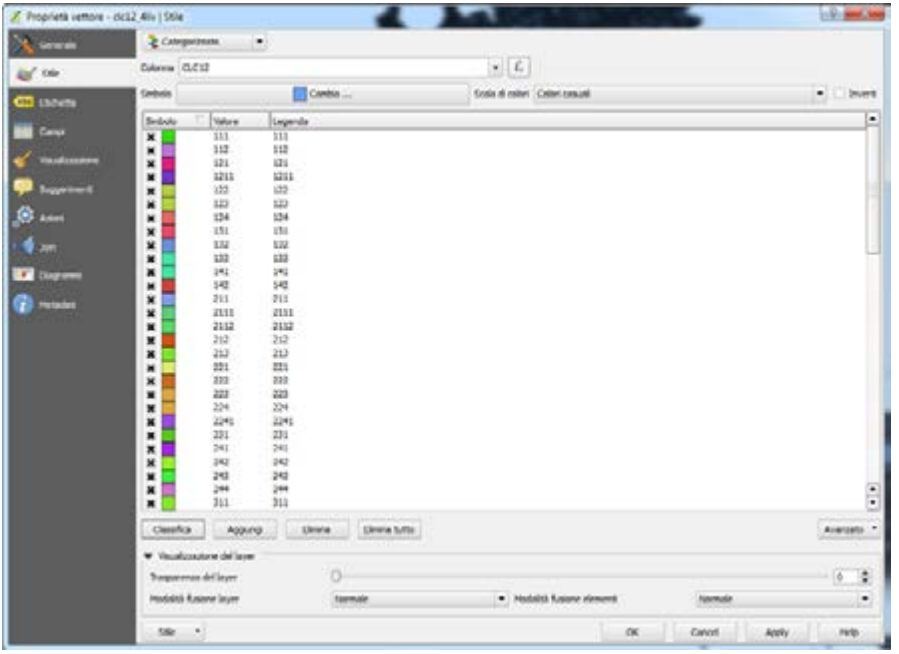


Figura 3.78 - La classificazione di tipo "categorizzato" con QGIS

Come si vede dalla figura in alto, il box contenente la classificazione è articolato in 3 parti: simbolo, valore, legenda. La sezione "simbolo" permette di

attivare/disattivare in fase di rappresentazione una o più categorie inoltre con un doppio click sul simbolo del colore si attiva il "selettore di simbolo" (fig. 3.77). Nella sezione "valore" vengono riportati i valori univoci reali presenti all'interno del campo come anche nella sezione "legenda" che può però essere modificata in funzione dei valori che si vogliono utilizzare per quella categoria nella legenda della mappa (etichette). In questo caso basta effettuare un doppio click sulla relativa voce nella sezione "legenda" e inserire la stringa alfanumerica. Questa modifica viene riportata immediatamente nella classificazione nella tabella dei contenuti (fig. 3.79).

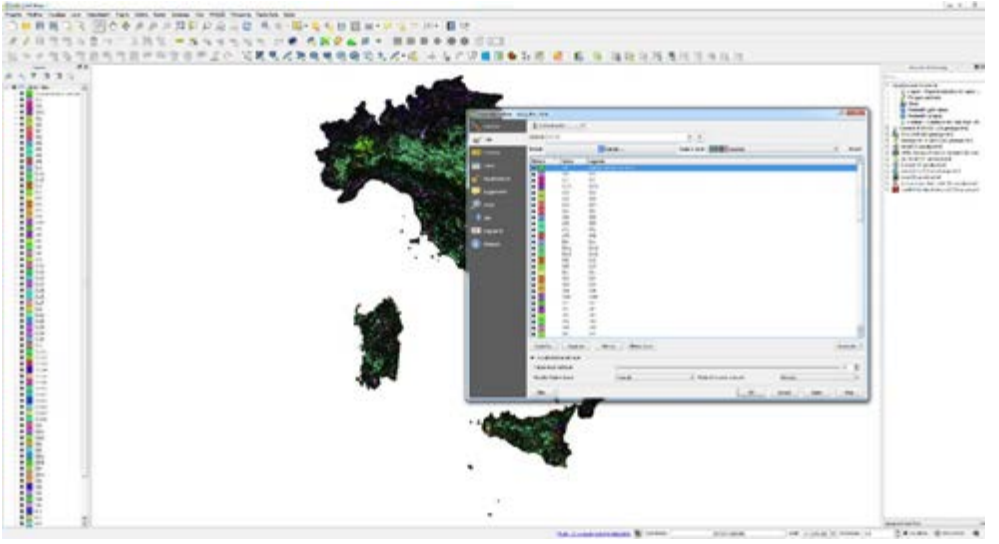


Figura 3.79 - Modifica della voce in legenda relativamente una categoria.

La classificazione viene ordinata alfabeticamente ma è sempre possibile modificare l'ordine spostando una voce sull'altra. E' possibile inoltre escludere dei valori semplicemente selezionandoli e cliccando poi sul tasto "Elimina". Tutti i record che non hanno un attributo relativamente al campo utilizzato per la classificazione, vengono rappresentati con una simbologia identica alle precedenti priva naturalmente di informazione per le sezioni "Valori" e "Legenda". Un problema che capita piuttosto di frequente è quello relativo allo spessore della linea del bordo presente per ogni categoria. Una soluzione è quella di accertarsi che non sia selezionata alcuna categoria, cliccare sulla voce "Cambia" (selettore di simbolo che opera su tutte le categorie presenti) e togliere la linea di bordo, il risultato è totalmente differente (Fig. 3.81). Una ulteriore tipologia di classificazione è quella per range di valori che QGIS definisce "Graduato". Questo tipo di classificazione è utilizzata maggiormente per la rappresentazioni di indici territoriali che appunto richiedono una classificazione per intervalli (attributi di tipo quantitativo). Anche in

questo caso andrà selezionato nell'apposito box "Colonna" il campo che contiene i valori da utilizzare per la classificazione (può essere effettuata una query, il risultato è lo stesso di quello indicato per la classificazione di tipo "categorizzato") mentre successivamente andranno indicati il numero di intervalli da utilizzare, il numero di cifre decimali da inserire ("Precisione") la scala di colori ed il metodo da utilizzare per definire i valori degli estremi delle varie classi.

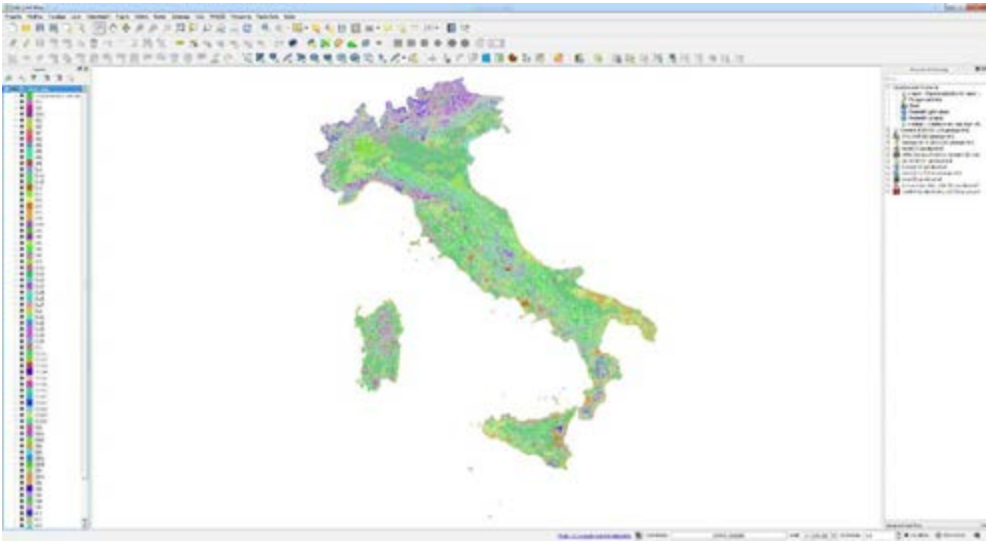


Figura 3.80 - Modifica della linea di bordo delle varie categorie di rappresentazione.

In particolare il software mette a disposizione vari metodi di classificazione, utilizzati anche in altri applicativi GIS:

- **Intervallo uguale:** suddivide i valori in range uguali;
- **Quantile:** crea delle classi che hanno uno stesso numero di elementi;
- **Deviazione Standard:** effettua una classificazione in funzione della deviazione standard rilevata per i valori del campo. Rappresenta quindi un indicatore di quanto i valori contenuti nella colonna distano dal valore medio.
- **Natural breaks:** la classificazione Natural Breaks si basa sul metodo di ottimizzazione di Jenks, che effettua una classificazione ottimale per intervalli tale che la somma delle varianze dei valori del campo per le singole classi risulti minima. Le classi risultanti saranno tali che ci sarà una varianza massima tra le singole classi e una minima varianza all'interno di ciascuna classe.

- **Pretty breaks:** metodo basato sull'applicazione di un pacchetto statistico chiamato R's pretty algorithm. La suddivisione dei gruppi avviene con valori progressivi secondo un andamento di tipo esponenziale.

Oltre ai metodi indicati in precedenza abbiamo sempre la possibilità di poter modificare secondo i propri fini gli intervalli che definiscono le classi. In tal senso basta effettuare un doppio click sull'intervallo da modificare nella sezione valori e impostare l'estremo inferiore e superiore dello stesso. E' opportuno togliere la spunta sulla voce "collega i confini delle classi". Mentre le voci vengono modificate nella sezione "Valori", quelle nella sezione "Legenda" non vengono aggiornate automaticamente per cui andrà opportunamente inserita la relativa stringa da utilizzare poi anche nella legenda (fig.3.81). Le impostazioni utilizzate per la rappresentazione del dato geografico possono essere salvate in un file di vestizione la cui estensione è .qml. Dalla sezione "Stile" delle proprietà del layer, andrà innanzitutto effettuata la classificazione attraverso uno dei modi precedentemente illustrati, il tasto "salva stile" in basso a destra permette di esportare lo stile utilizzato selezionando la voce "File di stile QGIS del vettore" settando contestualmente nome e percorso dove sarà archiviato il nuovo file. Una volta salvato è possibile utilizzare questo file nello stesso o in altri progetti caricandolo sempre dalla sezione "Stile" delle proprietà del layer attraverso il tasto "Carica stile".

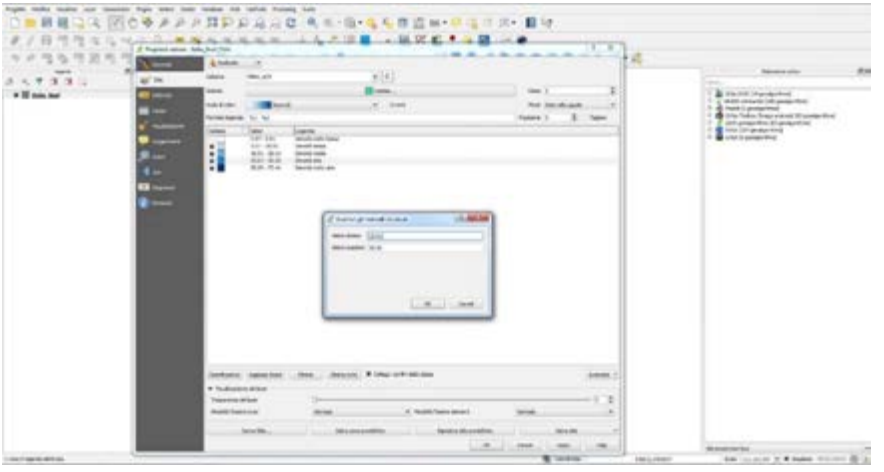


Figura 3.81 - Modifica manuale degli intervalli di classificazione.

Va da sé che ognuno di questi file è associato ad un determinato strato informativo in quanto, naturalmente, per la classificazione utilizza l'informazione alfanumerica contenuta in uno specifico campo del layer da cui deriva. E' consigliabile salvare quindi il file con un nome che ricordi il tipo di impostazioni utilizzate per la

definizione della classificazione in quanto per uno stesso strato possono essere utilizzate più vestizioni. Inoltre il software permette di trasferire lo stile utilizzato per un layer ad un altro presente all'interno dello stesso progetto di QGIS (tasto dx sul layer di origine – "Stili - Copia lo stile" tasto dx sul layer di destinazione "Stili - Incolla lo stile"). Come abbiamo visto, la classificazione degli elementi di uno shapefile avviene sulla base del valore dell'attributo riportato all'interno del campo scelto per cui per applicare questo comando il layer di destinazione deve contenere lo stesso campo di database utilizzato per la classificazione. Per garantire l'interoperabilità degli stili tra i vari software GIS open source, il già citato OGC (Open Geospatial Consortium) ha prodotto in XML il file .sld (Styled Layer Descriptor) già ampiamente utilizzato. Il file .qlr invece permette di archiviare sia lo stile che il percorso del file (tasto dx sul layer – "Salva come file di definizione del layer") ed è l'omologo del file .lyr dei software GIS proprietari. L'utilizzo degli stili è fondamentale per classificazioni standardizzate o a seguito di specifiche definite da enti o committenti per particolari elaborazioni (ad esempio carte di uso del suolo). Altri metodi di classificazione messi a disposizione del software sono:

- **Tramite regole:** gli elementi del layer vengono rappresentati con una simbologia univoca per ogni regola imposta e soddisfatta. Le regole vengono gestite attraverso il "Costruttore di stringhe espressione" praticamente identico al "Seleziona elementi con una espressione".
- **Spostamento punto:** si applica a layer di punti e applica una classificazione su punti anche sovrapposti i quali vengono posizionati lungo un cerchio intorno ad una posizione condivisa.
- **Poligoni invertiti:** permette di definire simboli per campire le aree al di fuori degli elementi poligonali dello shapefile.

Naturalmente il tipo di classificazione da utilizzare deve essere sempre scelto in base al tipo di informazione geografica da rappresentare: uno zoning di piano andrà rappresentato ad esempio con una classificazione di tipo "Categorizzato" come anche ad esempio uno strato di copertura del suolo mentre qualora si voglia classificare e rappresentare la variazione di un indice territoriale per un ambito definito si utilizzerà il tipo "Graduato". Esiste anche la possibilità di elaborare dei diagrammi da inserire negli elementi di uno shapefile al fine di rappresentare un particolare tipo di informazione contenuta nel suo database. Nelle sezione "Diagrammi" delle proprietà del vettore bisogna spuntare la voce "Visualizza diagrammi" e scegliere tra le alternative proposte il diagramma da utilizzare (grafico a torta, diagramma di testo oppure istogramma). Andrà quindi selezionato nel box "attributi disponibili" il/i campi tabellari da utilizzare per la creazione del diagramma e, attraverso il tasto di aggiunta, inserirli nel box "attributi selezionati". Tramite i

vari sottomenù è possibile modificare aspetto, dimensione e posizione del diagramma appena elaborato.

3.7. Modalità di rappresentazione dei dati geografici raster

Nel primo capitolo abbiamo visto come fondamentalmente i dati geografici in formato raster sono sostanzialmente di 3 tipologie distinte (Raster graphic, raster image e grid) ognuna delle quali ha una diversa origine e generalmente anche un diverso utilizzo. Il numero di bande (e di bit) rappresentano un parametro importante nella definizione di un raster che incide sia sulla risoluzione tematica del raster stesso che sulle dimensioni su disco del file. Le immagini a banda singola possono essere a 1 bit (2 valori – bianco e nero) o a 8 bit (256 valori - solitamente in scala di grigio) vengono spesso utilizzate per scansioni di documenti di natura cartografica, mentre le immagini multibanda possono essere le classiche immagini RGB o le immagini multispettrali di derivazione satellitare. I metodi di classificazione dell'immagine messi a disposizione dal software vanno applicati tenendo conto appunto delle caratteristiche del raster di partenza. Il metodo "Colori banda multipla" permette tutta una serie di classificazioni del raster basate sulla composizione delle bande che compongono l'immagine stessa. Questo metodo quindi permette di scegliere quali bande utilizzare e in che ordine; per la visualizzazione con i colori reali dell'immagine si utilizza la combinazione delle bande 1 (rosso), 2 (verde) e 3 (blu) (Composizione RGB) ma è anche possibile scegliere altre combinazioni altre bande (qualora disponibili per l'immagine) per ottenere diverse visualizzazioni. E' possibile scegliere di visualizzare anche solo una banda o anche una combinazione di due di queste. E' un metodo di classificazione che viene correntemente utilizzato per la classificazione di immagini da satellite o anche per le ortofoto (fig. 3.82).

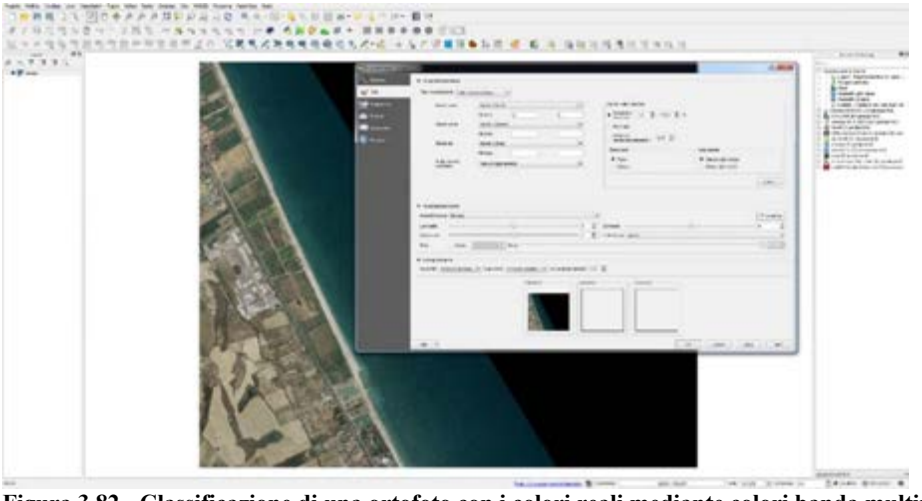


Figura 3.82 - Classificazione di una ortofoto con i colori reali mediante colori banda multipla.

Alcuni parametri dell’immagine possono essere ulteriormente migliorati attraverso particolari strumenti presenti nella pagina “Stile” (ciò vale naturalmente anche per gli altri metodi di classificazione). In sostanza mentre per i layer vettoriali la classificazione degli elementi è funzione dell’informazione alfanumerica contenuta nel database associato, per i layer in formato raster la classificazione avviene attraverso il valore associato a ciascun pixel. Il metodo di classificazione “Tavolozza” può essere utilizzato per la classificazione di immagini ad 1 bit (immagini in bianco e nero – 0 e 1). Infatti quando immagini raster costituite da una banda con risoluzione tematica ad 1 bit vengono caricate nella view, il software automaticamente utilizza questo tipo di classificazione per la rappresentazione. Di norma sono delle immagini cartografiche derivanti da scansioni, dove il tratto viene rappresentato dal colore nero (1) e le parti vuote invece con il bianco (0). Questa colorazione può essere naturalmente modificata intervenendo direttamente sulla simbologia attraverso il “selettore di simbolo” (non è possibile però intervenire sul bordo del pixel che costituisce l’immagine). Un'altra modalità di classificazione è rappresentata da “Banda singola grigia” dove le immagini raster vengono classificate sulla base dei valori dei pixel contenuti all’interno di una banda (visualizzazione in scala di grigio – 256 livelli di grigio 0=bianco, 127=grigio medio, 255=nero). E’ possibile migliorare anche la qualità dell’immagine modificando i parametri relativi al contrasto (stiramento e taglio).

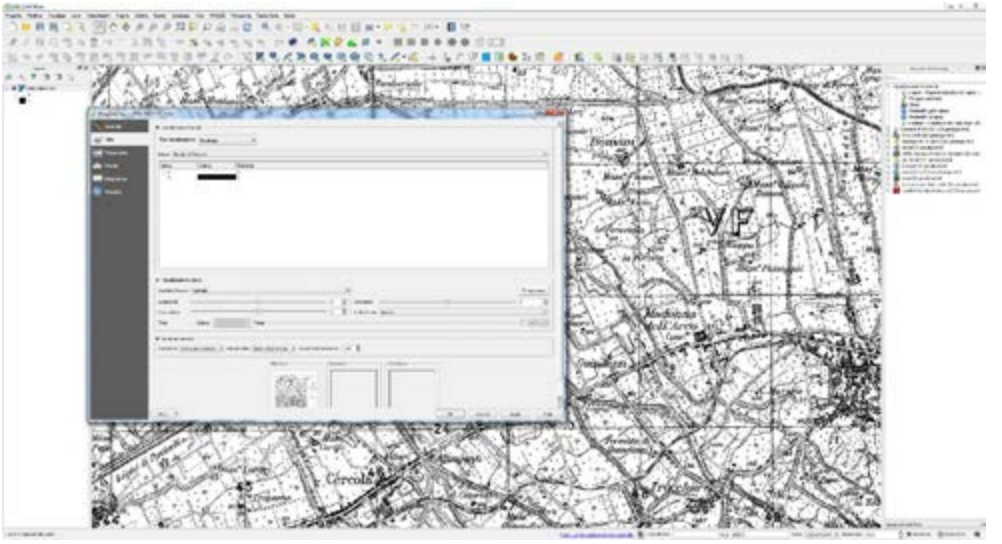


Figura 3.83 - Classificazione di una scansione di una mappa IGM mediante classificazione "Tavolozza".

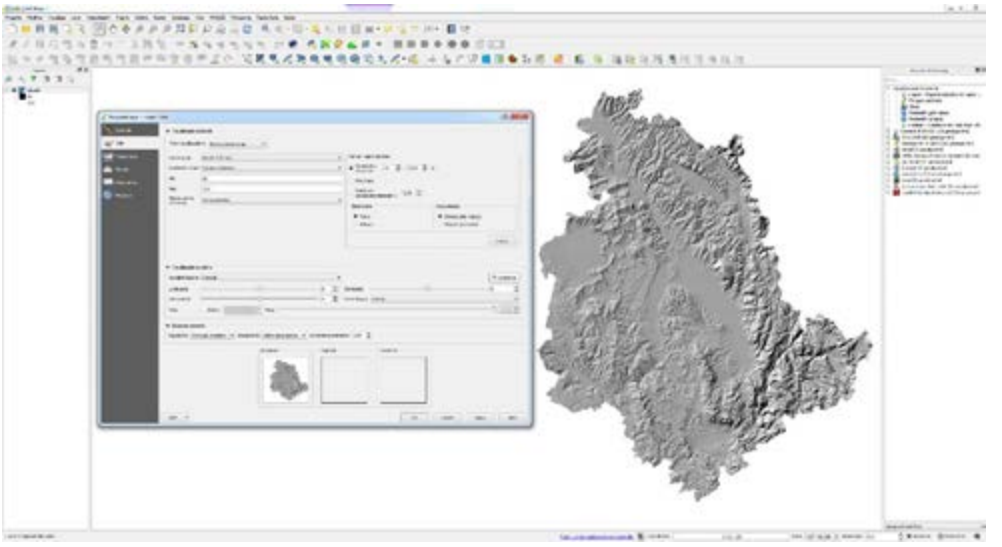


Figura 3.84- Classificazione di un raster di ombreggiatura (Hillshade) mediante classificazione "Banda singola grigia".

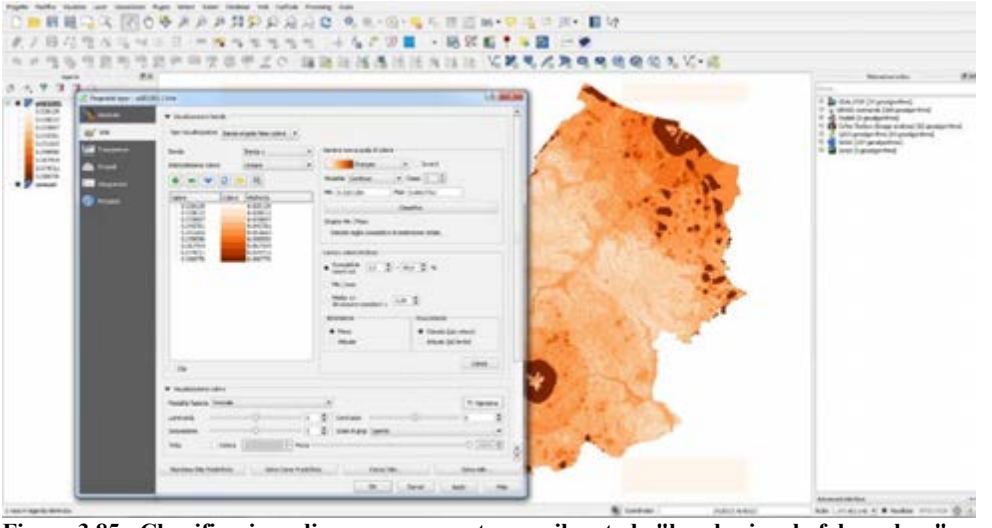


Figura 3.85 - Classificazione di una mappa raster con il metodo "banda singola falso colore"

La classificazione "Banda singola falso colore" classifica i layer raster raggruppando i valori in classi su una scala ordinale o anche attraverso una rappresentazione di tipo continuo. E' un metodo di classificazione utilizzabile solo su dati numerici non su stringhe di testo. Può essere utilizzata per classificare immagini che contengono informazioni gestibili su scale ordinali (ad esempio indici territoriali) o anche

informazioni che variano in maniera continua sul territorio come ad esempio altimetria, pendenza ed esposizione dei versanti. Selezionando la modalità "intervallo uguale" è possibile classificare il raster per intervalli di valori (è paragonabile alla classificazione "Graduato" utilizzata per layer vettoriali) dei quali poi è possibile selezionare i relativi range da utilizzare. L'intervallo cromatico utilizzato può anche essere invertito spuntando la relativa opzione "Inverti", inoltre è possibile scegliere anche la modalità di interpolazione del colore tra discreto, lineare ed esatto. Tra le proprietà del raster è possibile gestire anche la trasparenza per ogni singola banda che costituisce l'immagine settando un opportuna percentuale. Nella sezione piramidi del raster è possibile creare delle copie a bassa risoluzione (definite piramidi) che servono a velocizzare la navigazione in quanto QGIS sceglierà la risoluzione migliore in dipendenza del fattore di zoom. L'operazione genera un file .ovr (omologo del file .rrd) associato al raster di partenza. Per costruire piramidi bisogna avere l'accesso in scrittura sulla cartella dove sono memorizzati i file di origine; in tal caso conviene comunque lavorare su una copia del file in quanto la creazione delle piramidi può modificare il file originale. La sezione denominata "istogramma" fornisce l'andamento della frequenza dei valori riportati nel pixel in funzione della/e banda/e relative all'immagine al quale si riferisce.

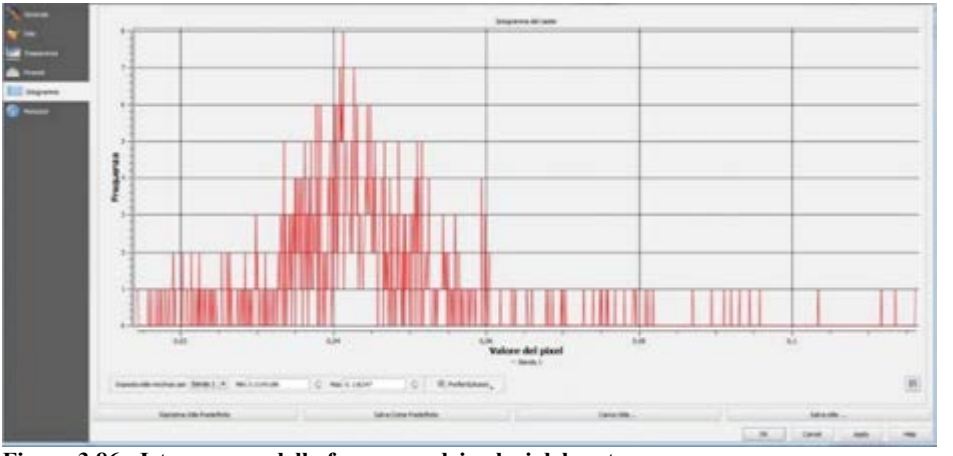


Figura 3.86 - Istogramma della frequenza dei valori del raster.

3.8. Layout e composizione di stampe

Abbiamo visto come uno degli output di un sistema informativo territoriale è rappresentato dalla produzione di cartografia tematica che viene poi salvata su file (immagine o anche pdf) o anche stampata su carta per l'utilizzo/divulgazione. Le cartografia tematica rappresenta un elemento centrale per la gestione del territorio e per la comprensione dei fenomeni (fisici, antropici, naturali, economici, sociali) che agiscono su di esso. La cartografia tematica non è quindi solo un elemento conoscitivo del territorio ma anche fulcro attorno al quale impostare i processi di progettazione e pianificazione territoriale (Cetraro, 2015; Salerno, 2014). Costituisce inoltre uno strumento fondamentale nel campo delle valutazioni ambientali (VIA, VAS e VIncA) dove rappresenta un elemento chiave per valutare l'impatto di piani, programmi e progetti sull'ambiente oltre che per la realizzazione di possibili scenari. Le carte tematiche permettono infatti delle valutazioni di tipo statistiche, qualitative e quantitative che aiutano a comprendere l'andamento di un determinato fenomeno (tema) su un dato territorio. Sono innumerevoli gli elaborati che possono così essere prodotti in quanto esiste una vasta gamma di temi che possono essere rappresentati unitamente alle scale di rappresentazione utilizzate ed alla porzione di territorio alla quale si riferiscono. Abbiamo quindi cartografie che riguardano gli aspetti naturali del territorio (carte morfologiche, carte geologiche, carte vegetazionali, carte idrogeologiche, carta dei suoli, ecc…), altre che riguardano espressamente gli aspetti antropici (carte di uso del suolo, carte di urbanizzazione del territorio, ecc…) o anche economici (carte della distribuzione del reddito, carte relativa alla spesa procapite per servizi sostenuta dai comuni, ecc….), possono quindi riguardare parametri rintracciabili direttamente sul terreno o anche essere il risultato di elaborazioni di parametri di base per scopi diversi. E' di fondamentale importanza quindi conoscere tutte le fasi dell'allestimento di un layout di stampa e degli strumenti applicabili in esso, visto il ruolo che questo prodotto ricopre nei vari processi di gestione/valutazione territoriale. Il software naturalmente ha una apposita sezione per la creazione/gestione di layout di stampa. Il tasto ("Nuova composizione di stampa") permette appunto la creazione di un nuovo layout di stampa nel quale andranno poi inseriti i vari elementi descrittivi. All'interno dello stesso progetto GIS è naturalmente possibile gestire contemporaneamente layout diversi, i quali possono essere poi modificati/rinominati/eliminati o anche utilizzati come modelli per altri progetti. Questo tipo di operazioni sono gestite attraverso il comando "Gestore di stampe" . Una volta cliccato sul tasto e indicato il nome con il quale verrà gestito il nuovo layout, si aprirà una nuova interfaccia come quella mostrata in figura 3.87.

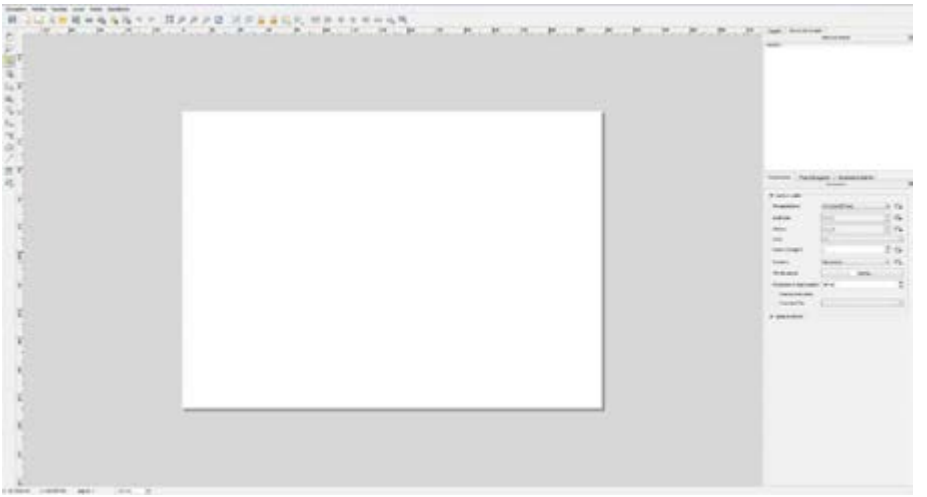


Figura 3.87 - Interfaccia del layout di stampa.

La pulsantiera in alto è personalizzabile attraverso un semplice click con il tasto destro sulla parte grigia attivando/disattivando le toolbar di interesse. Ulteriori comandi sono contenuti all’interno dei vari menù a tendina presenti. Un layout è costituito da una serie di oggetti (mappa, scala grafica, legenda…) ognuno dei quali viene introdotto/gestito attraverso i comandi presenti nella toolbar “Oggetti del compositore”. In dettaglio:

Scegli/sposta oggetto: Permette di selezionare un oggetto e muoverlo all’interno del layout di stampa;

Sposta contenuto elemento: permette di spostare l’oggetto all’interno della sua cornice;

Aggiungi mappa: serve ad aggiungere una mappa al layout. Aggiunge il/i layer attivi nella view ed appartenenti ad uno specifico frame. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio.

Aggiungi immagine: permette di aggiungere una immagine al layout. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio ed indicare il percorso del file.

Aggiungi etichetta: serve ad inserire un testo. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio.

Aggiungi legenda: permette di inserire una legenda nel layout. Aggiunge la legenda collegata al/ai layer attivi nella view appartenenti ad uno specifico frame. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio.

Aggiungi nuova barra di scala: permette di inserire una scala grafica. Questa è collegata con la scala di rappresentazione dei layer alla quale si riferisce ed è dinamica (nel momento in cui viene modificata la scala di rappresentazione, automaticamente variano le unità che la costituiscono).

Aggiungi forma: serve ad aggiungere un ellisse/triangolo/rettangolo nel layout. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio.

Aggiungi freccia: permette di aggiungere una freccia al layout. Per inserirla, disegnare un riquadro sul foglio.

Aggiungi tabella degli attributi: permette di aggiungere la tabella degli attributi di uno dei layer presenti sulla view.

Altre funzioni utili nella fase di composizione e di allestimento di mappe si trovano all'interno delle toolbar "Compositore" e "Orientazione della pagina":

Stampa: abilita la stampa della mappa, da utilizzare per la stampa cartacea (o anche per la creazione di un pdf attraverso stampanti virtuali precedentemente installate).

Esporta come immagine: permette di esportare il layout in formato immagine (.jpeg, .png, .tif,…);

Esporta come SVG: permette di esportare il layout in formato SVG (Scalable Vector Graphics) un formato in grado di visualizzare oggetti di grafica vettoriale e, pertanto, di gestire immagini scalabili dimensionalmente.

Esporta come PDF: permette di esportare il layout in formato pdf.

Annulla/ripristina ultimo cambiamento: permettono di annullare/ripristinare i cambiamenti effettuati in fase di allestimento del layout;

La pulsantiera contenuta nella toolbar "Orientazione della pagina" permette di effettuare degli zoom completi , ingrandimenti , rimpicciolimenti o zoom al 100% sulla pagina che contiene gli elementi del layout in altre parole non agiscono sulla scala di rappresentazione con la quale la mappa viene inserita nel layout. La view ed il layout sono tra loro collegati, ciò vuol dire che in fase di inserimento di una mappa nel layout verrà visualizzato tutto ciò che è attivo in quel momento. Se vengono effettuate delle successive modifiche sugli strati informativi o anche modifiche di parametri della view (es: cambio di scala di visualizzazione, modifica del colore di fondo…) o nell'ordine di visualizzazione degli strati nella TOC queste non vengono automaticamente riportate nel layout ma è possibile aggiornarlo utilizzando il tasto (Aggiorna).

Nella parte destra dell'interfaccia di composizione del layout di stampa di default è inserito anche lo storico dei comandi, una sezione dove vengono mostrati tutti i comandi eseguiti in fase di allestimento del layout. E' quindi possibile tornare su una particolare fase di allestimento del layout eliminando poi tutte quelle effettuate di seguito a quella prescelta. Ogni elemento inserito all'interno del layout ha delle proprietà che riguardano la posizione e la dimensione, le modalità di visualizzazione e altre che possono essere modificate in qualsiasi momento selezionando l'elemento relativo e la sezione poi delle "proprietà dell'oggetto" contenuta nella parte destra dell'interfaccia di composizione. Vediamo ora, anche attraverso esempi pratici, quali sono le operazioni da compiere per elaborare un layout di stampa sia con singolo frame (o gruppo) sia con due o più frame. Prima di aprire il compositore di stampe è preferibile che la mappa sia già allestita nella sua forma finale nella view (modalità di rappresentazione degli elementi, scala di visualizzazione, ordine degli strati nella TOC, visualizzazione delle etichette) in modo poi da inserirla in questa forma come oggetto nel layout. E' comunque sempre possibile effettuare delle modifiche anche successivamente l'inserimento nel layout e aggiornare poi lo stesso. Nell'esempio che segue è riportata la mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali dei comuni appartenenti al Parco Regionale del Monte Subasio in Umbria. Nella view sono stati quindi inseriti due layer in formato vettoriale (Comuni parchi e mosaicatura PRG Subasio) e come strato raster si è scelto di utilizzare l'immagine satellitare fornita da Google e integrata in QGIS attraverso il plug-in "Open layer plug-in" (scaricabile da "Plugins – gestisci ed installa plug-in"), che permette di visualizzare liberamente una serie di strati informativi messi a disposizione da Google, OpenStreet Map, Bing o

Apple. Abbiamo visto nei precedenti paragrafi come, nel momento in cui vengono caricati dei layer con un proprio sistema di riferimento (file .prj o .qpj), la view assume automaticamente quel SR (in questo caso si tratta di un WGS84 UTM33N EPSG:32633) come mostrato in basso a destra nella figura 3.88.

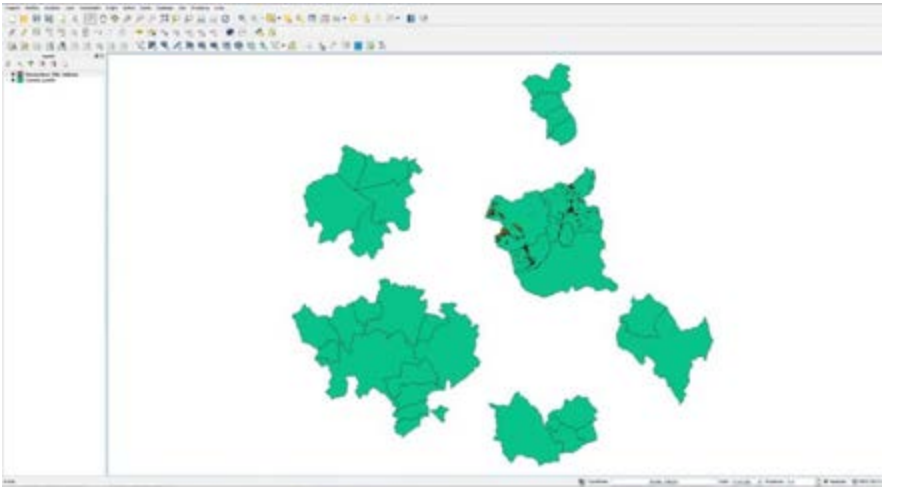


Figura 3.88 - Inserimento dati nel campo di lavoro.

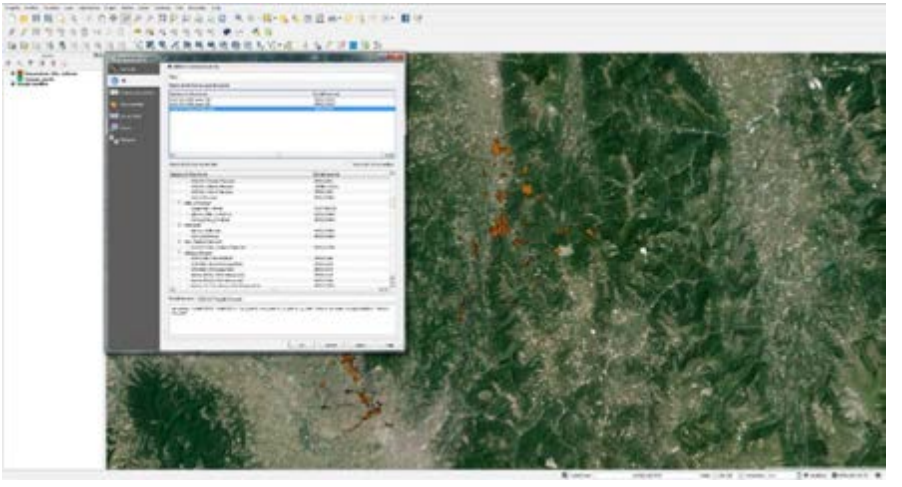


Figura 3.89 - Inserimento della mappa da satellite di Google con cambio del Sistema di proiezione (EPSG:3857).

Quando però viene caricato uno strato informativo utilizzando l'Open Layer plug-in (una volta installato è utilizzabile dal menù "web – open layer plug-in") il sistema di

riferimento della view cambia automaticamente nella proiezione EPSG: 3857 (WGS84 Pseudo – Mercatore a volte indicata anche con il codice EPSG: 900913) (fig.3.88). Questa è appunto una "Pseudo-Mercatore" utilizzata spesso per il web mapping di dati di questa natura (gestiti attraverso i tiles) e non è riconosciuto come sistema geodetico (come indicato nel sito http://spatialreference.org/ref/sr-org/6864/); inoltre, sempre sullo stesso sito viene descritto come una proiezione del genere può comportare errori di posizione anche di 800 metri in quanto il fattore di scala cambia lungo le varie direzioni. Da questi presupposti si deduce che non è possibile digitalizzare elementi geografici utilizzando questa base raster che invece può essere utilizzata come strato di sfondo per la produzione di mappe tematiche. La mappa tematica che verrà elaborata conterrà quindi l'immagine da satellite di Google come base raster, i limiti amministrativi dei comuni e la mosaicatura dei vari piani classificati secondo le categorie di zoning sensu DM 1444/1968 (informazione questa riportata all'interno del database). L'ordine con cui i layer si trovano nella TOC incide naturalmente sulla loro visualizzazione nella view e di conseguenza nel layout. Appunto per questo la mappa raster andrà spostata in basso mentre il layer relativo alle previsioni urbanistiche del Parco regionale del Monte Subasio andrà posizionato in alto rispetto allo strato informativo dei limiti amministrativi dei comuni del Parco. E' quindi utile effettuare uno zoom (l'esatta scala di visualizzazione verrà poi fissata nel layout) sull'area da rappresentare nella mappa passando poi alla vestizione dei layer interessati. Lo strato informativo dei comuni verrà classificato in modo da vedere solo i relativi limiti amministrativi inserendo al contempo le etichette con i nomi dei comuni in modo da distinguerli tra loro. Per fare questo lavoriamo sul "selettore di simbolo" (accedere alle proprietà del layer - sezione stile) dello shapefile "Comuni_parchi". Il tipo di rappresentazione da utilizzare è "Simbolo singolo". Nella stessa interfaccia andranno settati i parametri per la rappresentazione in particolare, dopo aver evidenziato a sinistra la voce "Riempimento semplice" si attiva la modalità avanzata dove modificheremo lo "Stile riempimento" (da pieno a vuoto) e lo spessore della linea di bordo (almeno 1 mm). Per rendere effettiva la modifica clicchiamo su "Ok". Per attivare le etichette recanti il nome del comune da inserire poi all'interno del perimetro di ognuno di essi basterà, all'interno della sezione "etichette" delle proprietà, spuntare la voce "Etichetta questo vettore con" e scegliamo il campo all'interno del quale è contenuta l'informazione da utilizzare (in questo caso "Comune") settando poi opportunamente i relativi parametri per la visualizzazione (Testo, sfondo, posizione…). Lo shapefile della mosaicatura dei PRG del Subasio verrà rappresentata utilizzando una tipologia di classificazione di tipo "categorizzato" in modo da distinguere con una campitura diversa ciascuna zona di piano. Per procedere quindi con quest'altra vestizione sempre dalle sezione "Stile" delle proprietà del layer scegliamo il tipo "categorizzato". Nel menù che si attiva nella voce "colonna" sceglieremo il campo che contiene l'informazione relativa alla

destinazione di zona (campo "Zoning") e clicchiamo su classifica. Come mostrato in precedenza, è possibile modificare le voci in legenda di ciascuna categoria in modo poi da inserire la legenda così composta nel layout. Nel caso particolare le voci in legenda sono state modificate utilizzando le seguenti formulazioni:

A: Valore storico; B: Completamento residenziale; C: Espansione residenziale;

D: Produttivo-turistico; F: Attrezzature Tecnologiche; S: Servizi pubblici.

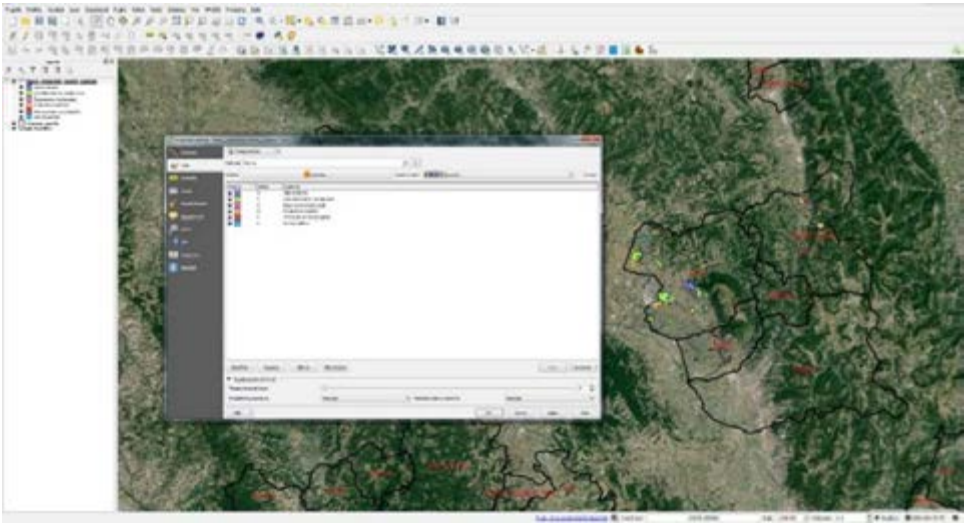


Figura 3.90- Classificazione del layer relativo alla mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali dei comuni del Parco regionale del Monte Subasio.

E' quindi ora possibile comporre il layout di stampa per l'esportazione finale. Innanzitutto apriremo una nuova composizione di stampa cliccando sul tasto associando poi a questa un nome (es. layout 1) in modo poi da distinguerla dalle altre nel caso di creazione di più composizioni di stampa. Si aprirà quindi una nuova interfaccia contenente un foglio bianco all'interno del quale inseriremo poi i vari elementi costitutivi. Una delle prime cose da fare è quella di settare le proprietà di base del layout di stampa come la sua dimensione, l'orientamento e la risoluzione per l'esportazione finale. Queste proprietà possono essere modificate all'interno della sezione "Composizione" (fig.3.91). Le dimensioni del foglio di default sono settate pari a quelle di un A4 ma dal menù a tendina della voce "Preimpostazioni" è possibile selezionare altri formati (A3, A2 ma anche grandi formati di stampa come A1 e A0). E' inoltre possibile modificare la direzione del foglio (orizzontale e verticale), il colore da utilizzare come sfondo (sezione "Sfondo pagina") e la risoluzione con la quale dovrà essere esportato il layout finale.

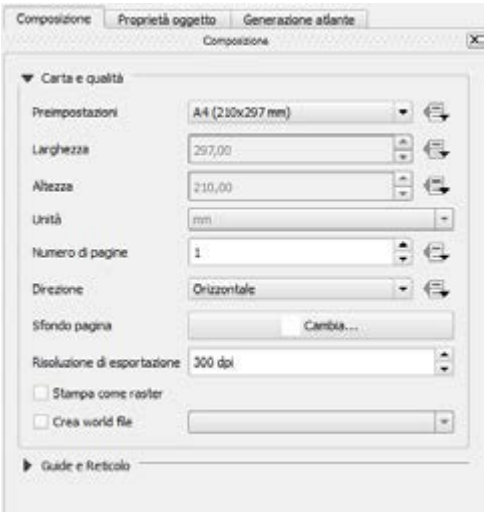


Figura 3.91 - Proprietà del layout di stampa

Naturalmente più la risoluzione viene aumentata più aumenteranno le dimensioni su disco del file. Va ricordato che è possibile cambiare queste proprietà in qualsiasi momento nell'arco della composizione del layout. Vediamo ora come inserire i vari componenti fondamentali quali la mappa, la legenda, la barra di scala, campi testuali e come modificarne le proprietà.

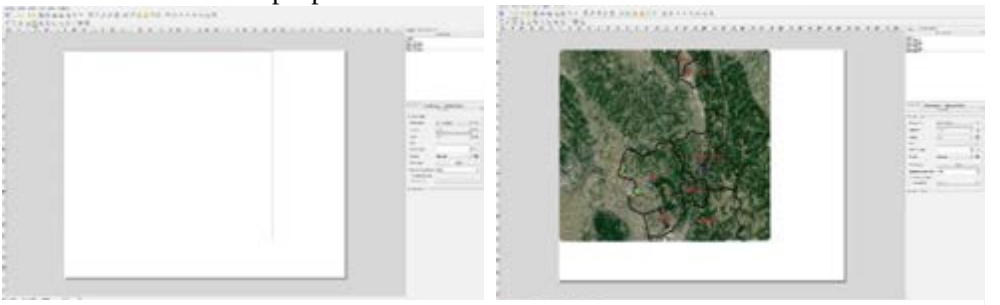


Figura 3.92 - Inserimento della mappa nel layout

Ogni oggetto inserito nel layout ha delle proprietà che possiamo modificare selezionando l'elemento relativo attraverso il tasto "scegli/sposta oggetto" e poi dalla parte destra dell'interfaccia del compositore di stampa accedere alle proprietà (menù "Proprietà oggetto"). Per inserire la mappa possiamo utilizzare il tasto "aggiungi mappa" facendo un riquadro sul foglio tenendo premuto il tasto sinistro del mouse.

Nel riquadro verrà visualizzata la mappa così come è presente nella view, ma è possibile naturalmente modificare alcune proprietà tra cui la modalità di visualizzazione della mappa nel layout (cache, visualizza, rettangolo). La modalità cache (quella impostata di default) disegna la mappa alla risoluzione corrente dello schermo, se vengono modificate le dimensioni della finestra della mappa l'immagine viene scalata ma non ridisegnata cosa che invece accade nella modalità visualizza. La modalità rettangolo visualizza un rettangolo vuoto con la scritta "la mappa verrà stampata qui". La figura 3.93 mostra la finestra relativa alle proprietà della mappa. La voce scala permette di modificare la scala di visualizzazione della mappa, la rotazione della mappa fa si che venga ruotato il contenuto della mappa in senso orario per gradi mentre la finestra estensione mappa permette di impostare l'estensione di visualizzazione della mappa utilizzando i valori minimo/massimo di coordinate X e Y. E' inoltre possibile sovrapporre una griglia sulla mappa settandone opportunamente i parametri (tipo, sistema di riferimento, intervallo, offset…) dalla voce reticolo. Può essere modificato lo sfondo dell'immagine nella mappa, inserire una cornice o ancora impostare la posizione di questa in base a specifici punti di riferimento o coordinate in riferimento al foglio. Se l'area visualizzata nella mappa non è quella desiderata è possibile spostarla utilizzando il tasto "sposta contenuto elemento" che permette di spostare l'elemento all'interno della sua cornice. Per inserire un campo testuale utilizzare il tasto e disegnare un riquadro dove si intende inserire il testo (fig. 3.94). All'interno della sezione "proprietà principali" è possibile digitare il testo da inserire modificandone anche dimensione, carattere, colore, l'allineamento lo sfondo e la posizione all'interno del layout. La scala grafica viene inserita attraverso il tasto "aggiungi barra di scala". Le dimensioni delle barre all'interno della scala grafica fanno riferimento a quella che è la scala di visualizzazione della mappa e sono dinamiche ciò vuol dire che nel momento in cui questa viene modificata automaticamente vengono modificate le dimensioni delle barre. La legenda può essere inserita utilizzando il tasto "Aggiungi legenda" disegnando un riquadro nella posizione preferita.

Figura 3.93 – Proprietà della mappa

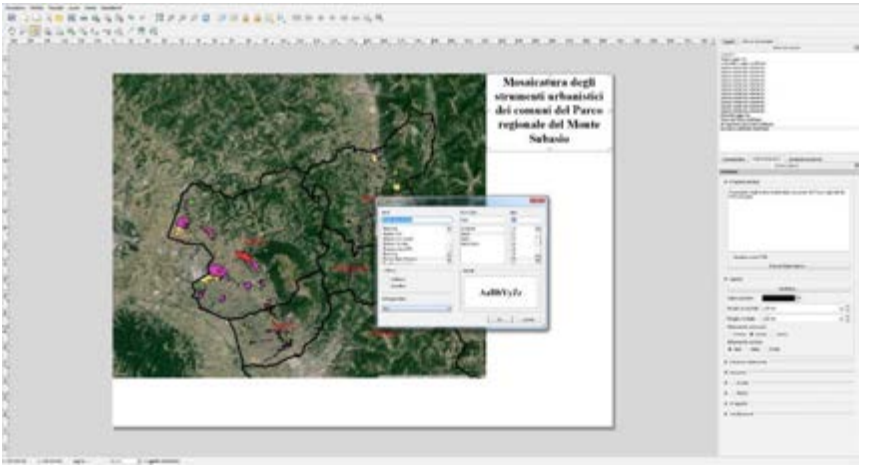


Figura 3.94 - Inserimento di un elemento di tipo testo nel layout

Automaticamente nel layout compariranno tutti i layer nella view con la classificazione e l'ordine stabiliti nella TOC. All'interno delle proprietà è inoltre possibile modificare alcuni parametri come la tipologia e le dimensioni del carattere, il numero di colonne da utilizzare nella legenda, la spaziatura tra gli elementi presenti o ancora la posizione di questa all'interno del layout. Per quanto riguarda l'impostazione relativa al carattere va detto che QGIS gestisce in maniera indipendente gli elementi presenti in legenda. In particolare la voce "Carattere Titolo" permette di modificare i parametri del carattere del titolo della legenda (al momento del suo inserimento di default viene inserita la voce Legenda, stringa questa che può essere modificata nella sezione "Titolo" delle proprietà principali).

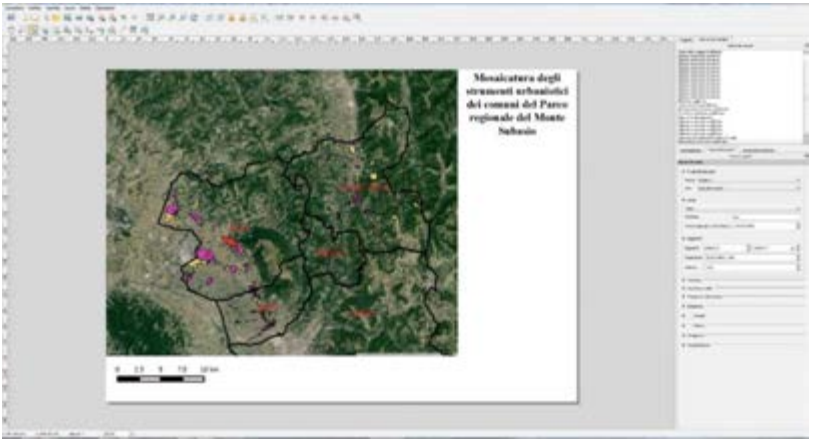


Figura 3.95 - Inserimento della scala grafica in fase di allestimento del layout.

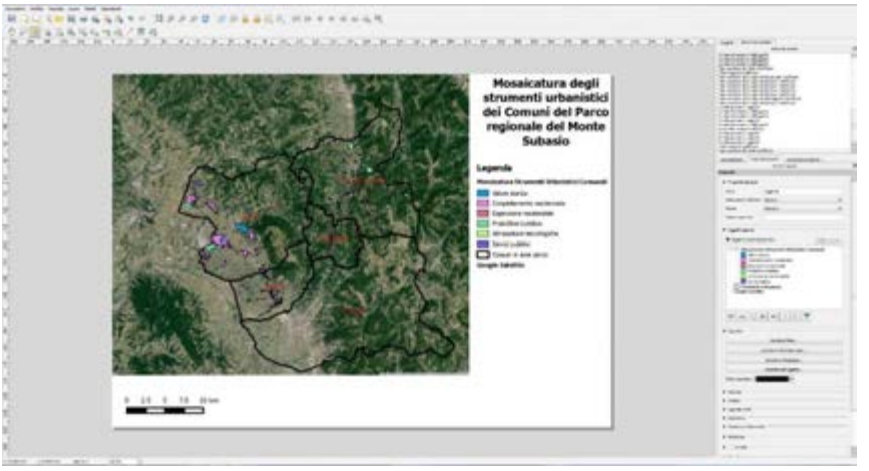


Figura 3.96 - Inserimento della legenda nel Layout di stampa

La voce "carattere del sottogruppo" permette di modificare i parametri del carattere dei layer presenti in legenda; la voce "carattere del gruppo" permette di modificare i parametri del carattere dei vari gruppi (o frame, il cui concetto verrà approfondito di seguito) presenti in legenda ed infine la voce "carattere dell'oggetto" permette di modificare i parametri del carattere dei vari oggetti (simbologie utilizzate nelle varie classificazioni dei layer) presenti in legenda. Come già precisato in precedenza, layout e view sono tra loro collegati quindi basta effettuare delle modifiche nella view e, utilizzando il tasto "aggiorna" della toolbar "orientazione della pagina" queste verranno automaticamente visualizzate nel layout. Esistono tuttavia altre modalità per modificare la legenda. E' possibile infatti rimuovere in qualsiasi momento questa relazione tra view e la legenda nel layout e gestire quest'ultima quindi come un oggetto semplicemente togliendo la spunta ad "Aggiorna automaticamente" nella sezione "Oggetti legenda". Questo tipo di operazione andrà effettuata solo quando la composizione della mappa e la vestizione dei vari elementi rappresentati è definitiva, poiché una volta tolta la spunta ogni modifica fatta nella view non viene aggiornata automaticamente nel layout (salvo riattivare la spunta). Abbiamo visto come l'ordine di sovrapposizione dei vari strati informativi nella TOC è fondamentale poi per la rappresentazione/visualizzazione di questi nel layout, lo stesso ordine viene poi ripreso in maniera automatica nella legenda inserita. L'utilità della dell'interruzione del collegamento tra view e layout si rivela efficace nella fase di "rifinitura" del layout poco prima della stampa finale. Infatti una volta tolta la spunta si attivano una serie di funzioni che permettono di:

: modificare l'ordine degli strati nella legenda senza modificare l'ordine di visualizzazione della mappa; va preventivamente selezionato il layer da spostare in alto o in basso all'interno della legenda;

: aggiungere o eliminare layer all'interno della legenda senza che questi vengano aggiunti/eliminati nella mappa visualizzata;

: modificare il nome in legenda del layer selezionato.

Possiamo inserire anche una immagine utilizzando l'apposito tasto "Aggiungi immagine" disegnando un riquadro nell'area del foglio dove si intende posizionarla ed indicando, nella sezione "Proprietà principali – sorgente dell'immagine", il percorso del file (fig.3.97). Una volta terminato l'allestimento del layout è possibile effettuare l'esportazione dello stesso attraverso una delle modalità indicate in precedenza come il formato pdf , immagine o la stampa diretta . E' utile verificare sempre se il risultato dell'esportazione è quello effettivamente atteso sovrascrivendo lo stesso file in caso di imprecisioni/incertezze riscontrate nel prodotto di stampa. Va comunque ricordato che le composizioni di stampa aperte all'interno di un progetto vengono comunque salvate nel momento in cui si procede al salvataggio dello stesso. In tal modo alla riapertura del file verranno contemporaneamente riaperte tutte le composizioni di stampa associate a quel progetto.

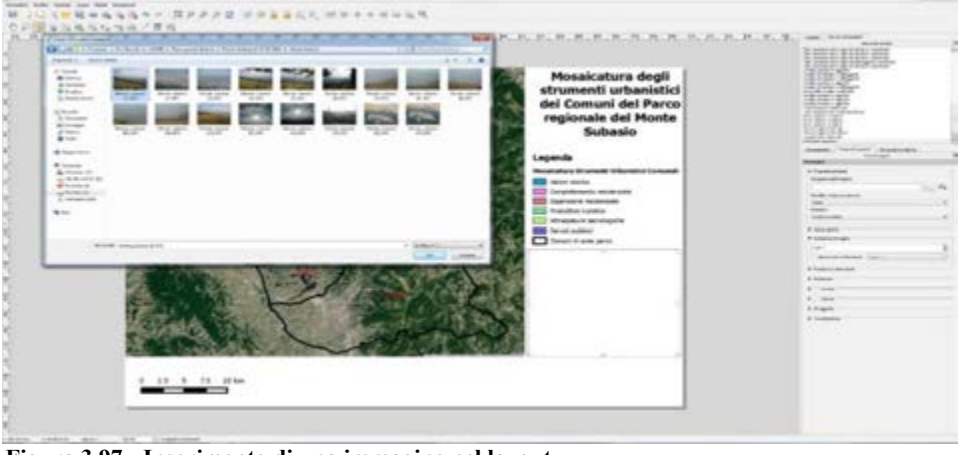


Figura 3.97 - Inserimento di una immagine nel layout

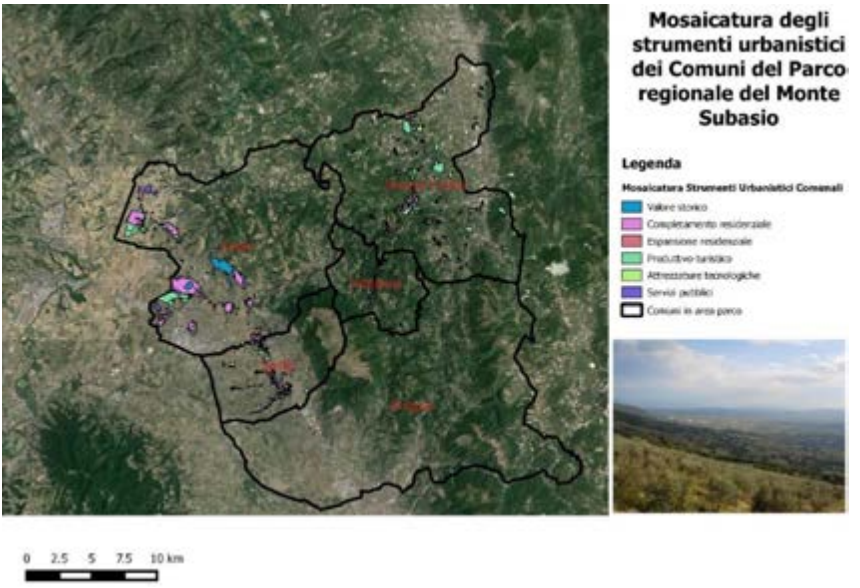


Figura 3.98 - Stampa del layout in formato immagine

Vediamo ora come gestire un layout che contiene invece due o più frame. Nell'esempio che segue verrà mostrata la densità di popolazione (DP - numero di abitanti per chilometro quadrato) elaborata in due distinte sezioni temporali (1981 e 2011) per i comuni della regione Sardegna. I dati utilizzati per questo esempio sono stati elaborati a partire dall'informazione geografica e alfanumerica presente sul sito dell'Istat nella sezione "Basi territoriali e variabili censuarie" accessibile al seguente link: http://www.istat.it/it/archivio/104317.

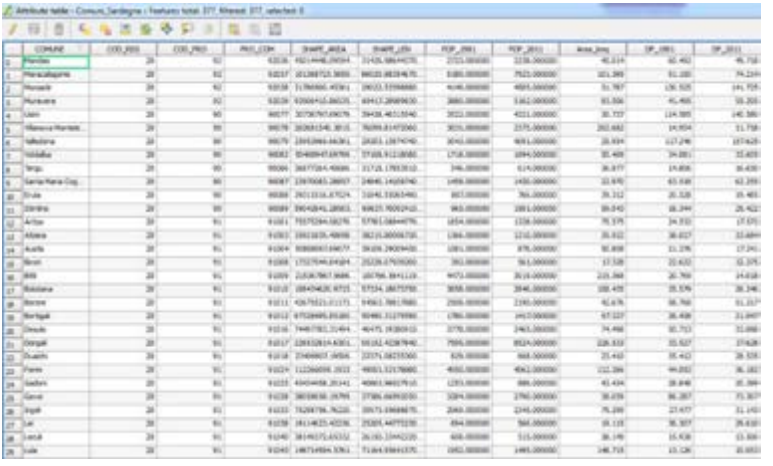


Figura 3.99 - Tabella dello shapefile dei comuni della Sardegna

I dati sono stati combinati tra loro in modo da disporre all'interno del database del layer dei limiti amministrativi comunali della Sardegna dell'informazione relativa al numero di abitanti residenti nelle due sezioni temporali di riferimento. Questo ha quindi permesso di elaborare l'indice di densità territoriale per entrambe le sezioni su due distinte colonne (DP_1981 e DP_2011 in fig.3.99). L'obiettivo è quello quindi di inserire nello stesso layout due mappe raffiguranti una volta i comuni sardi classificati secondo i valori assunti dall'indice DP nel 1981 e l'altra gli stessi comuni classificati però con i valori assunti dall'indice nel 2011. In casi come questo (stesso indice, identica estensione spaziale e stessa unità territoriale di riferimento) è utile ed oltremodo indicativo ai fini di una valutazione di un fenomeno ad esso collegato, utilizzare gli stessi intervalli per la definizione delle classi e la stessa vestizione (simbologia) per ognuna di esse in quanto, il possibile passaggio di un comune da una ad un'altra classe nell'arco temporale indagato è immediatamente visibile focalizzando di fatto l'attenzione laddove è necessario concentrare l'analisi attraverso studi più approfonditi. Permette inoltre di avere immediatamente un riscontro circa la dinamica del fenomeno studiato. La prima operazione da fare è caricare quindi il layer nella view e classificare i comuni secondo i valori assunti dall'indice DT nel 1981. Gli intervalli prescelti dovranno naturalmente tener conto del valore più basso e del valore più alto assunto dallo stesso indice nelle due sezioni temporali. Gli intervalli prescelti sono i seguenti:

- < 50 ab/kmq;
- 50 – 100 ab/kmq;
- 100 – 200 ab/kmq;
- 200 – 500 ab/kmq;
- 500 – 1000 ab/kmq;
- > 1000 ab/kmq;

Il tipo di classificazione da utilizzare è "graduato" ("Proprietà del layer – Stile – tipo di classificazione graduato") selezionando il campo all'interno del quale si trovano i valori (DP_1981). Successivamente andrà inserito il numero di classi da utilizzare per la classificazione (6) e la scala di colori per la relativa vestizione. Nel momento in cui viene inserito il numero di classi, automaticamente sulla base dell'algoritmo di classificazione contenuto nella sezione modo (Intervallo uguale, Quantile, Natural breaks, Deviazione standard e Pretty Breaks) vengono calcolati i range ed inseriti nell'apposita sezione, funzione attivabile anche cliccando sul tasto "Classificazione" (Fig. 3.100). Gli intervalli inseriti di default sono diversi rispetto a quelli prefissati per cui gli estremi di questi intervalli andranno opportunamente settati. Per evitare che l'estremo inferiore di una determinata classe coincida con l'estremo superiore della classe precedente, prima di procedere con l'inserimento degli intervalli va tolta la spunta alla voce "collega i confini della classe".

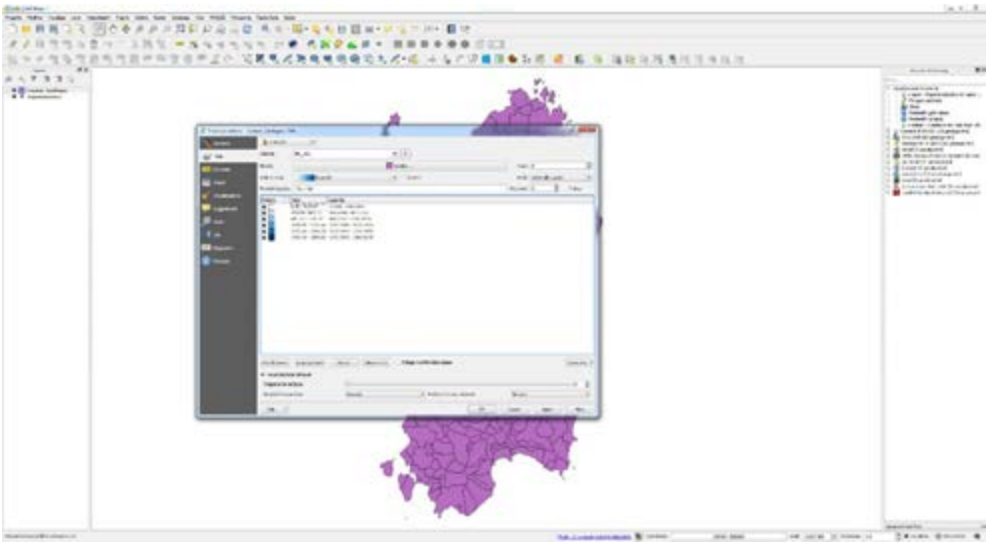


Figura 3.100 - Classificazione graduata del layer in funzione dell'indice DP 1981

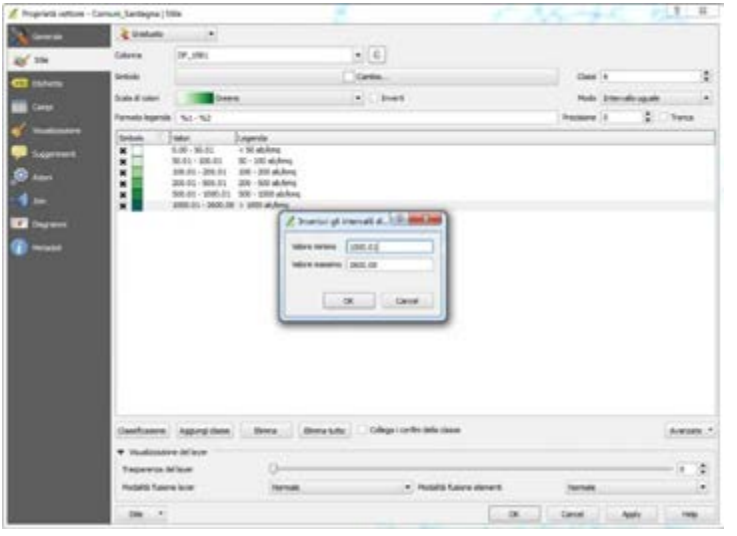


Figura 3.101 - Inserimento delle classi relative agli intervalli prescelti.

Gli intervalli andranno inseriti iniziando da quello con i valori più bassi (0 – 50 ab/kmq) nell'area relativa ai "Valori". Come precedentemente indicato, è su questa sezione che avviene poi la clusterizzazione delle entità geografiche (nell'esempio specifico i comuni) per classi a seconda dei valori fissati, mentre nella sezione "Legenda" possiamo inserire invece, sempre per ciascuna classe, le voci che si

intendono visualizzare nella legenda del layout. Con un doppio click su ogni intervallo, comparirà quindi una nuova finestra dove inseriremo il limite inferiore e quello superiore di quella determinata classe. La classificazione dei comuni sardi secondo l'indice DP (1981) è riportata in figura 3.102.

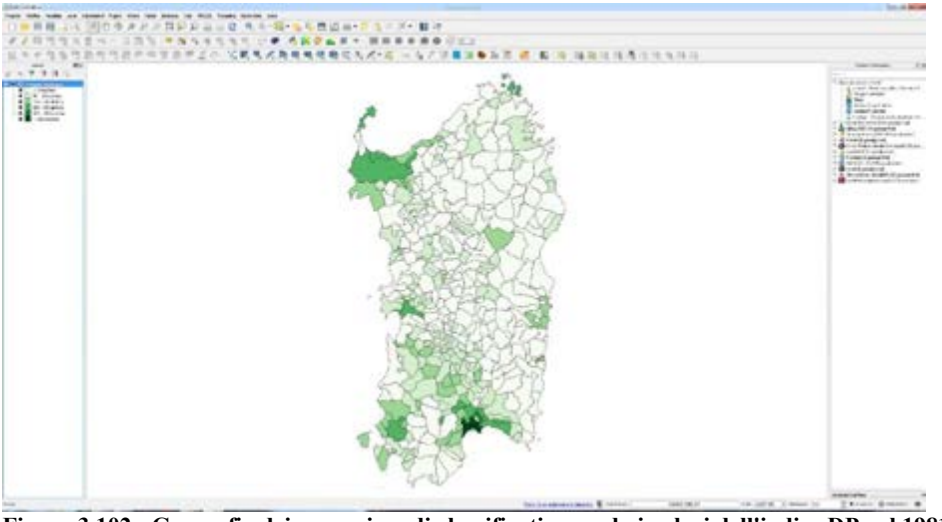


Figura 3.102 - Geografia dei comuni sardi classificati secondo i valori dell'indice DP nel 1981.

Questa mappa costituisce la prima parte del layout che dovrà poi essere affiancata da quella degli stessi comuni sardi classificati però secondo i valori dell'indice assunti nel 2011. Si tratta quindi di allestire un layout che contiene due mappe provenienti dalla stessa view con informazioni di tipo diverso. Due mappe diverse all'interno dello stesso progetto vengono gestite con due frame (o gruppi) ben distinti. Un gruppo è quindi una struttura nidificata che contiene e gestisce i layer contenuti al suo interno. Un gruppo può contenere anche altri gruppi ciascuno con un proprio sistema di riferimento. Sono essenzialmente due le modalità per inserire un gruppo: si può cliccare con il tasto destro sulla TOC e scegliere la voce "Aggiungi gruppo" o anche attraverso il tasto . Una volta inserito possiamo assegnare un nome a questo (anche successivamente – tasto dx "rinomina") e spostare/caricare i layer al suo interno. Questa operazione può essere effettuata trascinando il layer all'interno del gruppo; uno strato informativo entra a far parte di un gruppo se attivando/disattivando la sua casella di controllo automaticamente si attivano/disattivano il/i layer in esso presenti.

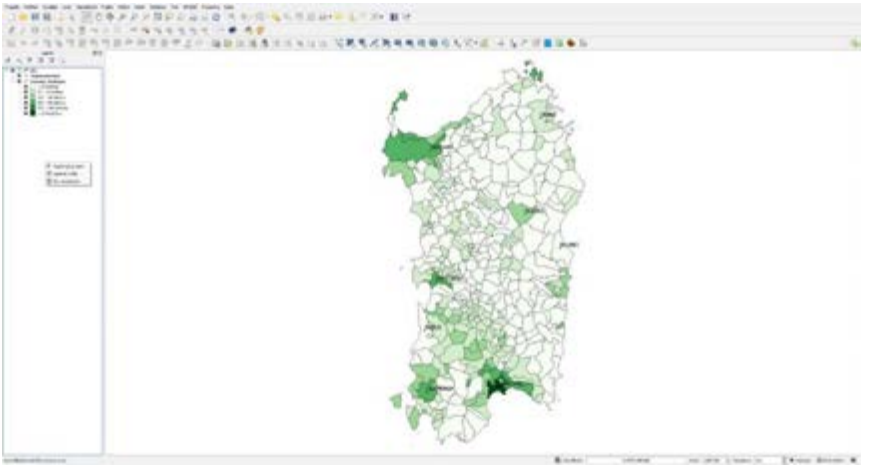


Figura 3.103 - Creazione del gruppo ed inserimento dei layer al suo interno

A questo punto si può creare un nuovo layout ed inserire gli elementi relativi alla prima mappa:

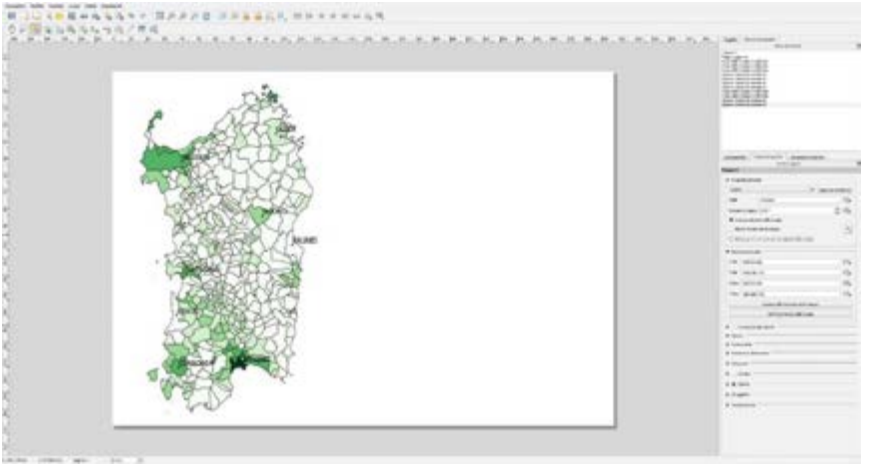


Figura 3.104 - Inserimento della prima mappa nel layout.

Un'altra modalità di inserimento di un layer in un gruppo è quella di selezionare il gruppo nella TOC (evidenziato in blu) ed utilizzare la normale toolbar di "Gestione layer" per l'inserimento di una qualsiasi tipologia di strato informativo. Nella figura seguente il layer "Comuni Sardegna" è stato inserito all'interno del gruppo "DP 1981" unitamente ad uno strato (Toponomastica.shp) a geometria puntuale contenente alcuni dei principali centri regionali. Non è stata inserita né la legenda né

la scala grafica in quanto, essendo identiche per entrambe le mappe (si utilizzerà per la seconda la stessa scala di visualizzazione) verranno inserite unitamente alla seconda mappa. Nella sezione dedicata alle proprietà della mappa attivare la spunta sulla casella “Blocca i layers per la mappa” ciò consente di rendere non modificabile l’oggetto inserito. Naturalmente disattivando la spunta i layers tornano ad essere modificabili. Il passo successivo è quello di creare un nuovo gruppo (DP 2011), inserire gli stessi layers e classificare i comuni sardi secondo i valori assunti dall’indice DP nel 2011. Questi possono essere inseriti o direttamente (selezionare il gruppo ed utilizzare la toolbar “Gestione layer”) o anche duplicando (tasto dx sul “layer – duplica”) i layer del primo gruppo e spostare queste copie nel secondo gruppo. La differenza sostanziale tra i due metodi deriva dal fatto che la duplicazione del layer conserva la vestizione utilizzata dello strato da cui deriva. Quindi nel caso in cui c’è bisogno di utilizzare uno stesso layer in più gruppi con le stesse modalità di rappresentazione (in questo caso “toponomastica.shp”) conviene duplicarlo e spostarlo poi nei vari gruppi. Prima di procedere con la vestizione dei layer del gruppo “DP 2011” togliamo la spunta di attivazione dalla casella del gruppo “DT 1981” in quanto la funzionalità del tasto di inserimento mappa nel layout prevede che venga caricato tutto ciò che è attivo e visibile nella TOC indipendentemente dal gruppo di appartenenza dei vari strati informativi. Sono questi dei passaggi fondamentali che necessitano di attenzione e concentrazione adeguate al fine di evitare poi dei problemi in fase di esportazione finale del layout. La figura seguente mostra i comuni della Sardegna classificati secondo i valori assunti dall’indice di densità di popolazione nel 2011.

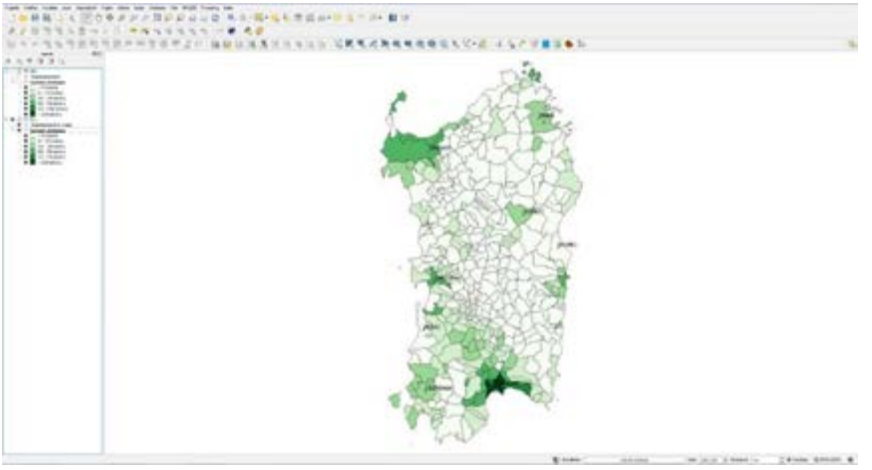


Figura 3.105 - Geografia dei comuni sardi classificati secondo i valori dell'indice DP nel 2011. Nella TOC si notano i due gruppi utilizzati per le due differenti classificazioni.

Ora si può inserire la mappa all'interno del layout:

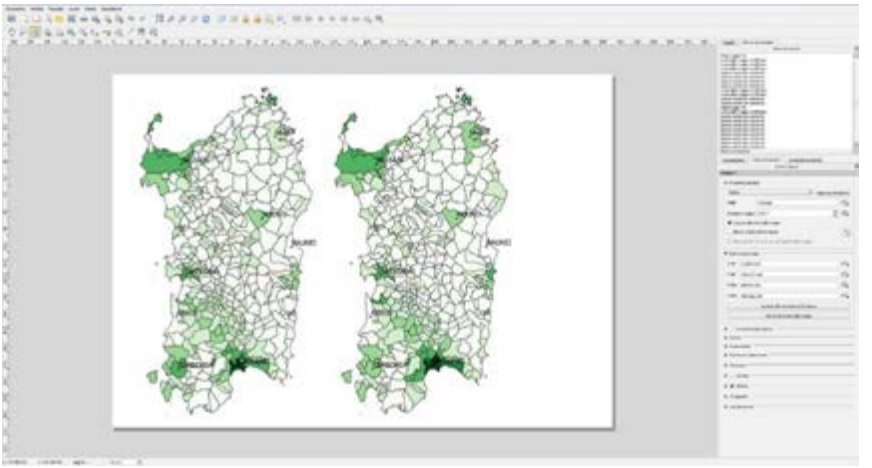


Figura 3.106- Mappe raffiguranti i comuni sardi classificati con i valori dell'indice DP nel 1981 (a sx) e nel 2011 (a dx).

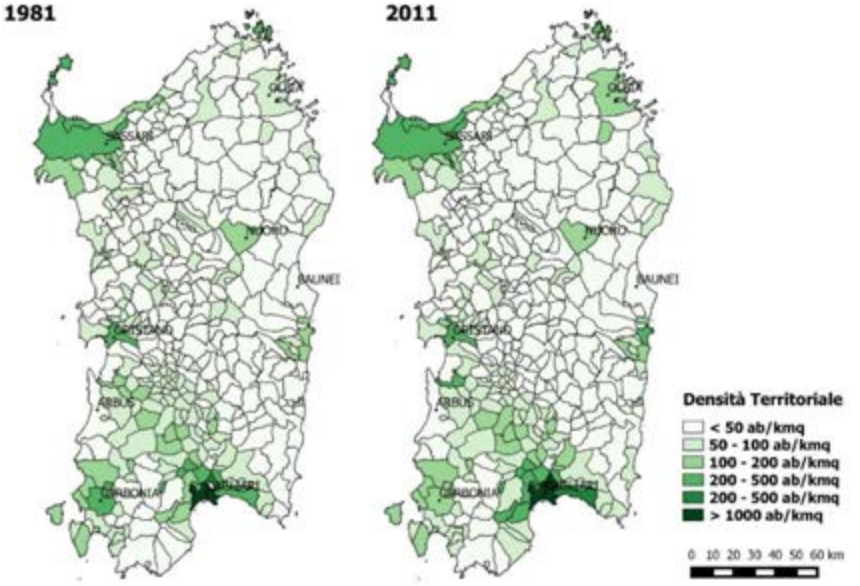


Figura 3.107 - Stampa finale del layout.

Per quanto riguarda gli altri elementi della mappa (legenda e scala) nel momento in cui vengono inseriti nelle proprietà oggetto, in casi come questo dove ci sono due

gruppi, andrà specificata (sezione proprietà principali – mappa) qual è la mappa a cui fare riferimento per la creazione dell'elemento stesso (il software chiama i gruppi inseriti nella TOC con la voce Mappa ed assegna loro un numero progressivo). Nel caso specifico ciò è indifferente in quanto sia la legenda sia la scala di visualizzazione utilizzata è la stessa per i layer di entrambi i gruppi. Nel caso in cui le scale di visualizzazione sono diverse come anche le legende utilizzate bisognerà inserire tutti gli elementi necessari. Una volta inseriti gli elementi mancanti si può quindi esportare il layout in uno dei formati precedentemente elencati.

3.9 L'analisi spaziale: teoria e tecniche.

Come è stato argomentato nel primo capitolo, un sistema informativo territoriale consente di mettere in relazione tra loro elementi diversi sulla base del loro comune sistema di riferimento creando nuove informazioni partendo dai dati iniziali. Tutti i GIS possiedono una serie di funzioni e strumenti specifici utili alla comprensione dei fenomeni territoriali e alla elaborazione di scenari evolutivi-diagnostici attraverso trasformazioni, interpolazioni, elaborazioni e metodi che permettono di accedere contemporaneamente sia agli attributi spaziali sia a quelli alfanumerici ad essi collegati. E' l'elemento che rende il GIS un vero strumento di supporto alle decisioni, in quanto tali funzioni consentono il confronto e la sintesi di grosse quantità dati, mentre le funzioni di simulazione consentono di effettuare stime e scenari su andamenti futuri di uno o più fenomeni complessi. L'analisi spaziale è dunque la prerogativa fondamentale di ogni sistema informativo territoriale e ne rappresenta l'elemento principale e caratterizzante, ma al tempo stesso anche il più complesso da utilizzare in maniera corretta. L'implementazione di questa all'interno dei software GIS ha costituito un punto di svolta nell'analisi ambientale in quanto ha ridotto notevolmente i tempi di produzione/analisi/risultati delle informazioni territoriali, migliorando al contempo le tecniche di acquisizione e di processing. Ha rappresentato una sorta di congiuntura critica, un punto di svolta nel campo in quanto, a seguito della loro introduzione, le tecniche fino ad allora utilizzate e gli strumenti annessi sono stati definitivamente abbandonati. La definizione data dal Dipartimento inglese per l'Ambiente già nel 1987 esprimeva bene il concetto:

"…I Sistemi Informativi Geografici sono tanto rilevanti per l'analisi spaziale quanto le invenzioni del microscopio e del telescopio lo furono per la scienza, il computer per l'economia, e la stampa per la diffusione dell'informazione…".

L'analisi spaziale mette quindi in evidenza quelle relazioni già presenti in maniera implicita negli elementi geografici di partenza, ma che sono difficili da comprendere a pieno solo con l'osservazione del dato stesso. Si tratta quindi di operatori, strumenti, algoritmi più o meno complessi in grado di mettere a sistema uno o più dati spaziali in input restituendo in output sia dati spaziali sia informazioni di

carattere alfanumerico. Le prime operazioni di analisi spaziale ad essere state implementate in un GIS riguardano l'overlay topologico cioè la sovrapposizione tra gli elementi geografici di due o più tematismi contenenti informazioni di tipo diverso per la produzione di nuove informazioni territoriali. Nel tempo ne sono state implementate altre più o meno complesse atte a valutare fenomeni territoriali di varia natura. Esempi come l'analisi di rete per il calcolo del percorso minimo tra due punti, il buffering per il calcolo di aree di rispetto a distanza fissa o variabile, l'analisi di superficie per l'elaborazione di parametri quali l'esposizione dei versanti, la pendenza o l'irraggiamento sono solo alcune di queste funzioni. Di notevole interesse inoltre è la geostatistica (Vedi box 3.1) le cui tecniche di interpolazione consentono di effettuare una stima delle caratteristiche di un campo stocastico in punti in cui non sono state effettuate misurazioni, sulla base dei dati campionati altrove; permette quindi di ricostruire il campo di concentrazione di una data variabile (ad esempio un inquinante atmosferico) a partire dai dati rilevati in stazioni di misura distribuite in modo disomogeneo sul territorio (Cressie, 1982; Kitanidis, 1993; Wackernagel, 1995). Tecniche di questa natura vengono oggi applicate sia in campo ambientale, epidemiologico che socio-economico (geologia, agricoltura, inquinamento) essendo di fatto un valido strumento per la predizione e quindi molto utile in termini di pianificazione e programmazione territoriale (Nuckols et al, 2004; Künzli et al. 2005, Walden, 1992). Nel corso del presente capitolo sono state già descritte delle procedure di analisi spaziale, come ad esempio l'interrogazione spaziale dei dati, in questa parte invece soffermeremo la nostra attenzione sui principali operatori dell'overlay mapping e dell'analisi di prossimità, strumenti questi molto utili per l'elaborazione di indicatori ambientali e urbanistico-territoriali comunemente applicati nei processi di pianificazione/programmazione territoriale, nelle valutazioni ambientali (VIA, VAS e VIncA) o nelle azioni di monitoraggio. Le tecniche di overlay mapping vennero messe a punto da Mc Harg (1969) per una analisi preventiva degli effetti dei piani e dei progetti attraverso una sovrapposizione di carte tematiche (analisi) e carte di sensibilità (valutazione) al fine di far emergere le informazioni di interesse. La mappa finale in output permette quindi di comprendere i livelli di intensità e la distribuzione spaziale degli impatti in modo da valutare il grado di compatibilità dello sviluppo proposto con lo stato di conservazione delle risorse, la loro sensibilità e vulnerabilità, e gli usi attuali e potenziali. Sono immediatamente evidenti l'importanza ed il ruolo di questi strumenti a supporto dei processi decisionali per cui è di fondamentale importanza conoscere quali sono i dati in input e in output di ognuno di questi operatori spaziali per utilizzarli correttamente in modo da poterli poi applicare alle diverse esigenze dei vari settori tecnici-scientifici. Le tipologie di sovrapposizione possono essere le seguenti:

- ***Punti su poligoni;***

- ***Linee su poligoni;***
- ***Poligoni su poligoni;***

Di seguito saranno descritti ed analizzati una serie di operatori, alcuni dei quali non lavorano su base spaziale ma che comunque forniscono utili indicazioni a corredo. Inoltre alcuni di questi vengono inseriti contestualmente all'installazione del software altri vanno scaricati ed installati attraverso opportuni plugin. Gli operatori di cui ci occuperemo sono i seguenti:

- ***Intersezione;***
- ***Unione;***
- ***Taglia;***
- ***Differenza;***
- ***Dissolvenza (operatore di semplificazione);***
- ***Statistiche di base (operatore non spaziale);***
- ***Group Stats (operatore non spaziale);***
- ***Somma lunghezza linee (join spaziale);***
- ***Unisci attributi per posizione (join spaziale);***
- ***Unisci shapefile;***
- ***Elimina poligoni frammentati;***
- ***Buffer.***

Nel capitolo successivo verranno analizzati e descritti alcuni indicatori urbanistico-territoriali unitamente alle procedure di calcolo necessarie per la loro implementazione. Queste procedure prevedono l'utilizzo degli operatori spaziali di seguito illustrati. Il corretto utilizzo di ciascuno di essi deriva dal fatto di conoscere ancora prima di applicarlo, qual è il risultato atteso sia a livello spaziale sia a livello di database, in quanto solo in questo modo si evita la possibilità di creare innumerevoli files che, oltre a non essere utili allo scopo prefissato, occupano spazio sulla memoria del computer e creano inutili perdite di tempo. Appunto per questo ancor prima di applicare il comando bisogna saper rispondere a domande quali: quale tipologia di dato utilizza questo operatore? Quando viene utilizzato? Per cosa lo utilizzo? Quali sono le informazioni che ottengo dalla sua applicazione?

3.9.1. Operatore Intersezione

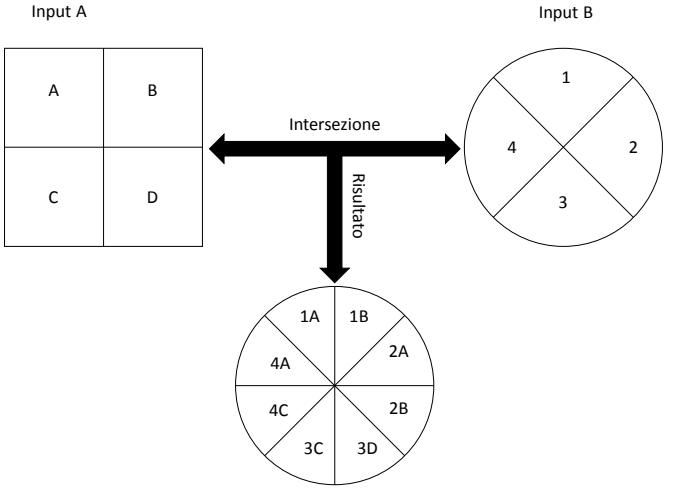


Figura 3.108 - Schema operatore di intersezione

L'operatore di intersezione viene utilizzato quando si hanno a disposizione strati informativi che hanno la stessa estensione spaziale (o che comunque riguardano lo stesso ambito territoriale) ma che contengono informazioni territoriali (database) di tipo differente. Il risultato è un nuovo shapefile che a livello spaziale sarà costituito dalle parti geometriche comuni ad entrambi i layer (aree sovrapposte) ritagliate secondo i limiti di ciascun poligono mentre la tabella di output conterrà, per ciascuna feature, gli attributi provenienti da entrambi i layer.

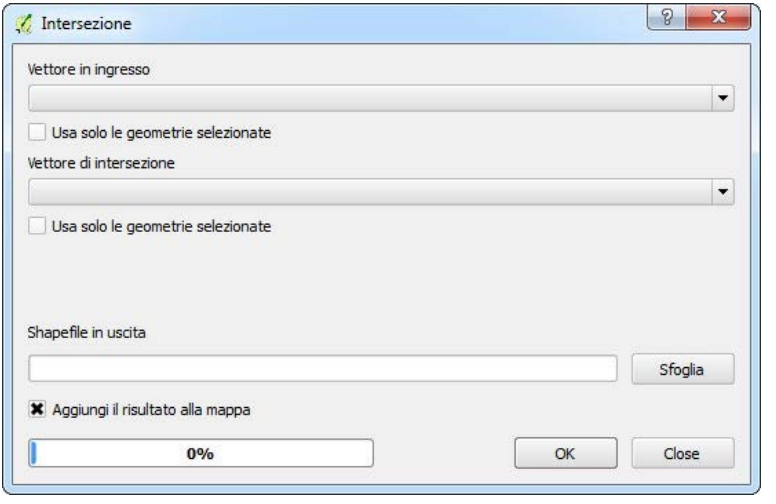


Figura 3.109 – Finestra di configurazione dell'operatore di intersezione

In altre parole l'operatore di intersezione incrocia sia le geometrie che le tabelle dei 2 strati, lo shapefile di output avrà un estensione spaziale corrispondente a quella in cui i due strati sono sovrapposti; ogni unità autoderivata avrà i campi tabellari dei due layer.

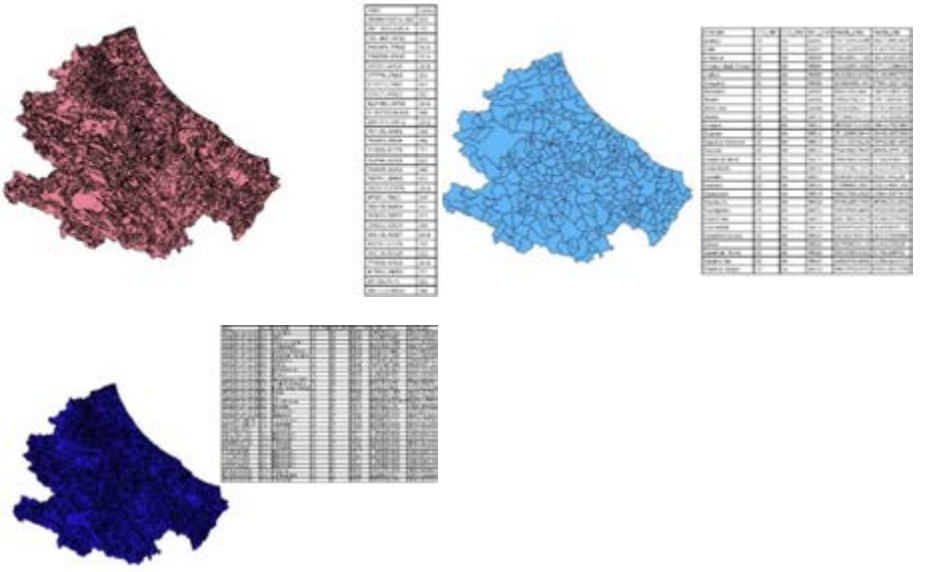


Figura 3.110 - Esempio di applicazione dell'operatore di intersezione

Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di Geoprocessing - Intersezione". La schermata di configurazione è quella in figura 3.110. Nel box "Vettore in ingresso" inserire il primo strato informativo (strato lineare, poligonale o puntuale) mentre alla voce "Vettore di intersezione" selezionare il secondo layer (solitamente poligonale). Sia per il vettore in ingresso che per il vettore di intersezione è possibile utilizzare una o più features selezionate ("Usa solo le geometrie selezionate") in maniera tale da applicare l'operatore solo ed esclusivamente a quegli elementi. Nell'ultimo box va invece specificata la directory del nuovo shapefile di output. Occorre però fare alcune precisazioni: nel caso di sovrapposizione tra due strati di tipo poligonale l'ordine di inserimento di questi nei due box è totalmente indifferente, l'unica cosa che cambia è l'ordine dei campi nella tabella dello shapefile risultante. Cosa ben diversa è quella dell'intersezione tra un layer lineare o puntuale con uno poligonale; in questo caso infatti nel box "Vettore di intersezione" deve essere sempre inserito lo shapefile di tipo poligonale mentre il layer di tipo lineare o puntuale andrà nell'altro. In caso contrario si otterrà uno shapefile di tipo poligonale che non conterrà alcun elemento.

3.9.2. Operatore Unione

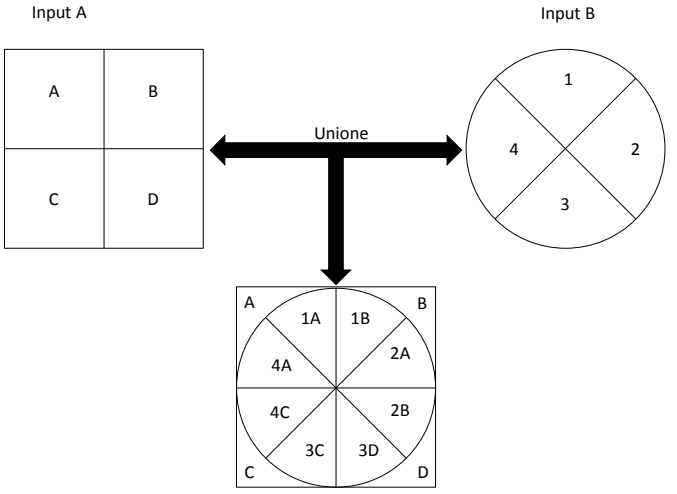


Figura 3.111 - Schema operatore di unione

L'operatore di unione permette di creare un nuovo layer attraverso la sovrapposizione di due strati solitamente di tipo poligonale. E' molto simile all'operatore di intersezione con la sola differenza che l'operatore di unione unisce tutti gli oggetti presenti nei datasets di partenza nel layer di output. L'estensione spaziale corrisponde a quella di unione dei due layer, mentre il nuovo layer sarà composto da oggetti che vengono ritagliati all'incrocio dei due temi; la nuova tabella conterrà campi provenienti dalle tabelle di input, le features che non appartengono all'estensione spaziale comune ai due layer avranno alcuni campi vuoti (fig.3.112). L'unione è quindi il risultato dei geoprocessi di intersezione e differenza in successione per cui può risultare molto oneroso in termini di tempo da un punto di vista del calcolo computazionale che la macchina deve effettuare. Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di Geoprocessing - Unione" L'operazione di unione è possibile tra strati della stessa tipologia geometrica o anche di tipologia differente. In quest'ultimo caso il layer risultante sarà costituito da elementi di tipo lineare (unione di un layer di linee con uno di poligoni dove questi ultimi vengono scomposti appunto in una serie di spezzate) o da elementi puntuali (unione di un layer di punti con uno di poligoni) laddove strati di questa natura vengono inseriti all'interno del box "Vettore in ingresso" in quanto è la geometria dello strato inserito in questo box ad essere assegnata al nuovo shapefile in output.

	Campo A	Campo B	Campo C	Campo D
Riga 1	A1	B1	C1	D1
Riga 2	A2	B2	C2	D2
Riga 3	A3	B3	C3	D3
Riga 4	A4	B4	C4	D4
Riga 5	A5	B5	C5	D5
Riga 6	A6	B6	C6	D6

	Campo E	Campo F	Campo G	Campo H
Riga 7	E7	F7	G7	H7
Riga 8	E8	F8	G8	H8
Riga 9	E9	F9	G9	H9
Riga 10	E10	F10	G10	H10
Riga 11	E11	F11	G11	H11
Riga 12	E12	F12	G12	H12

	Campo A	Campo B	Campo C	Campo D	Campo E	Campo F	Campo G	Campo H
Riga 1	A1	B1	C1	D1	Null	Null	Null	Null
Riga 2	A2	B2	C2	D2	Null	Null	Null	Null
Riga 3	A3	B3	C3	D3	Null	Null	Null	Null
Riga 4	A4	B4	C4	D4	Null	Null	Null	Null
Riga 5	A5	B5	C5	D5	Null	Null	Null	Null
Riga 6	A6	B6	C6	D6	Null	Null	Null	Null
Riga 7	Null	Null	Null	Null	E7	F7	G7	H7
Riga 8	Null	Null	Null	Null	E8	F8	G8	H8
Riga 9	Null	Null	Null	Null	E9	F9	G9	H9
Riga 10	Null	Null	Null	Null	E10	F10	G10	H10
Riga 11	Null	Null	Null	Null	E11	F11	G11	H11
Riga 12	Null	Null	Null	Null	E12	F12	G12	H12

Figura 3.112 - Risultato dell'operazione di Unione a livello di Database

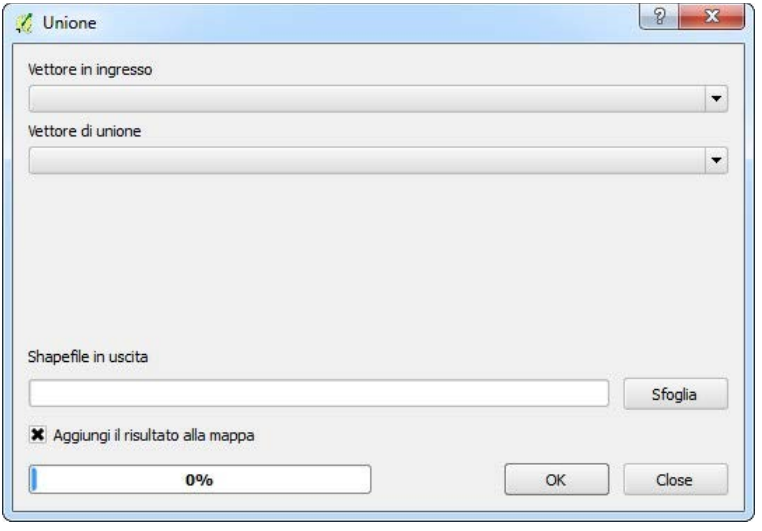


Figura 3.113 – Finestra di configurazione dell'operatore di unione

Nel box "Vettore in ingresso" inserire quindi lo strato informativo della tipologia geometrica che si intende poi assegnare al layer di output (nel caso di entrambi i

layer di tipo poligonale l'ordine è indifferente) mentre nel box "Vettore di unione" inserire il secondo shapefile da unire. Infine va inserita la directory dove andrà salvato il nuovo shapefile.

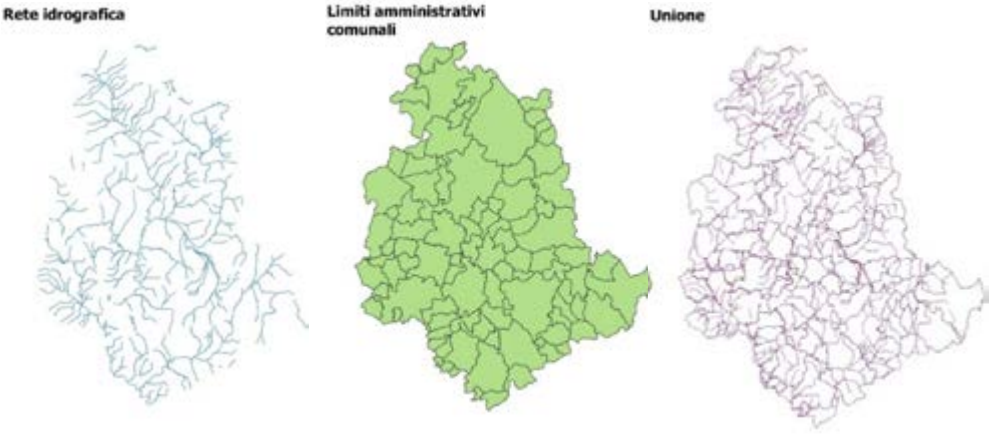


Figura 3.114 - Esempio di applicazione dell'operatore di unione

L'operatore di unione viene utilizzato per combinare gli strati informativi a disposizione ed ottenere in tal modo la massima copertura spaziale e l'insieme delle informazioni alfanumeriche presenti nei layer di partenza.

3.9.3. Operatore Taglia

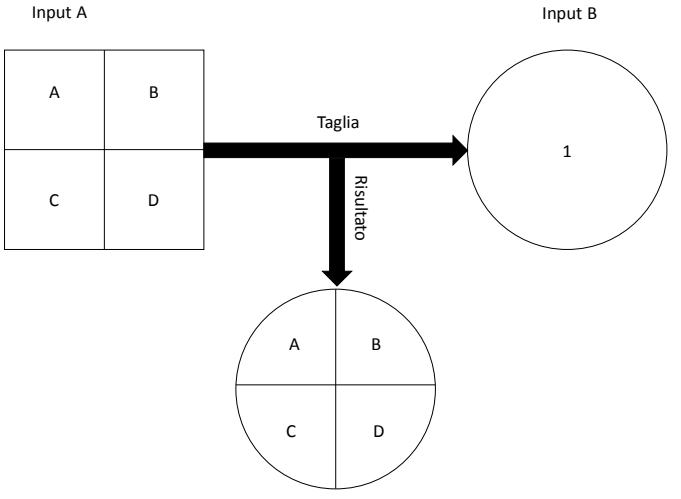


Figura 3.115 - Schema operatore taglia

L’operatore taglia permette di ritagliare uno strato informativo (puntuale, lineare o poligonale) sulla base dell’estensione spaziale di un altro di tipo poligonale. La sua funzione è quindi quella di ritagliare un determinato dataset limitandolo geometricamente al solo contesto di interesse (individuato attraverso uno o più elementi di natura poligonale).

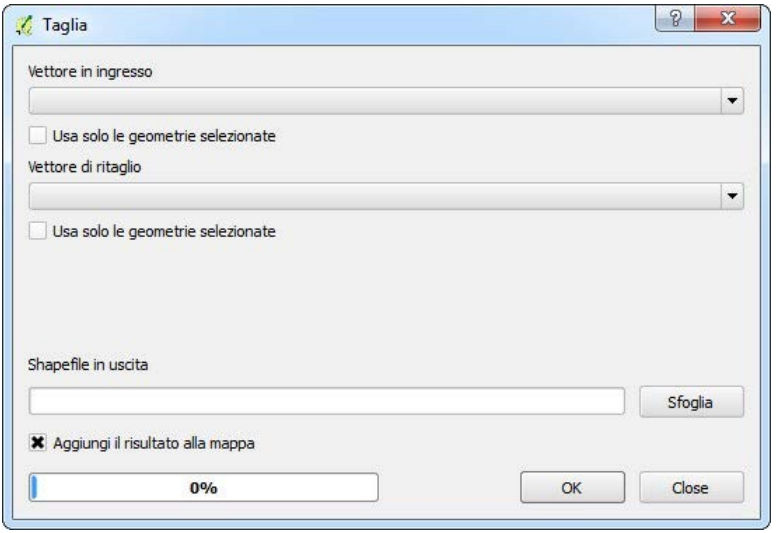


Figura 3.116 – Finestra di configurazione dell'operatore taglia

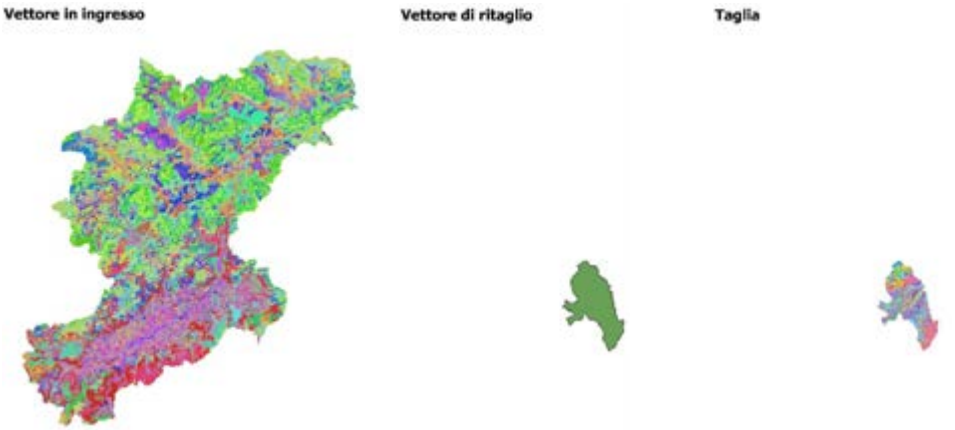


Figura 3.117 - Esempio di applicazione dell'operatore taglia

A livello di database non vengono modificati gli attributi dei layer ma nello strato informativo in output saranno riportati solo ed esclusivamente quelli dello strato

inserito alla voce "Vettore in ingresso". Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di Geoprocessing - Taglia". Alla luce di quanto appena detto, all'interno del box "vettore in ingresso" andrà inserito il layer da ritagliare (nel menù a tendina sono presenti tutti i layer caricati nella TOC) mentre nel "vettore di ritaglio" andrà specificato il layer rispetto al quale ritagliare il vettore in ingresso. Sia per il vettore in ingresso sia per il vettore di ritaglio è possibile utilizzare una o più features selezionate (Usa solo le geometrie selezionate). Nell'ultimo box va inserita la directory dove salvare il nuovo shapefile. Naturalmente un operazione ritaglio ha senso se almeno una parte del vettore in ingresso è attraversata dai limiti poligonali del vettore di ritaglio (se il vettore in ingresso è interamente contenuto in quello di ritaglio l'operazione non avrebbe alcun senso). A livello di database non vengono modificati né il tipo né il numero dei campi della tabella dello strato del vettore in ingresso.

3.9.4. Operatore Differenza

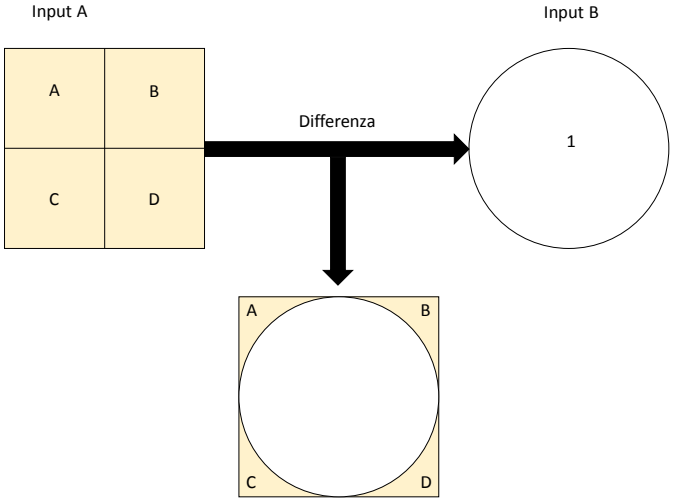


Figura 3.118 - Schema operatore differenza

L'operatore differenza lavora in maniera opposta all'operatore taglia, infatti l'informazione spaziale associata al layer in output conterrà solo le aree appartenenti al layer "Input A" (fig. 3.119) non in comune con "Input B" in quanto le parti in comune vengono appunto eliminate. Il database dello shapefile in output è identico a quello dell'Input A. Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di Geoprocessing - Differenza".

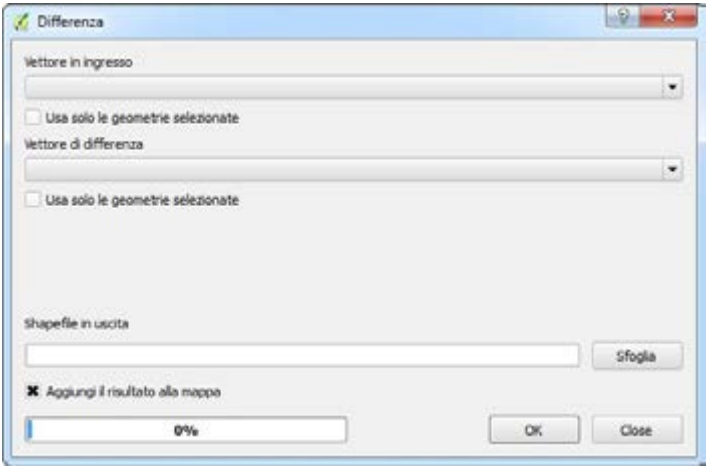


Figura 3.119 – Finestra di configurazione dell'operatore differenza.

Se paragoniamo questo operatore ad una sottrazione matematica comprendiamo meglio il suo funzionamento:

$$c - b = a$$

dove:

a rappresenta lo "Shapefile in uscita";

c rappresenta il "Vettore in ingresso";

b rappresenta il "Vettore di differenza".

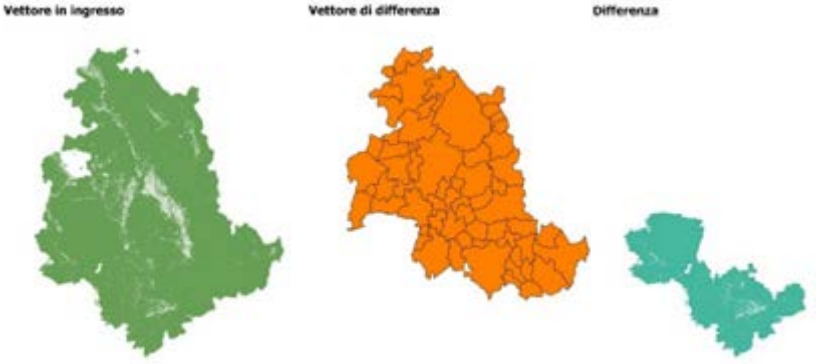


Figura 3.120 - Esempio di applicazione dell'operatore differenza

Il risultato di questa operazione può essere solo positivo al più nullo (ma non avrebbe senso alcuno) ma non negativo. In altri termini l'operazione ha senso se almeno una parte del vettore in ingresso è attraversata dai limiti poligonali del vettore di differenza. Questo tipo di operatore può essere applicato per combinazioni di tipo punti – poligono, linee – poligono, poligono – poligono. La geometria e il database dello "shapefile in uscita" sono le stesse di quelle del "vettore in ingresso".

3.9.5. Operatore Dissolvenza

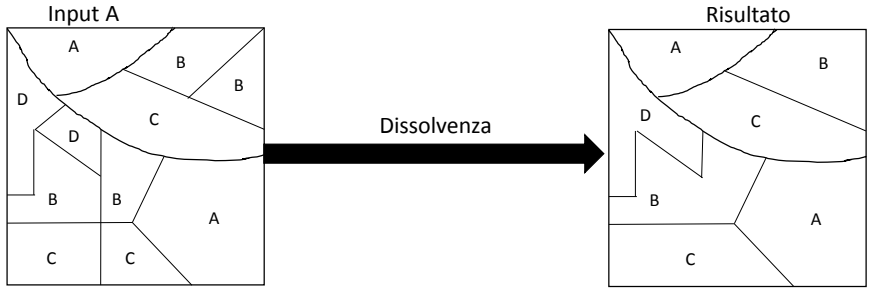


Figura 3.121 - Schema operatore dissolvenza.

A differenza degli altri operatori visti sinora la dissolvenza è un operatore di generalizzazione – semplificazione non di overlay. Si applica sia a layer di tipo lineare che poligonale.

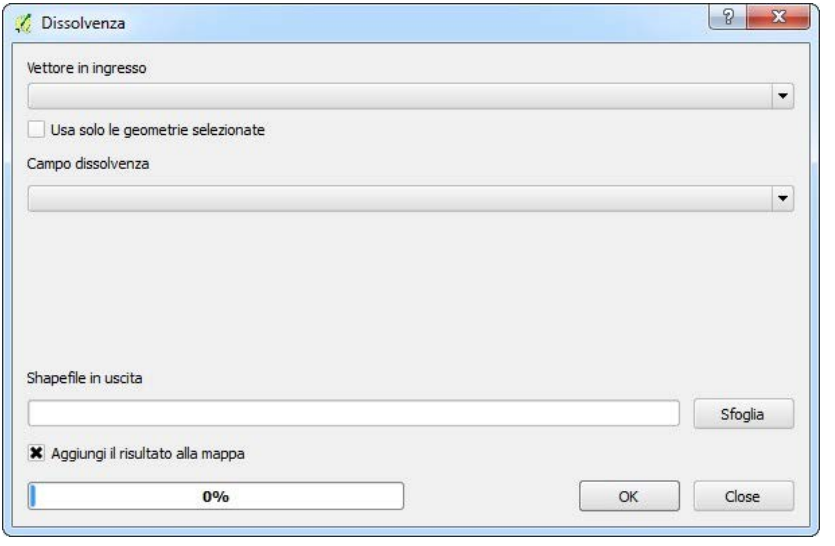


Figura 3.122 – Finestra di configurazione dell'operatore dissolvenza

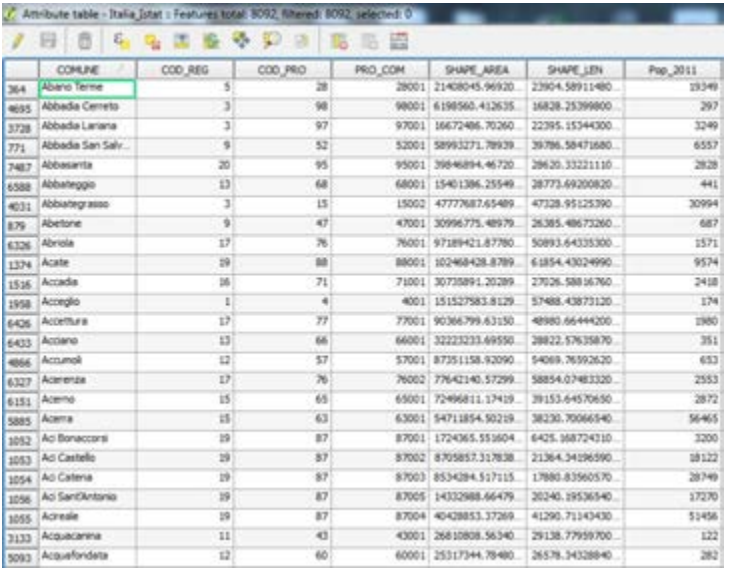
La sua funzione è quella di aggregare elementi che condividono lo stesso attributo tabellare semplificando in tal modo il dataset di partenza. Lo strumento si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di geoprocessing – dissolvenza". All'interno del box "vettore in ingresso" andrà inserito il layer al quale verrà applicato lo strumento. Il box "Campo dissolvenza" visualizza nel contestuale menù a tendina tutti i campi che sono presenti nella tabella del vettore in ingresso per cui andrà selezionato il campo rispetto al quale aggregare gli oggetti con valore comune. Può essere utilizzato ad esempio per aggregare le strade di un territorio a seconda della tipologia (Statale, provinciale, comunale…), le stesse tipologie di uso del suolo all'interno di una entità amministrativa o, come l'esempio riportato in figura 3.123, aggregare i comuni di una stessa regione al fine di avere un nuovo strato informativo che rappresenta i limiti amministrativi regionali. A differenza di altri software di informazione geografica, l'operatore dissolvenza di QGIS non permette direttamente di inserire nella tabella dello shapefile di output informazioni di tipo alfanumeriche derivanti da quella della tabella in ingresso. Non è possibile riportare quindi, nella fase di formazione della tabella dello shapefile in output, attributi o loro elaborazioni (es. valore minimo, massimo, medio) direttamente attraverso l'utilizzo di questo operatore. Per ovviare a tale problema il software dispone di un plugin denominato Group-stats.

Figura 3.123 - Esempio di applicazione dell'operatore dissolvenza

3.9.6. Operatore Group - Stats

Abbiamo visto nel primo capitolo come il software QGIS dispone di tutta una serie di plugin che servono ad integrare con nuovi tool gli strumenti di processing del software. L'operatore Group-Stats è uno di questi e può essere scaricato ed installato utilizzando il repository di QGIS. Dal menù a tendina "Plugin" scegliere la voce

"Gestisci ed installa plugin" mentre nella finestra successiva selezionare a sinistra la voce "Non installati" e scrivere nel box in alto la voce "Group-Stats". A questo punto il plugin comparirà nel box di selezione e, una volta evidenziato, basterà cliccare sulla voce "installa plugin" ed il tool verrà così integrato nel programma. Una volta completata la procedura di installazione il tool è attivabile sia dal menù a tendina "Vettore" sia utilizzando l'apposito tasto che viene inserito nell'area delle toolbar contestualmente all'installazione dello stesso. Si tratta anche in questo caso di un operatore di generalizzazione – semplificazione il cui funzionamento è identico a quello della dissolvenza diversa è invece la restituzione in output. Questo operatore va quindi a compensare in qualche modo quelle funzioni di tipo statistico da applicare al database degli elementi di uno shapefile che mancano alla dissolvenza. L'operatore quindi aggrega, a livello di database, gli elementi di uno shapefile sulla base di un attributo comune presente all'interno di un campo ed elabora contestualmente, per ciascuna aggregazione, funzioni statistiche derivanti dalle informazioni contenute negli altri campi. L'output di questa operazione è una tabella in formato .csv non restituisce nessuna informazione a livello spaziale. Vediamo ora con due esempi qual è il modo di operare del plugin. Immaginiamo di avere il dato della popolazione residente per tutti i comuni d'Italia ad una data sezione temporale (Pop_2011 in figura 3.124) e di voler conoscere il corrispettivo dato per ogni regione. Il presupposto di base è che nella tabella dello shapefile di input sia naturalmente presente un campo che riporta l'informazione relativa alla regione di appartenenza di ciascun comune (COD_REG in figura 3.124).


Attribute table - Italia_Istat :: Features total: 8092, filtered: 8092, selected: 0

	COMUNE	COD_REG	COD_PRO	PRO_COM	SHAPE_AREA	SHAPE_LEN	Pop_2011
364	Abano Terme	5	28	28001	21408045.96920...	23904.58911480...	19349
4695	Abbadia Cerreto	3	98	98001	6198560.412635...	16828.25399800...	297
3728	Abbadia Lariana	3	97	97001	16672486.70260...	22395.15344300...	3249
771	Abbadia San Salv...	9	52	52001	58993271.78939...	39786.58471680...	6557
7487	Abbasanta	20	95	95001	39846894.46720...	28620.33221110...	2828
6588	Abbateggio	13	68	68001	1540386.25549...	28773.69200820...	441
4031	Abbategrasso	3	15	15002	47777687.65489...	47128.95125390...	30994
879	Abetone	9	47	47001	30996775.48979...	26385.48673260...	687
6326	Abriola	17	76	76001	97189421.87780...	50893.64335300...	1571
1374	Acate	19	88	88001	102468428.8789...	61854.43024990...	9574
1516	Accadia	16	71	71001	30735891.20289...	27026.58816760...	2418
1958	Acceglio	1	4	4001	151527583.8129...	57488.43873120...	174
6426	Accettura	17	77	77001	90366799.63150...	48980.66444200...	1980
6433	Acciano	13	66	66001	32223233.69550...	28822.57635870...	351
4866	Accumoli	12	57	57001	87351158.92090...	54069.76592620...	653
6327	Acerenza	17	76	76002	77642140.57299...	58854.07483320...	2553
6151	Acerno	15	65	65001	72496811.17419...	39153.64570650...	2872
5885	Acerra	15	63	63001	54711854.50219...	38230.70066940...	56465
1052	Aci Bonaccorsi	19	87	87001	1724365.551604...	6425.168724310...	3200
1053	Aci Castello	19	87	87002	8705857.317838...	21364.34196590...	18122
1054	Aci Catena	19	87	87003	8534284.517115...	17880.83560570...	28749
1056	Aci Sant'Antonio	19	87	87005	14332988.66479...	20240.19536540...	17270
1055	Acireale	19	87	87004	40428853.37269...	41290.71143430...	51456
3133	Acquacanina	11	43	43001	26610808.56340...	29138.77959700...	122
5093	Acquafondata	12	60	60001	25317344.78480...	26578.34328840...	282

Figura 3.124 - Informazioni alfanumeriche contenute nella tabella dei comuni d'Italia

L’interfaccia dell’operatore Group-Stats è riportata in figura 3.125.

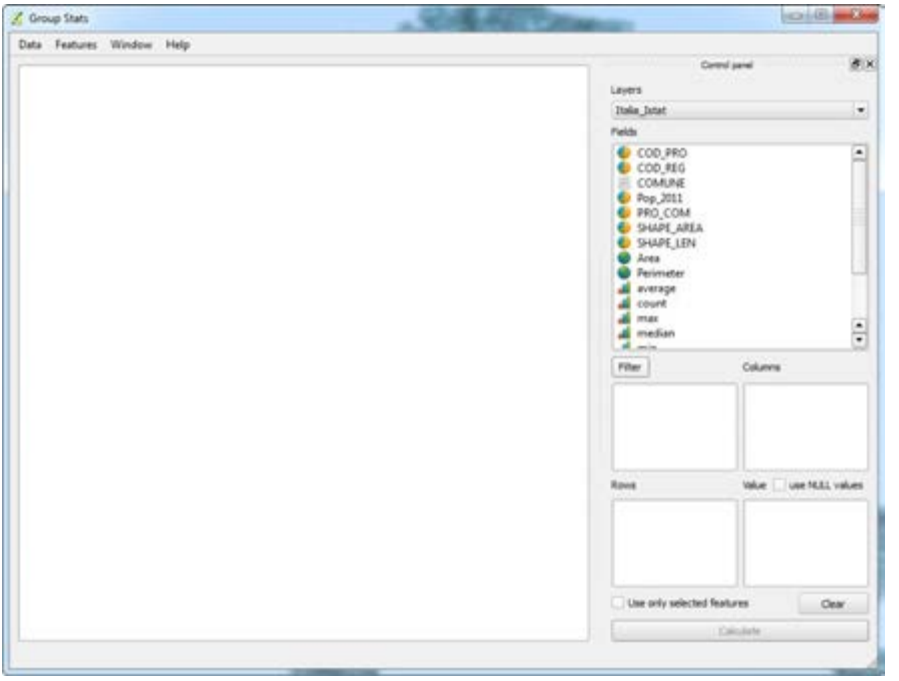


Figura 3.125 - Interfaccia dell'operatore Group - Stats

Il pannello di controllo permette di impostare i parametri per l’elaborazione, nel box centrale viene mostrato il risultato mentre i menù a tendina permettono una serie di operazioni tra cui l’esportazione finale del file. Tutto il procedimento viene gestito nel pannello di controllo: la prima cosa da fare è scegliere il layer al quale si intende applicare l’operatore tra quelli presenti sulla TOC i quali sono direttamente selezionabili nel menù a tendina della voce “Layers”. Nel Box “Fields” vengono visualizzati tutti i campi associati allo strato prescelto unitamente ad una serie di funzioni statistiche. Gli elementi presenti in questa sezione sono rappresentati attraverso una particolare simbologia:

: Campo di una tabella in input che contiene una informazione di tipo numerico (sia intero che decimale);

: Campo di una tabella in input che contiene una informazione di tipo testo (stringa alfanumerica);

: Permette di calcolare automaticamente area e perimetro (lunghezza) in funzione dell'attributo spaziale di ogni elemento dello shapefile;

: Permette di calcolare vari parametri statistici (Valore minimo, massimo e medio, somma, deviazione standard…) sulla base dei valori contenuti all'interno di uno specifico campo.

Il tasto "Filter" serve per effettuare delle query all'interno del dataset di partenza e applicare poi il Group-Stats solo agli elementi che la soddisfano (o anche solo a quelli selezionati in precedenza spuntando semplicemente la voce "Use only selected features"). I box "Colums" "Rows" e "Value" vengono utilizzati per fornire al plugin le informazioni da combinare per ottenere poi la tabella desiderata. Il tasto "Clear" viene utilizzato per eliminare i vari campi all'interno dei box. Tutto ciò che è presente all'interno della sezione "Fields" può essere inserito all'interno dei vari box utilizzando il "drag and drop" (trascinare e rilasciare). Per rispondere al nostro quesito (quanti sono gli abitanti residenti per ogni regione d'Italia?) abbiamo quindi bisogno di aggregare i comuni sulla base dell'informazione relativa al codice univoco (classificazione delle regioni su base Istat, 1 corrisponde alla Regione Piemonte 20 alla Regione Sardegna) identificativo di ogni regione d'Italia (contenuto in questo caso nel campo "*COD_REG*") e contestualmente sommare il numero di abitanti residenti all'interno di ciascun comune.

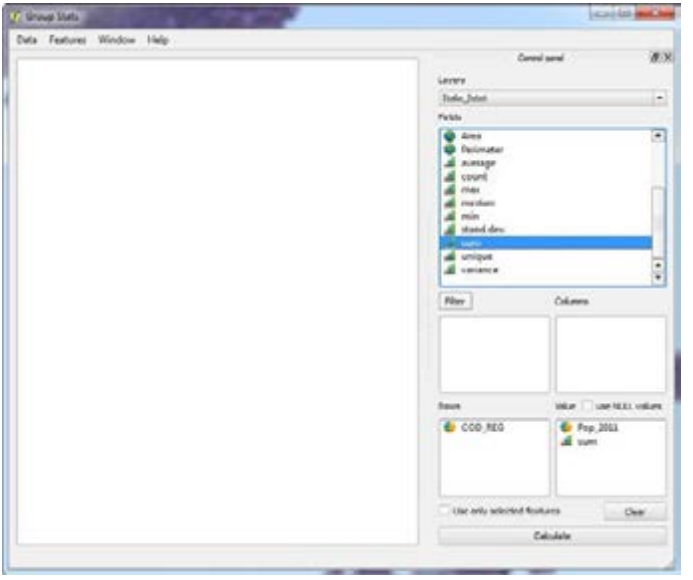


Figura 3.126 - Inserimento dei vari campi e funzioni all'interno del Group - Stats

Il risultato atteso è quello di una tabella contenente 20 record (le regioni) ognuno dei quali ha associato il numero totale di abitanti ivi residenti. Il campo in base al quale gli elementi devono essere aggregati va inserito all'interno del box "Rows" mentre la funzione statistica all'interno del box "Value". In particolare quest'ultimo conterrà sia il campo contenente l'informazione di nostro interesse ("Pop_2011") sia la funzione statistica da applicare ad esso ("sum" nel nostro caso). Se tutto è stato inserito al posto giusto il tasto "Calculate" può essere cliccato per far partire l'elaborazione. Il risultato è quello mostrato in figura 3.127, questo può essere quindi salvato come una normale tabella semplicemente utilizzando la voce "Save all to csv file" dal menù a tendina "Data" inserendo poi la directory di archiviazione del file. E' possibile poi dare una dimensione geografica alle informazioni elaborate nella tabella attraverso una operazione di join con un opportuno shapefile. Vediamo ora come combinare righe e colonne per ottenere una tabella più complessa.

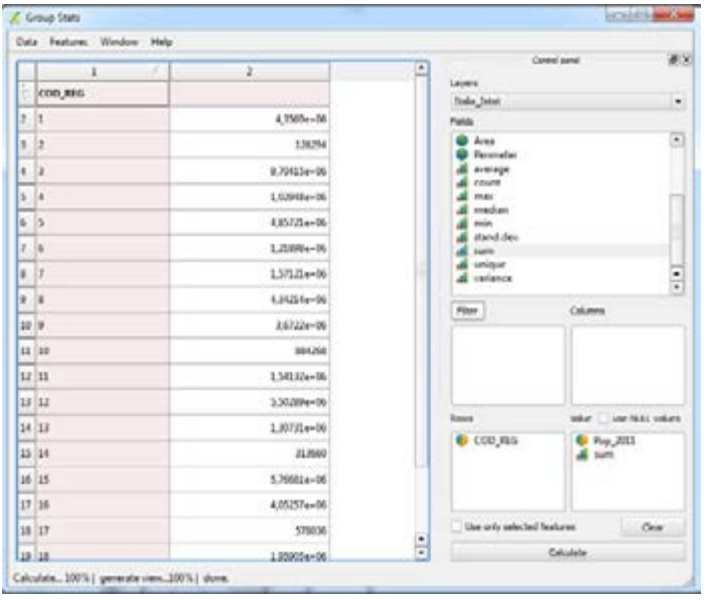


Figura 3.127 - Tabella di output

Immaginiamo di avere all'interno di uno shapefile di uso del suolo di una data regione (nel nostro caso l'Abruzzo) per ogni porzione di territorio sia il tipo di utilizzazione (es: classificazione Corine Land Cover) che quella relativa al comune di appartenenza e di voler conoscere quale sia la copertura in termini assoluti di ciascuna categoria all'interno di ogni singolo comune. La struttura della tabella è riportata nella figura 3.128. In questo caso l'aggregazione avverrà utilizzando l'informazione contenuta in due campi distinti: quello che contiene l'informazione

relativa al nome del comune e quello con i codici CLC di copertura del suolo. In pratica la nostra tabella avrà sulle righe i nomi di ognuno dei 305 comuni abruzzesi (dati Istat 2011) mentre sulle colonne ci saranno tutti i codici della classificazione Corine, all'incrocio tra riga e colonna l'area totale di ciascuna categoria per ogni singolo comune. In altre parole avremo l'informazione completa in valore assoluto della ripartizione delle varie categorie di copertura di suolo per ciascun comune. L'impostazione dei parametri all'interno dell'operatore Group - Stats è la seguente:

- "Colums": campo che contiene l'informazione che costituirà le colonne della tabella in output ("CLC12" nel nostro caso);
- "Rows": campo che contiene l'informazione che costituirà le righe della tabella in output ("Comune");
- "Value": campo che contiene l'informazione di interesse ("Shape_area") unitamente alla funzione statistica da applicare ad esso ("Sum");

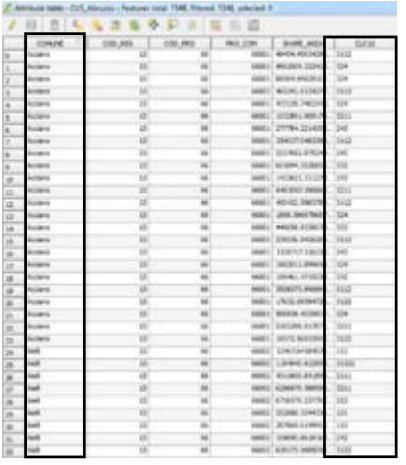


Figura 3.128 - Tabella con dati relativi all'uso del suolo della regione Abruzzo (CLC 2012).

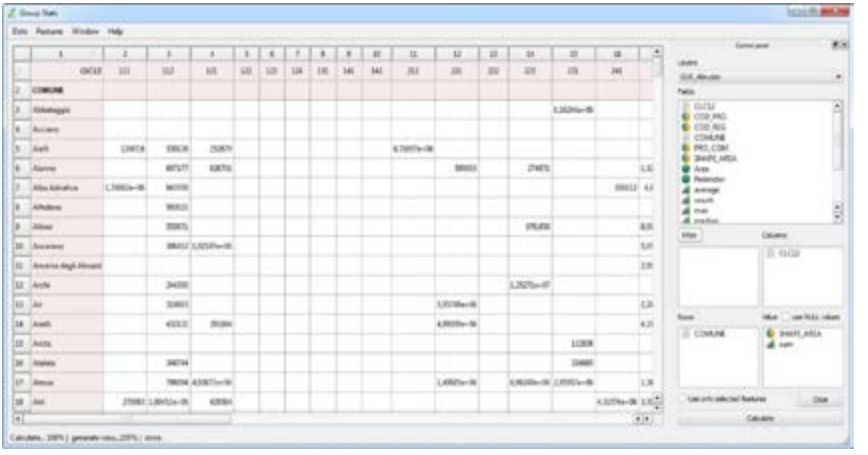


Figura 3.129 - Tabella di output con la copertura in valore assoluto di ogni categoria CLC (2012) per tutti i comuni abruzzesi.

Anche in questo la tabella può essere esportata e archiviata come un file .csv, può inoltre essere unita ad uno shapefile attraverso un’operazione di join.

3.9.7. Operatore Unisci Shapefile

Figura 3.130 - Schema operatore unisci shapefile

L’operatore unisci shapefile serve ad unire due o più layer in un unico strato. Viste le caratteristiche tecniche dello shapefile, gli strati da unire devono avere la stessa natura geometrica (punti, linee, poligoni). Lo strumento si attiva dal menù a tendina “Vettore – Strumenti di gestione dati – unisci shapefile”.

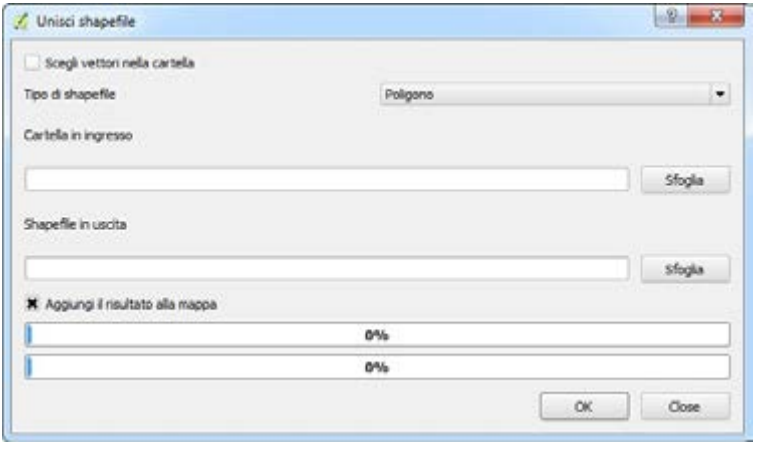


Figura 3.131 – Finestra di configurazione dell'operatore Unisci shapefile

Gli shapefile da unire devono trovarsi necessariamente all’interno della stessa cartella in un secondo momento va indicato se vanno uniti tutti o solamente alcuni di questi. La spunta sulla voce “Scegli vettori nella cartella” regola il funzionamento dell’operatore: se attivata, nel box successivo “File in ingresso” andranno selezionati all’interno di una singola cartella solamente gli shapefile da unire; in caso contrario andrà innanzitutto indicato il tipo di geometria degli shapefile da unire e nel box “Cartella in ingresso” la cartella dove questi sono archiviati. In questo caso verranno uniti tutti gli shapefile che si trovano all’interno della cartella prescelta i cui elementi hanno il tipo di geometria indicata nel box “tipo di shapefile” (questa è attiva solamente quando è spuntata l’opzione “Scegli vettori nella cartella”).

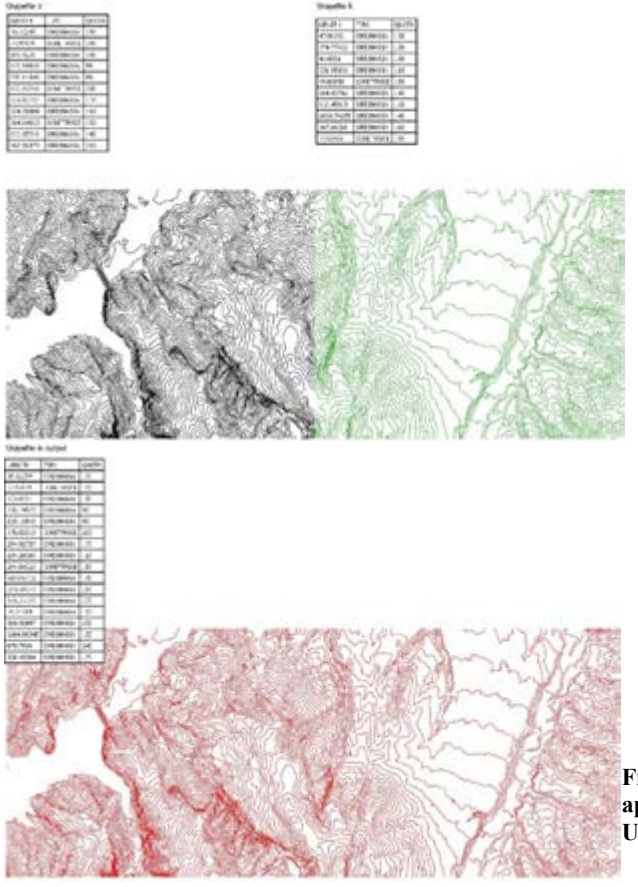


Figura 3.132 - Esempio di applicazione dell'operatore Unisci shapefile.

Infine andrà indicata la directory di archiviazione del file in output. Vediamo ora cosa succede a livello di database: se gli strati hanno gli stessi nomi e la stessa tipologia dei campi del dbf associato, il nuovo dataset conterrà tutti gli attributi dei

layer di input in una tabella identica ad uno degli strati di partenza. Se il database dei layer di input non sono identici (campi in più o in meno in uno o più di essi), le geometrie derivate avranno nella tabella associata il campo mancante ma naturalmente vuoto. Generalmente l'operatore merge si applica a strati che riguardano lo stesso tematismo che hanno gli stessi campi tabellari e geometrie contigue ma non sovrapposte.

3.9.8. Operatore Buffer

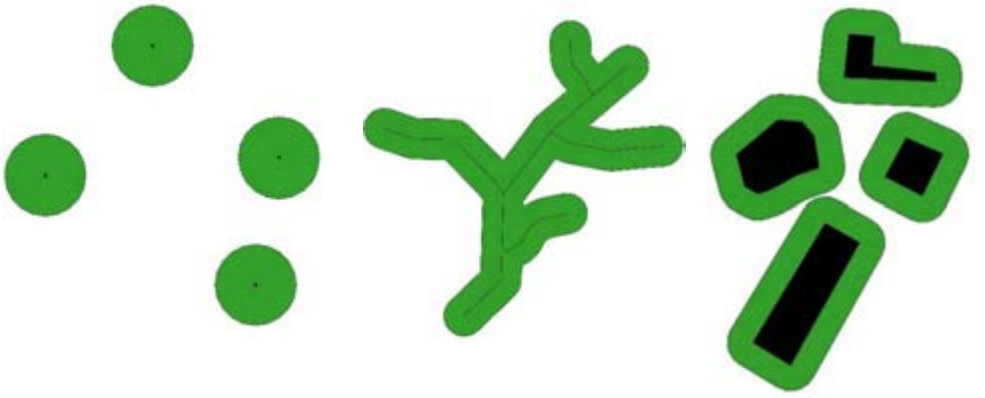


Figura 3.133 - Operatore buffer

L'operazione di buffering permette di creare un poligono di rispetto a partire da uno strato puntuale, lineare o poligonale ad una distanza fissa o anche variabile in funzione ad esempio degli attributi degli elementi dello shapefile di partenza. E' un operatore che viene utilizzato per analisi di prossimità la quale permette di verificare quali e quanti elementi si trovano ad una certa distanza da quelli di partenza. La geometria dello strato al quale viene applicato può essere di qualsiasi tipo (puntuale, lineare, poligonale) ed alla fine del geoprocesso viene generato un nuovo shapefile. Lo strumento si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di geoprocessing – buffer". Nel primo riquadro va specificato il layer al quale andrà applicato dopodichè va settato il numero di segmenti da approssimare, cioè il numero di segmenti da utilizzare per disegnare i limiti curvilinei delle aree di buffer. Maggiore sarà il numero settato maggiori saranno i vertici generati (e quindi coppie di coordinate) che inciderà ovviamente sui tempi di elaborazione. La distanza alla quale disegnare questa area di rispetto/influenza può essere scelta attraverso due modalità:

- Distanza buffer: in questo caso andrà specificata nel box adiacente la distanza (in unità di mappa) alla quale disegnare l'area di buffer per tutti gli elementi dello strato;

- Campo distanza buffer: questa modalità può essere utilizzata se nel database dello strato al quale si sta applicando il comando è presente un campo numerico all'interno del quale è specificata la relativa distanza di buffer da applicare diversa a seconda del tipo di elemento. Può essere usato ad esempio nel caso di uno strato informativo di infrastrutture stradali per le quali si è deciso di applicare una distanza di buffer diversa a seconda della tipologia stradale rappresentata (comunale, provinciale, statale, autostrada). In questo caso nel box sottostante andrà selezionato il campo contenente l'informazione relativa alle diverse distanze da applicare.

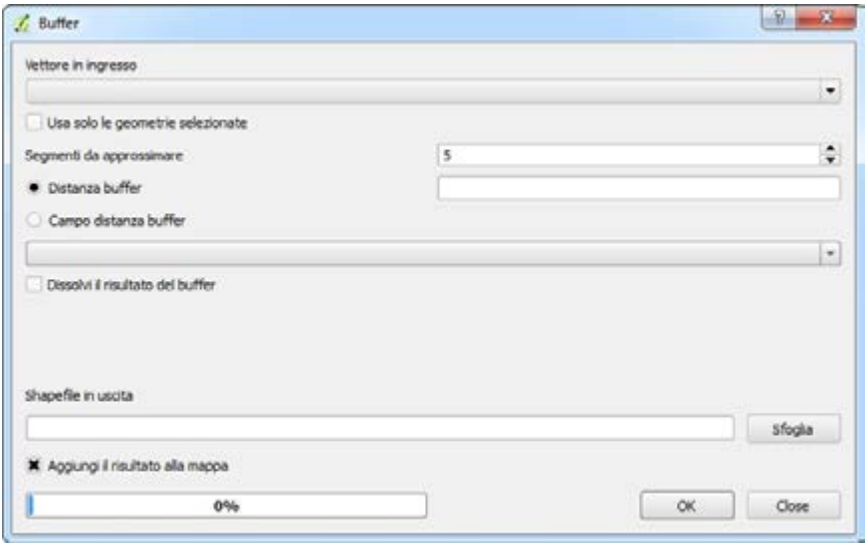


Figura 3.134 – Finestra di configurazione dell'operatore buffer

Infine è possibile scegliere se dissolvere i limiti dei poligoni sovrapposti il che restituisce un risultato grafico più omogeneo. Prima di avviare il geoprocesso bisognerà specificare la directory di salvataggio del file in output.

3.9.9. Operatore Statistiche di base

L'operatore Statistiche di base ("Vettore – Strumenti di Analisi – Statistiche di base") permette di elaborare informazioni statistiche sulla base di quanto riportato all'interno di un campo di uno specifico strato informativo. Spesso infatti risulta molto utile conoscere alcuni dei valori statistici ai fini di una particolare analisi che si sta effettuando. Parametri come la deviazione standard, valore massimo, valore minimo, valore medio, la somma e altri ancora possono essere ottenuti attraverso l'utilizzo di questo operatore. La figura seguente mostra la finestra di configurazione del tool:

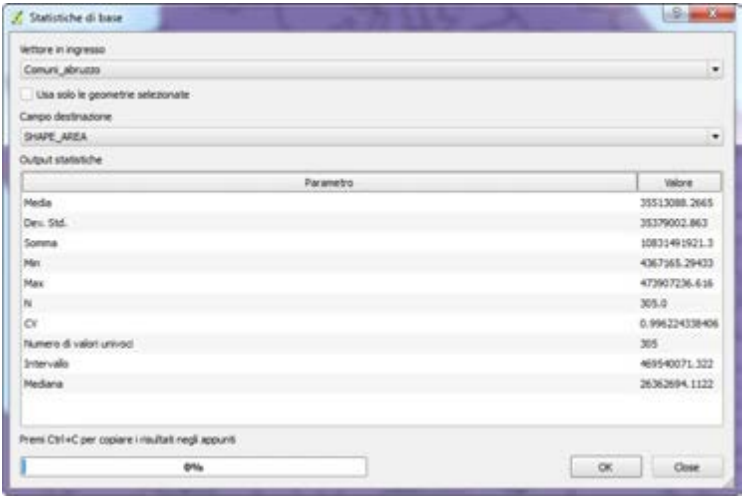


Figura 3.135 – Finestra di configurazione dell'operatore Statistiche di base.

Nel box "Vettore in ingresso" va inserito lo strato in oggetto (è possibile anche in questo caso utilizzare solo le geometrie selezionate spuntando la relativa casella) mentre nel box "Campo di destinazione" va selezionato il campo che contiene l'informazione di cui si vuole conoscere uno o più parametri statistici. Cliccando poi su "Ok" si ottengono i parametri all'interno del box "Output statistiche". Questi non vengono archiviati in nessun file ma sono degli output temporanei che però permettono di copiare ed incollare i risultati ottenuti.

3.9.10. Operatore elimina poligoni frammentati

E' un operatore molto utile in quanto permette di unire poligoni adiacenti sulla base della loro superficie o del contorno in comune. La presenza di poligoni dimensionalmente molto ridotti e quindi non significativi si riscontra spesso nei passaggi di conversione di un file .dxf o .dwg in uno shapefile. Come abbiamo visto nel capitolo 1, l'informazione in un sistema di tipo CAD è contenuta in diversi strati (livelli) sovrapposti ciascuno dei quali si riferisce ad un particolare ambito tematico a diversa geometria. Nel momento in cui lo stesso file viene aperto in un programma GIS, si presenta come un file in cui sono presenti più tipi di dati quali punti linee e poligoni oltre ad una serie di informazioni di tipo alfanumerico (contenute nelle annotation). Un sistema informativo di disegni, qual è il CAD, non possiede una struttura topologica del dato e molto spesso in fase di realizzazione del file, elementi contigui aventi uno o più lati in comune non vengono tra loro ancorati provocando una serie di errori di vuoti, sovrapposizioni e frammentazione degli oggetti finali che poi devono essere eliminati in ambiente GIS. Problemi di questa natura possono anche derivare da erronee applicazioni degli strumenti di geoprocessing o anche da

errori commessi in fase di digitalizzazione del dato geografico. L'operatore elimina poligoni frammentati permette appunto di eliminare elementi con dimensioni areali ridotte e quindi di pulire e deframmentare il layer di partenza. Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di geoprocessing – Elimina poligoni frammentati". La finestra di configurazione è quella mostrata in figura 3.136:

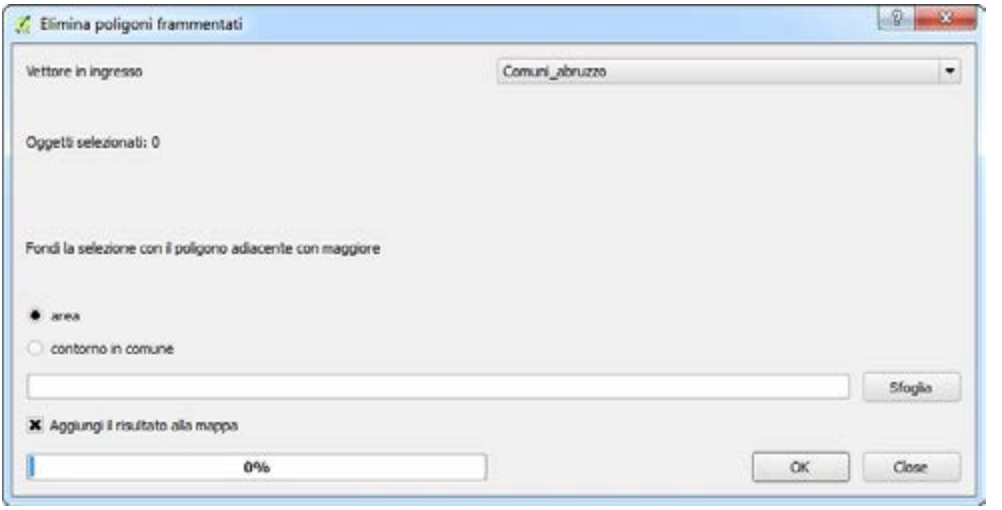


Figura 3.1361 - Schermata di configurazione dell'operatore elimina poligoni frammentati.

Nel box "Vettore in ingresso" va inserito lo strato informativo da deframmentare dopodichè occorre scegliere la metodologia per la deframmentazione che avverrà sulla base dell'attributo geometrico area o sulla condivisione del perimetro. L'operatore produce un nuovo shapefile per cui va indicato il percorso dove questo dovrà essere archiviato. Prima di applicare l'operatore bisognerà però selezionare gli elementi (attraverso il comando "Seleziona elementi usando un'espressione") che andranno fusi con quelli dimensionalmente maggiori. Per cui è indispensabile procedere per step selezionando poligoni al di sotto di determinate aree valutando contestualmente i risultati verificandone infine la coerenza con l'obiettivo prefissato.

3.9.11. Operatori di Join spaziale

Nei paragrafi precedenti è stato illustrato il join tra tabelle sulla base di un campo del database definito "chiave primaria" contenente un valore che identificava univocamente ogni elemento (relazioni di tipo 1 a 1 e 1 a molti). Concettualmente il join spaziale è simile al join tra tabelle ma, nel caso del join spaziale, il collegamento avviene sulla base di un criterio di tipo spaziale e quindi funzione della posizione degli elementi che vengono coinvolti nell'operazione. I principali operatori di join spaziale messi a disposizione dal software sono essenzialmente due:

- ***Somma lunghezza linee;***
- ***Unisci attributi per posizione;***

Sostanzialmente quindi il join spaziale permette di associare ad elementi geografici con geometria solitamente poligonale (ma anche lineare) dati tabellari di uno strato puntuale/lineare/poligonale sulla base dell'informazione spaziale associata ad ogni elemento. Per meglio comprendere il funzionamento di entrambi gli operatori procederemo con due esempi applicativi. Il primo esempio mette in relazione le infrastrutture stradali (layer a geometria lineare) con i limiti amministrativi comunali (layer a geometria poligonale) in modo da associare a ciascun comune la somma delle lunghezze delle infrastrutture stradali in esso presenti. Il secondo esempio mette in relazione il numero di aziende e di addetti delle stesse (layer a geometria puntuale) con i limiti amministrativi comunali (layer a geometria poligonale). In figura 3.137 sono mostrati i layer coinvolti nel primo esempio:

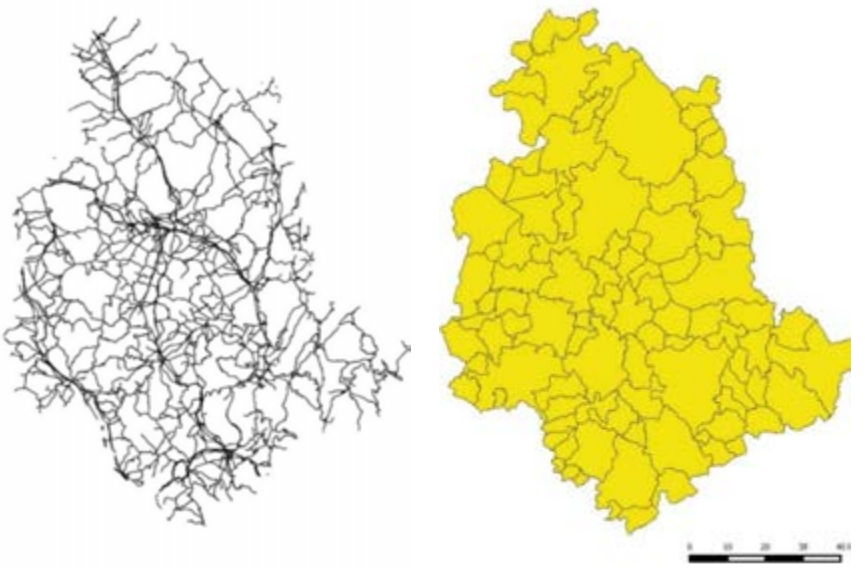


Figura 3.137 - Infrastrutture stradali principali e limiti amministrativi comunali della regione Umbria.

L'obiettivo è quello di ottenere appunto la somma delle lunghezze dei singoli tratti stradali per ciascun comune. L'operatore da applicare è "Somma lunghezza linee"; il geoprocesso si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di analisi – Somma lunghezza linee". La finestra di configurazione del geoprocesso è mostrata in figura 3.138.

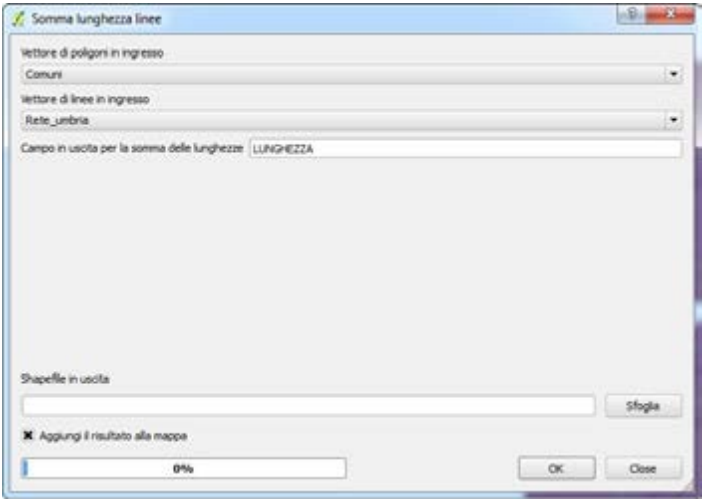


Figura 3.138 - Finestra di configurazione dell'operatore somma lunghezza linee.

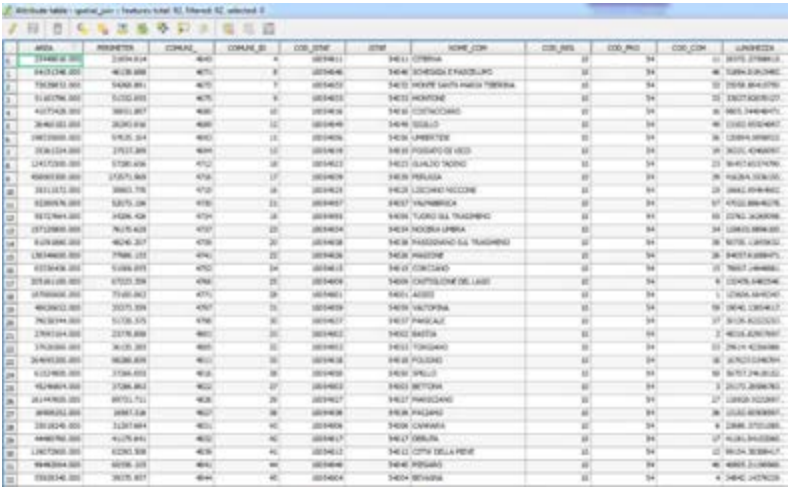


Figura 3.139 - Database del layer poligonale risultante dall'applicazione dell'operatore somma lunghezza linee (join spaziale).

Nel box "Vettore di poligoni in ingresso" va inserito lo shapefile poligonale dei comuni Umbri mentre nel box "Vettore di linee in ingresso" lo shapefile lineare della rete infrastrutturale regionale. Il box successivo permette di inserire il nome del campo che verrà implementato nello shapefile in output che conterrà la somma della lunghezza dei singoli tratti viari (di default è settato con il nome di "LUNGHEZZA"). Infine andrà indicata la directory di salvataggio del nuovo

shapefile (la geometria dello shapefile in output sarà di tipo poligonale). In sostanza a livello geografico otterremo lo stesso shapefile inserito nel box "Vettore di poligoni in ingresso" mentre nel relativo database verrà aggiunto un campo denominato in questo caso "LUNGHEZZA" che conterrà la somma delle lunghezze dei tratti stradali che ricadono all'interno del perimetro comunale. Vediamo ora invece il geoprocesso "Unisci attributi per posizione". I layer utilizzati sono quelli riportati in figura 3.140:

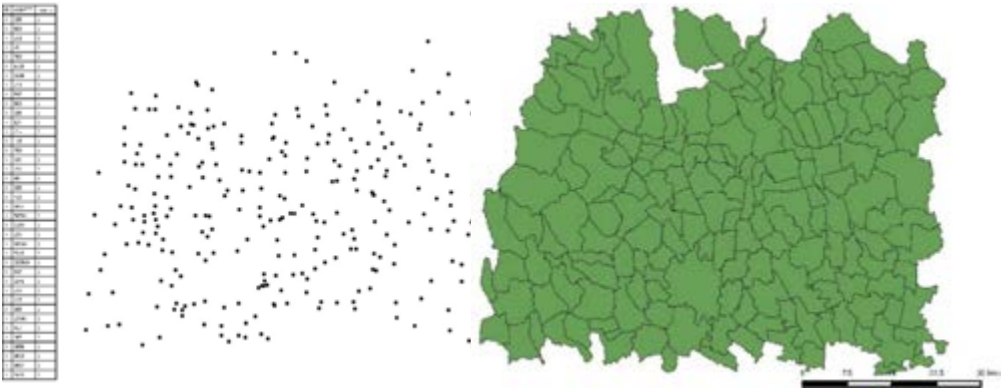


Figura 3.140 - Localizzazione geografica delle aziende e limiti amministrativi comunali.

L'obiettivo finale è quello di ottenere il numero totale di addetti e di aziende per ogni comune al fine di elaborare poi una mappa che ci permetta di capire come sono distribuite sia le aziende sia la forza lavoro nella nostra area ma anche ad esempio di elaborare la densità aziendale, tutte informazioni che possono essere utili ai fini di azioni di politica territoriale. Il database dello shapefile di geometria puntuale a livello geografico è costituito da punti che rappresentano la localizzazione dell'azienda stessa mentre a livello di database ad ognuna di esse è associato il numero di addetti. Naturalmente ci saranno comuni che avranno una sola azienda all'interno dei propri limiti amministrativi altri che ne avranno più di una (quindi più punti) e altri che non ne avranno nessuna. Tutte queste possibilità sono gestite dal geoprocesso "Unisci attributi per posizione". Il comando si attiva dal menù a tendina "Vettore – Strumenti di gestione dati – Unisci attributi per posizione". La finestra di configurazione è riportata in figura 3.141. Nel box "Vettore target" andrà inserito il layer che dovrà contenere l'informazione alfanumerica del vettore da unire (solitamente di geometria poligonale – in questo caso è stato inserito lo shapefile dei comuni). Nel box "Unisci vettore" andrà inserito il layer contenente gli elementi per i quali si intende trasferire l'informazione alfanumerica ad essi associata (in questo caso il layer a geometria puntuale relativo alla dislocazione spaziale delle aziende). Nella sezione "Sintesi attributo" viene deciso se la relazione deve essere di tipo 1 a

1 (in tal caso selezionare la voce “Prendi gli attributi della prima geometria”) o molti a 1 (in tal caso selezionare “Prendi il sommario dell’intersezione delle geometrie”).

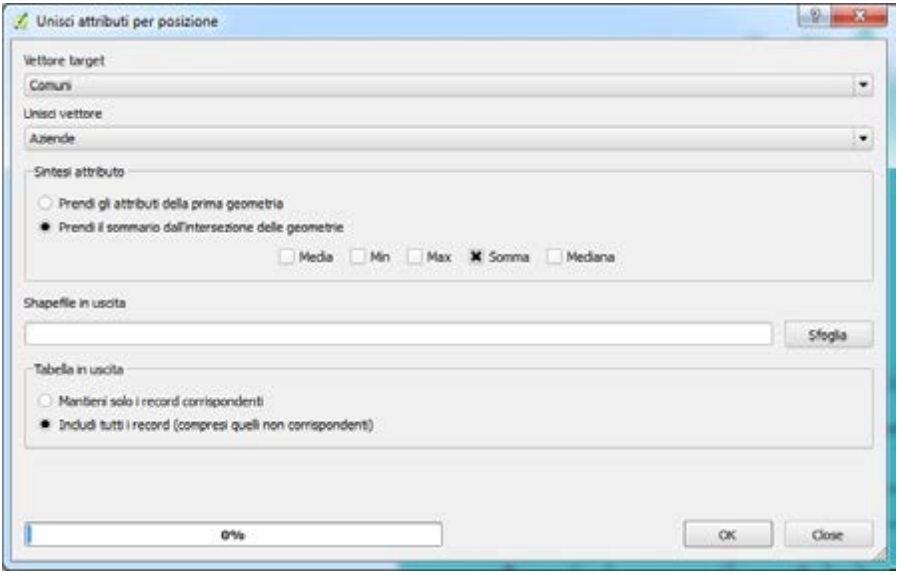


Figura 3.141 - Finestra di configurazione dell'operatore unisci attributi per posizione.

L’associazione avviene attraverso l’informazione di tipo spaziale: ad ogni elemento del vettore target viene associata l’informazione alfanumerica dell’elemento o degli elementi geometrici in esso contenuto/i. Se due punti (A e B) ricadono all’interno di uno stesso poligono ed è stato selezionato “Prendi gli attributi della prima geometria”, nello shapefile poligonale in output verranno creati due record (due poligoni identici e sovrapposti) di cui uno conterrà l’informazione associata al punto A ed uno quella associata al punto B oltre naturalmente al suo database di partenza. Se invece è selezionato “Prendi il sommario dell’intersezione delle geometrie” lo shapefile poligonale in output conterrà un solo record con associata l’informazione proveniente sia da A che da B con la possibilità di scegliere quali e quanti parametri statistico-matematici riportare nel database di output (media, minimo, massimo, somma, mediana). Questi parametri verranno elaborati sulla base dei valori associati per ciascun campo di tutti i punti ricadenti all’interno di ciascun poligono e verranno ad essi associati a livello di database aggiungendo uno o più campi che avranno lo stesso nome di quello presente nel vettore da unire preceduto da un suffisso che indica appunto la funzione applicata. Nell’esempio mostrato si è ovviamente scelta la relazione di tipo uno a molti mentre come parametro statistico da elaborare la somma in quanto l’informazione da ottenere è appunto quella del totale del numero di aziende e di addetti per ciascun comune. I parametri statistico-matematici vengono

naturalmente applicati a tutti i campi del database del layer inserito nel box “Unisci vettore” per cui in caso di presenza in questo di informazioni alfanumeriche non utili all’analisi conviene, prima di applicare il geoprocesso, eliminare dal database questi campi (meglio lavorare su una copia del file). Successivamente andrà indicata la directory di archiviazione del nuovo file mentre nella sezione “Tabella in uscita” è possibile scegliere se nel layer di output ci saranno solo le features del vettore target per le quali esiste una relazione spaziale con quelle del vettore da unire (in tal caso spuntare “Mantieni solo i record corrispondenti”) oppure se ci saranno tutte le features del vettore target indipendentemente dall’esistenza o meno di una relazione spaziale con quelle del vettore da unire (in tal caso spuntare “Includi tutti i record compresi quelli non corrispondenti”). Nel caso in esame è stata scelta questa modalità. Le figure 3.142 e 3.143 mostrano il risultato dell’applicazione del geoprocesso sia a livello geografico che di database.

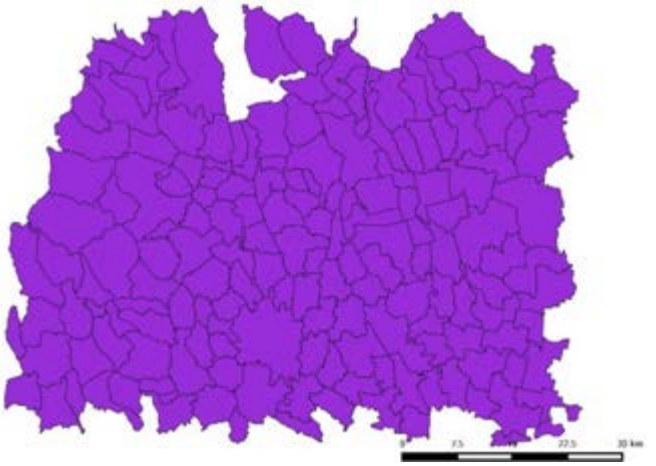


Figura 3.142 - Output geografico dell'operatore unisci attributi per posizione.

A livello geografico quindi si ottiene uno shapefile della stessa tipologia geometrica del vettore inserito nel box “Vettore in ingresso” il numero degli elementi che lo costituisce dipenderà dalle opzioni selezionate nei box “Tabella in uscita” e “Sintesi attributo”. Anche la tabella derivata dipenderà dalle stesse opzioni, nel caso in esame (“Sintesi attributo – prendi il sommario delle intersezioni delle geometrie – somma”; “Tabella in uscita – includi tutti i record”) alla tabella dello shapefile dei comuni sono stati aggiunti tre campi (“SUMID”; “SUMADDETTI” e “SUMNum_az”) che derivano dall’elaborazione di quelli presenti nel vettore da unire (“ID”; “ADDETTI” e “Num_az”) e che riportano l’informazione statistica richiesta (la somma in questo caso); inoltre viene riportato anche un campo (“COUNT” – inserito di default) che contiene il numero di elementi contenuti all’interno di ogni poligono e utilizzati

quindi nel calcolo statistico. In pratica per ciascun comune sappiamo ora quante aziende ci sono e quanti sono gli addetti totali.

Attribute table - join_aziende :: Features total: 171, filtered: 171, selected: 0

	AREA	COD_ISTAT	NOME_COM	COD_REG	COD_PRO	COD_COM	SUMID	SUMADDETTI	SUMnum_az	COUNT
0	47823172.000	5024042	GALLIO	5	24	42	0.000000000000	587.000000000	1.000000000000	1.000000000000
1	78104656.000	5024085	ROANA	5	24	85	0.000000000000	693.000000000	1.000000000000	1.000000000000
2	28226544.000	5024089	ROTZO	5	24	89	0.000000000000	638.000000000	1.000000000000	1.000000000000
3	36547364.000	5025002	ALANO DI PIAVE	5	25	2	0.000000000000	695.000000000	1.000000000000	1.000000000000
4	35224188.000	5024041	FOZA	5	24	41	0.000000000000	868.000000000	2.000000000000	2.000000000000
5	25811746.000	5024114	VALSTAGNA	5	24	114	NULL	NULL	NULL	NULL
6	12860073.000	5024076	PEDEMONTE	5	24	76	NULL	NULL	NULL	NULL
7	22939372.000	5024112	VALDASTICO	5	24	112	NULL	NULL	NULL	NULL
8	18872058.000	5024050	LASTEBASSE	5	24	50	NULL	NULL	NULL	NULL
9	19517708.000	5026054	PADERNO DEL GRAPPA	5	26	54	NULL	NULL	NULL	NULL
10	12093168.000	5026061	POSSAGNO	5	26	61	0.000000000000	987.000000000	1.000000000000	1.000000000000
11	13402460.000	5026090	VEDOR	5	26	90	NULL	NULL	NULL	NULL
12	23076270.000	5024093	SAN NAZARIO	5	24	93	0.000000000000	256.000000000	1.000000000000	1.000000000000
13	27310580.000	5026056	PEDEROBBA	5	26	56	0.000000000000	995.000000000	1.000000000000	1.000000000000
14	1896460.000	5026014	CAVASO DEL TOMBA	5	26	14	NULL	NULL	NULL	NULL
15	41406460.000	5024007	ARSIERO	5	24	7	0.000000000000	1164.000000000	4.000000000000	4.000000000000
16	17806662.000	5026024	CRESPIANO DEL GRAPPA	5	26	24	NULL	NULL	NULL	NULL
17	15812853.000	5024101	SOLAGNA	5	24	101	NULL	NULL	NULL	NULL
18	9905428.000	5024081	POVE DEL GRAPPA	5	24	81	NULL	NULL	NULL	NULL
19	33113658.000	5026004	BORSO DEL GRAPPA	5	26	4	0.000000000000	1334.000000000	3.000000000000	3.000000000000
20	13961146.000	5024106	TONEZZA DEL CIMONE	5	24	106	NULL	NULL	NULL	NULL
21	22218122.000	5024049	LAGHI	5	24	49	0.000000000000	612.000000000	2.000000000000	2.000000000000
22	11453313.000	5026045	MONFUMO	5	26	45	0.000000000000	235.000000000	1.000000000000	1.000000000000
23	26634776.000	5026025	CROCETTA DEL MONTELLO	5	26	25	0.000000000000	25700.00000000	2.000000000000	2.000000000000
24	12529156.000	5026023	CORNUDA	5	26	23	NULL	NULL	NULL	NULL
25	8784364.000	5026011	CASTELCUCCO	5	26	11	NULL	NULL	NULL	NULL
26	21356670.000	5024086	ROMANO D'EZZELINO	5	24	86	0.000000000000	686.000000000	2.000000000000	2.000000000000
27	36212480.000	5024032	COGOLLO DEL CENGIO	5	24	32	0.000000000000	2305.00000000	6.000000000000	6.000000000000
28	26866392.000	5024033	CONCO	5	24	33	0.000000000000	343.000000000	2.000000000000	2.000000000000
29	25830154.000	5026039	MASER	5	26	39	0.000000000000	62.000000000	2.000000000000	2.000000000000
30	9612687.000	5024023	CAMPOLONGO SUL BRENTA	5	24	23	NULL	NULL	NULL	NULL
31	34364656.000	5024054	LUSIANA	5	24	54	0.000000000000	1753.00000000	4.000000000000	4.000000000000
32	25347316.000	5026003	ASOLO	5	26	3	0.000000000000	858.000000000	1.000000000000	1.000000000000
33	43817680.000	5024080	POSINA	5	24	80	0.000000000000	2301.00000000	1.000000000000	1.000000000000
34	48953952.000	5026046	MONTEBELLUNA	5	26	46	0.000000000000	29617.00000000	3.000000000000	3.000000000000

Figura 3.143 - Database in output derivante dall'applicazione dell'operatore unisci attributi per posizione.

3.9.12. Strumenti di Processing

Abbiano sinora visto gli strumenti principali e maggiormente utilizzati di geoprocessing vettoriale implementati nel software attraverso il plugin ftools che viene installato unitamente al programma. Il geoprocessing raster, che verrà descritto nel paragrafo successivo, è invece gestito da un'altra serie di plugin tra cui il principale è Gdaltools che contiene tutti gli strumenti di geoprocessing che si attivano dal menù a tendina "Raster" (si ricorda che per attivare/disattivare un qualsiasi plugin installato bisogna andare nel menù a tendina "Plugins – Gestisci e installa plugins" selezionare poi la sezione "Installati"). Molto spesso però per le analisi a carattere ambientale-territoriale da svolgere si ha bisogno di geoalgoritmi raster e vettoriali più complessi e più articolati. QGIS è fornito di un potente strumento per l'analisi spaziale che raccoglie numerosi geoprocessi di vario genere denominato "Strumenti di processing". Questo indispensabile plugin è installato insieme al programma ed è attivo al momento in cui il software viene lanciato (in caso contrario basta cliccare con il tasto destro nella parte grigia in alto dell'interfaccia e scegliere la voce "Strumenti" o anche dal menù a tendina Processing). E' molto simile alla arctoolbox di Arcgis: esso infatti contiene tutta una serie di geoalgoritmi implementati da altri programmi GIS o anche di tipo statistico – matematico. In pratica gli strumenti messi a disposizione da questi software possono essere utilizzati all'interno di QGIS senza essere degli esperti conoscitori del software da cui essi derivano. All'interno di "Strumenti di processing" troviamo algoritmi provenienti da GRASS, GDAL/OGR, Orfeo toolbox, R, SAGA, TauDEM, gli strumenti per dati LIDAR ed un modellatore grafico di processing (simile al model builder di Arcgis). Ognuno di questi è inserito con uno schema ad albero ed è organizzato in sottomenù suddivisi per categorie in modo da facilitare la ricerca dell'algoritmo da utilizzare. Inoltre nella parte alta è presente un box all'interno del quale è possibile digitare il nome, o parte di esso, dello strumento che si sta cercando in maniera da effettuare contestualmente la ricerca nei vari menù. Nelle opzioni degli strumenti di Processing (menù a tendina processing – opzioni) è possibile configurare la toolbox. Anche questo è organizzato in una struttura ad albero in particolare il menù "Programmi" permette di

Figura 3.144 - Finestra degli strumenti di processing.

attivare/disattivare i tools di un particolare software collegato semplicemente attivando/disattivando la spunta sulla voce "Activate". Nella sezione "Generale" è utile spuntare la voce "Mantieni la finestra aperta dopo l'esecuzione dell'algoritmo" e "Usa il nome del file come nome del layer" che permette di evitare di assegnare nomi generici ai layer in output. Entrambe queste opzioni non sono attive di default mentre è attiva "Usa solo le geometrie selezionate" per cui è utile verificare se è indispensabile tenerla attiva in quanto se sono selezionati degli oggetti l'algoritmo sarà applicato solo ed esclusivamente ad essi e non all'intero layer. Il pannello presenta due interfacce grafiche: simplified e advanced. Nella simplified ci sono solo ed esclusivamente gli algoritmi propri di QGIS mentre nell'advanced è possibile ritrovare tutti gli algoritmi degli altri software una volta attivati dalle opzioni. Questo plugin rappresenta un valido e completo strumento per l'analisi territoriale grazie a tutta la serie di algoritmi al suo interno ed è di facile utilizzo anche per utenti meno esperti. Si ricorda comunque che è sempre necessario conoscere il funzionamento del geoprocesso che viene utilizzato in modo da comprendere il risultato che l'applicazione dello stesso fornisce.

3.10. Map algebra e Geoprocessing raster

Nel primo capitolo sono state descritte e analizzate le caratteristiche principali del dato raster e delle differenze di approccio alla modellizzazione della realtà tra il modello fields orientied proprio del dato raster e objects oriented tipico invece del dato vettoriale. In questo paragrafo vedremo quali sono le operazioni di geoprocessing raster focalizzando poi la nostra attenzione su quella che è la map algebra, un potente strumento di analisi territoriale. Prima di descrivere nel merito il geoprocessing raster è utile però ricordare quelle che sono le caratteristiche principali di un dato di questa natura: esso è infatti una matrice di celle a maglia regolare la cui unità fondamentale è il pixel, di forma quadrata. La dimensione del lato determina quella che viene definita risoluzione geometrica il cui quadrato appunto rappresenta la porzione di territorio discretizzata nel pixel, con associato un valore che modella un fenomeno continuo o anche discreto. La risoluzione tematica, cioè la sua componente descrittiva o dominio di validità, è funzione invece del numero di bit e di bande che costituiscono l'immagine raster. A differenza del dato vettoriale, la struttura del dato raster è semplice e regolare e questo facilita abbastanza le procedure di calcolo nell'analisi territoriale. I limiti invece sono rappresentati dalla risoluzione geometrica e conseguentemente anche dalle problematiche dovute al passaggio dato vettoriale – dato raster. La scelta della risoluzione geometrica, quando non dettata da regole e parametri dovuti allo strumento utilizzato, è soggettiva per cui può comportare differenti problematiche poi nelle procedure di calcolo e di analisi: una risoluzione troppo bassa può comportare una perdita dei dati di input mentre una risoluzione troppo elevata può incidere sulle procedure di calcolo per la generazione del dato raster con conseguente aumento delle dimensioni di

archiviazione (non sempre un dato con una elevata risoluzione è poi funzionale all'analisi da effettuare). Con la strumentazione tecnica a disposizione oggi quali ad esempio i già menzionati droni (SAPR – Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto o in inglese UAV - Unmanned aerial vehicle – vedi box 3.2), è possibile produrre dei modelli digitali del terreno con risoluzioni geometriche dell'ordine dei centimetri su porzioni di territorio abbastanza medio-basse (dell'ordine di decine di ettari) ma che derivano dal processamento di milioni di punti quotati che incidono poi sui tempi di elaborazione dello stesso oltre che sulle capacità computazionali delle macchine che devono eseguire i calcoli. L'utilizzo del dato raster avviene soprattutto nel campo della rappresentazione e dell'analisi di quelle variabili che hanno un andamento continuo sul territorio (altimetria, esposizione dei versanti, concentrazione di un inquinante…) ma spesso viene utilizzato anche per fenomeni che variano in maniera discreta sul territorio (ad esempio l'uso del suolo) per cui il passaggio da dato vettoriale a quello raster comporta sempre una scelta della risoluzione geometrica che incide poi inevitabilmente sul risultato finale. Gli strumenti a disposizione nel software per l'analisi raster sono molteplici la maggior parte dei quali si trova all'interno della finestra "Strumenti di processing" nelle toolbox di GRASS, GDAL/OGR, SAGA, R e TauDEM oltre ad una serie di strumenti presenti all'interno del menù a tendina "Raster". La map algebra è uno strumento di analisi territoriale introdotta ed utilizzata da Tomlin fin dall'inizio degli anni '80. E' stata una delle prime operazioni sviluppate nei GIS, basata sempre sul principio dell'overlay, con l'obiettivo di elaborare attraverso operazioni algebriche più o meno complesse, informazioni geografiche presenti su strati informativi diversi al fine di produrre un nuovo layer raster contenente il risultato dell'operazione. Naturalmente per poter essere tra loro confrontati i layer raster devono avere la stessa risoluzione geometrica, lo stesso sistema di riferimento e riferirsi alla medesima porzione di territorio. Possiamo quindi definire map algebra l'uso di operatori di tipo logico e matematico applicati a matrici che riportano dati territoriali con una serie di vincoli geometrici (Tomlin 1990, 1994). E' uno strumento con enormi potenzialità e facilità di utilizzo in quanto grazie alla varietà di operatori disponibili, alla semplicità con il quale è possibile costruire algoritmi, alla possibilità di analizzare contemporaneamente un numero elevato di layer, dispone di una elevata efficienza ed efficacia. In questo tipo di operazioni rivestono un ruolo di primaria importanza gli operatori che vengono classificati solitamente in 4 categorie principali (non vengono considerati in questa analisi quelli utilizzati per il pretrattamento delle immagini):

- Operatori locali;
- Operatori zonali;
- Operatori focali;
- Operatori globali;

Gli operatori locali sono quelli che consentono di attribuire ad ogni elemento del layer in output un valore che è funzione dei valori dei corrispondenti elementi dei layer di input. Le funzioni locali quindi non tengono conto delle condizioni al contorno di ciascun pixel e risultano essere anche abbastanza rapide anche da un punto di vista computazionale. Rientrano in questa categoria non solo operatori di tipo matematico (operatori algebrici, logaritmici, trigonometrici, statistici…) ma anche operatori logici (And e Or, Vero o Falso…) e di confronto – relazionali (ad esempio maggiore o minore).

1	8	7	2	0
0	2	4	1	3
3	4	1	1	4
4	6	9	3	0
2	1	5	5	0

+

0	2	3	1	6
0	1	3	2	2
4	2	1	1	5
2	0	0	3	2
3	3	1	1	4

=

1	10	10	3	6
0	3	7	3	5
7	6	2	2	9
6	6	9	6	2
5	4	6	6	4

Figura 3.145 - Esempio di applicazione di un operatore locale (somma aritmetica)

L'utilizzo di operatori di tipo relazionale, di confronto o degli operatori logici restituiscono in output un raster i cui valori nelle celle possono essere 0 e 1: la cella assumerà valore 0 se la condizione fissata non è soddisfatta 1 invece nel caso contrario.

11	12	10	10	5
9	8	4	4	2
13	11	2	2	3
2	1	15	10	2
6	7	14	11	0

Grid > 10 =

1	1	0	0	0
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0

Figura 3.146 - Restituzione raster derivante dall'applicazione di operatori logici-relazionali o di confronto.

Gli operatori zonali consentono di attribuire al layer di output un valore che è funzione dei valori delle celle del raster in input raggruppate secondo zone che sono definite nell'altro layer in input. Viene utilizzato spesso per il calcolo del valore massimo, minimo, medio, somma o anche range dei valori. Un esempio potrebbe essere quello del calcolo del valore medio di quota di un'area urbana.

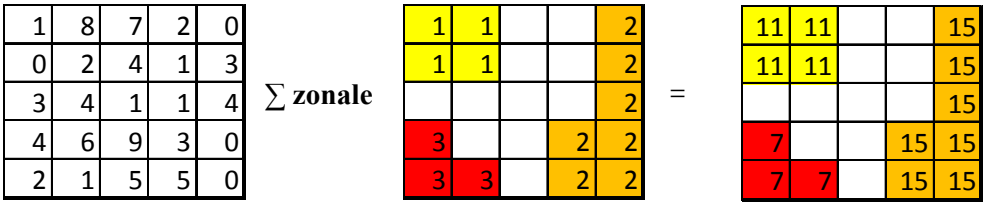


Figura 3.147 - Esempio di applicazione di un operatore zonale (Somma zonale).

Gli operatori focali o di intorno producono un raster di output nel quale il valore di output in ogni cella è funzione del valore di input della cella e dai valori delle celle in un intorno definito. A differenza degli operatori zonali dove il valore computato viene attribuito ad una intera zona, gli operatori focali attribuiscono il valore calcolato su più celle ad una sola di esse. L'utilizzo di un operatore focale prevede anche la scelta del tipo di operazione da effettuare tra i valori delle celle (ad esempio somma, media, deviazione standard, valore minimo o massimo) e l'intorno da considerare sia come forma (quadrato, rettangolo, cerchio) sia di dimensione (numero di celle da considerare nell'intorno). Si tratta quindi di una finestra mobile di forma e dimensioni note che si muove su tutto il raster in input restituendo per ogni cella del raster in output il valore risultante dalla funzione matematica applicata (il valore viene assegnato alla cella che si trova al centro).

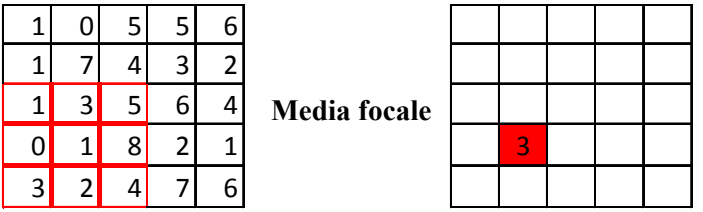


Figura 3.148 - Esempio di applicazione di un operatore focale (media focale).

Gli operatori globali consentono di attribuire al layer di output un valore che, potenzialmente, dipende dai valori di tutti i layer di input. Sono algoritmi che tengono conto quindi di tutti i valori che compongono le celle dei layer di input.

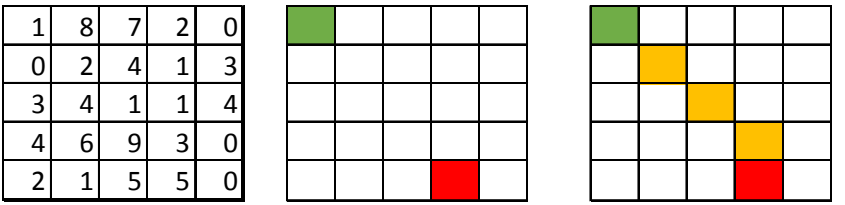


Figura 3.149 - Esempio di applicazione di un operatore globale (Calcolo del percorso a costo minimo).

Esempi di operatori globali possono essere il calcolo del percorso a costo minimo tra una cella di origine e una di arrivo, l'analisi di visibilità (viewshed analysis), il calcolo della distanza relativa di una cella con le altre. I valori assunti da una matrice raster possono essere sia numeri interi (integer grid) sia decimali (floating grid). Molto spesso i numeri interi vengono utilizzati anche per la rappresentazione di informazioni geografiche di tipo qualitativo-descrittivo (ad esempio denominazione di aree protette, categorie descrittive di uso del suolo…) associando quindi un valore numerico ad ogni elemento. Il formato, intero o decimale, dei valori contenuti nelle celle del raster generato in output da processi di map algebra è funzione del formato delle matrici in input. Va da sé che l'utilizzo di dati in input i cui valori sono nello stesso formato (tutti integer o tutti floating) generano in output una grid le cui celle avranno numeri con lo stesso formato di quelle in input. Nel momento in cui vengono utilizzate grid con formati numerici di tipo diverso (una di tipo integer e l'altra di tipo floating), la grid in output sarà di tipo floating. Un'altra differenza da chiarire è quella tra il valore 0 e *NoData* (o *Null*). Il valore 0 all'interno di una grid costituisce appunto un preciso valore numerico rilevato o calcolato che può essere utilizzato nei processi di map algebra. Al contrario la stringa *NoData*, assenza di dato, indica che in quella porzione di raster le celle mancano di attribuzione del dato. Un esempio può aiutarci a comprendere meglio il concetto: immaginiamo di generare una grid relativamente l'assetto infrastrutturale di un territorio con risoluzione geometrica tale da distinguere gli assi viari. Le porzioni di questo coperte da strade assumeranno valore 1 mentre tutte le altre *NoData* in quanto le infrastrutture sono completamente assenti. La differenza è sostanziale anche poi nelle operazioni di map algebra poiché una operazione tra una cella con un valore qualsiasi e una che invece ha assegnata la voce *NoData* produce in output sempre celle *NoData*.

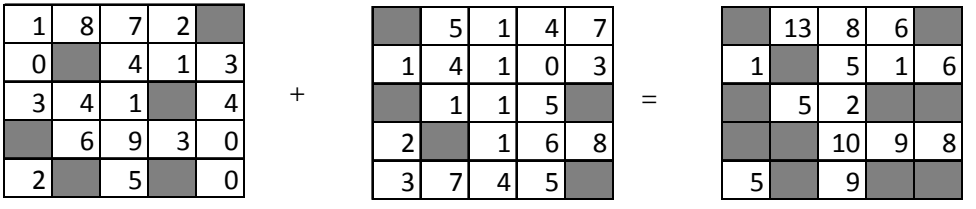


Figura 3.150 - Esempio di somma algebrica tra due grid in presenza di celle NoData (grigio scuro).

Il software QGIS mette a disposizione vari strumenti per eseguire le operazioni di map algebra come r.mapcalculator ("Strumenti di processing – Comandi di GRASS – Raster – r.mapcalculator"), o Raster calculator (Strumenti di processing – SAGA – Grid Calculus – Raster calculator) i quali risultano essere efficaci per elaborazioni più complesse ed hanno una interfaccia abbastanza articolata più congeniale ad utenti esperti. Uno strumento di semplice utilizzo ma ugualmente efficace per

l’implementazione di operazioni di map algebra è rappresentato dal Calcolatore raster attivabile dal menù a tendina “Raster”. L’interfaccia di questo strumento è mostrata in figura 3.151.

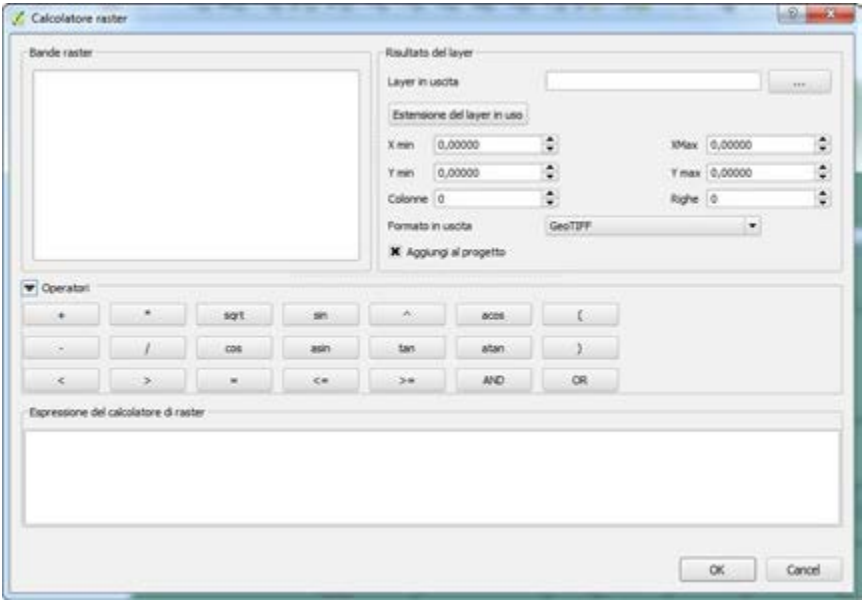
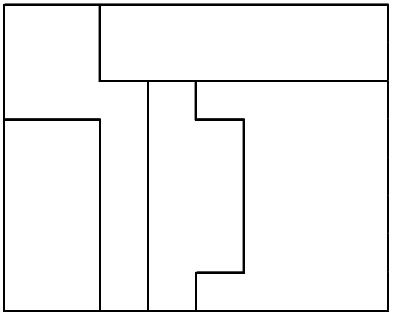


Figura 3.151 - Interfaccia grafica del calcolatore raster.

E’ suddiviso in 4 parti principali: bande raster, Operatori, espressione del calcolatore di raster e risultato del Layer. Le prime tre vengono utilizzate per settare i parametri in input l’ultimo per quelli in output. Nella sezione “Bande raster” vengono visualizzati tutti i layer in formato raster presenti nella TOC del progetto sul quale si sta lavorando, la sezione “Operatori” comprende i più comuni operatori matematici, di confronto e logici maggiormente utilizzati nella map algebra mentre nella sezione “Espressione del calcolatore raster” viene trascritta la sintassi dell’operazione da effettuare. In particolare la trascrizione di un layer raster nella sintassi di calcolo avviene attraverso un doppio click sul corrispondente nome presente nella sezione “Bande raster” (il nome del layer è seguito dal simbolo @ e dal numero della banda di colore considerata). Nella sezione “Risultato del layer” è possibile scegliere la directory dove archiviare il raster generato, l’estensione geografica dove calcolare l’espressione composta e il tipo di formato di file in output tra quelli proposti. Come più volte ribadito, l’efficacia del risultato in output è funzione di quelli che sono i dati in input. Il calcolo matriciale svolto dal calcolatore raster deve essere fatto tra raster che hanno la stessa risoluzione geometrica, lo stesso sistema di riferimento e la stessa estensione spaziale al fine di ottenere una perfetta sovrapposizione tra le

celle che compongono i vari strati. Un problema potrebbe derivare anche dal processo di georeferenziazione (RMS diversi) del dato relativo ad una stessa area geografica ma acquisito in tempi diversi o dal confronto di tematismi diversi relativi allo stesso territorio ma con differenti errori di posizionamento rispetto ad uno stesso sistema di riferimento. Ciò comporta, nell'analisi di confronto, un certo spostamento delle celle omologhe con conseguenti possibili errori nei risultati. Se i rilievi vengono fatti su aree di medio-basse estensioni, ad esempio tramite droni (che comunque a bordo hanno una strumentazione GNSS), potrebbe risultare utile l'ausilio di GCP a terra la cui posizione viene rilevata attraverso strumentazione GPS di precisione per georeferenziare il dato ottenuto ed anche quelli preesistenti in modo tale da ovviare il problema descritto in precedenza. Ad esempio un controllo periodico fatto sui volumi di scavo (e dei riporti) all'interno di una cava con strumentazione SAPR senza GCP può comportare degli errori sia nell'entità di questi parametri sia sulla loro effettiva localizzazione geografica. In questo casi si lavora con immagini ad altissima risoluzione (ordine dei cm/pixel) per cui è sempre necessario conoscere le caratteristiche dei dati di partenza e le loro funzionalità/problematiche relativamente alla tipologia di analisi da effettuare. L'utilizzo degli operatori logici "AND" "OR" "NOT" nel calcolatore raster permettono di effettuare quindi delle comparazioni tra due o più matrici raster. L'output sarà sempre una matrice raster che assumerà valori 0 (condizione non verificata) e 1 (condizione verificata). L'operatore "AND" impone che tutte le condizioni inserite siano verificate, "OR" che almeno una di quelle inserite è verificata. L'interfaccia del raster calculator offre la possibilità di utilizzare anche altri operatori molto utili nell'analisi spaziale come gli operatori trigonometrici ("SIN", "COS", "TAN", "ASIN","ACOS", "ATAN") o altri come la radice quadrata ("SQRT") o l'elevamento a potenza ("^"). Gli operatori logici sono molto utili nella pianificazione territoriale e nell'analisi ambientale, quando è necessario individuare aree di intervento sulla base di condizioni specifiche e vincoli. Per esempio: un'area è ad alto rischio di frana se ha pendenza elevata, vegetazione non boschiva e litologia di un certo tipo. Utilizzando una mappa delle pendenze, una mappa di copertura del suolo, una mappa geologica ed una geomorfologica, attraverso gli operatori logici è possibile generare una mappa delle aree a rischio di frana (Biallo, 2005).

3.10.1. Conversione tra formati: trasformazione da vettore a raster



1	1	2	2	2	2	2	2
1	1	2	2	2	2	2	2
1	1	1	3	4	4	4	4
0	0	1	3	3	4	4	4
0	0	1	3	3	4	4	4
0	0	1	3	3	4	4	4
0	0	1	3	3	4	4	4
0	0	1	3	4	4	4	4

Figura 3.152 - Rappresentazione schematica della conversione di uno strato vettoriale (a sx) in uno raster (a dx).

L'operazione di conversione si attiva dal menù "Raster – Conversione – Rasterizzazione". La conversione vettoriale-raster non è una semplice e banale operazione che può essere eseguita semplicemente eseguendo l'algoritmo implementato nel software GIS ma presuppone delle conoscenze sul modo di esecuzione dello stesso al fine di un suo corretto utilizzo e per l'interpretazione poi dei risultati. La conversione naturalmente genera una matrice di celle che avrà la stessa estensione spaziale e sistema di riferimento del layer di partenza ed una risoluzione geometrica definita dall'utente. Il risultato quindi dipende dalla geometria del layer di partenza (punto, linea, poligono), dalla scelta della risoluzione geometrica e dal criterio utilizzato per la conversione. Vediamo ora come è strutturata la finestra del geoprocesso per una migliore comprensione di come queste variabili influenzano l'esito dell'operazione.

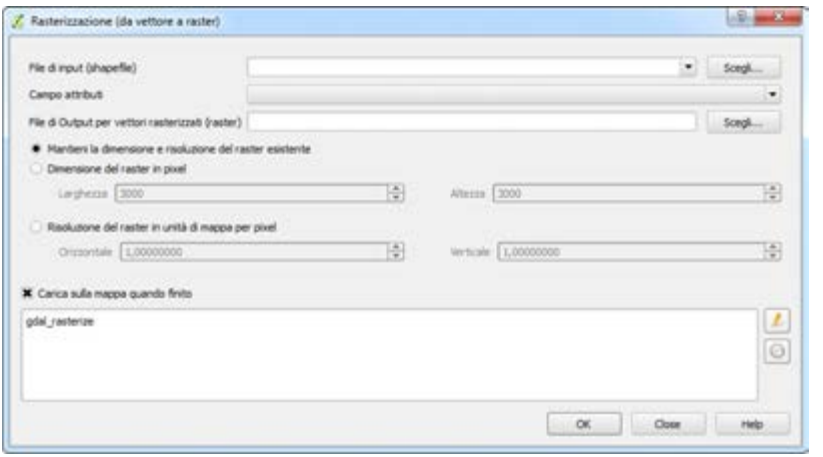


Figura 3.153 - Finestra del geoprocesso di rasterizzazione.

Nel box "File di input" deve essere inserito la shapefile da rasterizzare mentre in quello "Campo attributi" andrà scelto il campo del database del layer di input all'interno del quale andranno presi i valori da assegnare alle celle del file raster. Nella seconda parte della finestra va settata la risoluzione geometrica del pixel del raster in uscita scegliendo tra le opzioni proposte quella più congeniale; nella maggioranza dei casi si utilizza l'opzione "Risoluzione del raster in unità di mappa per pixel" in quanto permette di definire il lato della cella da assegnare a tutti i pixel del layer raster (come già ampiamente discusso la cella ha una forma quadrata, ma volendo può anche essere di forma rettangolare per cui in questo secondo caso andrà opportunamente settata sia la risoluzione verticale che quella orizzontale). La scelta della risoluzione geometrica da assegnare al pixel può provocare una perdita di informazioni nel processo di rasterizzazione di file specialmente quelli con geometria lineare o puntuale e perdita di accuratezza invece dei layer a geometria poligonale. Inoltre alcuni algoritmi implementati nei vari software GIS adottano criteri diversi per l'assegnazione del valore alle celle che costituiranno poi il raster:

- Criterio di presenza;
- Criterio di prevalenza;
- Centro della cella.

Spesso quindi il passaggio vettoriale-raster si configura come un processo iterativo al fine di raggiungere il giusto compromesso tra risoluzione geometrica e accuratezza nella rappresentazione evitando al contempo eccessive semplificazioni, perdite di informazioni e creazione di file raster di dimensioni notevoli in termini di bytes.

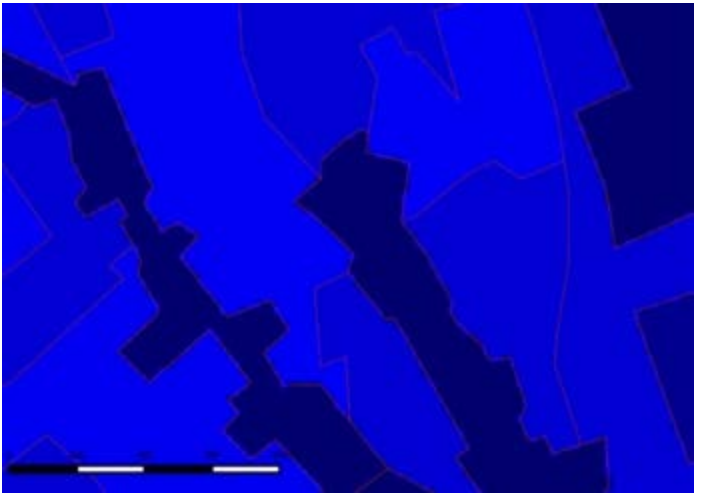


Figura 3.154 - Risultato dell'operazione di rasterizzazione (in rosso i limiti dei poligoni del layer vettoriale da cui deriva il raster)

3.10.2. Conversione tra formati: trasformazione da raster a vettore

Il comando inverso della rasterizzazione è rappresentato dalla vettorializzazione attivabile dal menù "Raster – Conversione – Poligonizzazione". Lo strumento permette quindi di convertire un layer raster in uno in formato vettoriale. La finestra di configurazione è rappresentata nella figura sottostante:

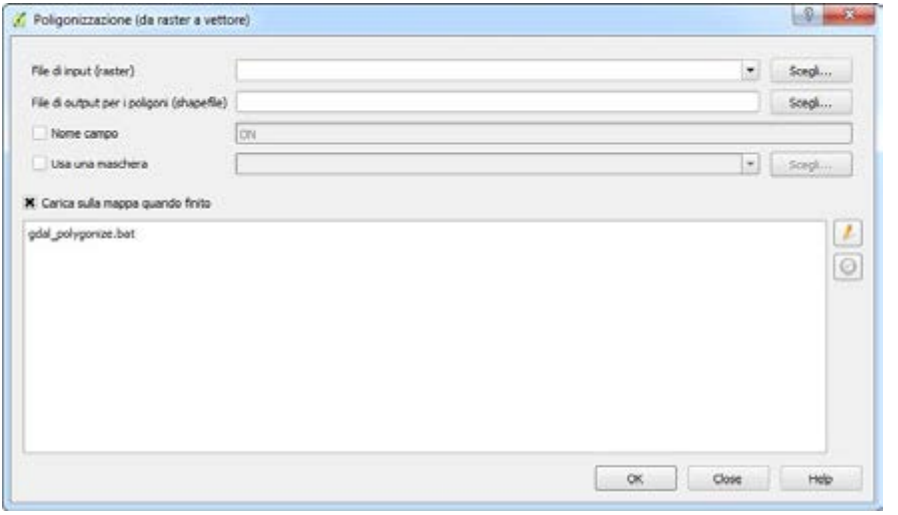


Figura 3.155 - Finestra di configurazione dello strumento di vettorializzazione.

Nel box "File di input" va inserito il layer raster da vettorializzare mentre in quello "File di output per i poligoni" la directory dove il nuovo shapefile verrà archiviato. La spunta su "Nome campo" permette di inserire la denominazione del nuovo campo che verrà creato nel database dello shapefile il quale conterrà l'informazione alfanumerica derivata dal raster in input. Inoltre è possibile utilizzare una maschera (attivare in tal caso la spunta su "Usa una maschera" indicando poi il layer raster da utilizzare allo scopo) che permette l'applicazione del tool solo ed esclusivamente all'area geografica definita da questa. La risoluzione geometrica del raster di partenza influenza naturalmente l'andamento dei limiti dei poligoni dello shapefile in output (andamento di tipo seghettato), mentre la tabella conterrà l'attributo derivato dalle celle del raster di input. Il comando "Semplifica geometrie" attivabile dal menù "Vettore – Strumenti di Geometria – Semplifica geometrie" permette di semplificare appunto le geometrie dei poligoni e quindi ridurre la forma seghettata settando opportunamente una tolleranza di semplificazione (smoothing analysis).

3.10.3. Ritaglio di un layer raster

Lo strumento di ritaglio raster viene utilizzato spesso quando si ha a disposizione uno strato informativo raster di un'area abbastanza estesa (es. DEM, carta della concentrazione di un particolare inquinante…) per ottenere lo stesso strato informativo su un'area di studio di dimensioni più limitate. Questa operazione infatti riduce poi i tempi di applicazione degli strumenti di analisi geografica diminuendo al contempo le procedure di calcolo computazionale dell'hardware. Lo strumento si attiva dal menù "Raster – Estrazione – Ritaglia" (fig. 3.156).

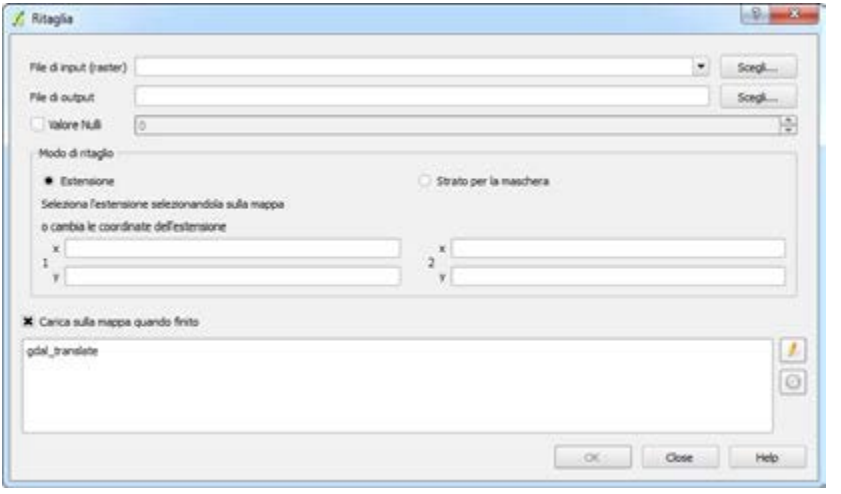


Figura 3.156 - Finestra di configurazione dello strumento di ritaglio raster.

Una volta indicati nei box "File di input" e "File di output" rispettivamente il layer raster da ritagliare e la directory di archiviazione del nuovo file raster, il software mette a disposizione tre diverse modalità per effettuare l'operazione di ritaglio:

- Estensione: la scelta di questa modalità prevede sia l'inserimento diretto delle coordinate del vertice in alto a sinistra (1) e di quello in basso a destra (2) del rettangolo di ritaglio, sia anche la possibilità di disegnare direttamente sulla mappa un boundary box all'interno del quale effettuare il ritaglio (in tal caso le coordinate verranno inserite in maniera automatica nelle 4 caselle);
- Strato per la maschera: la scelta di questa modalità permette di ritagliare lo strato raster di partenza sulla base dell'estensione spaziale di un altro layer (raster o vettoriale) utilizzato appunto come maschera di ritaglio. In questo caso andrà quindi indicato il layer da utilizzare per il ritaglio (selezionandolo tra quelli a disposizione se già caricato nella TOC oppure indicandone il percorso di archiviazione utilizzando il tasto "Scegli").

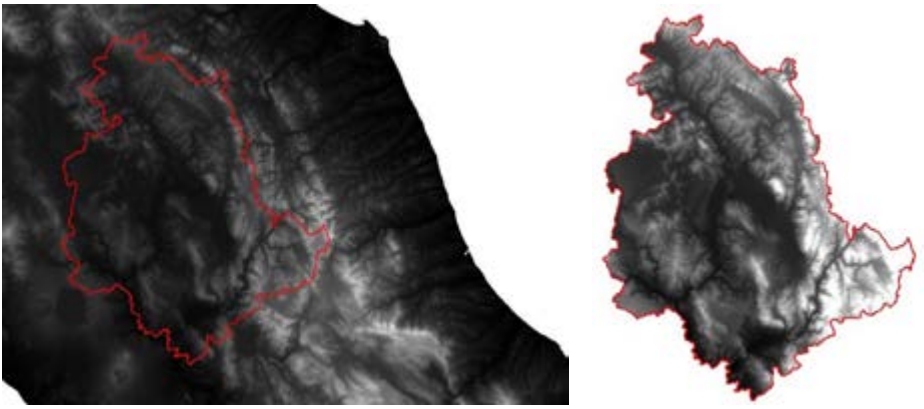


Figura 3.157 - Esempio di applicazione dello strumento di ritaglio raster

3.10.4. Unione di raster

Lo strumento di unione raster permette di unire due o più file raster in un unico file. Viene utilizzato quando si hanno a disposizione raster riguardanti lo stesso tematismo (ortofoto, modelli digitali del terreno…) che coprono porzioni di territorio differenti ma contigue, realizzando in tal modo quello che viene definito un mosaico raster. Ciò si rivela essere molto utile quando bisogna effettuare analisi territoriali su porzioni di territorio ampie suddivise inizialmente in più tessere raster; l’unione infatti permette di applicare una sola volta gli algoritmi di analisi piuttosto che eseguirli sulle singole tessere.

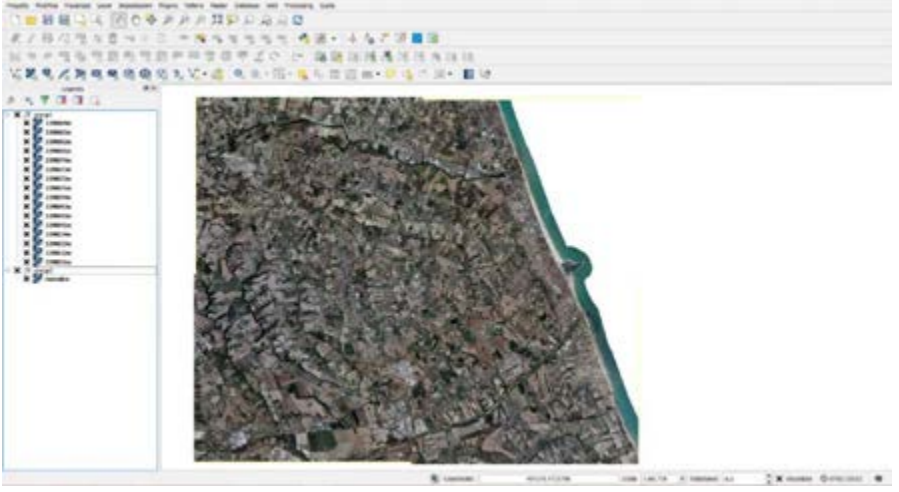


Figura 3.158 - Esempio di applicazione dello strumento di Unione raster: nel gruppo 1 ci sono le singole ortofoto che compongono l'area di studio, mentre nel gruppo 2 è riportato il risultato dell'unione di tutti i files.

Lo strumento si attiva dal menù "Raster – Miscellanea – Unione". I layer raster da unire devono trovarsi all'interno della medesima cartella ed è possibile selezionarne solo alcuni di questi (in tal caso dal box "File di input" selezionare i file da unire) o tutti (in tal caso attivare la spunta su "Scegli cartella in ingresso invece del file").

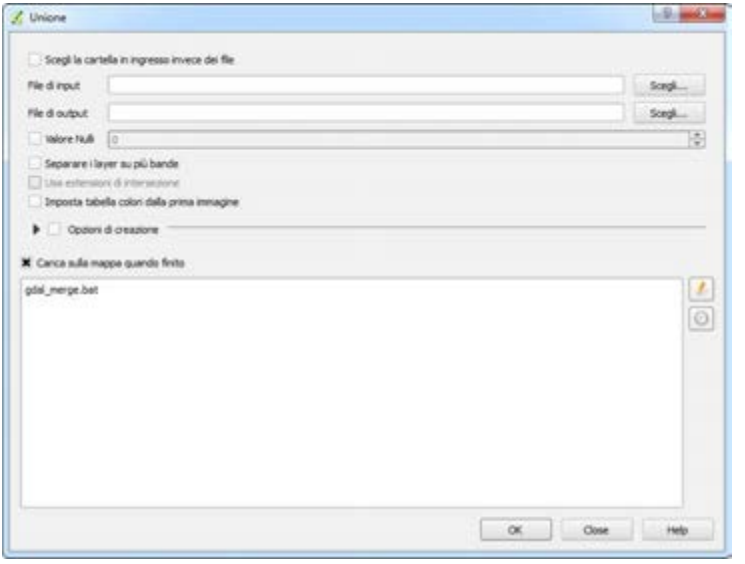


Figura 3.159 - Finestra di configurazione dello strumento di Unione raster.

Una volta indicata la directory del file in output si può eseguire l'algoritmo (fig. 3.159).

3.10.5. Statistiche zonali

L'operatore di statistica zonale permette di elaborare dei parametri statistici sulla base dei valori contenuti nelle celle di un raster in aree definite invece dai poligoni di un layer vettoriale. In pratica nel database del layer vettoriale vengono aggiunti tre campi (Count, sum e mean) che contengono i valori elaborati delle celle del raster in input contenute all'interno dei perimetri di ciascun elemento del layer vettoriale. I tre campi aggiunti contengono rispettivamente il numero delle celle contenute in ciascun poligono, la somma e la media dei valori. Il tool si attiva dal menù "Raster – Statistiche zonali – Statistiche zonali". La finestra di configurazione (fig.3.160) prevede l'inserimento in input sia del layer raster ("Raster") sia di quello vettoriale ("Vettore di poligoni che contiene le zone") sia del prefisso da utilizzare nelle colonne ("Prefisso colonna in uscita") che vengono poi create nel database di quest'ultimo.

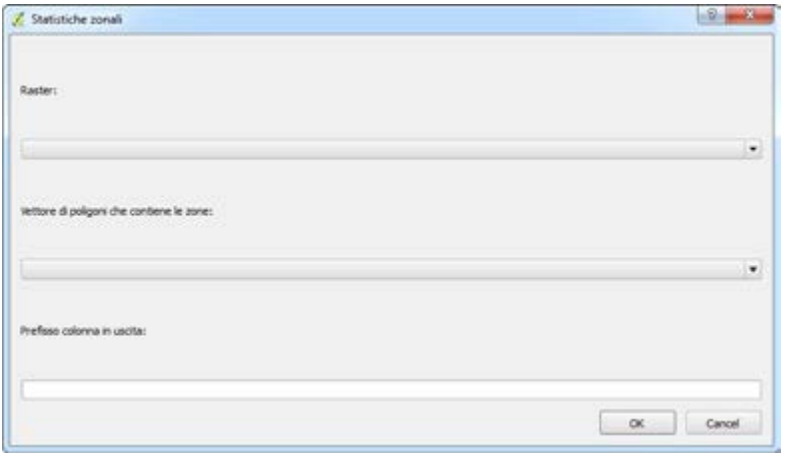


Figura 3.160 - Finestra di configurazione dello strumento di statistica zonale.

L'output quindi non sarà un nuovo layer bensì dei nuovi campi all'interno del layer vettoriale che conterranno le informazioni descritte. La figura sottostante mostra il funzionamento dell'operatore.

1	5	4	9	6	8	10	5
11	1	1	2	3	1	4	4
14	0	4	5	6	3	7	4
5	8	9	7	6	5	5	3
5	6	7	8	0	1	1	2
4	7	3	3	4	6	8	2
6	3	11	10	9	9	7	1
5	4	10	10	3	5	5	6

C

A

B

	Area	Perimetro
A	Aa	Ap
B	Ba	Bp
C	Ca	Cp

	Area	Perimetro	Count	Sum	Mean
A	Aa	Ap	37	180	4,9
B	Ba	Bp	23	147	6,4
C	Ca	Cp	16	86	5,4

Figura 3.161 - Esempio di applicazione dell'operatore di statistica zonale.

Il software dispone di altri tools che applicano algoritmi simili all'interno degli strumenti di processing come lo Zonal Statistics ("Geoalgoritmi di QGIS – Raster tools – Zonal statistics") o lo Zonal Grid Statistics ("SAGA – Geostatistics – Zonal Grid Statistics") in cui i parametri statistici vengono calcolati in aree non poligonali bensì definite da un altro layer raster. E' uno strumento il cui utilizzo si rivela essere fondamentale nelle valutazioni ambientali quando ad esempio si deve valutare la concentrazione media di un inquinante in una data porzione territoriale o anche

l'impatto visivo di un parco eolico (valore medio di visibilità all'interno di un'area critica). Altre volte viene utilizzato anche per la valutazione del valore medio di parametri morfometrici quali la pendenza o la quota all'interno di ambiti amministrativi (comuni) o territoriali (bacini idrografici) definiti.

3.10.6. Estrazione delle curve di livello

Permette di ottenere le curve di livello a partire da un modello digitale del terreno (DTM o DSM). Lo strumento si attiva dal menù "Raster – Estrazione – Curve di livello". Naturalmente il layer in input deve essere una grid contenente i valori di quota riferiti ad una specifica superficie.

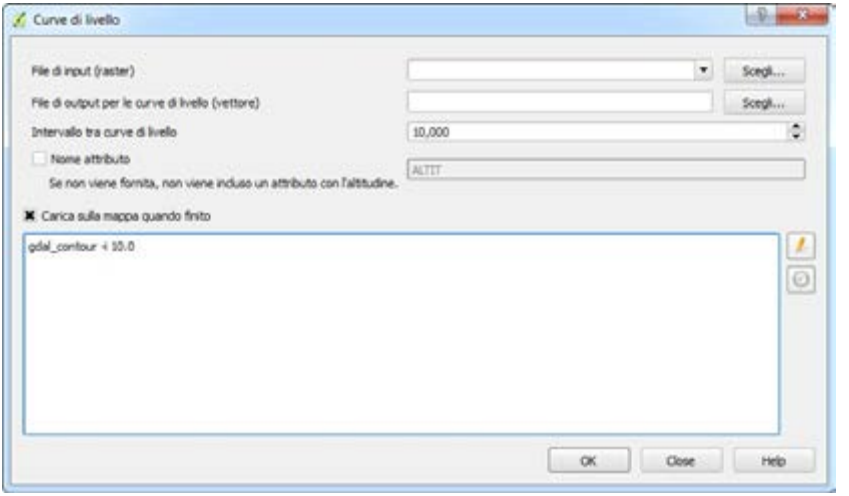


Figura 3.162 - Finestra di configurazione del tool per la creazione delle curve di livello.

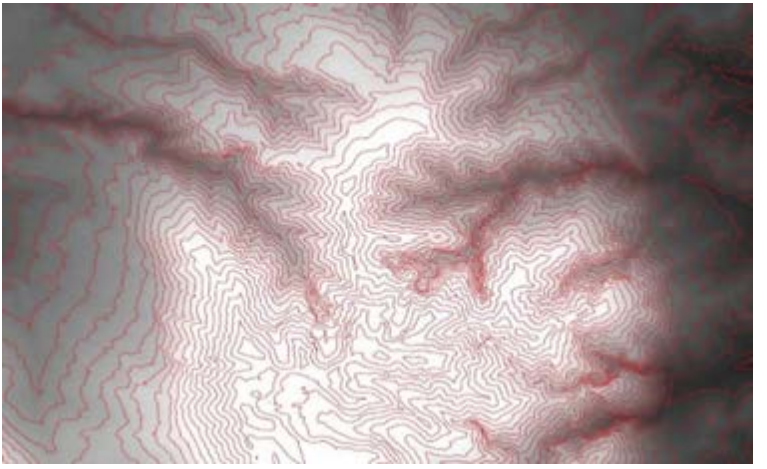


Figura 3.163 - Creazione delle curve di livello (in rosso) a partire da un modello digitale del terreno.

E' possibile definire l'equidistanza settandola opportunamente nel box "Intervallo tra le curve di livello" ed inoltre deve essere specificato il nome del campo che conterrà l'informazione relativa alla quota (porre la spunta sulla casella "Nome attributo" e inserire poi il nome nell'apposito box). La scelta del valore di equidistanza da utilizzare è naturalmente funzione del raster in input (ad esempio con rilievi di superficie da drone si possono ottenere curve di livello con equidistanza dell'ordine del metro ma anche dei centimetri). Un altro strumento che produce lo stesso risultato è il r.contour.step – Create vector contours from raster at specified steps ("Comandi di Grass – Raster – r.contour.step") che presenta però una interfaccia un po' più complessa rispetto a quella illustrata in precedenza. L'utilizzo del comando "Semplifica geometrie" già menzionato in precedenza può contribuire a eliminare eventuali andamenti seghettati (dipende dalla risoluzione geometrica del raster e dall'equidistanza scelta) delle isoipse generate dal tool.

3.10.7. Riclassificare i layer raster

La struttura matriciale del layer raster permette di clusterizzare/raggruppare e quindi riclassificare i valori contenuti nei pixel utilizzando intervalli definiti dall'utente. L'operazione di riclassificazione è fondamentale nelle operazioni di analisi territoriale (si pensi ad esempio alla procedura di standardizzazione degli impatti nella Valutazione di Impatto Ambientale). Prima di procedere con la procedura di riclassificazione naturalmente è necessario conoscere i valori minimo e massimo del raster da riclassificare in modo da utilizzarli poi per definire l'estremo inferiore del range del primo intervallo e l'estremo superiore dell'ultimo intervallo. Gli strumenti messi a disposizione dal software per l'operazione di riclassificazione sono r.reclass ("Comandi di GRASS GIS – Raster – r.reclass"), reclassify grid values ("SAGA – Grid tools - Reclassify grid values") e change grid values ("SAGA – Grid tools - Change grid values"). L'algoritmo più completo e complesso è reclassify grid values (permette di modificare singoli valori o anche riclassificare solo una definita parte del layer raster) mentre change grid values (a volte compare con il nome di Reclassify – Simple) ne rappresenta solo una parte ma comunque funzionale per completare l'operazione. La figura 3.164 mostra appunto la finestra di configurazione di questo geoalgoritmo. Naturalmente il primo dato in input da inserire è rappresentato dalla grid da riclassificare (inserirla all'interno del box "Grid") successivamente va selezionata all'interno del menù a tendina "Replace condition" una tra le seguenti condizioni:

- *(0) Grid value equals low value;*

- *(1) Low value < grid value < high value;*

- *(2) Low value <= grid value < high value.*

Ognuna di queste condizioni restituisce un risultato diverso. Nel caso di riclassificazione per intervalli definiti la condizione da utilizzare è la 2 la quale prevede che il valore della cella del raster in input per far parte di quell'intervallo deve essere maggiore o al più uguale al limite inferiore prefissato e minore del limite superiore prefissato. I valori dei limiti e il numero delle classi da utilizzare vengono definiti all'interno della Fixed table del box successivo ("Lookup table" riportata in figura 3.165).

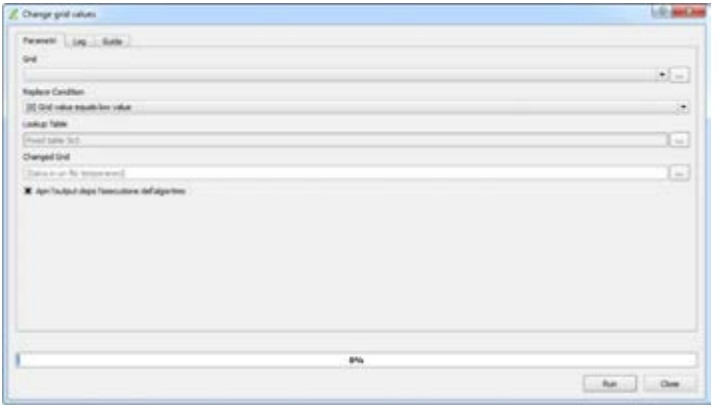


Figura 3.164 - Finestra di configurazione del tool Change grid values.

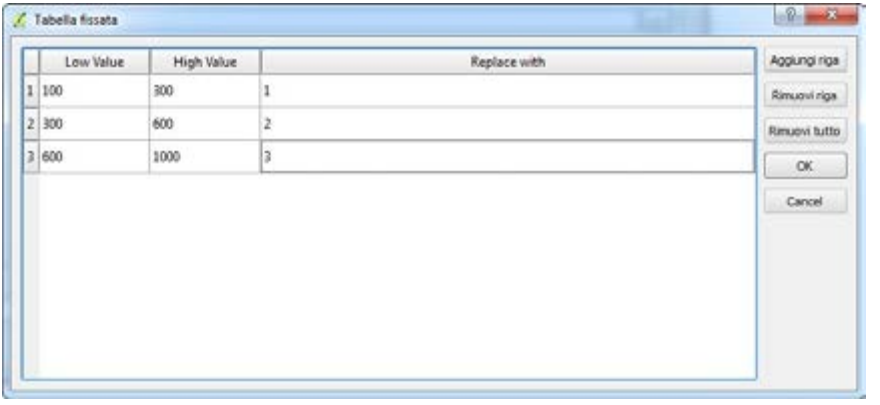


Figura 3.165 - Fixed table del tool Change grid values.

La tabella è composta da 3 colonne (limite inferiore e superiore di un intervallo mentre nella terza va indicato il nuovo valore da assegnare alle celle del raster in uscita che rientrano in quell'intervallo) mentre il numero dei record cambia a seconda del numero di classi che si intende utilizzare. Per aggiungere una nuova classe si usa il bottone "Aggiungi riga" al contrario per eliminarla "Rimuovi riga".

Gli estremi inferiori e superiori degli intervalli vengono settati semplicemente scrivendo i valori all'interno delle celle corrispondenti. Infine va definito se questo nuovo raster deve essere salvato come file temporaneo oppure va indicata la directory di archiviazione del nuovo file (il formato generato di default è il Geotiff).

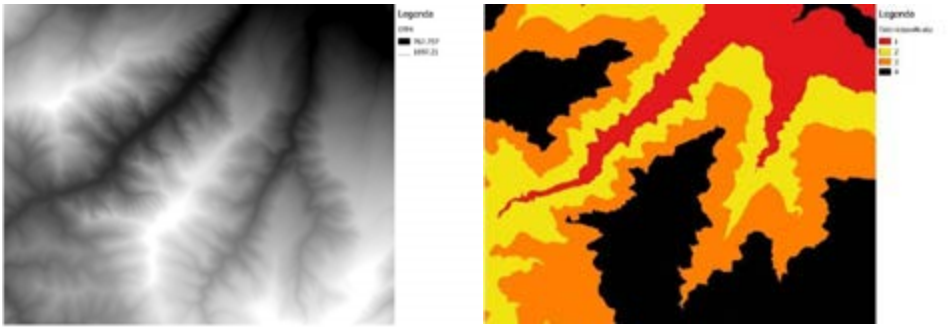


Figura 3.166 - Esempio di riclassificazione di una grid relativa ad un DTM.

3.10.8. Effettuare un ricampionamento sul layer raster

Ricampionare una immagine raster vuol dire predisporre una nuova matrice di celle con una risoluzione geometrica diversa rispetto a quella del raster di partenza alle quali andrà poi assegnato un valore tematico sulla base di quelli originari ottenuto però attraverso un metodo di interpolazione. L'operazione di ricampionamento viene quindi effettuata quando si devono uniformare strati raster per particolari analisi territoriali che inizialmente presentano una risoluzione geometrica differente (si pensi a quanto detto per le operazioni di map algebra).

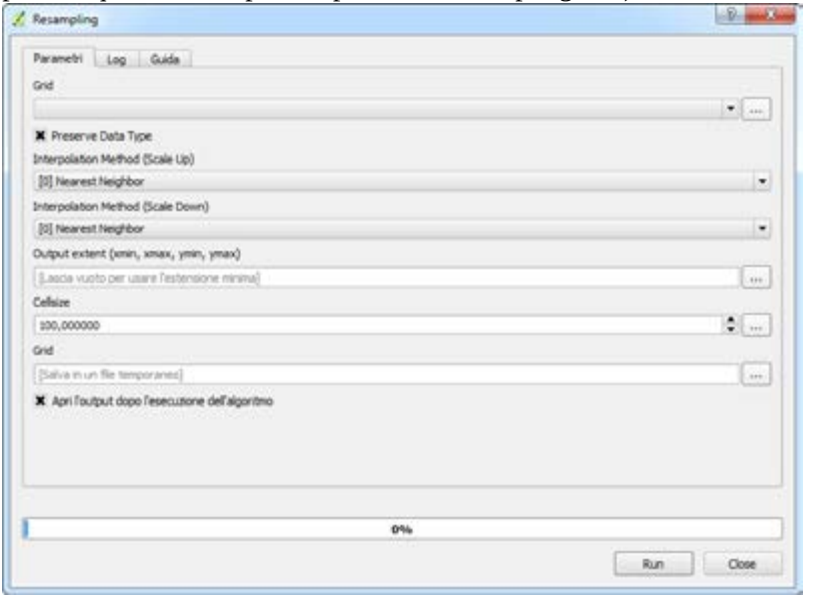


Figura 3.167 - Finestra di configurazione del tool resampling di SAGA.

Naturalmente quest'ultima può essere modificata sia in aumento (diminuzione del lato della cella) che in diminuzione con conseguente aumento delle dimensioni del lato della cella. Lo strumento che permette di eseguire tale operazione è il resampling (SAGA – Grid tools – Resampling) o anche r.resample (Comandi di GRASS – Raster – r.resample) anche se quest'ultimo effettua le operazioni di ricampionamento utilizzando solo il metodo di interpolazione nearest neighbors. In figura 3.167 è riportata la finestra di configurazione del tool resampling di SAGA. Una volta inserita in input la grid da riclassificare, lo strumento mette a disposizione tutta una serie di possibili algoritmi (nearest neighbors, cubic, inverse distance interpolation…) da utilizzare sia per aumentare (Scale up) che per diminuire le dimensioni del lato della cella (Scale down). Deve essere inoltre indicata l'estensione spaziale all'interno del quale questa operazione deve essere effettuata (box "Output extent") e le nuove dimensioni da assegnare alla cella (box "Cell size"). Infine va definita la directory di salvataggio nuovo file raster.

3.10.9. Raster della distanza

I geoprocessi "Prossimità (Analisi della distanza)" ("menù raster – Analisi - Prossimità (Analisi della distanza)"), grid buffer ("SAGA – Grid tool – grid buffer") e grid proximity buffer ("SAGA – Grid tools – grid proximity buffer") operano l'analisi di prossimità in campo raster. Partendo da una grid, l'algoritmo di prossimità genera un nuovo raster con risoluzione geometrica identica a quella del raster di partenza ed assegna a ciascun pixel un valore che è funzione della distanza (espressa in unità di mappa – pixel – o in gradi) di questo rispetto a celle di input con un determinato valore. L'algoritmo "Grid buffer" (finestra di configurazione in figura 3.169) traduce in formato grid quello che l'operatore di buffer produce sui dati vettoriali. Esso infatti permette di creare un buffer di tipo grid ad una distanza prefissata (da trascrivere nel box "Distance"). Il raster in output avrà solamente due

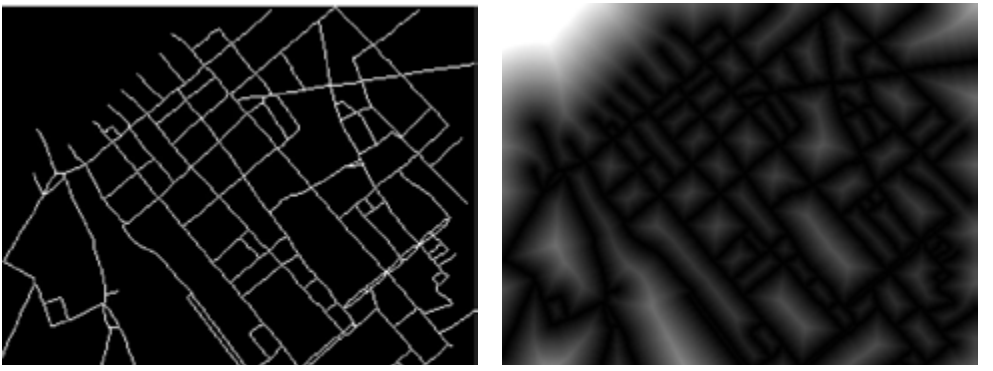


Figura 3.168 - Applicazione del tool di prossimità su un layer raster raffigurante un sistema infrastrutturale (a sx) con creazione del raster della distanza (a dx – in grigio più chiaro sono rappresentate le aree a maggior distanza dall'infrastruttura.

valori 1 e 2; il valore 1 viene assegnato a tutte quelle celle che si trovano alla distanza prefissata di buffer, 2 agli elementi di riferimento del raster in input dal quale è stata calcolata la distanza di buffer. A tutte le altre celle è assegnato la stringa “NoData”.

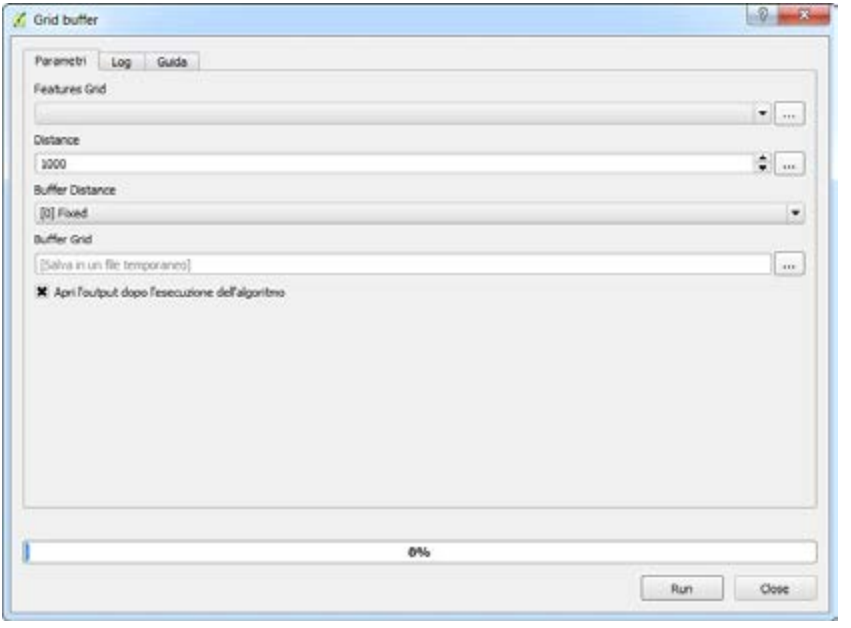


Figura 3.169 - Finestra di configurazione dell'operatore di grid buffer.

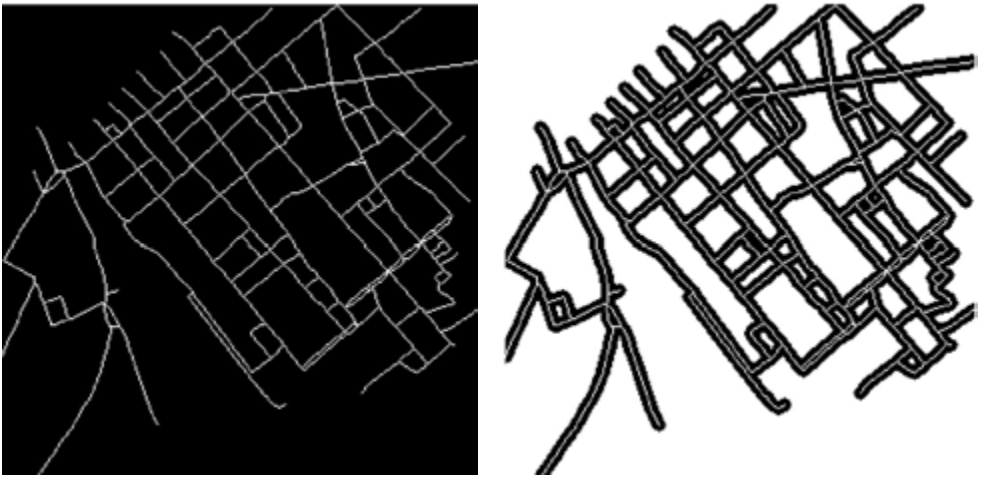


Figura 3.170 - Risultato dell'applicazione dell'operatore Grid buffer (Distanza di buffer pari a 20 metri).

3.10.10. Analisi di visibilità (plugin viewshed analysis)

L'Analisi di Visibilità, conosciuta anche come Viewshed, è una applicazione dei Sistemi Informativi Geografici, utilizzata soprattutto per le Analisi di Impatto Ambientale poiché permette di valutare le dimensioni geografiche e spaziali degli interventi realizzati sul territorio. Queste applicazioni, con il tempo, sono state estese come supporto e analisi per le nuove necessità ambientali. E' un tipo di analisi GIS utilizzata per valutare in via preliminare il possibile l'impatto visivo-paesaggistico di opere quali cave, discariche, impianti per la produzione di energia elettrica (parchi eolici e fotovoltaici) o anche pozzi di estrazione del petrolio la cui realizzazione genera degli effetti sulle diverse componenti ambientali. Si presenta dunque come uno strumento senza dubbio di estrema utilità nella redazione di studi di impatto/incidenza ambientale di queste e altre tipologie di opere nei processi di valutazione ambientale, per cui è fondamentale conoscere bene il suo corretto funzionamento. L'analisi viewshed esamina ogni cella di un modello digitale del terreno (DTM o DSM) per stabilire se è presente una linea di vista libera in corrispondenza dei punti osservatori, basandosi sulla presenza o meno di celle con dei valori di quota elevati che possono ostacolarla. In sostanza indica quali porzioni di territorio sono visibili da un determinato punto di osservazione. La viewshed analysis è stata integrata nel software QGIS attraverso un apposito plugin che può essere scaricato ed installato con estrema facilità (menù plugin – gestisci ed installa plug-in e nel box in alto scrivere viewshed). La finestra di configurazione (fig.3.171) è abbastanza complessa e permette di ottenere informazioni di tipo diverso, essa è attivabile dal menù "Plugins – Viewshed analysis – viewshed analysis" (nel momento in cui viene installato viene anche inserito nell'interfaccia grafica il tasto all'interno della toolbar Plugin).

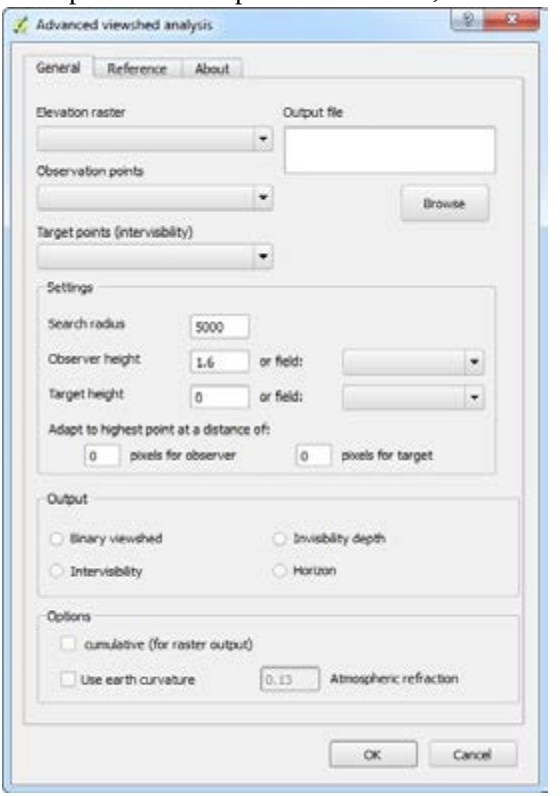


Figura 3.171 - Finestra di configurazione del plug-in della viewshed analysis.

Nella prima parte andranno inseriti il modello digitale del terreno (box "Elevation raster"), i punti di osservazione (box "Observation points") e i punti target (box "target points" da utilizzare solo per analisi di intervisibilità). Nella sezione Settings è invece possibile impostare il raggio dell'analisi ("Search radius" valore da inserire in unità di mappa) che limita l'analisi al solo territorio ricompreso all'interno della circonferenza di quel raggio, l'altezza dell'osservatore (di default è impostata ad 1.60 metri pari all'altezza media di un osservatore) e quella dei punti target (quest'ultima solo in caso di analisi di intervisibilità). In entrambi i casi per impostare questo parametro è anche possibile utilizzare un campo del database associato (opzione utile qualora si debba utilizzare una altezza diversa per i vari punti di osservazione). In output è possibile gestire il risultato dell'elaborazione calcolando quindi l'orizzonte visibile (Horizon), l'analisi di intervisibilità (Intervisibility) che fornisce una rete di relazioni di visibilità tra una serie di punti (stesso shapefile o due shapefile diversi a geometria puntuale), l'analisi di visibilità (Binary viewshed) che fornisce una grid con due soli valori 0 (celle non visibili dal punto di osservazione) 1 (celle visibili dal punto di osservazione) e la profondità di invisibilità (Invisibility depht) cioè la dimensione che un oggetto deve avere per essere visibile all'interno di una definita porzione di territorio.

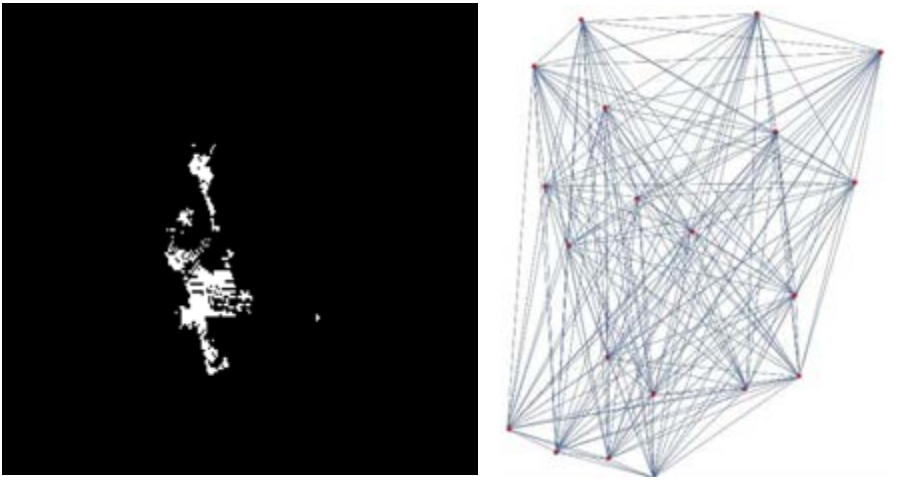


Figura 3.172 - Esempi di output della viewshed analysis: Binary viewshed (a sx in bianco sono riportate le aree visibili) e intervisibility (a dx) dove è mostrato il grafo della rete di relazioni di visibilità.

3.10.11. Calcolo del volume

Valutare quale sia il volume di materiale estraibile da una cava e le sue variazioni nel tempo come anche la capacità volumetrica di una discarica ad esempio, sono operazioni che possono fornire importanti informazioni per le analisi e le valutazioni

ambientali. Gli strumenti messi a disposizione dal software per i calcoli volumetrici sono essenzialmente due: r.volume e Grid volume (SAGA – Grid calculus – Grid volume). Naturalmente l'informazione di base per il calcolo è rappresentata da un modello digitale del terreno (DTM o DSM), meglio se ritagliato sull'area di studio in modo da ottenere risultati più precisi e limitare i calcoli computazionali e quindi i tempi di elaborazione.

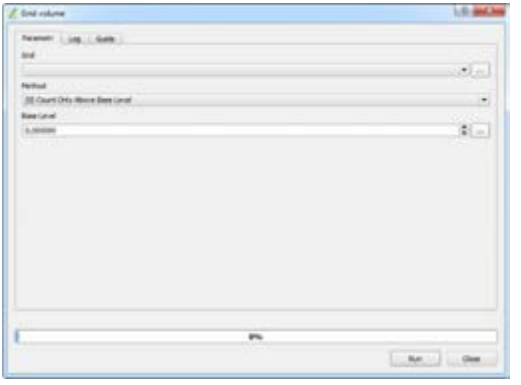


Figura 3.173 - Finestra di configurazione del tool grid volume.

All'interno della finestra di configurazione va impostata la quota da assegnare ad un ipotetico piano di base ("Base level") ed il metodo da utilizzare per il calcolo volumetrico tra quelli proposti (box "Method" (0) Count only above base level; (1) Count only below base level; (2) Substract volumes below base level; (3) Add volume below base level). La scelta della quota del piano deve essere concorde con la scelta del metodo poi da utilizzare per il calcolo: se la quota fissata per il livello base è impostata al valore più basso rilevato nel DTM il metodo da scegliere è Count only above base level cioè calcola il volume al di sopra della quota fissata dal livello base. Il valore finale del volume viene mostrato nella finestra di configurazione alla sezione "Log" (Fig.3.174).

Figura 3.174 - Esempio di calcolo del volume di una cava (immagine a sx) attraverso il tool grid volume.

3.10.12. Interpolazione

Questo paragrafo non vuole entrare nel merito degli algoritmi matematici dei metodi di interpolazione utilizzati per l'elaborazione di superfici statistiche o per la creazione di modelli digitali del terreno a partire da punti con valori noti, ma vuole semplicemente introdurre il lettore all'utilizzo di alcuni di questi per la generazione di modelli di superfici. Per una trattazione approfondita di tali argomenti si rimanda alla lettura di testi specialistici. I metodi di interpolazione si distinguono in deterministici e stocastici. I primi presuppongono che la costruzione di una superficie, a partire da punti campionati nello spazio in una certo tempo t, avvenga attraverso una funzione deterministica (i cui parametri hanno un significato fisico) che regola il valore assunto dalla variabile in un dato punto dello spazio in funzione della distanza e del valore assunto dalla stessa variabile nei punti campionati. Non vengono quindi considerate né le relazioni spaziali né le proprietà statistiche dei punti campionati. Metodi di interpolazione deterministica sono ad esempio: IDW (Inverse Distance Weighted) o anche la Natural Neighbour Interpolation. I metodi di interpolazione stocastica, che costituiscono il cuore della geostatistica, tengono conto invece della struttura spaziale della variabile, espressa attraverso la covarianza. La geostatistica richiede l'assunzione che la variabile studiata sia casuale, che la realtà osservata sia il risultato di uno o più processi casuali. L'applicazione del metodo infatti prevede delle analisi preliminari volte in prima battuta allo studio delle proprietà spaziali e statistiche dei dati in esame (distribuzione, identificazione ed eliminazione trend, identificazione anisotropie, ecc.) seguite dalla stima del variogramma, che permette di individuare una struttura di covarianza del campo stocastico compatibile con la variabilità presente nei dati studiati. Una volta definito un modello di covarianza compatibile con i dati è possibile procedere ad una ricostruzione del campo su di una griglia uniforme. La parte finale che è appunto quella di diagnostica permette di valutare, attraverso l'elaborazione della carta degli errori anche la precisione della stima effettuata (analisi di errore: cross validation, validation points, ecc.) e di selezionare la superficie che presenta il minimo errore di predizione. Il kriging è uno dei metodi di interpolazione geostatistica più noti. L'interpolazione può essere eseguita globalmente, se vengono utilizzati tutti i punti per costruire il modello oppure locale se, per estrapolare il valore di una data variabile in un punto, vengono utilizzati solo i punti campionati ad esso vicini. I metodi globali vengono utilizzati per descrivere quindi aree più ampie in quanto non sono naturalmente adatti per l'interpolazione di tipo locale. Tutti questi interpolatori sono stati integrati negli anni all'interno del software GIS, molti di questi algoritmi si trovano all'interno degli strumenti di processing per cui utilizzando la funzione di ricerca e scrivendo il nome dell'interpolatore, automaticamente saranno mostrati i relativi tool con finestre di configurazione più o meno complesse. Soffermeremo ora la nostra attenzione sulle funzioni di interpolazione deterministica integrate nel menù

raster ("Raster – Interpolazione – Interpolazione"). La finestra di configurazione è quella mostrata in figura 3.175.

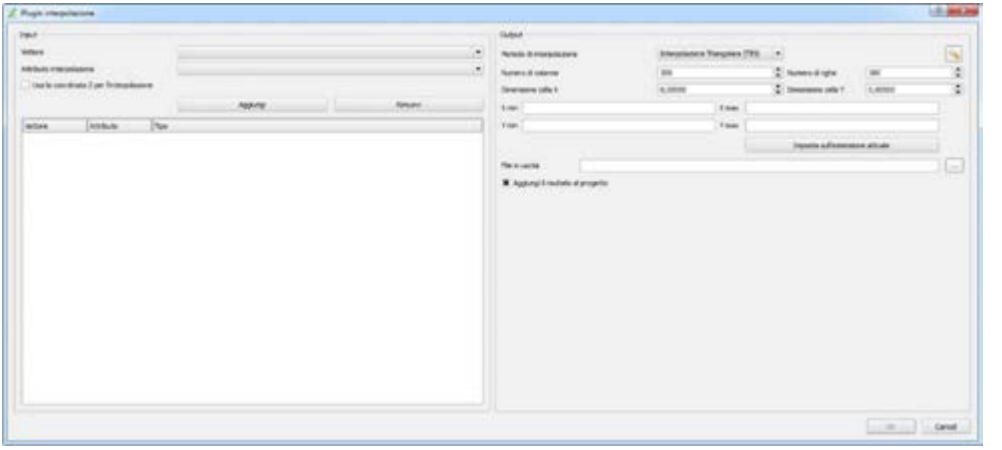


Figura 3.175 - Finestra di configurazione del tool interpolazione.

I dati in input di questo tool sono costituiti da punti, dove le coordinate x e y di ognuno di essi rappresentano la variabile spaziale mentre il valore misurato della variabile considerata è inserito all'interno di un campo del database. A tale scopo possono essere utilizzati shapefile a geometria puntuale o anche lineare (in questo caso vengono utilizzati i nodi e i vertici che costituiscono le linee). Il tool di interpolazione del menù raster permette di utilizzare due metodi di interpolazione deterministica: IDW e TIN. Di seguito saranno descritte entrambe le metodologie. L'Inverse Distance Weighted (Shepard, 1968) è uno degli interpolatori maggiormente utilizzati il cui assunto di base è che un dato in input ha un peso maggiore nella stima del valore in un determinato punto quanto più si trova vicino ad esso. In sostanza si tratta di una media pesata in base alla distanza dei punti rispetto al punto di osservazione. Solitamente l'utilizzo di questo metodo prevede che venga fissato un raggio di ricerca (è un interpolatore di tipo locale) in modo da limitare il numero dei punti utilizzato (tale opzione, unitamente ad altre, si ritrovano nel tool avanzato Inverse Distance Weighted di SAGA). Vediamo ora come settare i parametri nella finestra di configurazione del tool interpolazione (fig. 3.175). Nella sezione "input" andranno inseriti il/i dati da interpolare (dati puntuali o lineari). Ad esempio se si dispone per un'area dei punti quotati e delle curve di livello possono essere entrambi utilizzati per l'interpolazione del modello di superficie digitale del terreno. Quindi una volta inserito lo strato e selezionato il campo del database all'interno del quale si trova l'informazione da interpolare (valore di quota, concentrazione di un inquinante, valore della temperatura,…) cliccando sul tasto aggiungi automaticamente gli elementi dello strato saranno inseriti nel box

sottostante. Andrà quindi indicato il "ruolo" di questo strato nell'elaborazione dell'algoritmo in quanto il software propone tre tipologie di inserimento: punti, linee di interruzione e linee di struttura. Le linee di interruzione (hard breakline) e le linee di struttura (softbreak line) rappresentano cambiamenti netti di morfologia (come ad esempio le linee di scarpata o di faglia) che possono essere inseriti nella generazione del modello per una migliore rappresentazione della realtà. Si tratta quindi di layer lineari che rappresentano tali linee di rottura per le quali è possibile stabilire se il passaggio tra superfici ad andamento diverso deve avvenire in maniera netta (hardbreakline) oppure più graduale (softbreakline) come mostrato in figura 3.176. Inoltre queste linee in fase di esecuzione dell'algoritmo fanno sì che nella stima della misura di un punto che ricade da un lato della barriera vengono usati i soli dati misurati dal medesimo lato. Questi elementi geografici sono maggiormente utilizzati, quando disponibili, nella generazione dei TIN mentre nell'applicazione dell'IDW l'utilizzo è consigliabile qualora nella superficie da interpolare ci sono delle interruzioni fisiche significative. Le stesse curve di livello di una determinata area possono essere inserite come soft o hard breakline. Detto ciò, per utilizzare i punti ai fini del calcolo dell'algoritmo nella sezione "Tipo" si selezionerà la voce "Punti".

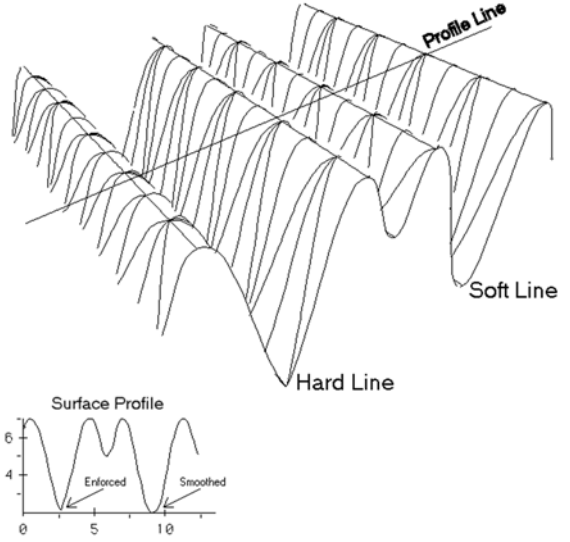


Figura 3.176 - Differenza tra Linee di interruzione e linee di struttura (tratto da: http://support.esri.com/es/knowledgebase/techarticles/detail/15375)

Il metodo di interpolazione va impostato su "Distanza inversa ponderata (IDW)". Relativamente i parametri di impostazione dell'algoritmo, accessibile attraverso il

pulsante , la finestra di configurazione del tool permette di modificare l'esponente relativo al peso da applicare alle osservazioni. Il peso applicato alle osservazioni è solitamente l'inverso del quadrato della distanza (di default infatti il "Coefficiente della distanza" o potenza di influenza è impostato su 2). Tanto maggiore sarà questo valore tanto più sarà l'influenza del valore della distanza sul risultato e viceversa (se impostato pari a 0 l'algoritmo diventerà una media mobile pesata). Bisogna poi scegliere l'estensione spaziale di applicazione dell'algoritmo tramite o l'inserimento delle coordinate dei vertici in basso a sinistra ed in alto a destra di un rettangolo utilizzato come riferimento oppure, prima di accedere alla finestra di configurazione dell'interpolazione, visualizzare nella view l'estensione geografica dove dovrà essere applicato l'algoritmo in modo che attraverso il pulsante "Imposta sull'estensione attuale" il risultato sarà estrapolato solo per l'area visualizzata nella view. Una volta scelta la risoluzione geometrica e la directory di archiviazione della grid in output, cliccando sul pulsante "Ok" l'algoritmo viene applicato. La durata del calcolo computazionale è funzione del numero di punti da interpolare, della risoluzione geometrica adottata, del coefficiente di distanza scelto oltre che dalle prestazioni del calcolatore sul quale viene eseguito l'algoritmo.

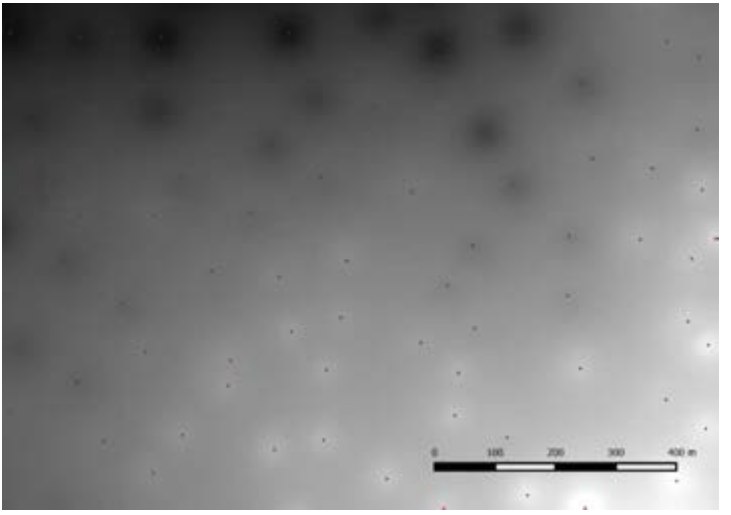


Figura 3.177 - Interpolazione eseguita con l'IDW. Notare l'effetto bull eyes.

Una delle problematiche maggiori nell'utilizzo del metodo IDW è la formazione di bull eyes (Noti V., 2014) (fig. 3.178), strutture circolari intorno a punti dispersi, che non sempre corrispondono a realtà morfologiche quali picchi, valli o depressioni tipicamente associate alla scelta di bassi valori del coefficiente della distanza. Come detto precedentemente, è possibile anche utilizzare l'algoritmo implementato in

SAGA che permette di impostare oltre al coefficiente di distanza altri parametri quali il numero dei punti più vicini da utilizzare e il raggio di ricerca in modo da ottenere un risultato certamente più coerente con la realtà da modellare. Lo strumento "Interpolazione" ("Raster – Analisi – Interpolazione") permette di impostare gli stessi parametri e anche l'utilizzo di altri metodi di interpolazione deterministica quali la media mobile ed il nearest neighbor. Il metodo della triangolazione di Delauney utilizzato nella generazione dei TIN è stato già descritto nel primo capitolo del volume. I passaggi di inserimento dati in input, il settaggio dell'estensione spaziale alla quale deve essere applicato l'algoritmo, la scelta della risoluzione geometrica sono gli stessi visti per l'applicazione dell'IDW. Quella che deve essere modificato è naturalmente la scelta dell'algoritmo che va impostato su "Interpolazione Triangolare (TIN)". Il tasto di settaggio del metodo permette in questo caso di scegliere quale tipo di interpolazione (lineare o cubica – Clough-Tocher) utilizzare per elaborare il valore della variabile considerata in un punto qualsiasi interno al triangolo (i nodi hanno valori noti della variabile). L'interpolazione di tipo lineare è quella più semplice mentre quella di Clough e Tocher (Clough-Tocher 1965; Mann 1999) è un tipo di interpolazione cubica che meglio si presta anche per l'utilizzo delle breaklines.

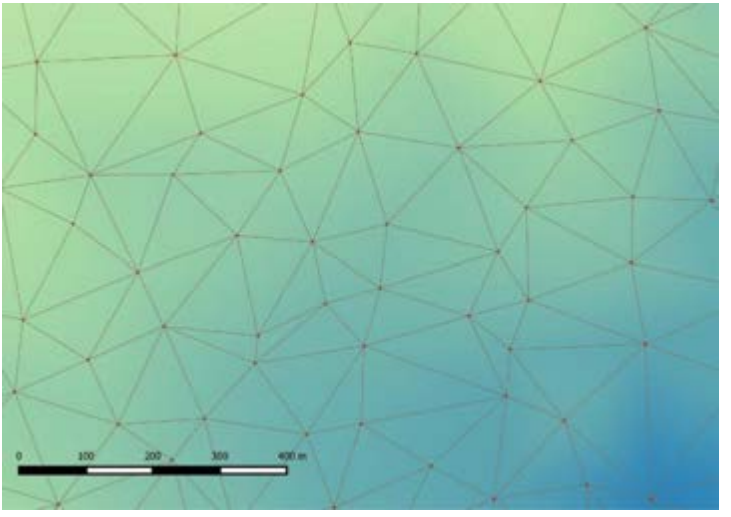


Figura 3.178 - Interpolazione eseguita con il metodo di interpolazione triangolare TIN.

E' possibile in fase di scelta del tipo di interpolazione da applicare (lineare o cubica) se salvare in formato vettoriale i triangoli utilizzati nel metodo di interpolazione TIN. All'interno dello strumento di processing ci sono altri tool che permettono di ottenere risultati simili come triangulation ("SAGA – Grid-Gridding – Triangulation"),

Delauney triangulation ("Geoalgoritmi di QGIS – Vector Geometry tools - Delauney triangulation") o v.delauney ("Comandi di GRASS – Vector – V.delauney").

3.11. Analisi morfologica (pendenza, esposizione dei versanti, ombreggiatura, rilievo e indice di asperità)

In questo paragrafo saranno illustrati i principali tool per l'analisi morfologica presenti nel menù raster. Sono queste tutte funzionalità facenti parte della già citata libreria GDAL e forniscono un valido strumento appunto per l'analisi morfologica e morfometrica. Tutte queste analisi hanno in comune il dato di input e cioè un modello digitale del terreno dal quale poi saranno derivati tutti gli altri parametri. Naturalmente possono essere utilizzati anche altri formati grid ma trattandosi di analisi di questa natura è essenziale lavorare con la superficie modellata del terreno. Come per gli altri tool visti finora anche per questa tipologia di analisi QGIS, ed in particolare gli strumenti di processing, dispone di ulteriori algoritmi che utilizzano interfacce più o meno complesse. Nel prosieguo del testo verranno quindi indicati anche i nomi di questi geoalgoritmi per completezza di informazione. Al termine dell'esecuzione dell'algoritmo le nuove mappe saranno caricate nella view del progetto all'interno del quale esso è eseguito con la modalità di visualizzazione che solitamente è "Banda singola grigia" con espressione del valore minimo e massimo. Se per i nostri studi abbiamo bisogno di utilizzare particolari range di valore della variabile considerata o di conoscere le aree con un determinato valore di questa (es. aree con pendenza >= 30°) l'algoritmo di riclassificazione (par.3.10.7) e le tecniche di map algebra illustrate in questo capitolo, rappresentano dei validi strumenti. Una volta elaborata la grid può ancora essere utile conoscere l'area (e quindi l'estensione geografica) occupata da ciascuna classe utilizzata per la riclassificazione. Per tale scopo è possibile utilizzare due strade diverse: la prima prevede il passaggio di vettorializzazione con tutte le problematiche del caso (par. 3.10.2); il secondo, più rapido ed intuitivo, è quello di conoscere il numero di celle per ciascuna classe e moltiplicare poi tale valore per l'area della singola cella (solitamente il quadrato della risoluzione geometrica). Per conoscere il numero di celle per ciascuna classe di valori si può utilizzare l'algoritmo r.report ("Comandi di GRASS – Raster – r.report") facendo attenzione ad impostare "c" nel box "Units".

La pendenza, in percentuale o in gradi, rappresenta la massima inclinazione della superficie topografica locale rappresentata dai pixel della grid. Il valore di inclinazione assegnato al singolo pixel tiene conto delle 8 celle adiacenti ed è elaborato sulla base del valore di quota del DTM. L'algoritmo utilizzato è quello di Horn (1981) e si attiva dal menù "Raster – Analisi morfologica – Pendenza (slope)". La finestra di configurazione è mostrata nella figura 3.179.

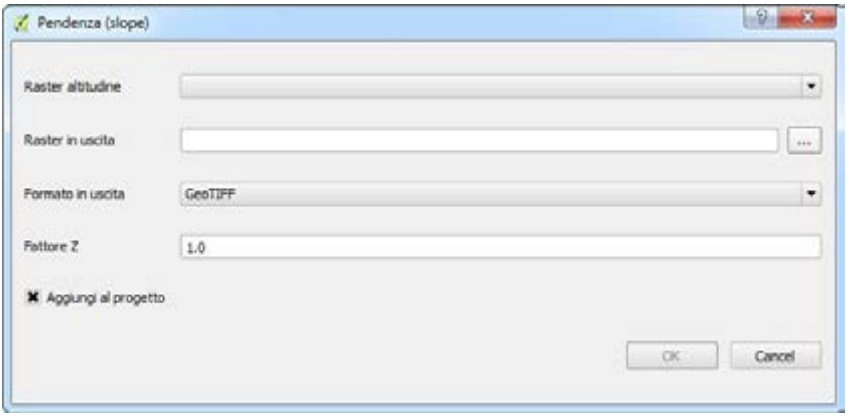


Figura 3.179 - Finestra di configurazione dello strumento di calcolo dell'acclività.

Una volta inserito il DTM in input bisognerà solamente inserire la directory ed il formato del file in output (il box "Fattore Z" rappresenta il fattore di esagerazione delle altezze e di default è impostato su 1). In output il valore di pendenza viene fornito in gradi (fig. 3.180). Da un punto di vista matematico la nuova superficie ricavata rappresenta la derivata prima del DTM.

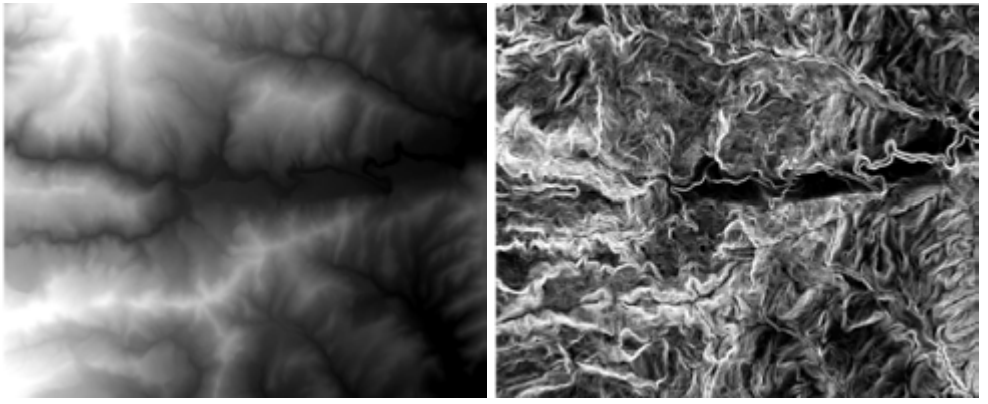


Figura 3.180 - Modello Digitale del Terreno e mappa delle pendenze (a dx) elaborata a partire dal primo.

Altri algoritmi che permetto di calcolare il valore di pendenza sono:

- r.slope ("Comandi di GRASS – Raster – r.slope") che permette di scegliere se esprimere il valore di inclinazione in percentuale o in gradi e anche il formato numerico del raster in output (integer, float o double);

- Slope ("Gdal/OGR – Gdal Analysis – Slope") che permette di scegliere se utilizzare per il calcolo la formula di Zevenbergen e Thorne (1987) uno dei migliori algoritmi per questo tipo di analisi;
- Slope, Aspect and Curvature ("SAGA – Terrain Analysis – Morphometry") strumento invece più complesso rispetto ai precedenti che permette di elaborare contemporaneamente ulteriori analisi e di scegliere quale formulazione utilizzare tra gli 8 algoritmi di calcolo implementati.

Vediamo ora come elaborare invece l'esposizione dei versanti. Il valore assegnato in questo caso ai pixel della grid in output rappresenta il valore in gradi dell'angolo formato rispetto al Nord della proiezione sul piano della normale al versante. Il valore quindi varia da 0 a 360 mentre alle aree pianeggianti viene assegnato un valore pari a -9999. All'interno del menù "Raster – Analisi geomorfologiche" si trova lo strumento "Esposizione" la cui finestra di configurazione è rappresentata in figura 3.181.

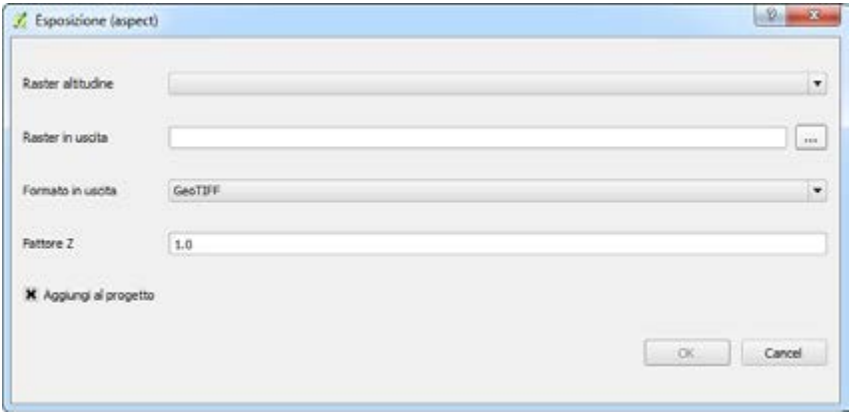


Figura 3.181 - Finestra di configurazione dello strumento d calcolo dell'esposizione dei versanti.

Anche in questo caso vanno indicati directory di salvataggio e formato del file in output. Altri algoritmi che permetto di calcolare il valore di esposizione dei versanti sono:

- r.aspect ("Comandi di GRASS – Raster – r.aspect"): il tool permette di modificare la risoluzione geometrica del raster in output e di scegliere il formato numerico dei valori da associare ai pixel (integer, float o double);
- aspect ("Gdal/OGR – Gdal Analysis – Aspect"): è possibile qui scegliere se utilizzare per il calcolo la formula di Zevenbergen e Thorne (1987), di assegnare il valore 0 anziché -9999 alle aree pianeggianti e di ottenere un angolo trigonometrico (espresso in radianti) al posto dell'azimuth.

- Slope, Aspect and Curvature ("SAGA – Terrain Analysis – Morphometry")

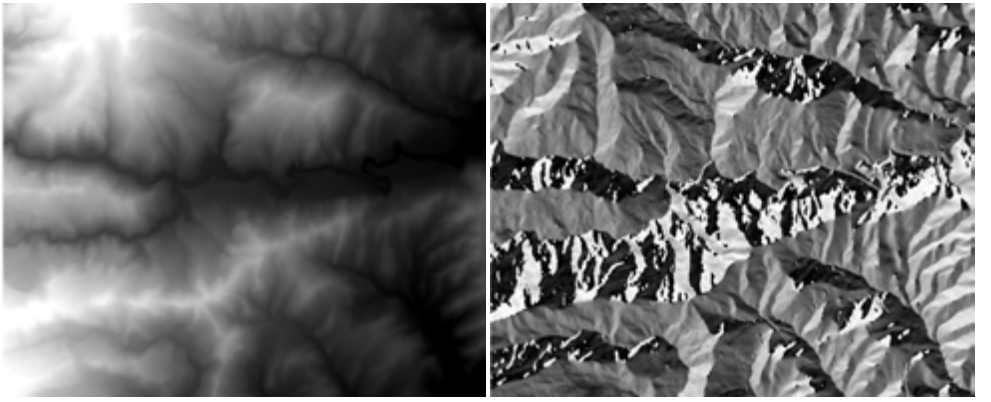


Figura 3.182 - Modello Digitale del Terreno e mappa di esposizione dei versanti elaborata a partire dal primo.

L'Hillshade o anche definito shaded relief permette di ottenere gli ipotetici valori di illuminazione per ogni cella del raster ottenendo la disposizione delle zone di ombra/luce sulla superficie topografica in funzione della posizione della fonte di illuminazione (sole) definita attraverso parametri quali l'azimuth e l'altitude. L'angolo di azimuth definisce la posizione del sole rispetto ai punti cardinali (da 0 a 360°) mentre l'angolo di altitude indica la posizione del sole rispetto al piano dell'orizzonte (da 0 a 90°). L'algoritmo restituisce in output una grid i cui valori vanno da 0 (totalmente in ombra) a 255 (totalmente in luce). La finestra di configurazione, attivabile dal menù "Raster – Analisi geomorfologiche – Ombreggiatura", permette di indicare il valore di entrambi questi angoli e di definire il formato del file in uscita (fig. 3.183):

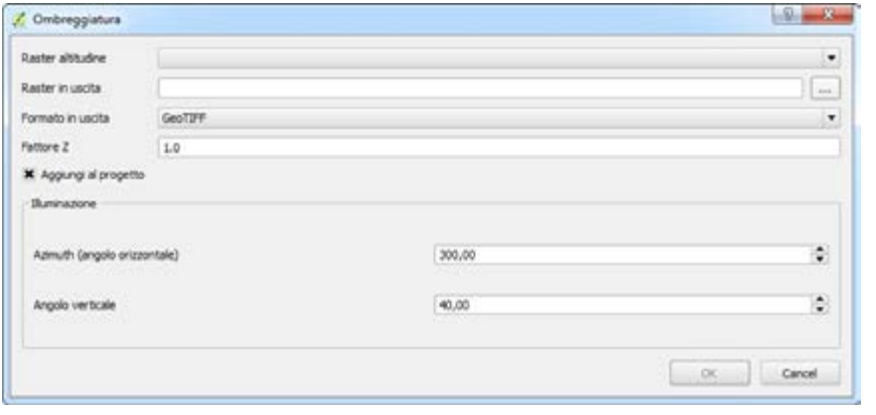


Figura 3.183 - Finestra di configurazione del tool Ombreggiatura.

Il risultato cambia a seconda dei parametri impostati per questi due angoli (fig. 3.184). L'hillshade fornisce una immediata lettura della morfologia dell'area rappresentata e spesso viene utilizzato come strato informativo indicativo della morfologia nella produzione di cartografia tematica (visualizzazione in modalità trasparenza). Nelle analisi di verifica di impianto di campi fotovoltaici l'hillshade fornisce un valido strumento analitico per comprendere le aree maggiormente assolate di un determinato territorio di studio.

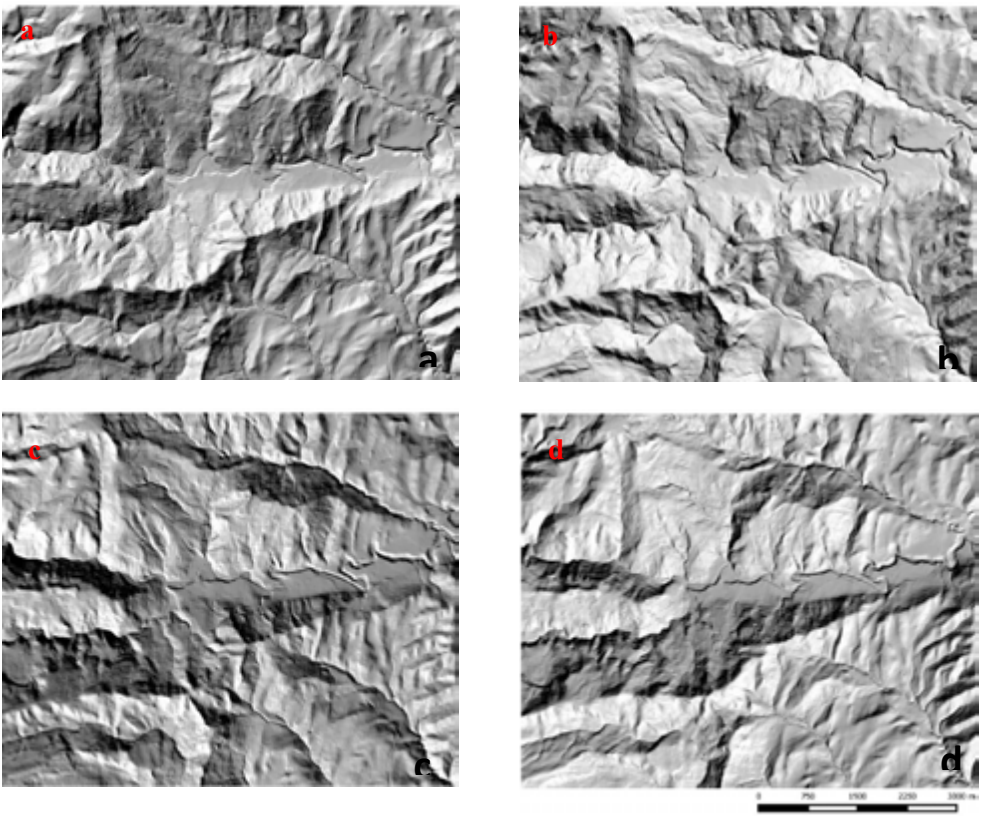


Figura 3.184 – Rappresentazione di una stessa area tramite Hillshade con diverse orientazioni della fonte di illuminazione: Azimuth 315 - Altitude 45 (a), Azimuth 45 - Altitude 30 (b), Azimuth 225 - Altitude 60 (c), Azimuth 135 - Altitude 45 (d).

Altri algoritmi per il calcolo delle zone d'ombra sono hillshade ("Gdal/OGR – Analysis – Hillshade") e r.shaded.relief ("Comandi di GRASS – Raster - r.shaded.relief") che non presentano funzionalità aggiuntive di rilievo rispetto a quanto mostrato in precedenza. L'indice topografico delle asperità o TRI (Topographic Ruggedness Index) (Riley et al. 1999, Wilson et al., 2007) rappresenta

una misura quantitativa dell'eterogeneità del terreno misurata come differenza media in quota (espressa in metri) tra la cella centrale e le 8 circostanti (griglia quadrata di 3 pixel di lato). La superficie viene quindi classificata in classi di pendenza, secondo quanto riportato nel lavoro di Riley (1999):

0 – 80 m: Level;

81 – 116 m: Nearly level;

117 – 161 m: Slightly rugged;

162 – 239 m: Intermediately rugged;

240 – 497 m: Moderately rugged;

498 – 958 m: Highly rugged;

959 – 4397 m: Extremely rugged.

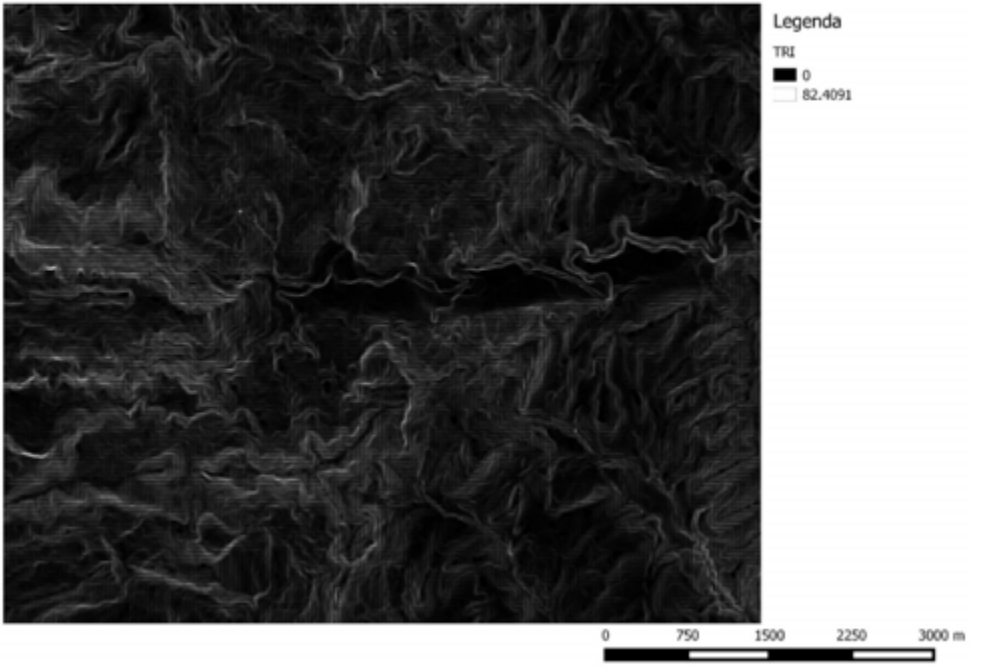


Figura 3.185 - Indice Topografico delle Asperità (TRI)

Altri parametri morfometrici che vengono elaborati in ambiente QGIS sono l'Indice Topografico di Posizione (TPI – Topographic Position Index) espresso come la

differenza in quota tra la cella centrale e la media delle 8 circostanti (griglia quadrata di 3 pixel di lato) e la rugosità o roughness che invece rappresenta la differenza massima tra il valore di quota della cella centrale e le 8 circostanti. Questi indici possono essere calcolati utilizzando la finestra di configurazione DEM – analisi morfologica ("Raster – Analisi – DEM") scegliendo tra le varie opzioni del menù "Modalità". Inoltre questo potente strumento permette di elaborare anche i parametri visti in precedenza (esposizione dei versanti, ombreggiatura e pendenza). Un ulteriore tipo di analisi che può essere condotta è quella del calcolo del profilo topografico lungo una determinata traccia. QGIS dispone di un plugin denominato profile tool che andrà preventivamente installato. Una volta terminata la procedura di installazione il comando è attivabile utilizzando l'apposito pulsante oppure dal menù "Plugins – Profile tool – Terrain profile". Per attivarlo bisogna preventivamente caricare nella view un layer raster (DTM) o in caso di più layer raster presenti, selezionare nella TOC quello che sarà utilizzato per l'elaborazione del profilo. Successivamente comparirà nella parte bassa della view una finestra di configurazione del tool (fig. 3.186).

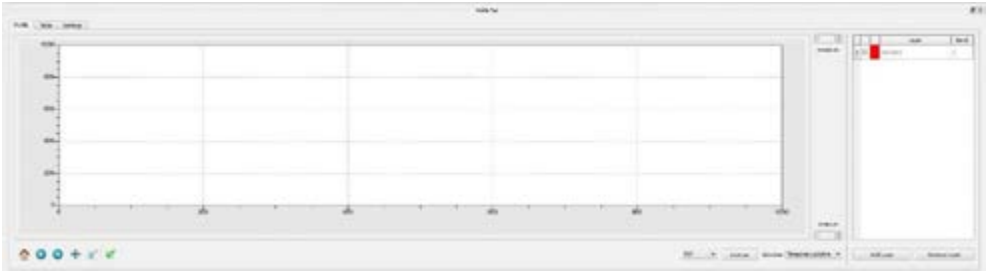


Figura 3.186 - Finestra di configurazione del profile tool.

Nella parte destra è caricato il layer raster che è stato selezionato/caricato in precedenza. In basso vi sono due tasti (Add layer e Remove layer) che permettono di aggiungere uno strato (selezionare il layer nella TOC e cliccare su "Add Layer") o di rimuoverlo (selezionare il layer nel box e cliccare su "Remove layer"). La spunta accanto ad ogni layer indica l'utilizzo nel calcolo del profilo. Abbiamo due modalità di inserimento della traccia:

- Temporary polyline: permette di disegnare direttamente una traccia e di estrarre il relativo profilo topografico;
- Selected polyline: permette di selezionare una polilinea tra quelle caricate nella view;

Una volta scelta/disegnata la traccia il tool creerà direttamente il profilo topografico. Dopo averlo creato, il grafico può essere salvato in vari formati (pdf, png, svg)

cliccando sul tasto "Save as". Nella sezione "Table" è possibile visualizzare ed esportare i dati che lo costituiscono cliccando su "Copy to clipboard" ed incollando poi il tutto su un normale foglio di calcolo elettronico. Ciò permette poi di ricreare lo stesso grafico utilizzando altri software e quindi ulteriori opzioni di rappresentazione grafica.

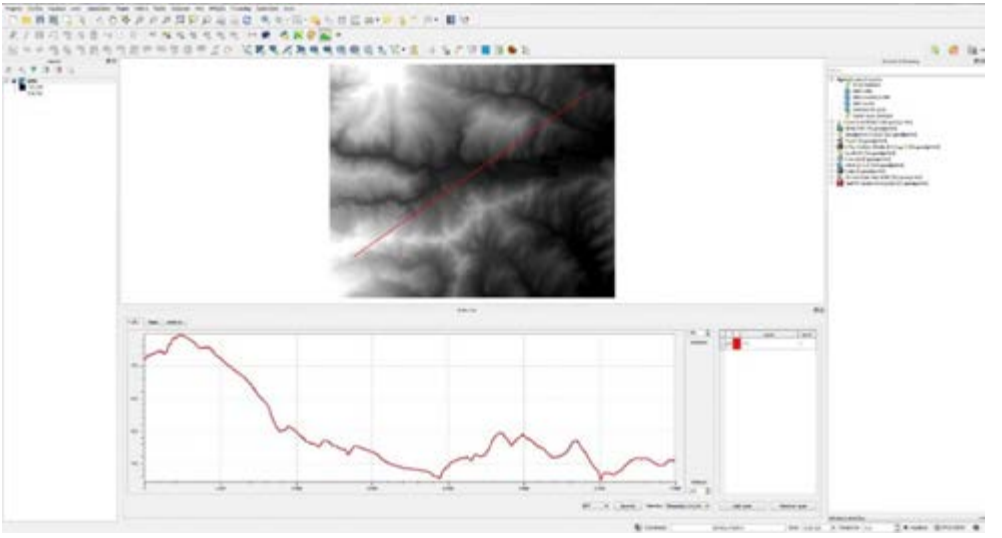


Figura 3.187 - Creazione del profilo topografico.

3.12. Visualizzazione tridimensionale dei dati geografici: Qgis2threejs

La visualizzazione dei dati in forma 3D attraverso QGIS può avvenire utilizzando ad esempio il plugin GLOBO, il modulo di visualizzazione nviz ("Comandi di GRASS – Visualization (NVIZ) – nviz") o anche con il plugin Qgis2threejs installabile direttamente dal menù "Plugins". Terminata l'installazione la finestra di configurazione è accessibile dal menù "Web - Qgis2threejs - Qgis2threejs" dove è possibile modificare anche le impostazioni di base, oppure direttamente utilizzando il pulsante . L'output di questo plugin è appunto una vista tridimensionale che viene aperta utilizzando il browser predefinito del sistema. Il primo menù "Template file" permette di scegliere tra tre possibili tipologie di template in output:

- 3D viewer.html: un template 3D di base, non permette di modificare nulla una volta elaborato il modello;
- 3D viewer (dat-gui).html: visualizzatore 3D che permette di modificare alcune impostazioni del layer direttamente nel modello generato. Infatti, una volta aperto sul browser, si ha a disposizione un pannello di controllo che

permette di modificare il grado di trasparenza e la visibilità di ciascun layer all'interno del modello. Inoltre permette di modificare la quota di un ipotetico piano orizzontale posto alla base del modello.

- File export.html: permette di salvare il modello ma non viene visualizzato in quanto viene salvato in formati particolari che vengono utilizzati per essere lavorati con veri e propri programmi di modellazione tridimensionale.

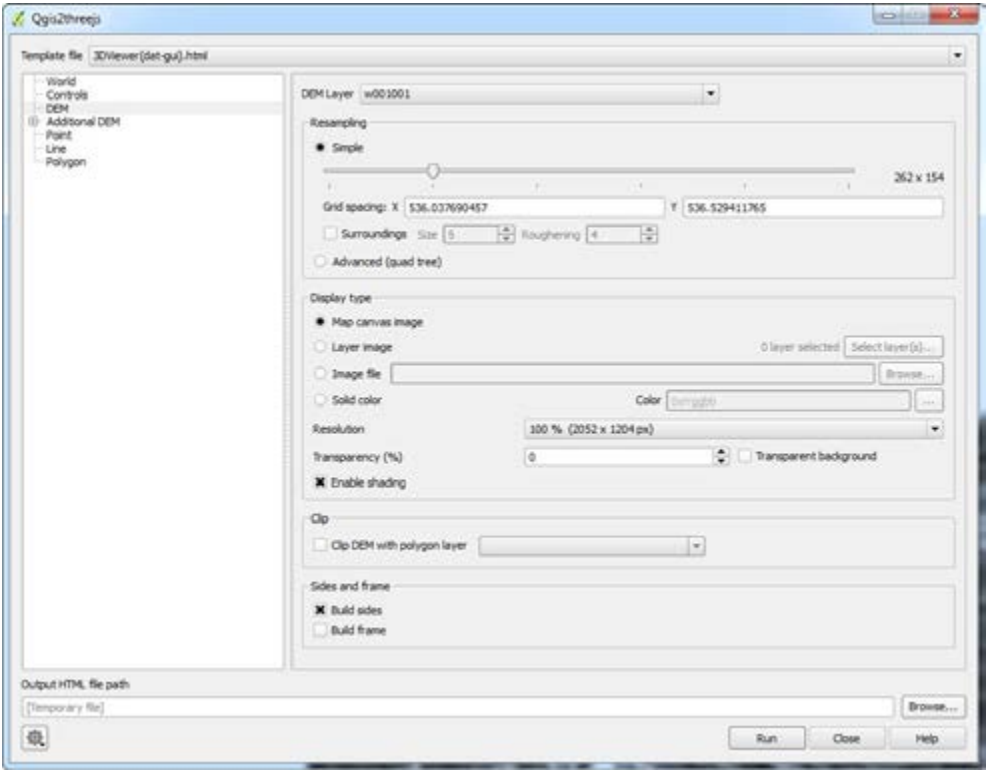


Figura 3.188 - Finestra di configurazione del plugin "Qgis2threejs".

La finestra di configurazione è mostrata in figura 3.188. La sezione "World" serve per parametrizzare le dimensioni del modello, il fattore di esagerazione della verticalità, l'estensione spaziale dello stesso, il colore da utilizzare come sfondo e la modalità di visualizzazione delle coordinate quando si clicca su di un punto del modello. La sezione "Controls" permette di scegliere tra due diverse modalità (OrbitControls.js, TrackballControls.js) di navigazione i cui comandi di ciascuno sono visualizzati nel box sottostante. La sezione "DEM" è alla base del funzionamento del tool: esso permette di impostare la superficie altimetrica da utilizzare per la modellazione 3D. E' possibile inoltre scegliere la risoluzione del

DEM attraverso due modalità (simple e advanced dove è possibile disegnare un boundary box all’interno del quale il modello viene elaborato in alta risoluzione), modificare la risoluzione delle immagini da modellare sulla base del DTM (box “Resolution”), settare la trasparenza e l’effetto ombra al DEM. Nel momento in cui vengono aggiunti degli strati di tipologia vettoriale (punti, linee, poligoni) è possibile settare i parametri che riguardano la rappresentazione e l’estrusione degli elementi riportati. L’opzione Clip presente all’interno di questa sezione permette di ritagliare il DTM di base in funzione dell’estensione spaziale di uno specifico layer. Per quanto riguarda l’estrusione è possibile scegliere una altezza arbitraria da assegnare a tutti gli elementi che costituiscono il layer o anche un campo del database se all’interno di questo è indicata la relativa altezza dal piano campagna dell’elemento geografico associato. Questa seconda opzione è molto più utile se si hanno a disposizione tali dati in quanto il modello è più fedele alla realtà (si pensi ad esempio ad un centro abitato con edifici che hanno appunto altezze diverse). Un esempio di modellazione tridimensionale effettuata con il plugin Qgis2threejs è riportata in figura 3.189.

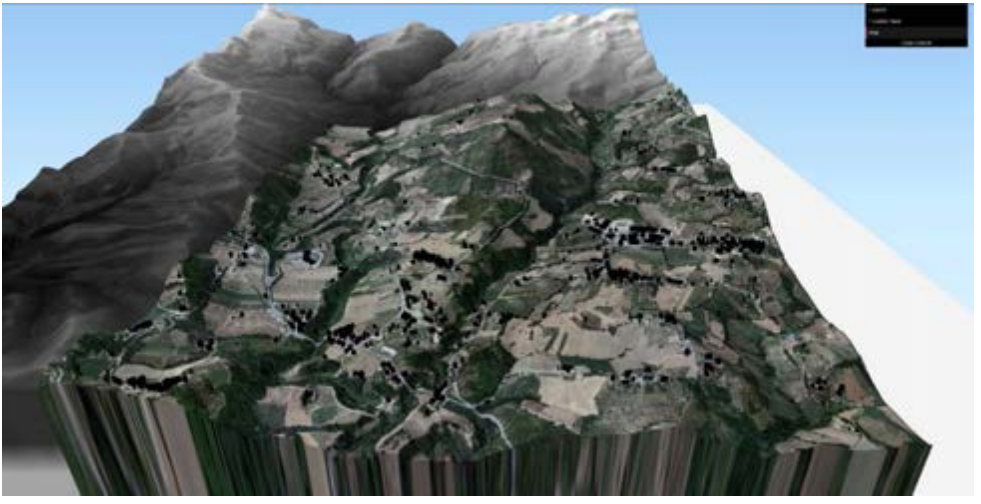


Figura 3.189 - Modello 3D elaborato con QGis2threejs.

Box 3.1. Tecniche GIS per l'analisi spaziale e temporale di inquinanti atmosferici. Il caso studio dell'area urbana di Pescara. ***Valeria LEPIDI***

Un tema molto importante dal punto di vista ambientale riguarda l'inquinamento atmosferico poiché, secondo quanto rilevato nell'ultimo rapporto dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (Qualità dell'aria in Europa, relazione 2015), la qualità dell'aria europea è ancora seriamente minacciata da inquinanti quali particolato, ozono e biossido di azoto, in particolare nei grandi centri urbani. Come ormai noto, una scarsa qualità dell'aria comporta gravi rischi per la salute dell'uomo (patologie cardiovascolari, danni al sistema nervoso centrale, danni al sistema riproduttivo) e ha un impatto negativo sia sull'ambiente (acidificazione, eutrofizzazione) che sul clima (forcing radiativo positivo, forcing radiativo negativo). Per questi motivi, la lotta all'inquinamento atmosferico è fra gli obiettivi principali delle politiche comunitarie e nazionali e al centro di numerose attività di ricerca italiana ed europea. E' in questo contesto che i Geographic Information Systems, per la loro versatilità e loro proprietà e applicazioni, si stanno affermando nello studio della distribuzione spaziale degli inquinanti atmosferici (Vienneau et al, 2009; Liao et al, 2006; Puliafito et al, 2003). Il caso in esame riporta lo studio della qualità dell'aria nel tempo nell'area urbana di Pescara per la comprensione e l'analisi dell'evoluzione spaziale degli inquinanti attraverso tecniche statistiche applicate ai GIS. La valutazione della qualità dell'aria di Pescara, in accordo con il D.Lgs 155/2010, è basata su una rete di misura costituita da 6 stazione fisse gestita dall'ARTA (Agenzia Regionale per la Tutela dell'Ambiente) mostrate in figura b3.1.1. L'importanza dello studio dell'inquinamento atmosferico in un'area urbana deriva dall'elevato numero di abitanti che vi risiede. Bisogna inoltre tener presente che la qualità dell'aria di un'area urbana è influenzata principalmente da tre componenti di inquinamento: fondo regionale, fondo urbano (i quali incidono particolarmente tanto sulla salute umana quanto sulla conservazione degli ecosistemi essendo responsabili di meccanismi di tossicità legati all'esposizione cronica) ed eventi di hot spot, durante i quali gli inquinanti raggiungono in modo repentino, nel giro di poche ore, picchi di concentrazione molto superiore alla media, per poi decrescere altrettanto rapidamente. E' importante, dunque, il monitoraggio costante delle componenti dell'aria atmosferica, almeno di quelle per le quali è riconosciuto un potenziale rischio di nocività per la salute umana e per gli ecosistemi. Partendo da queste considerazioni lo studio ha quindi previsto l'analisi dei campi di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici (PM10, Ozono e biossido di azoto) con annesso studio del cambiamento o trend di questi nei vari anni (2009-2013) valutando al contempo l'influenza di parametri quali traffico, urbanizzazione, densità di popolazione e morfologia del territorio sulla loro localizzazione spaziale. Gli approcci modellistici utilizzati sono stati due: 1) Interpolazione geostatistica: il metodo del kriging, e 2) Modello Land Use Regression (LUR). Nel primo caso viene effettuata una stima delle concentrazioni dell'inquinante nei punti non monitorati da

centraline attraverso il kriging, il più noto tra gli interpolatori geostatistici, partendo dai dati campionati. La geostatistica è costituita da un insieme di tecniche probabilistiche per l'analisi della distribuzione spaziale di una caratteristica o variabile in un'area geografica di interesse e trova applicazione laddove la continuità spaziale dei fenomeni è un elemento determinante. Essa studia le variabili regionalizzate (variabili dipendenti dallo spazio) attraverso l'utilizzo del variogramma (fig.b3.1.2) che permette di prevedere come il valore misurato o previsto di una variabile regionalizzata cambi in base alla sua dislocazione nello spazio. Questo approccio è stato applicato agli inquinanti NO_2, O_3 e PM10 per l'anno 1998 e per gli anni compresi tra il 2009 e il 2013. Lo studio ha previsto una riorganizzazione dei dati attraverso la quale sono state elaborate delle tabelle contenenti informazioni necessarie (nome centraline, coordinate planimetriche di ciascuna di esse nel sistema di riferimento ETRS89/ETRF89 UTM33N e media annua di ciascun inquinante) al fine di lavorare in ambiente GIS previa georeferenziazione degli stessi. Il passo successivo è stato quello di effettuare un'analisi preliminare delle proprietà spaziali e statistiche dei dati in esame (exploratory data analysis) (fig. b.3.1.3), essenziale e propedeutica per le fasi successive poiché una migliore comprensione del dataset in questione permette di prendere decisioni migliori nel momento in cui si andrà a creare la superficie interpolata. In questa fase si ricercano quelli che potrebbero essere errori nei valori e che potrebbero quindi influire in maniera negativa sulla superficie di predizione in output, si esamina la distribuzione del dato, si osservano le tendenze globali, la correlazione spaziale e le influenze direzionali mediante gli strumenti che le tool geostatistiche, integrate al GIS, offrono. Ciascuno strumento (es. histogram, normal QQ-plot, semivariogram/covariance cloud, trend analysis) fornisce come output un grafico in grado di fornire importanti informazioni su

Figura b3.1.1: Disposizione geografica delle centraline nell'area comunale di Pescara.

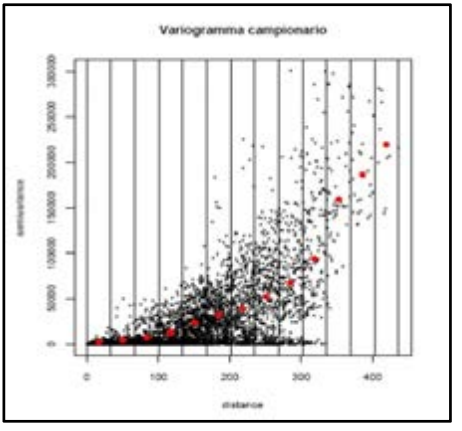


Figura b.3.1.2: Esempio di variogramma empirico.

un dataset da analizzare. Il processo di interpolazione (fig. b.3.1.4) che è seguito si basa principalmente sulla stima del variogramma sperimentale (funzione continua) partendo dal variogram cloud, dal quale è impossibile trarre informazioni utili. La modellazione del variogramma è un passo molto delicato in quanto da questo dipenderà poi l'attendibilità dell'interpolazione. Inoltre questo passaggio introduce una parte di soggettività, poiché la valutazione e scelta dei parametri da settare durante la modellazione (modello di variogramma; sill; range; nugget; anisotropia; numero e dimensioni dei lag, termine utilizzato per indicare classi di distanza) è lasciata al giudizio e all'esperienza dell'operatore. L'interpolazione effettuata

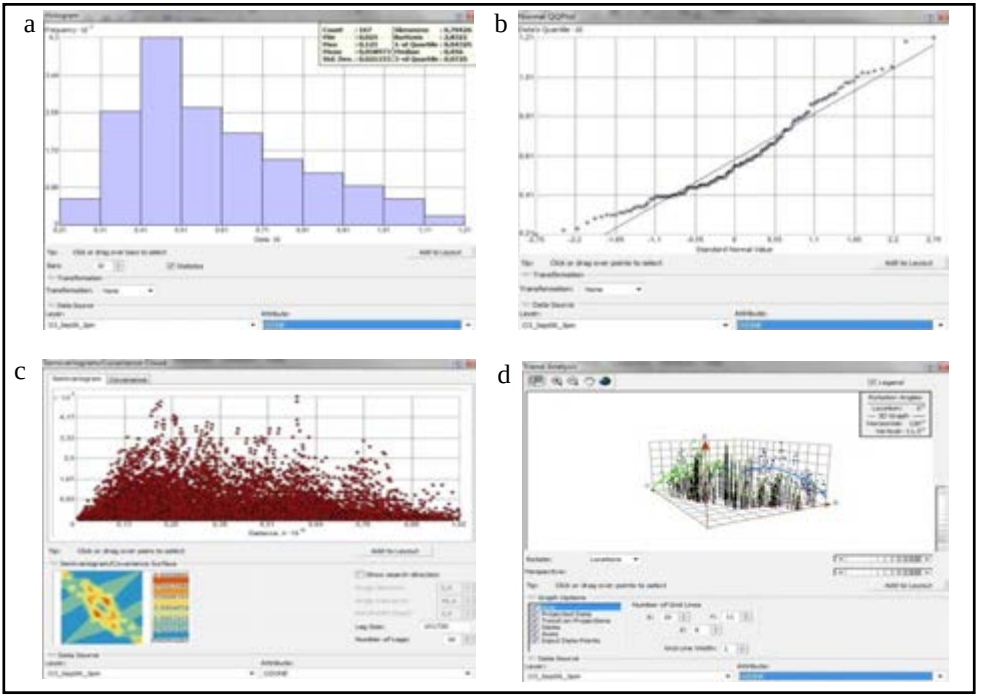


Figura b.3.1.3 Esempio di *exploratory data analysis*: a) *istogramma*, utile per verificare l'omogeneità delle osservazioni, identificare eventuali valori anomali e valutare l'asimmetria della distribuzione; b) *Normal QQ-plot*, utilizzato per confrontare la distribuzione dei dati in esame rispetto ad una distribuzione normale standard, fornendo un'altra misura della normalità dei dati; c) *semivariogramma* (*variogram cloud*), consente di esaminare l'autocorrelazione spaziale fra i punti campione misurati; d) *trend analysis*, attraverso il quale è possibile identificare la presenza di un'eventuale tendenza nei dati, ossia una componente non casuale (deterministica) di una superficie, e identificare quale ordine di polinomio corrisponde meglio a questa tendenza. (Fonte: ESRI Tutorial-Geostatistical Analyst).

attraverso il kriging tiene conto della posizione reciproca tra i vari punti in cui è noto il valore della variabile e della struttura spaziale della grandezza in esame. Inoltre è fortemente influenzata dal numero di osservazioni, dalla qualità dei dati, dalla

geometria, distanza e regolarità della variabile in esame. Il kriging, infatti, è il termine adottato in statistica spaziale come sinonimo di "metodo di stima ottimale", essendo in grado di utilizzare, nella maniera migliore, le osservazioni relative a localizzazioni vicine al punto oggetto di inferenza (Cressie, 1991). Come già detto in precedenza, l'obiettivo che ci si prefigge è quello di valutare il valore di una variabile in un punto in cui tale valore non sia conosciuto, a partire dai punti in cui i valori della variabile sono noti. Con i metodi deterministici, che insieme ai modelli geostatistici costituiscono le due macro classi in cui sono suddivisi i modelli di interpolazione, i valori noti sono "pesati" in maniera predefinita, indipendentemente

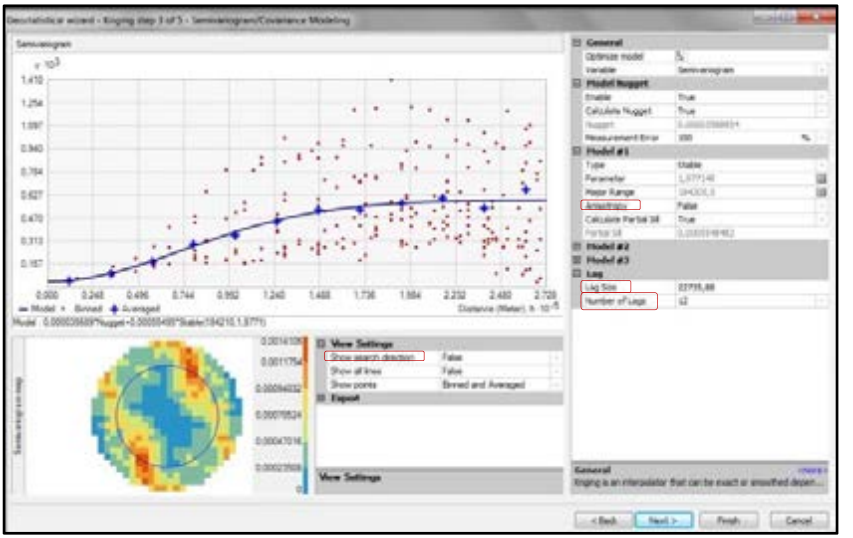


Figura b.3.1.4: Fase del *kriging* nella quale si stima il semivariogramma sperimentale per ottenere l'interpolazione (Fonte: ESRI Tutorial– Geostatistical Analyst). In rosso sono cerchiati i parametri che sono stati maggiormente modificati durante la stima dei semivariogrammi utili per l'interpolazione della concentrazione di inquinanti nel comune di Pescara.

dalla loro struttura spaziale, per determinare il contributo di ciascuno di essi alla definizione del valore incognito. Con il metodo del kriging (metodo geostatistico), invece, gli "stimatori", cioè le combinazioni lineari dei valori noti, hanno pesi (ponderatori) che dipendono strettamente dalle caratteristiche strutturali della variabile. Tali ponderatori, inoltre sono scelti in modo tale da rendere minima la varianza dell'errore di stima. In altre parole, con l'uso del kriging non si tiene conto solo della posizione reciproca tra i vari punti in cui è noto il valore della variabile ma si considera anche l'andamento generale della grandezza in esame (ossia la sua struttura spaziale), informazioni che derivano dall'analisi variografica. Esistono diverse tipologie di kriging che differiscono tra loro principalmente per la modellizzazione del campo aleatorio sul quale si effettuerà la predizione. Nel caso specifico è stato utilizzato l'Ordinary kriging. Le interpolazioni ottenute per Pescara

hanno mostrato un inquinamento da NO_2 maggiore nelle aree nord-ovest con un abbassamento delle concentrazioni dal 1998 al 2013 riconducibile all'utilizzo di marmitte catalitiche e un tendenziale abbassamento delle concentrazioni di PM10 dal 2009 al 2013 riconducibile a motori diesel più efficienti, benché il periodo analizzato sia troppo limitato per parlare di un trend o di un'oscillazione inter-annuale. Per constatare quanto "buona" sia la previsione ottenuta e scegliere quale modello sia più attendibile le tool geostatistiche offrono diversi strumenti, il più utilizzato dei quali è la cross validation (fig. b.3.1.5) che omette in sequenza un punto nel dataset, effettua la previsione del valore per la posizione del punto omesso utilizzando il resto dei dati e confronta, quindi, i valori misurati e previsti. La differenza fra il valore misurato e quello previsto è nota come errore di predizione. Inoltre è possibile avere la mappa relativa all'errore di predizione per ciascuna interpolazione. La valutazione dei parametri statistici (root mean square prediction error, root mean square standardized error, average standard error) relativi alle interpolazioni effettuate durante questo studio non ha però sempre soddisfatto i valori teorici a causa del numero limitato dei dati a disposizione e della loro distribuzione disomogenea nel territorio Pescarese. Si è cercato di far fronte a questo problema utilizzando anche i dati delle stazioni dei comuni limitrofi (Spoltore, Montesilvano e Città S.Angelo) senza ottenere però cospicui miglioramenti dell'interpolazione a causa dell'aumento considerevole delle distanze tra le centraline non proporzionale al numero delle stesse. La criticità in questo senso è stata più marcata per quanto riguarda l'ozono, monitorato da sole due centraline. E' emerso dunque che l'applicazione del kriging mostra alcune limitazioni derivanti dalla scarsità dei punti utilizzati per l'interpolazione. Esso infatti risulta essere più efficiente nel caso di punti distribuiti su una maglia regolare, e in modo tale da coprire l'intera area da interpolare. Il numero iniziale e la disposizione spaziale dei punti che entrano a far parte dell'analisi è fondamentale per ottenere risultati che presentino poi attendibilità maggiori. Il numero delle centraline

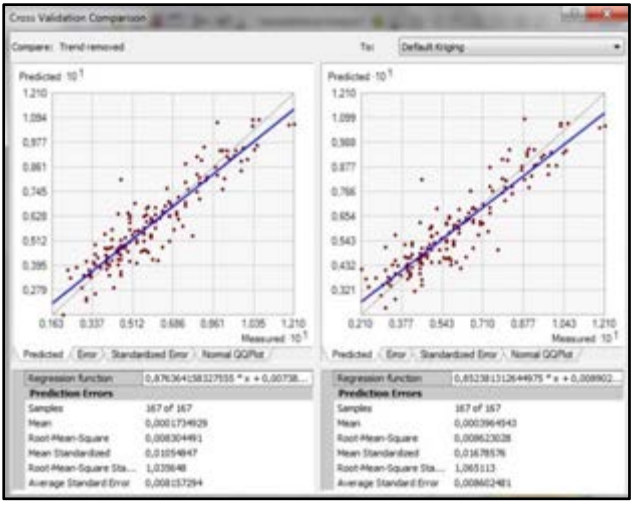


Figura b.3.1.5: **Confronto delle statistiche sulla validazione incrociata (*cross validation*) tra due modelli (Fonte: ESRI Tutorial– Geostatistical Analyst)**

influenza l'analisi anche in funzione del territorio al quale questo metodo viene applicato: ci sono studi, come quello effettuato per la regione Lombardia, che si basa su un numero di centraline pari a 154 per un territorio di quasi 24.000 Km^2 (ARPA Lombardia, 2012) o come quello della regione Valle D'Aosta, con 15 centraline per un territorio di 3200 Km^2 (ARPA VdA, 2015), la cui attendibilità è certamente limitata. Al contrario, ci sono casi come quello della città di Pisa con oltre 50 centraline per la sola area urbana (22 Km^2 d superiore a quella di Pescara) (ARPAT 2014). In uno di questi lavori è possibile leggere *"…la tecnica di interpolazione geostatistica è applicabile anche alla ricostruzione di concentrazioni di inquinanti in atmosfera, sebbene vari aspetti di tale applicazione debbano essere studiati ulteriormente in modo più articolato…"*. Pescara ha per una superficie urbana pari a quella di Pisa, soltanto 6 centraline le quali, rilevando solo alcuni inquinanti ciascuna, non sono mai utilizzabili nella loro totalità. L'utilizzo delle sole centraline di Pescara ha mostrato come la loro disposizione, tutt'altro che regolare, allineate pressoché parallelamente alla linea di costa con una sola nell'entroterra, non copre in maniera regolare l'area comunale. Le elaborazioni effettuate hanno mostrato un errore di predizione minore nell'area circoscritta alle centraline (4,2 Km^2, pari al 12% del territorio comunale), come lecito attendersi, e maggiore agli estremi non monitorati del comune. L'utilizzo del kriging dunque, allo stato attuale della rete di monitoraggio, non è molto adatto per avere un quadro conoscitivo sulle concentrazioni di inquinanti nel comune di Pescara. Non è da escludere però una sua applicazione qualora venisse implementata la rete di monitoraggio in modo da coprire il comune nella sua totalità. L'implementazione della rete di rilevamento cittadina garantirebbe certamente un'attendibilità maggiore e le mappe ottenute con relativo errore di predizione potrebbero offrire un'informazione spaziale sull'eventuale posizionamento di nuove centraline al fine di migliorare l'algoritmo utilizzato per l'analisi. Risultati diversi sono stati invece ottenuti mediante l'applicazione del LUR model, attraverso il quale è stato possibile stimare le concentrazioni di inquinanti nelle zone non monitorate mediante una regressione lineare multipla basata sui dati campionati e sulla conoscenza di variabili predittive quali uso del suolo, densità demografica, flussi di traffico e morfologia del territorio. Negli ultimi anni i modelli di Land Use Regression sono stati diffusamente utilizzati per la stima della variabilità spaziale degli inquinanti atmosferici, pervenendo all'individuazione di domini di concentrazione ad alta risoluzione (Briggs et al., 2010; Stedman et al., 1997). I LUR model, per stimare la variabilità spaziale e le concentrazioni al suolo di un dato inquinante in un dato punto (Yi), utilizzano le caratteristiche del territorio circostanti (Xi). Quest'ultime, definite variabili predittive, vengono dunque considerate come variabili indipendenti in un modello di regressione lineare multipla in cui il valore di concentrazione dell'inquinante nel sito di campionamento rappresenta la variabile dipendente (fig.b3.1.6). L'obiettivo è

prevedere l'inquinamento su scala urbana con alta risoluzione a partire dalle variabili predittive che meglio descrivono l'uso del territorio, la topografia e le caratteristiche demografiche locali. Una volta sviluppato, il modello può essere esteso a quelle aree dove non vi sono punti di monitoraggio. La performance dei modelli LUR dipende da diversi fattori quali la disponibilità di un numero rappresentativo di punti di campionamento, la variabilità spaziale dell'inquinante esaminato, la qualità e la disponibilità delle variabili predittive e la complessità dell'area in esame in termini di orografia e di sorgenti di emissione. Per il comune di Pescara, è stata calcolata la media annuale di NO_2 e PM10 per ogni singola centralina relativamente l'anno 2011 e per lo sviluppo del modello Land Use Regression sono stati presi in considerazione diversi strati informativi. Nei sistemi GIS i file, in formato vettoriale, contenenti le informazioni riguardanti le variabili predittive vengono tradotti in "layer" sovrapponibili in formato grid; ciò rende possibile qualsiasi tipo di operazione, di tipo statistico e matematico, tramite moduli di map algebra opportunamente presenti. In questo modo, attraverso apposite funzioni di geoprocessing, è stato possibile estrapolare i dati relativi alle variabili predittive nell'intorno di ciascun sito di campionamento dell'inquinante (buffer), il cui raggio viene opportunamente scelto in base alle caratteristiche dispersive dell'inquinante stesso e della sorgente di emissione, il cui aspetto risulta cruciale per la performance del modello. Le variabili estrapolate e considerate nell'elaborazione del modello riguardano la componente demografica (numero di abitanti residenti nel 2011 nel comune di Pescara), la componente dell'uso del suolo (uso urbano, industriale, rurale, aree verdi) e la componente topografica (altitudine e acclività del terreno). Inoltre è stata utilizzata anche la componente del traffico (numero di veicoli circolanti e numero di veicoli per km di strada), per la quale però non avendo a disposizione dati diretti è stata calcolata a partire dai dati censiti dall'Istituto Nazionale di Statistica (dati sulla mobilità urbana) e da parametri calcolati dallo strato relativo all'uso del suolo e da quello relativo alle strade. Per entrambi gli inquinanti esaminati, le variabili che sono risultate più significative durante lo sviluppo del modello sono state la popolazione e il numero di veicoli circolanti con una significatività del modello piuttosto elevata sia per NO_2 (R^2=0,92) che per il PM10 (R^2=0,99). Una volta sviluppato il modello, gli strumenti GIS consentono la visualizzazione della distribuzione spaziale dell'inquinante oggetto di studio attraverso una mappa ottenuta interpolando in ciascun punto del dominio di calcolo i risultati della regressione lineare multipla sulle variabili predittive del modello

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \ldots\ldots \beta_i x_i$$

Figura b.3.1.6: Esempio di equazione di regressione lineare multipla dove: *y* è la concentrazione dell'inquinante (variabile dipendente); x_i sono le variabili predittive (indipendenti); β_i sono i coefficienti angolari ed hanno un segno positivo o negativo impostato a priori a seconda della variabile *x*; β_0 è il termine noto.

finale scelto (Henderson et al., 2007). Questo è possibile sovrapponendo in formato grid tutti gli strati informativi presenti nel modello ai quali vengono associati i rispettivi coefficienti calcolati. Gli strati informativi devono avere naturalmente tutti lo stesso sistema di riferimento, la stessa estensione spaziale e identica risoluzione geometrica. La grid map consiste in una matrice di numeri con valori che indicano le caratteristiche/condizioni di ogni singola cella della grid. Le mappe della distribuzione spaziale di NO_2 e PM10 nel comune di Pescara relativamente l'anno 2011 (fig.b3.1.7) sono risultate essere molto simili, come previsto, principalmente a causa delle stesse fonti di emissione. Le mappe evidenziano come le zone più inquinate sono state quelle a nord-ovest e sud-ovest in corrispondenza dell'aeroporto e della circonvallazione di Pescara (SS16), che collega la zona sud con la zona nord evitando l'attraversamento dell'area urbana e non essendo sempre a scorrimento veloce risulta spesso congestionata dal traffico, motivo principale per cui questa zona è risultata essere quella con il più alto livello di inquinamento atmosferico. I risultati ottenuti con il LUR rendono quest'ultimo una valida alternativa all'implementazione della rete di monitoraggio a causa della praticabilità non sempre possibile e costi elevati delle centraline, e può migliorare ulteriormente grazie ad un buon monitoraggio delle variabili che influiscono sull'inquinamento atmosferico (es. flussi di traffico e censimenti della popolazione). Un confronto con altri strati informativi (distribuzione della popolazione, carta della vegetazione, ecc.) permette di elaborare quelle che vengono definite mappe di incidenza al fine di valutare l'esposizione di tali variabili all'inquinamento atmosferico. Inoltre, considerando la mappa di concentrazione di NO_2 e PM10 derivanti dal LUR è stato possibile elaborare la mappa di esposizione della popolazione (fig. b.3.1.8) relativamente agli indicatori statistici normati per l'inquinante considerato (Ministero dell'Ambiente). Ciascuna elaborazione può essere visualizzata su diverse basi di riferimento (es. Google Maps, Google Earth). Come sopra citato, per Pescara non si hanno dati relativi al flusso di traffico e per questo motivo è stata calcolata una variabile (veicoli circolanti) che potesse descrivere al meglio questo tipo di informazione. Considerando che già in questo modo il LUR sembra essere una buona soluzione,

Figura b.3.1.7: Mappa di concentrazione di NO_2 (a sinistra) e PM10 (a destra) – LUR con *focal statistics* (operatore focale di *map algebra*) a 500m, su base di riferimento Google Earth.

eventuali rilevamenti dei dati del traffico potrebbero migliorarlo ulteriormente, rendendolo una valida alternativa all'aggiunta di nuove centraline, dal punto di vista sia economico che di risultati. Infatti a causa dei costi e della praticabilità, le centraline di monitoraggio non possono essere posizionate dappertutto. Sempre in prospettiva di un utilizzo del LUR per avere un buon monitoraggio nel corso degli anni, sarebbe utile avere a disposizione dati aggiornati relativamente al numero di abitanti residenti (anagrafe comunale – censimenti ISTAT a cadenza decennale) e dati del traffico monitorati in continuo. Per quanto riguarda la tecnologia relativa al monitoraggio dell'inquinamento, recentemente si sta affermando anche l'utilizzo del drone al quale viene integrato un sistema che consiste in un apparato elettro-meccanico dal peso estremamente ridotto (meno di mezzo chilo) in grado di rilevare, aspirando aria e fumi, sostanze inquinanti direttamente su aree inquinate o su ciminiere in maniera estremamente veloce. Questi sono stati utilizzati dal Ministero dell'Ambiente con l'obiettivo del monitoraggio e della mappatura dall'alto del territorio. I droni, infatti, vengono oggi impiegati nel settore del monitoraggio ambientale per acquisire immagini aeree in near real-time, all'infrarosso e per generare modelli digitali tridimensionali del terreno. I dati così ottenuti possono essere importati all'interno dei GIS per poi svolgere efficacemente le necessarie analisi. E' chiaro quindi, come lo studio della distribuzione spaziale e temporale di un inquinante in un determinato territorio permette di ottenere un quadro conoscitivo approfondito dello stesso che può costituire un valido supporto nelle linee di azione di tipo programmatico e/o di pianificazione territoriale a vari livelli come ad esempio nei piani urbani o per la gestione del traffico stesso, ma anche uno strumento di analisi da utilizzare nelle varie fasi delle valutazioni ambientali (VIA, VAS e VincA).

Figura b3.1.8: **Mappe di esposizione della popolazione alle concentrazioni di NO_2 e PM10 (µg/m3)*ab/Km^2 su base di riferimento Google Maps.**

Box 3.2. Sistemi GIS-APR: un nuovo approccio per la diagnosi ambientale. ***Alessandro MARUCCI***

Negli ultimi anni le tecnologie legate allo sviluppo dei SAPR (Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto), comunemente chiamati droni, hanno subito un'evoluzione esponenziale. L'acquisizione dati da Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto oggi rappresenta l'ultima frontiera per l'informazione geografica. Le nuove tecnologie a disposizione permettono una maggiore velocità e precisione nell'acquisizione delle informazioni e la possibilità di elaborare una grandissima quantità di dati sempre aggiornabile. Lo sviluppo tecnologico nell'ambito della sensoristica permette di caricare a bordo dei droni sensori differenti come camere digitali ad altissima definizione, sensori termici ed iperspettrali, con notevole interesse nelle applicazioni in campo civile in grado di rivoluzionare interi settori, dall'ambito applicativo di interesse dell'ingegneria in generale, da quella del rilievo a quella strutturale, da quella ambientale a quella del rilievo territoriale. I droni sono aeromobili caratterizzati dall'assenza di un equipaggio a bordo. Il loro volo è governato da diverse tipologie di flight control system, gestiti in remoto da piloti a terra. La prima distinzione da fare è tra aeromodelli e SAPR: la differenza tra le due categorie dipende esclusivamente dall'uso che se ne fa. I droni usati esclusivamente per divertimento e sport sono aeromodelli, tutti gli altri sono SAPR (Fig. b 3.2.1 a,b,c). Essi si dividono in quattro categorie a seconda del peso:

• Inferiori a 300 g: per loro tutte le operazioni sono non critiche, in ogni scenario. Richiedono attestato di pilota.

• Inferiori a 2 Kg, solo se riconosciuti inoffensivi dall'ENAC: per loro tutte le operazioni sono non critiche, in ogni scenario. Richiedono l'attestato di pilota.

• Superiori a 25 kg e fino a 150 kg: Richiedono la licenza di pilota remoto (più complessa da ottenere che non l'attestato).

• Superiori a 150 kg: sostanzialmente sono aeroplani e ricadono nelle regole europee.

In questi ultimi anni le potenzialità applicative dei droni hanno superato ogni aspettativa e sono tutt'ora in fase di sviluppo. Attualmente vengono impiegati in una ampia gamma di settori dei quali si riportano solo alcuni come ad esempio l'abusivismo edilizio, l'agricoltura, l'archeologia, il bracconaggio, l'individuazione di discariche abusive, le frane, la fotogrammetria, gli incendi, l'inquinamento (soprattutto atmosferico), la mappatura dei danni da calamità naturali, la meteorologia, la microbiologia, monitoraggio nei piani regolatori comunali, operazioni di protezione civile, sopralluoghi per incidenti stradali, trasporto, sport e turismo, studi e monitoraggio della fauna selvatica come anche per l'analisi della vegetazione. Ogni settore di interesse sta sviluppando sia nuove procedure che

tecnologie innovative per i propri scopi attraverso una sensoristica sempre più sofisticata. Infatti uno dei punti di forza dei SAPR è quello di poter integrare diverse tipologie di sensori (fotocamere, termocamere, laser scanner) in grado di acquisire dati di diversa natura.

Figura b 3.2.1 a) Phantom 3 Pro, b) 3D Robotics, c) ebee Sensefly;

SAPR e GIS

L'avvento dei droni sta rivoluzionando il mondo dei Geographic Information Systems grazie alla loro versatilità ed alla capacità di acquisizione dati. Infatti è possibile realizzare ortofoto e DSM (Digital Surface Model) partendo da una semplice fotocamera attraverso una procedura chiamata "Structure from Motion" (o SfM). L'acquisizione di un rilievo tridimensionale può avvenire tramite strumenti e tecniche diverse. Il rilievo indiretto si basa su tecniche che utilizzano sia sensori attivi o range-based (laser scanner) che emettono un segnale elettromagnetico registrato dallo strumento al fine di derivarne una misura di distanza, sia sensori passivi o image-based che sfruttano la luce presente nell'ambiente per l'acquisizione delle immagini da elaborare. Tra le tecniche che utilizzano sensori passivi, il 3D da immagini (fotogrammetria digitale) è quella che ha conosciuto negli ultimi anni lo sviluppo tecnologico più importante con un rapporto costo/profitto particolarmente vantaggioso. La fotogrammetria digitale permette di ottenere un rilievo tridimensionale partendo da un set di immagini bidimensionali ed avvalendosi di algoritmi SfM completati da algoritmi di stereo matching. Per SfM si intende una tecnica di calcolo che permette di ricostruire la forma di oggetti attraverso la collimazione automatica di punti da un insieme di foto. E' una soluzione questa che, sotto molti punti di vista, risulta estremamente efficace permettendo di realizzare rilievi tridimensionali in modo rapido con utilizzo di soluzioni hardware e software low cost od open source e senza tuttavia rinunciare ad accuratezza e qualità del

risultato. Le attuali tecnologie e le procedure di elaborazione permettono di creare HRM, modelli ad altissima risoluzione in formato tridimensionale (fig. b3.2.2 a,b,c).

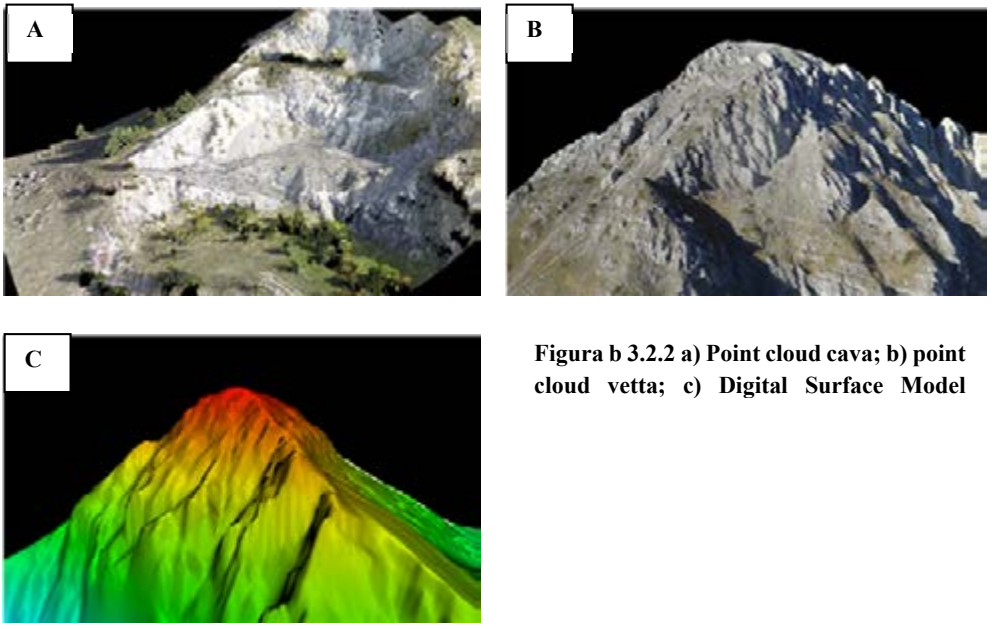


Figura b 3.2.2 a) Point cloud cava; b) point cloud vetta; c) Digital Surface Model

Basata su algoritmi di computer vision, la SfM estrae i punti notevoli dalle singole foto, desume i parametri fotografici e incrocia i punti riconoscibili su più foto, trovando le coordinate nello spazio dei punti stessi. Attualmente sono a disposizione applicativi per iOS e Android per l'acquisizione automatica delle foto per l'elaborazione della point cloud. Rispetto alla cartografia istituzionale, come quella prodotta dalle amministrazioni pubbliche, i sistemi integrati GIS-APR sono in grado di restituire dati ad altissima risoluzione. Attualmente la risoluzione media delle foto aeree è dell'ordine del dm/pixel, mentre quelle realizzate tramite droni arriva facilmente a 1cm/pixel. Stessa considerazione per il dsm che può raggiungere facilmente l'ordine del cm/pixel (fig. b3.2.3 c). Naturalmente le aree rilevabili da drone sono molto più limitate rispetto a quelle scansionate tramite volo aereo, anche in funzione dell'autonomia di volo. Dunque si apre un nuovo modo di intendere il rilievo territoriale. La completa integrazione tra SAPR e GIS permette di coniugare due aspetti fondamentali per la diagnosi dei fenomeni territoriali, ovvero l'alta risoluzione e la velocità di acquisizione dati dei droni con la grande capacità di elaborazione dei software geografici. Tale connubio cambia volto alle capacità esplorative che tale sistema può raggiungere. Una applicazione interessante in tal senso è lo studio dei fenomeni gravitativi dovuti al dissesto idrogeologico. Attraverso i droni è possibile monitorare lo stato delle frane con frequenze molto alte

(più volte al giorno), popolando quindi i data base geografici di informazioni in tempo reale. Ciò permette di monitorare lo stato dei luoghi e i più repentini cambiamenti (fig. b3.2.4).

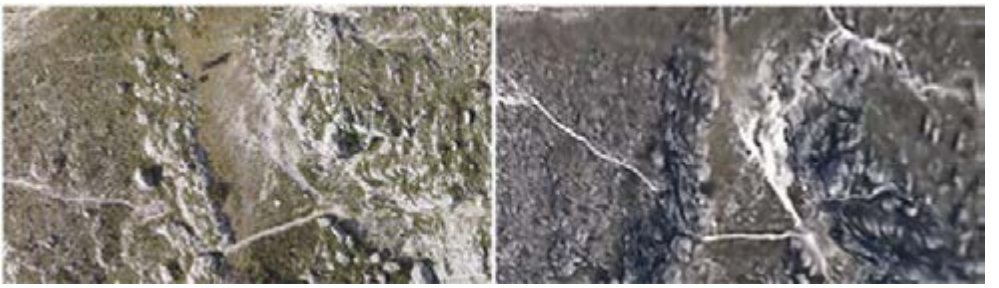


Figura b 3.2.3 Confronto tra acquisizione da drone (sinistra) e Google Earth (destra)

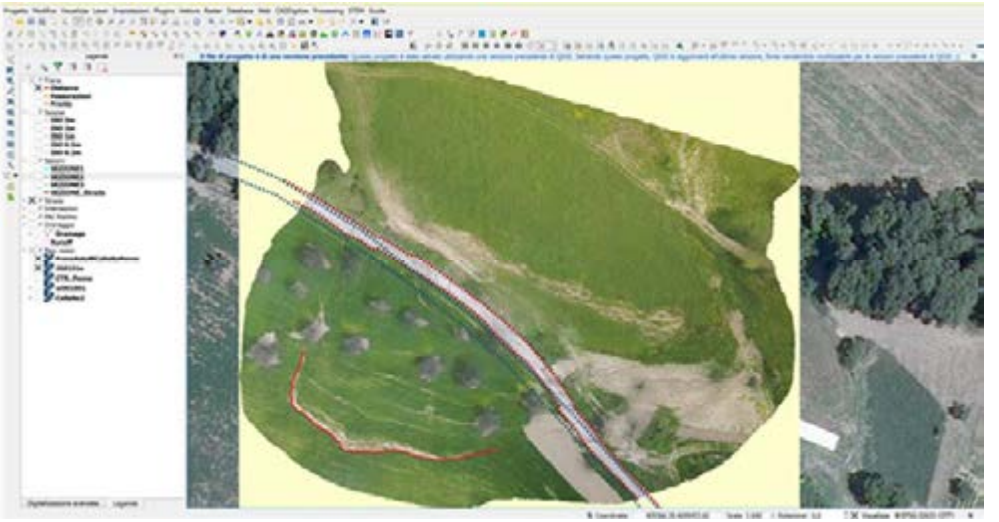


Figura b 3.2.4 Sistema integrato GIS – APR; elaborazione dei dati

Le applicazioni dei nuovi sistemi GIS-APR sono molteplici poiché, oltre ad apportare nel settore nuove tecnologie e tipologie di dati, rinnovano le potenzialità degli strumenti e delle procedure attualmente in uso attraverso informazioni ad altissima risoluzione. Anche il mondo dei sistemi informativi geografici si adatta alle nuove tecnologie attraverso tools ed utility specifiche per l'elaborazione dei dati da SAPR. Di seguito vengono riportati due plugin specifici per i droni integrati nel Quantum Gis.

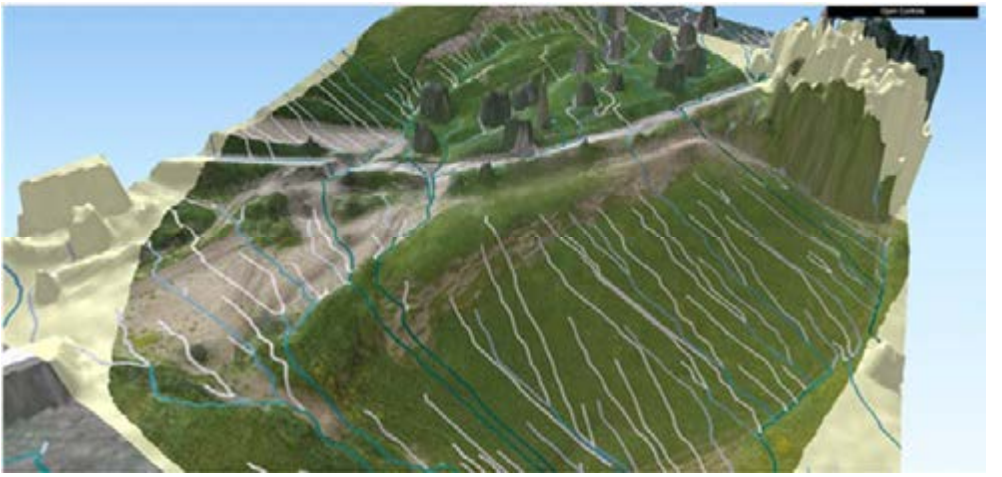


Figura b 3.2.5 Applicazione GIS - APR: simulazione scorrimento superficiale delle acque meteoriche sul terreno dopo l'evento franoso.

DronePlanner

Interessante plugin è DronePlanner che permette di simulare in GoogleEarth il percorso che deve seguire un drone per inquadrare una linea posta in un layer di QGis, oppure quello necessario per coprire un'area. Una volta installato tramite il pannello "plugins" DronePlanner, dopo essere stato chiamato da menu o da icona, visualizza un pannello contenente i seguenti parametri:

- Altezza del volo;
- Inclinazione della camera;
- Angolo orizzontale: Nord, Laterale destro oppure Laterale Sinistro;
- Focale;
- Larghezza del sensore;
- Altezza del sensore;
- Calcolo vertici sulla linea;
- Spiazzamento;
- Visualizza su GoogleEarth;

Una volta impostati i parametri sul pannello di controllo cliccando viene creato il file KML contenente tutti i fotogrammi intermedi lungo il percorso, visualizzato in GoogleEarth, dove è possibile modificare ulteriormente i parametri dell'inclinazione della camera, in modo da inquadrare in modo ottimale gli elementi.

Figura b 3.2.6 DronePlanner.

Figura b 3.2.7 Drone Planner: creazione del kml su Google Earth.

UAV Tracker

Un plugin molto interessante per QGIS è "Video UAV Tracker" e ha la funzione di visualizzare il video realizzato dal drone lungo la rispettiva traccia gps. Questo

permette di visualizzare contemporaneamente sia il dato geografico che lo stato reale dei luoghi.

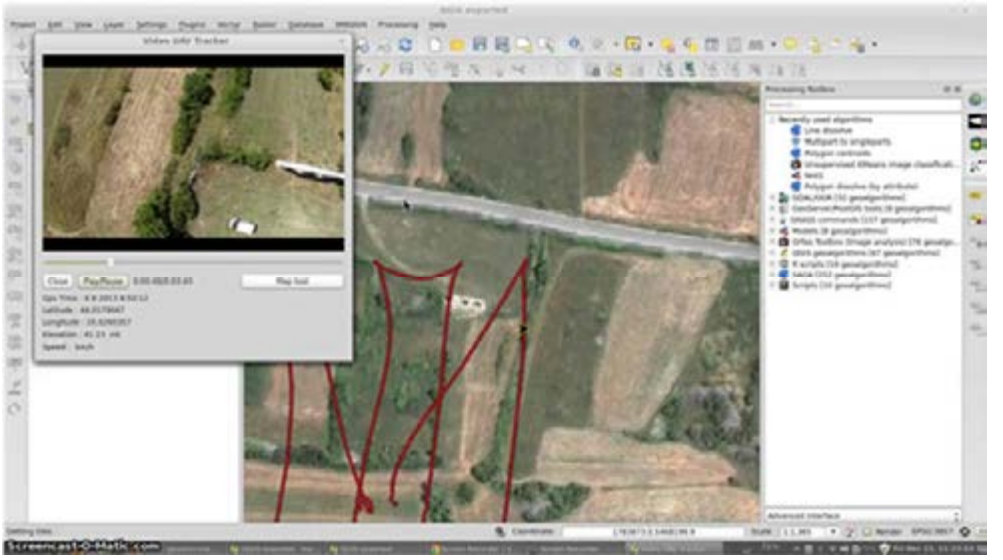


Figura b 3.2.8 Video UAV Tracker.

Una funzione ulteriore del plugin si ottiene utilizzando il tasto destro del mouse, che permette di salvare dei fotogrammi di punti del percorso, a cui possono essere associate delle informazioni alfanumeriche. Questa funzione può essere utilissima a supporto di operazioni di soccorso, come nella catalogazione di edifici colpiti da terremoti o altre emergenze.

La cartografia, quindi, "non è più solo rivolta ad indicare (con sempre maggior precisione) dove sono e che forma hanno gli oggetti, naturali o artificiali, ma anche attenta a delineare le caratteristiche quantitative di 'cose' e 'fenomeni', le loro correlazioni, per rintracciare una possibile spiegazione e quindi formulare leggi di comportamento dei fenomeni stessi" (Lodovisi e Torresani, 1996).

Cap. 4. Indicatori per i processi valutativi e per la pianificazione territoriale ed ambientale: analisi, implementazione ed utilizzo.

Obiettivi e finalità

In questo capitolo verranno descritti ed analizzati una serie di indici che possono essere utilizzati nei processi di pianificazione e valutazione ambientale illustrando contestualmente il workflow GIS necessario per implementarli. Verranno poi discusse le tecniche IDJ (Intersect – Dissolve – Join) e ISJ (Intersect – Summarize – Join) che prevedono l'utilizzo di alcuni dei geoprocessi di analisi spaziale descritti nel capitolo 3. Ognuno degli indici analizzati è accompagnato da una descrizione che fornisce l'informazione da esso rappresentata. Il workflow tecnico termina con la spiegazione relativa al calcolo dell'indice mentre non verrà illustrata la procedura per la produzione di cartografia tematica e del relativo layout in quanto già descritta ampiamente nel paragrafo 3.8. La parte finale è invece dedicata ad alcuni esercizi di map algebra. Gli indici sono raggruppati per categoria:

Indicatori demografici:

- Densità di popolazione;
- Tasso di variazione demografica;
- Tasso medio decennale di variazione demografica;

Indicatori urbanistici:

- Densità di urbanizzazione;
- Indice di dispersione urbana o UDI (Urban Dispersion Index);
- Superficie urbana Pro Capite;
- Indice di frammentazione da urbanizzazione lineare o UFI (Urban Fragmentation Index);
- Densità infrastrutturale o dotazione infrastrutturale;
- Indice di frammentazione da infrastrutture o IFI (Infrastructural Fragmentation Index);

Indicatori Ambientali:

- Indice di protezione ambientale;
- Tasso di copertura forestale;

Indicatori socio-economici:

- Indice di occupazione/disoccupazione;

- Indice di vecchiaia della popolazione;
- Indice di utilizzazione edilizia;

Map algebra:

- Tecniche di individuazione di aree idonee per la localizzazione di un servizio (Land Suitability Analisys – LSA).

L'uso dei sistemi informativi geografici in campo ambientale permette di analizzare, valutare e misurare lo stato di un territorio, la sua sensibilità verso determinati fenomeni ed al contempo permette di orientare strategie programmatiche e pianificatorie indirizzando di fatto l'azione di governo sulla base delle problematiche emerse (Borri et al., 1998; Geneletti, 2003; Las Casas & Murgante, 2004; Diamantini & Geneletti, 2005; Graci et al., 2008). Gli indici trovano una vasta gamma di applicazione anche nei processi di valutazione ambientale in quanto oltre a fornire una descrizione quantitativa e, indirettamente, qualitativa del fenomeno territoriale indagato, diventano importanti strumenti da utilizzare poi nelle successive fasi di monitoraggio (Geneletti & Bragagnolo, 2009). La scelta di utilizzare il comune come unità minima di interpretazione e diagnosi dei fenomeni descritti attraverso gli indici di seguito illustrati, si rivela molto efficace in caso di azioni, strategie di livello regionale/provinciale in quanto riesce ad evidenziare in maniera piuttosto efficace le responsabilità di ogni singolo comune rispetto ai fenomeni analizzati e, di conseguenza, ad indirizzare gli strumenti urbanistici locali verso politiche di compensazione. Studi su scale territoriali ridotte, come ad esempio quella comunale, possono essere condotti elaborando alcuni degli indici proposti su una griglia a maglia quadrata con passo variabile (solitamente pochi km di lato) che permette di comprendere meglio l'andamento geografico del fenomeno descritto e di focalizzare quindi l'attenzione e le relative azioni sulle aree che manifestano i più alti livelli di criticità. Qgis dispone di un apposito geoprocesso (Vettore – Strumenti di ricerca – reticolo vettoriale) che permette di elaborare un reticolo a maglia quadrata di passo regolare su una precisa estensione geografica che può essere definita dall'utente in vari modi (attraverso l'inserimento diretto delle coordinate del box, utilizzando l'estensione di visualizzazione della view o anche attraverso l'estensione geografica definita da un preciso layer). La natura stessa degli indici fa sì che questi possano essere aggiornati nel tempo permettendo in tal modo di capire l'evoluzione di un dato fenomeno sulla base dei cambiamenti territoriali dettati dalle politiche in essere in quel determinato ambito geografico. Ciò permette oltretutto di evidenziare eventuali criticità e di porvi immediatamente rimedio. Naturalmente un processo di questa natura necessita di dati costantemente aggiornati che dovranno essere poi utilizzati nelle formulazioni degli indici. Attualmente, grazie ai notevoli progressi della tecnologia, le scienze del territorio dispongono di un importante strumento in grado di rilevare le informazioni di interesse su aree di dimensioni

medio-piccole, in tempi notevolmente ridotti e con costi nettamente inferiori ai metodi di rilievo fino ad oggi utilizzati. Si tratta dei già citati SAPR (Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto) o più comunemente noti come droni, strumenti aerei radiocomandati in grado di restituire fotogrammi, video, ortofoto, nuvola di punti (peraltro gestibile già in alcuni software GIS) e modelli digitali della superficie di una data area con un livello di precisione geografica ed una risoluzione geometrica dell'immagine dell'ordine dei centimetri (Vedi box 3.2).

4.1. Indicatori demografici

Gli indicatori demografici forniscono informazioni su fenomeni relativi alla popolazione di una certa zona geografica. In particolare gli indici mostrati in questo paragrafo riguardano la popolazione residente all'interno di unità amministrative comunali. La banca dati utilizzata a questo scopo è quella fornita dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) relativa al censimento del 2011 (sezioni "Basi territoriali e variabili censuarie") raggiungibile al seguente indirizzo internet: http://www.istat.it/it/archivio/104317. Si consiglia di scaricare anche il file "Descrizione dei dati" nel quale vengono indicate tutte le specifiche tecniche del dato stesso oltre che una serie di informazioni necessarie per un utilizzo corretto.

4.1.1. Densità di popolazione

Rappresenta l'espressione di una importante driving-force qual è quella relativa al carico demografico di un territorio. Meglio se usato in forma diacronica in quanto permette di valutare nel tempo le variazioni della pressione antropica e, indirettamente, i conseguenti disturbi/minacce fisico-chimico-biologiche sul territorio in oggetto. La formulazione dell'indice è la seguente:

$$Dp = \frac{N_{ab}}{Ar} \text{ (abitanti/kmq)}$$

Dove:

Nab = abitanti residenti nell'unità territoriale di riferimento;

Ar = superficie dell'unità territoriale di riferimento.

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Dati popolazione residente riferiti ai limiti amministrativi considerati.

Come base territoriale per il calcolo degli indici demografici utilizzeremo le unità amministrative comunali della regione Abruzzo. Dalla sezione "Basi territoriali e variabili censuarie" del sito dell'Istat è possibile scaricare i dati relativi alle sezioni

censuarie della regione Abruzzo per l'anno 2011. E' possibile scegliere anche il sistema di riferimento tra l'ED50 e il WGS84, mentre la proiezione è UTM fuso di riferimento 32N. Dalla sezione "Variabili censuarie" scaricheremo invece il file (disponibile in formato .csv) relativo al censimento della popolazione e delle abitazioni per l'anno 2011. Si tratta in entrambi i casi di due files compressi con estensione .zip che vanno preventivamente decompressi prima di poter essere utilizzati nel software GIS. All'interno del file "dati-cpa_2011.zip" i dati sono suddivisi per cartelle (Aree di censimento, aree subcomunali, località, sezioni di censimento) ognuna delle quali contiene i dati relativi alla demografia e alle abitazioni circa l'unità di censimento ISTAT di riferimento. La classificazione dei comuni viene effettuata dall'Istituto Nazionale di Statistica sulla base di un codice identificativo numerico univoco ottenuto dalla concatenazione del codice regionale, provinciale e comunale. All'interno di ciascun comune sono presenti più sezioni censuarie individuate anch'esse da un codice identificativo numerico univoco ottenuto dalla concatenazione del codice provinciale ed il campo sezioni. Ogni sezione censuaria è quindi identificata univocamente da un codice che ne indica la provincia di appartenenza, il comune di appartenenza e il numero progressivo di sezione censuaria relativa a quel determinato comune. Nella cartella "sezioni di censimento" si trovano 21 file che riguardano le 20 regioni d'Italia e un file (tracciato_2011_sezioni.csv) che contiene le note esplicative delle informazioni presenti all'interno dei campi di ciascun file. Da quest'ultimo si evince che l'informazione relativa alla popolazione residente totale per sezione censuaria è indicata dal campo denominato "P1". La regione Abruzzo è identificata dal codice regione "13" per cui l'informazione di nostro interesse si trova nel file "R13_indicatori_2011_sezioni.csv". Lo shapefile invece riporta l'informazione spaziale relativa alla dislocazione geografica di tutte le sezioni censuarie 2011 per il territorio regionale con tutta una serie di informazioni associate all'interno del database (l'elenco degli attributi dello shapefile è riportato nel file "Descrizione dei dati"), tra cui il campo "loc2011" che contiene il codice identificativo univoco delle stesse. In entrambe le tabelle è presente un campo denominato "PROCOM" che utilizzeremo poi per effettuare l'operazione di join. Partendo da queste due tipologie di dataset (una spaziale e una non) bisognerà quindi elaborare la densità di popolazione di ciascuno dei 305 comuni abruzzesi relativa all'anno 2011. Non possiamo utilizzare i dati così come sono in quanto l'informazione di nostro interesse deve essere elaborata. In particolare a partire dal dataset geografico delle sezioni censuarie bisognerà ricavare i confini comunali mentre dal dataset non spaziale il numero totale di abitanti residenti per comune. Partiamo proprio da quest'ultimo. La prima cosa da fare è aprire QGIS e caricare la tabella "R13_indicatori_2011_sezioni.csv" che dovrà essere inserita utilizzando il tasto "Aggiungi layer di testo delimitato" spuntando alla sezione "Geometria" l'opzione "Nessuna geometria solo tabella degli attributi".

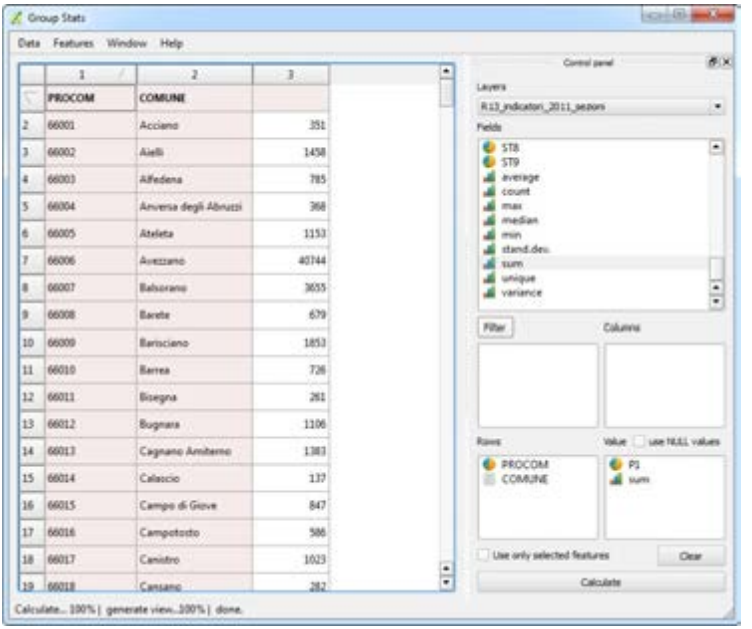


Figura 4.1 - Finestra di configurazione dell'operatore Group stats con i parametri impostati per il calcolo della popolazione residente per comune.

La popolazione residente per comune sarà ottenuta attraverso l'operatore di aggregazione "Group-Stats" sulla base dell'informazione contenuta nel campo "PROCOM" e "P1". La tabella ISTAT contiene anche un campo (denominato "Comune") che contiene l'indicazione del nome del comune che facilita il riconoscimento dello stesso, cosa ben più difficile se si utilizza il solo codice identificativo numerico (utile però come chiave primaria certa per l'operazione di join). Alla luce di quanto appena detto utilizzeremo anche questo campo nell'operazione di aggregazione tabellare tramite "Group-Stats". La finestra di configurazione è quella mostrata in figura 4.1. Il risultato è quindi una tabella esportabile in formato .csv (Opzione "Data – Save all to csv file"; "pop_2011_abr.csv") che contiene 305 record (numero totale dei comuni abruzzesi nel 2011) e tre colonne: la prima contiene il codice identificativo ISTAT di ciascun comune la seconda il nome dello stesso mentre la terza è relativa alla popolazione residente per ognuno di essi. Abbiamo in tal modo elaborato il numeratore del nostro indice. Il passo successivo è quello di aggregare le sezioni censuarie per comune su base geografica utilizzando quindi il layer "R13_11_WGS84" attraverso l'operatore di dissolvenza.

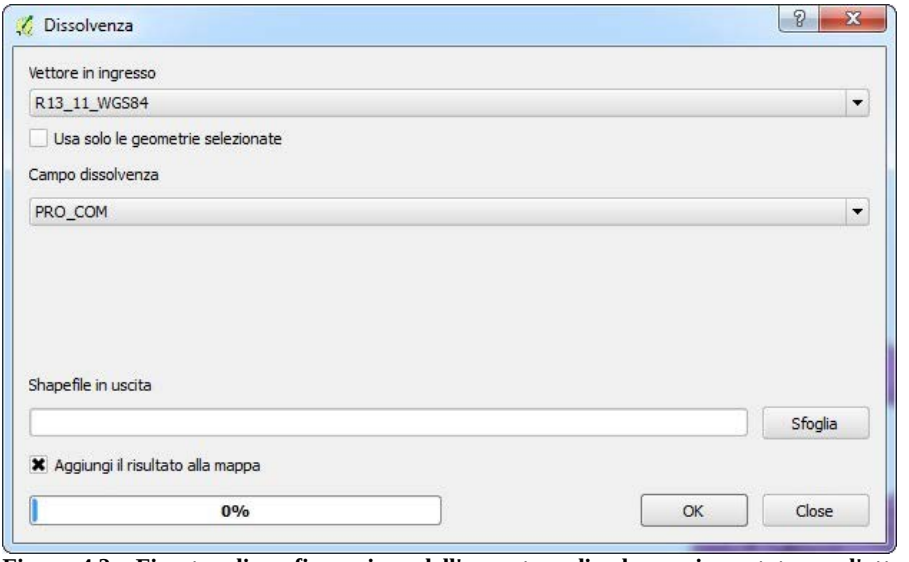


Figura 4.2 - Finestra di configurazione dell'operatore dissolvenza impostata per l'ottenimento dello shapefile dei confini dei comuni abruzzesi.

Quindi caricare lo strato vettoriale e ricordarsi poi di modificare il codice EPSG assegnato alla view in caso sia stata attivata l'opzione "non abilitare la riproiezione al volo" (impostarla nello stesso sistema di riferimento scelto in fase di download del file geografico). Prima di procedere è oltremodo utile semplificare il database di tale layer ai nostri fini eliminando di fatto tutti quei campi non utili. In questo senso possiamo eliminare tutti i campi lasciando solo "PROCOM" ed il campo contenente l'informazione relativa all'area di ciascun elemento ("Shape_area"). E' bene effettuare queste operazioni su una copia del file di origine, in quanto lo stesso può poi essere utilizzato per altri tipi di analisi. Possiamo quindi attivare l'operatore di dissolvenza ("Vettore – Strumenti di geoprocessing – Dissolvenza") e settare la finestra di configurazione così come nell'immagine 4.2. L'operazione di dissolvenza ha permesso quindi di elaborare lo shapefile dei limiti amministrativi dei comuni d'Abruzzo (Fig. 4.3). L'area non viene calcolata in maniera automatica dall'operatore appena utilizzato per cui andrà ricalcolata. Le informazioni che ci occorrono per il calcolo e poi la rappresentazione spaziale dell'indice si trovano su due strati differenti quindi attraverso una operazione di join sulla base del codice identificativo ISTAT di ciascun comune (campo "PROCOM") è possibile unire le due tabelle. Naturalmente la tabella di destinazione sarà quella dello shapefile in quanto è quella che ha associata anche una informazione di tipo spaziale che ci permetterà poi la rappresentazione tematica. Entriamo quindi nelle proprietà del layer e andare nella sezione "Join" impostando poi i parametri così come indicato nella figura 4.4 (spuntando la casella "Seleziona i campi per l'unione" è possibile scegliere anche i campi da unire nel join). Questa operazione permette di associare

il database della tabella con i dati della popolazione residente con quella del comune di appartenenza sulla base dello stesso codice identificativo ISTAT.

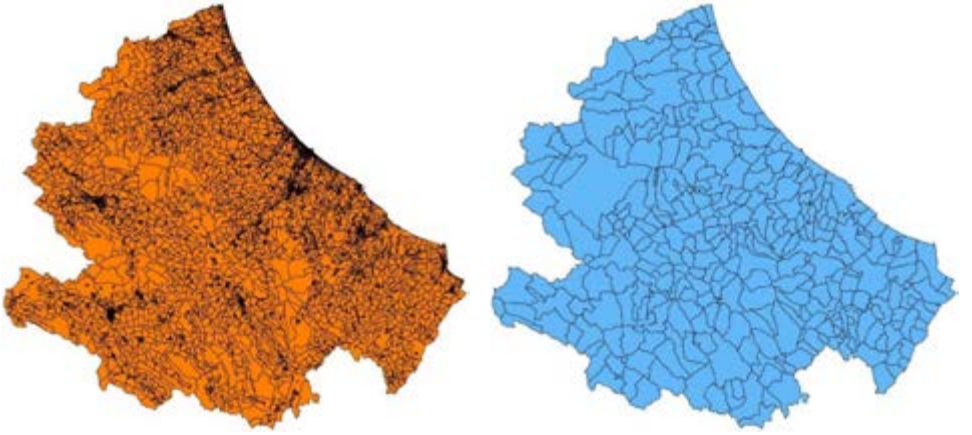


Figura 4.3 - Risultato dell'operazione di dissolvenza.

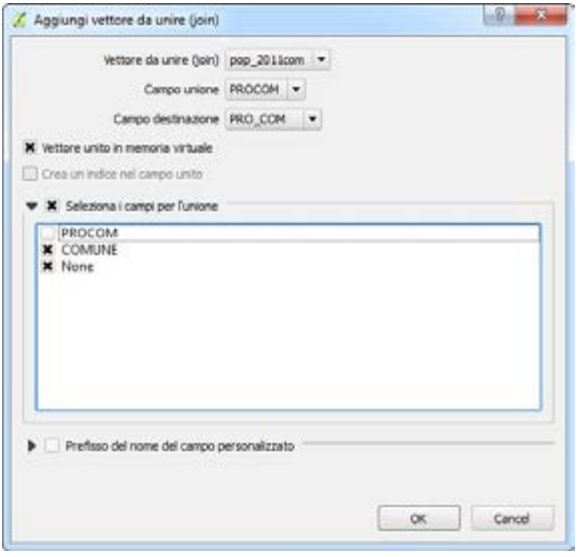


Figura 4.4 - Parametri di impostazione per l'operazione di join.

Prima di procedere con il salvataggio del layer (tasto dx – salva con nome…) è utile controllare che l'operazione appena effettuata sia andata a buon fine ordinando in senso crescente/decrescente l'informazione relativa alla popolazione residente accertandosi che al suo interno non vi sia la dicitura "NULL" in quanto tutti i comuni devono obbligatoriamente aver associato un valore. Nella fase di esportazione

bisogna sempre fare attenzione a ciò che si sta salvando (se l'intero shapefile o solo alcuni dei suoi elementi) ed il sistema di riferimento da attribuire al layer in output (lo stesso di quello dello strato informativo da cui proviene). Una volta terminata l'esportazione bisognerà intervenire sul database per modificare le varie intestazioni dei campi e rendere l'informazione in essi contenuta facilmente leggibile ed utilizzabile. In tal senso è utile scaricare un nuovo plugin denominato "Table Manager" che permette di modificare le intestazioni senza creare nuovi campi. Una volta installato, questo strumento si attiva o attraverso il tasto oppure tramite il menù a tendina "Vettore – Table manager – Table manager". L'interfaccia di configurazione è mostrata nella figura 4.5. Per effettuare le necessarie modifiche non c'è bisogno di passare in modalità di editing ma basta semplicemente selezionare il campo e tramite il tasto "Rename" modificare la stringa d'intestazione del campo stesso. E' inoltre possibile inserire nuovi campi o rimuovere quelli esistenti o anche spostare l'ordine all'interno della tabella. Per rendere definitive le modifiche effettuate bisogna poi cliccare sul tasto "Save". Il plugin dispone anche di un preview che permette di visualizzare la nuova struttura della tabella a seguito delle modifiche effettuate ancor prima di renderle definitive attraverso il salvataggio.

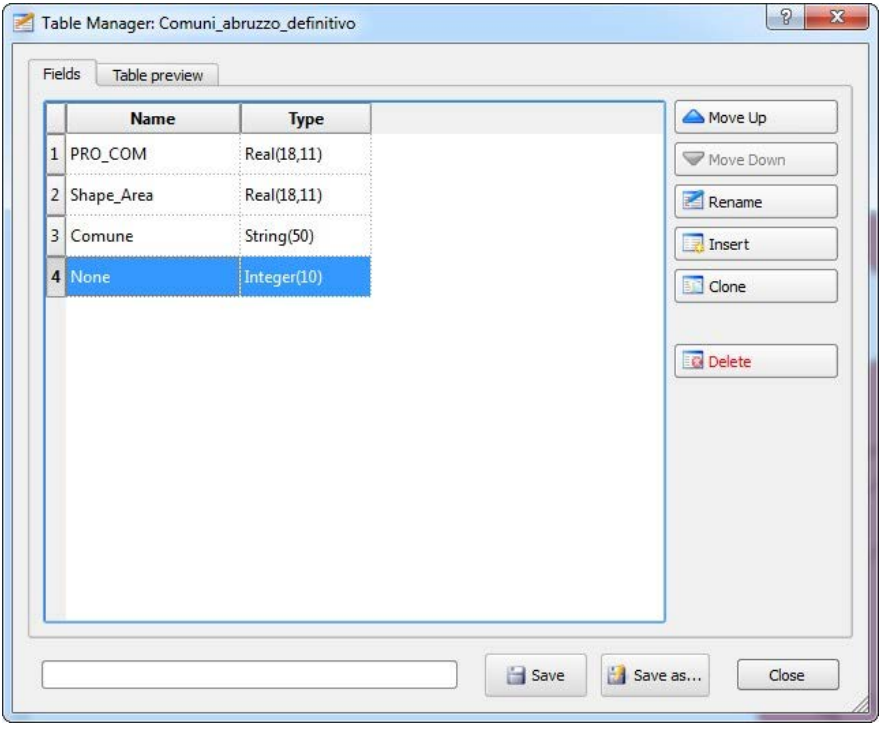


Figura 4.5 – Interfaccia di configurazione del plugin Table manager.

Si ricorda che è buona norma riportare l'informazione contenuta all'interno di ciascun campo di un determinato shapefile nel suo file di metadati in modo da garantirne il corretto utilizzo da parte di tutti nel tempo. L'indice è espresso in abitanti per chilometro quadrato di superficie comunale di riferimento per cui, una volta ricalcolata l'area in metri quadrati (funzione $area) aggiungeremo un nuovo campo (ad es. "Area_kmq") che conterrà questo valore espresso in km^2 (valore dell'area diviso 1.000.000). Le informazioni per il calcolo dell'indice sono quindi presenti nel database dello shapefile per cui non dobbiamo far altro che aggiungere un nuovo campo "Dp_2011" di tipo decimale i cui valori saranno dati dal rapporto tra il numero di abitanti residenti nel 2011 (campo "Pop_2011") e l'area del comune espressa in in km^2 (campo "Area_kmq") così come riportato nelle figure 4.6 e 4.7. Queste operazioni vanno eseguite in modalità di editing attraverso il calcolatore di campi, al termine delle quali bisognerà poi uscire da questa modalità e salvare tutte le modifiche effettuate. A questo punto è possibile lavorare sulla rappresentazione tematica dei vari comuni per classi di valori e allestire quindi il layout finale per la stampa. In questo caso si utilizzerà una rappresentazione utilizzando la classificazione di tipo graduato ("Proprietà del layer – Stile").

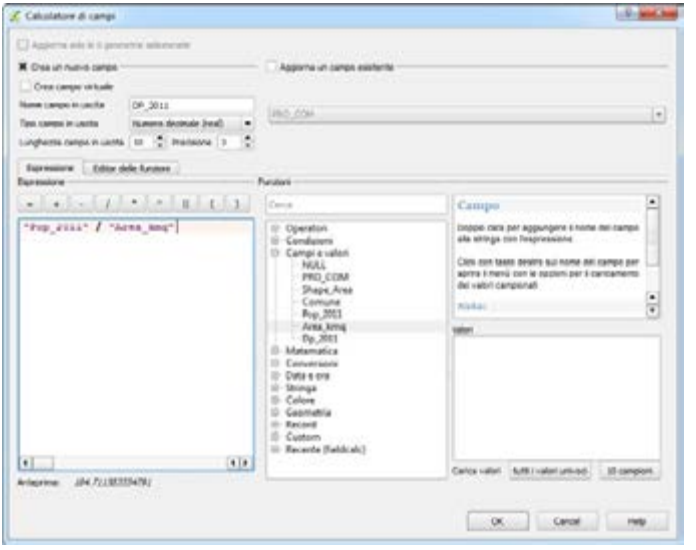


Figura 4.6 - Inserimento del campo Dp e calcolo del valore relativo al suo interno.

Il numero delle classi e i valori degli intervalli possono essere settati secondo vari criteri, in questo esempio sono state scelte le seguenti 5 classi:

- < 50 ab/km^2;
- 50 – 200 ab/km^2;
- 200 – 500 ab/km^2;

- 500 – 1000 ab/km^2;
- > 1000 ab/km^2;

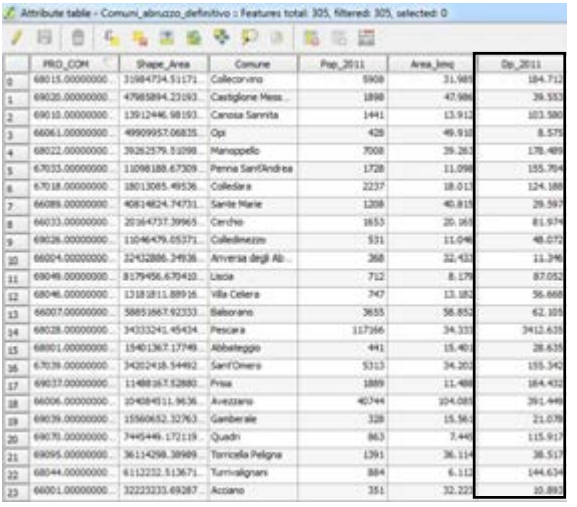


Figura 4.7 – Tabella che mostra il campo contenente il valore dell'indice Dp relativo all'anno 2011.

La scelta del numero di classi da utilizzare e su quali siano gli estremi di tali intervalli per analizzare al meglio un dato fenomeno può essere fatta in maniera più congrua se questa fase è preceduta da una analisi statistica dei valori dell'indice (numero dei campioni, distribuzione dei valori, valore medio, variabilità del dato).

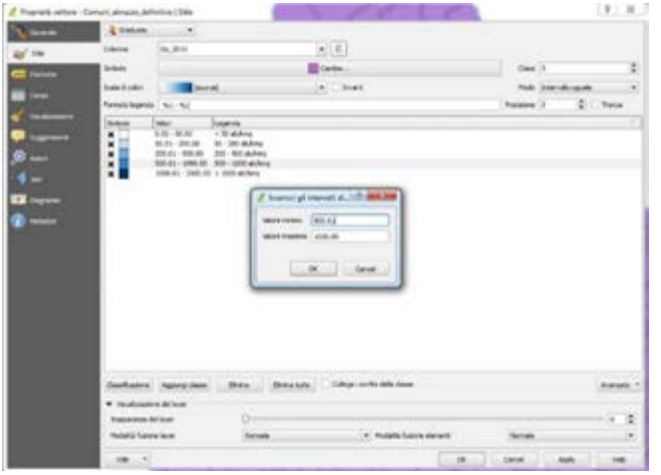


Figura 4.8 - Tematizzazione del layer "Abruzzo dati definitivo" attraverso una classificazione di tipo graduato sulla base dei valori dell'indice Dp.

Non bisogna mai dimenticare che il GIS è un sistema informativo geografico con finalità di analisi e di supporto decisionale, per cui la tematizzazione di dati

geografici fornisce uno strumento sulla base del quale il decisore effettuerà delle scelte che inevitabilmente si ripercuoteranno sul futuro assetto territoriale. Decisioni che influenzeranno a loro volta gli obiettivi di pianificazione e le scelte di programmazione circa un dato territorio. Appunto per questo la rappresentazione del fenomeno che si sta analizzando deve avvenire attraverso una scelta oculata, ma soprattutto statisticamente coerente nel numero di classi e negli intervalli, al fine di avere una chiara e corretta lettura dell'andamento di tale fenomeno nel territorio. Inoltre per quanto riguarda questo indice, la comparazione tra valori simili va fatta tenendo conto del valore assoluto degli abitanti residenti in quanto valori elevati ad esempio possono derivare da un basso numero di abitanti residenti in comuni con dimensioni ridotte. Nel nostro Paese infatti ci sono circa 600 comuni con dimensione territoriale inferiore ai 5 km^2 di questi 50 al di sotto dei 2 km^2.

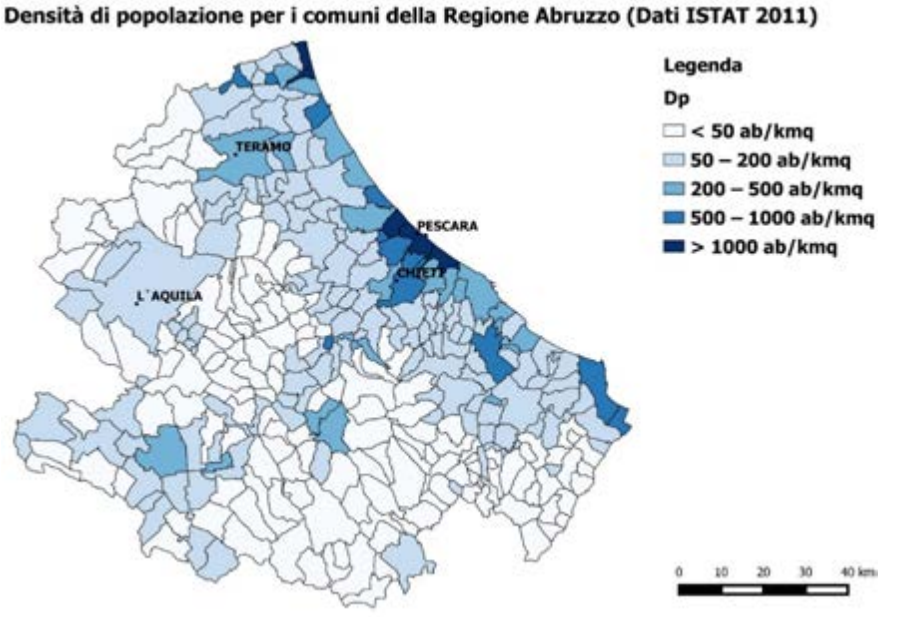


Figura 4.9- Layout di stampa per l'indice Dp.

Il layout rappresenta il prodotto finale attraverso il quale devono emergere chiaramente le informazioni numeriche e spaziali espresse dall'indice. Le potenzialità dell'informazione geografica non vengono tanto espresse nella formulazione di calcolo dell'indice stesso quanto invece nella sua rappresentazione spaziale. Infatti tale caratteristica permette di cogliere informazioni aggiuntive a quelle fornite dal solo valore dell'indice per comprendere l'andamento del fenomeno analizzato nello spazio e quindi nel territorio in esame. Tale indicazione consente anche la formulazione di ipotesi che servono a spiegare particolari condizioni

territoriali o ancora di capire dove sono concentrate le situazioni più critiche che necessitano di ulteriori indagini. E' quindi necessario che la cartografia tematica venga prodotta con buona accuratezza e precisione nei dettagli, inserendo tutti gli elementi utili per una corretta lettura ed interpretazione del fenomeno rappresentato. In tal senso l'inserimento di un layer puntuale contenente l'informazione dei centri abitati principali dell'area di studio può fornire un utile indicazione in quanto etichettare tutti i comuni ciascuno con il proprio nome creerebbe difficoltà nella lettura del layout. Per crearlo basta selezionare dalla tabella o dalla view questi comuni e utilizzare il geoalgoritmo "Centroidi nel poligono" ("Vettore – Strumenti di geometria – Centroidi nel poligono") che permette di creare uno shapefile di geometria puntuale dove ogni elemento rappresenta appunto il centroide del poligono (comune) selezionato in precedenza (il database resta quello di partenza). Il layout finale è rappresentato in figura 4.9. L'utilizzo incrociato di questo indice insieme con altri parametri quali ad esempio la densità urbano-edilizia o il tasso di variazione demografica, sempre in forma dinamica, permette di ottenere interessanti informazioni sulle vicende evolutive di un contesto ambientale. E' utile anche il confronto dei dati correnti con quelli di un piano o programma in fase di allestimento per l'implementazione di scenari di prospettiva. Va notato come non sia possibile rilevare una relazione di dipendenza diretta tra popolazione e quantità di territorio trasformato, in quanto questo rapporto è ben lungi dall'essere costante e varia di molto da una unità territoriale all'altra in funzione delle tipologie insediative. L'indice va pertanto utilizzato in associazione con gli altri parametri di seguito illustrati.

4.1.2. Tasso di variazione demografica

Il tasso di variazione demografica fornisce indicazioni circa la dinamica demografica di un determinato territorio nell'arco di due distinte sezioni temporali. Esprime quindi di quanto, in percentuale, la popolazione al tempo t_1 è aumentata o diminuita rispetto al tempo t_0 ($t_1 > t_0$). La sua formulazione è la seguente:

$$Tvd = \frac{Nab(t1) - Nab\ (t0)}{Nab(t0)}(\%)$$

dove:

Nab (t_1): Numero di abitanti residenti nell'unità territoriale al tempo t_1;

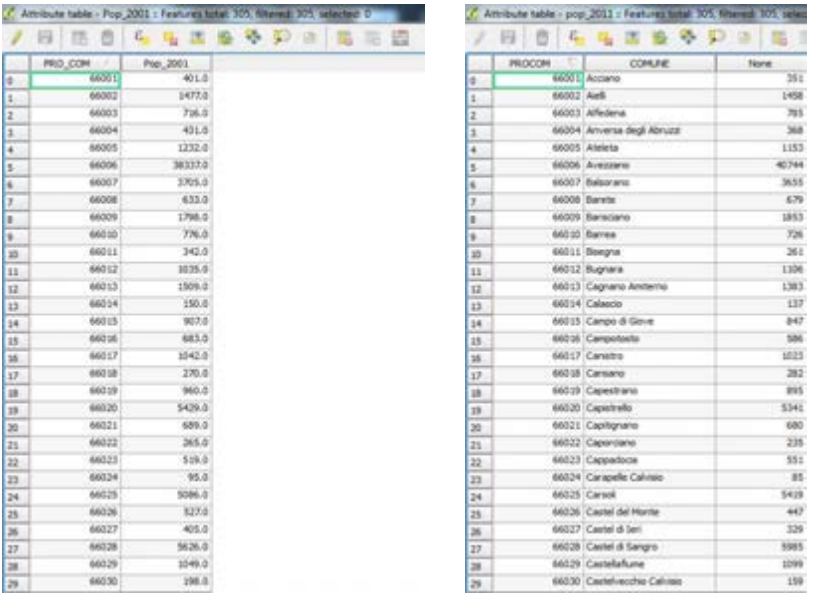
Nab (t_0): Numero di abitanti residenti nell'unità territoriale al tempo t_0;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);

- Dati popolazione residente in due distinte sezioni temporali riferiti ai limiti amministrativi considerati.

Elaboreremo l'indice considerando i dati per comune (sempre della regione Abruzzo) degli ultimi due censimenti ISTAT (2001 e 2011). Dalla sezione "Variabili censuarie" scaricare quindi il file (disponibile in formato .csv) relativo al censimento della popolazione e delle abitazioni per l'anno 2001 ed applicare le stesse operazioni viste per il file "R13_indicatori_2011_sezioni.csv" al file "R13_indicatori_2001_sezioni.csv" (inserimento nella view e applicazione del plugin Group-stats). Il prodotto finale sarà quindi una tabella, che chiameremo "Pop_2001", con due campi: "PROCOM" che conterrà il codice identificativo ISTAT di ogni singolo comune mentre l'altro avrà l'informazione circa il numero di residenti negli stessi al censimento 2001. Può succedere che, a seconda della regione considerata e del lasso temporale analizzato, il numero dei comuni e con esso anche il territorio amministrato, sia stato modificato (ad esempio nel Lazio il comune di Fiumicino è stato istituito nel 1992; in Sardegna il comune di Monserrato è stato istituito nel 1991; il comune di Gravedona ed Uniti è un comune in provincia di Como istituito nel 2011 dalla fusione dei comuni di Consiglio di Rumo, Germasino e Gravedona). Per cui prima di procedere con il calcolo dell'indice in casi del genere bisogna apportare le necessarie modifiche sia a livello geografico (utilizzare sempre le basi territoriali più aggiornate) sia a livello alfanumerico nelle tabelle da utilizzare. L'informazione contenuta nella tabella "Pop_2001.csv" è riportata in figura 4.10.



	PRO_COM	Pop_2001
0	66001	401.0
1	66002	1477.0
2	66003	716.0
3	66004	431.0
4	66005	1232.0
5	66006	38337.0
6	66007	3705.0
7	66008	633.0
8	66009	1798.0
9	66010	776.0
10	66011	342.0
11	66012	1035.0
12	66013	1509.0
13	66014	150.0
14	66015	907.0
15	66016	685.0
16	66017	1042.0
17	66018	270.0
18	66019	960.0
19	66020	5429.0
20	66021	689.0
21	66022	265.0
22	66023	519.0
23	66024	95.0
24	66025	5086.0
25	66026	527.0
26	66027	405.0
27	66028	5626.0
28	66029	1049.0
29	66030	198.0

	PROCOM	COMUNE	None
0	66001	Acciano	351
1	66002	Aielli	1458
2	66003	Alfedena	783
3	66004	Anversa degli Abruzzi	368
4	66005	Atelata	1153
5	66006	Avezzano	40744
6	66007	Balsorano	3655
7	66008	Barete	679
8	66009	Barisciano	1853
9	66010	Barrea	726
10	66011	Bisegna	261
11	66012	Bugnara	1106
12	66013	Cagnano Amiterno	1383
13	66014	Calascio	137
14	66015	Campo di Giove	847
15	66016	Campotosto	586
16	66017	Canistro	1023
17	66018	Carsano	282
18	66019	Capestrano	895
19	66020	Capistrello	5341
20	66021	Capitignano	680
21	66022	Caporciano	235
22	66023	Cappadocia	551
23	66024	Carapelle Calvisio	85
24	66025	Carsoli	5429
25	66026	Castel del Monte	447
26	66027	Castel di Ieri	329
27	66028	Castel di Sangro	5985
28	66029	Castelafiume	1099
29	66030	Castelvecchio Calvisio	159

Figura 4.10 - Tabella degli attributi del file "Pop_2001.csv" a sx "Pop_2011" a dx.

La base territoriale che utilizzeremo è lo stessa di quella utilizzata per il calcolo della densità di popolazione (http://www.istat.it/it/archivio/104317 sezione "Basi territoriali"). L'operazione di dissolvenza su questo file (campo dissolvenza "PRO_COM vedi fig. 4.2) permette di ottenere lo shapefile dei limiti amministrativi dei comuni abruzzesi. Per la popolazione residente al 2011 si può utilizzare la tabella ("Pop_2011") derivata dal file "R13_indicatori_2011_sezioni.csv". Nella TOC saranno quindi caricate queste due tabelle ("Pop_2001" e "Pop_2011") ed il file geografico dei comuni abruzzesi. L'obiettivo è quello di trasferire l'informazione contenuta in entrambe le tabelle non spaziali (numero di abitanti residenti 2001 e 2011) in quella dello shapefile dei comuni. E' quindi possibile effettuare una doppia operazione di join ed esportare infine il layer nella cui tabella verrà implementato l'indice. Durante questa operazione bisogna prestare attenzione ad alternare le due tabelle nel box "Vettore da unire join". Il campo chiave da utilizzare per il join in entrambi i casi è costituito dalla colonna "PROCOM", quella cioè che contiene il codice identificativo univoco Istat per ogni comune. A livello geografico non viene modificato assolutamente nulla mentre a livello di database ci sono informazioni aggiuntive (Fig. 4.12). Prima di effettuare l'esportazione è fondamentale controllare che a ciascun record della tabella dello shapefile corrispondano due valori (popolazione residente 2001 e 2011) su due colonne distinte.

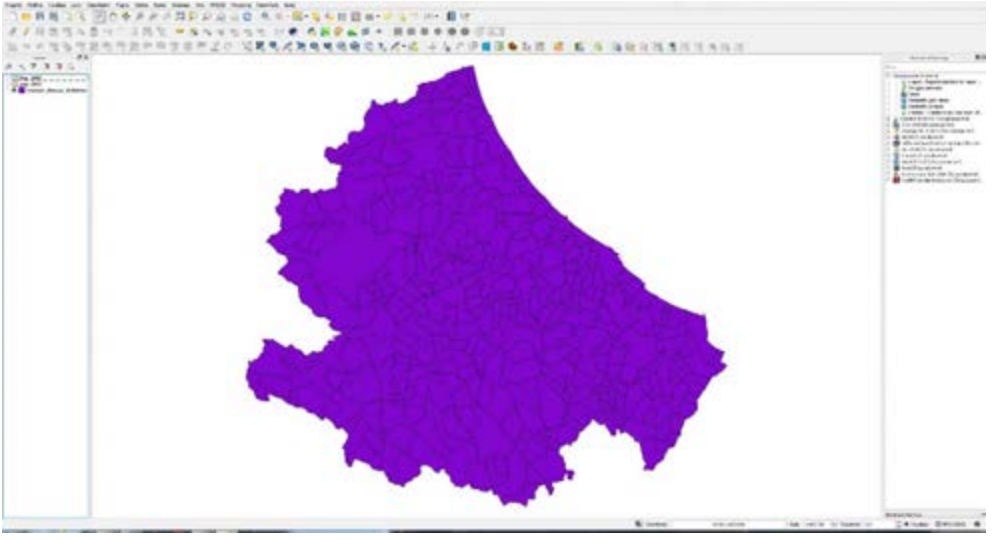


Figura 4.11 – Strati informativi per il calcolo dell'indice Tvd.

Utilizzando sempre le funzioni disponibili nel "Table manager" possiamo modificare l'intestazione dei campi riportando l'indicazione dell'informazione in essi contenuta in forma diversa e più immediatamente comprensibile rispetto a quella che viene inserita in seguito all'operazione di join.

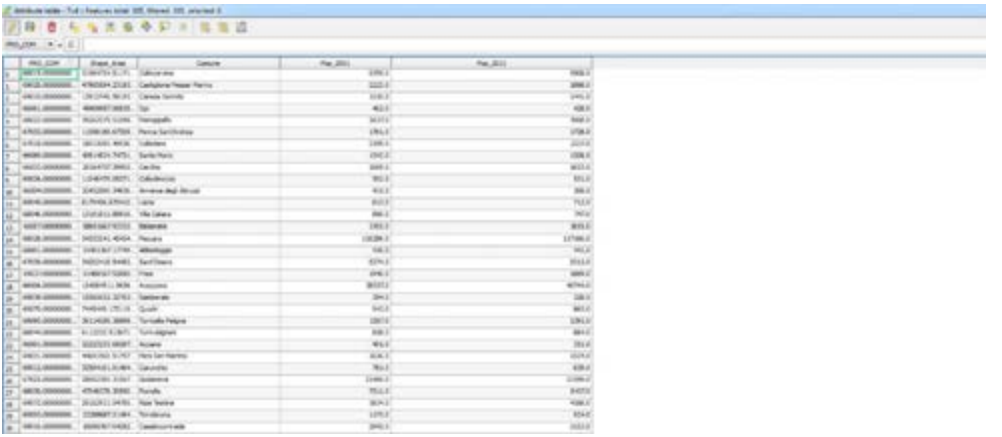


Figura 4.12 - Tabella dello shapefile a seguito della doppia operazione di join.

Contestualmente l'inserimento di queste informazioni anche all'interno della struttura dei metadati garantisce una facile lettura del dato ed un corretto uso dello stesso. Possiamo ora elaborare il valore dell'indice Tvd su di un nuovo campo combinando l'informazione contenuta nei campi "Pop_2001" e "Pop_2011" attraverso la sezione "Campi e valori" disponibile nell'area delle funzioni del calcolatore di campi. In questo caso la sintassi da scrivere è la seguente (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

*((Pop2011 – Pop2001)/Pop2001)*100*

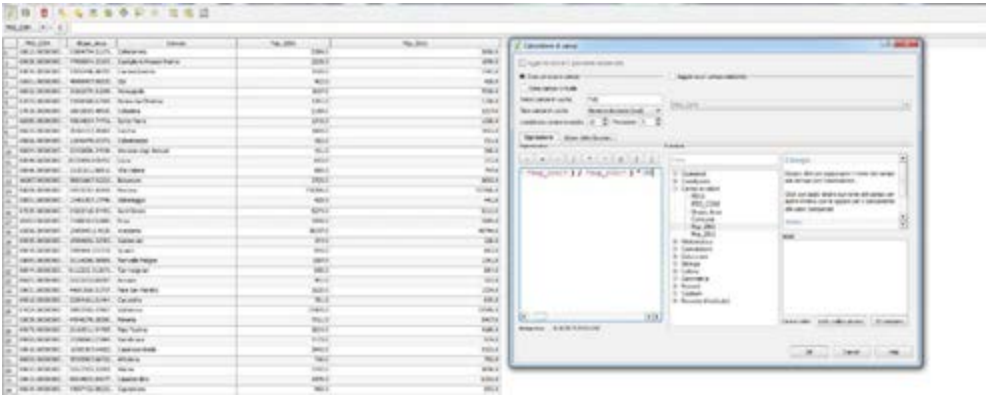


Figura 4.131 - Calcolo del tasso di variazione demografica 2001 - 2011.

L'indice può in questo caso assumere anche valori negativi in caso di decremento nel numero di residenti tra il 2001 ed il 2011. In questo caso le classi utilizzate per la rappresentazione sono le seguenti:

- Decremento demografico;
- Incremento fino al 5%;
- Incremento tra il 5% ed il 10%;
- Incremento tra il 10% ed il 20%;
- Incremento superiore al 20%.

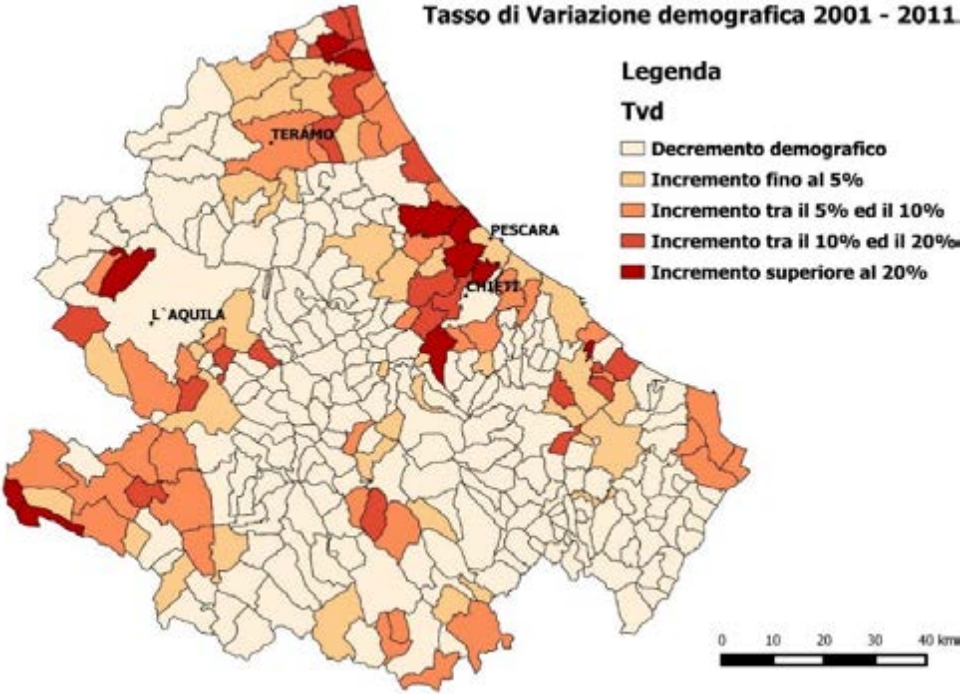


Figura 4.14 - Layout di stampa per l'indice Tvd.

Il solo valore dell'indice non ci permette di rispondere immediatamente a domande quali: dove è avvenuto tale incremento/decremento? Ci sono comuni limitrofi dove si sono registrate dinamiche simili? Nei pressi di questi comuni ci sono aree metropolitane o infrastrutture di interesse nazionale/regionale? Si tratta di territori costieri o delle aree interne? Queste ed altre domande trovano la loro risposta grazie all'attributo geografico degli elementi, principio fondamentale dei sistemi informativi territoriali. Il tasso di variazione demografica esprime appunto la variazione demografica della popolazione di un'area geografica (solitamente un comune) rispetto ad una sezione temporale presa come riferimento. In tal senso è utile analizzarlo su dati che coprono almeno un trentennio per avere una visione più efficace di quella che è stata la dinamica demografica su un dato territorio. Inoltre non va dimenticato che è espresso in percentuale per cui queste variazioni relative vanno poi sempre confrontate con i valori assoluti per avere cognizione delle dimensioni del fenomeno in quella data area geografica.

4.1.3. Tasso medio decennale di variazione demografica

Il tasso medio decennale di variazione demografica esprime la percentuale media di variazione decennale della popolazione residente per comune in un certo arco temporale. Determinare lo scenario demografico futuro di una data area geografica, è una fase di fondamentale importanza nella pianificazione territoriale in quanto è a partire da questa che viene dimensionato il piano e disegnato quindi il futuro assetto urbano-ambientale di un territorio. Esistono svariati algoritmi più o meno complessi che vengono comunemente utilizzati, algoritmi che sulla base dei dati pregressi delineano un trend demografico al fine di predire con una certa attendibilità quale sarà lo scenario negli anni a venire. Naturalmente più ricche saranno le informazioni relative agli anni pregressi maggiore sarà l'attendibilità della stima futura. La fonte principale dei dati demografici in Italia, come detto, è rappresentata dall'Istituto Nazionale di Statistica, nella cui banca dati, come abbiamo visto, è possibile reperire tutta una serie di informazioni legate alla variabile demografica (tasso di natalità, tasso di mortalità, tasso di immigrazione ed emigrazione) su ampie scale temporali e a diversi livelli territoriali (regione, provincia, comune). Informazioni di questa natura possono essere reperite anche utilizzando fonti diverse (ad esempio ufficio anagrafe degli enti comunali). Premesso ciò, l'assunto su cui si basa questo indice è il seguente:

Se p(t) rappresenta la popolazione residente nell'anno t, la popolazione nell'anno successivo sarà:

$$p(t+1) = p(t) + p(t)\,\alpha 1 = p(t)\,(1+\alpha 1)$$

dove:

$\alpha 1$= tasso di variazione della popolazione tra l'anno k e l'anno k+1

Nell'anno ancora successivo la variazione sarà:

$$p(t+2) = p(t+1) + p(t+1)\,\alpha 2 = p(t+1)\,(1+\alpha 2) = p(t)\,(1+\alpha 1)\,(1+\alpha 2)$$

Quindi, nell'anno n-esimo si avrà:

$$p(t+n)= p(t)\,(1+\alpha 1)\,(1+\alpha 2)\ldots\,(1+\alpha n)$$

Se siamo alla ricerca del tasso medio su periodi di eguale estensione temporale ne seguirà che, imponendo α costante:

$$p(t+n)= p(t)\,(1+\alpha)^n$$

da cui deriva che:

$$\alpha = \sqrt[n]{\frac{P(t+n)}{P(t)}} - 1$$

α rappresenta il tasso medio decennale di variazione demografica. Il tasso è decennale in quanto viene calcolato sulla base dei dati del censimento Istat che avvengono appunto ogni 10 anni. Vediamo ora la procedura di calcolo dell'indice, che andrà valutato utilizzando dati censuari su almeno trenta – quaranta anni. Nel caso specifico l'indice sarà calcolato utilizzando i dati sui censimenti della popolazione del 1971 e del 2011. I dati sono i seguenti:

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Dati popolazione residente in due distinte sezioni temporali riferiti ai limiti amministrativi considerati.

L'Istat mette a disposizione una applicazione (atlante statistico dei comuni) aggiornata del database di dati comunali che permette la consultazione, l'esportazione e la rappresentazione cartografica di informazioni relative a: censimenti (dal 1971 per popolazione e abitazioni e industria e servizi, dal 1990 per agricoltura), territorio, popolazione, sanità, istruzione, turismo, cultura, credito, veicoli circolanti.

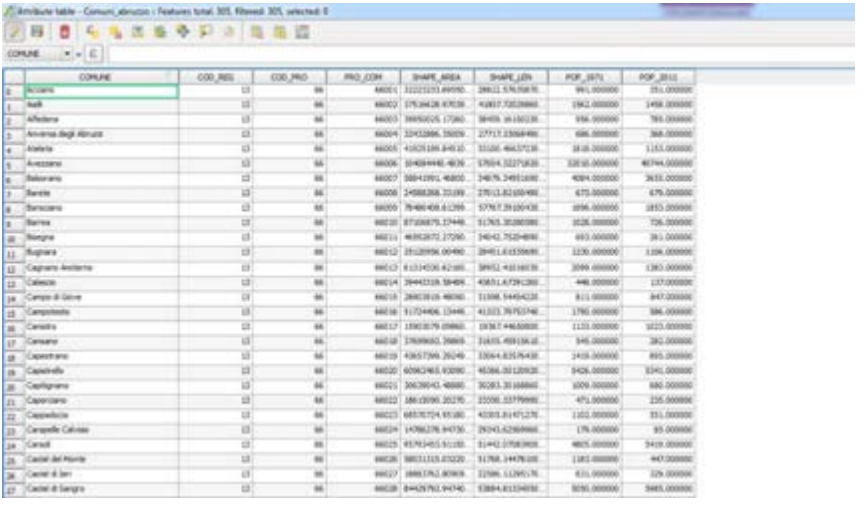


Figura 4.15 - Tabella dello shapefile recante l'informazione utile per il calcolo dell'indice.

Da questo software è possibile consultare ed estrarre i dati in formato excel (file .xls) che dovranno poi essere convertiti in .csv o .dbf per essere utilizzati in Qgis.

Per quanto riguarda il file geografico si utilizzerà quello visto finora ottenuto dall'applicazione dell'operatore dissolvenza al file delle sezioni censuarie della regione Abruzzo scaricato dalla sezione basi territoriali del sito Istat (http://www.istat.it/it/archivio/104317). Per poter procedere quindi con il calcolo dell'indice è necessario avere all'interno della tabella dello shapefile sia l'informazione relativa agli abitanti residenti al 1971 che quelli al 2011 che, in questo caso si trovano su due tabelle distinte. Attraverso due distinte operazioni di join sullo stesso shapefile (il campo chiave da utilizzare è sempre PROCOM o comunque quello che contiene il codice identificativo numerico ISTAT di ogni comune). Dopo aver accertato la corretta esecuzione di questa operazione bisogna salvare il tutto in un nuovo shapefile (Tasto destro sul layer – "Salva con nome"). La struttura della tabella andrà modificata per renderla più facilmente ed intuitivamente leggibile così come visto anche nei casi precedenti. Il database finale dello shapefile dei comuni abruzzesi dovrà essere quello riportato in figura 4.15. Sia il tasso di variazione demografica che il tasso medio decennale di variazione demografica sono degli indici normalizzati che vengono espressi in forma percentuale. Una comparazione dei valori riscontrati per questi indici può essere fatta tra comuni appartenenti ad una stessa classe demografica (espressa attraverso il numero degli abitanti) che può fornire importanti indicazioni utili a comprendere anche fenomeni a questo direttamente annessi come ad esempio l'evoluzione nel tempo delle aree urbanizzate (Romano e Zullo, 2015). Per il calcolo dell'indice possiamo decidere di procedere per step utilizzando quindi una serie di passaggi e quindi di colonne, oppure trascrivere direttamente la formulazione finale utilizzando correttamente le parentesi per l'esecuzione del comando. L'operazione di estrazione di radice può essere facilmente inserita nel sistema di calcolo del GIS utilizzando l'operazione inversa e cioè l'elevamento a potenza. Per elevare un numero ad una data potenza si utilizza il tasto ^ seguito poi dall'esponente. Va quindi creato un campo di tipo decimale e nel box espressione andrà inserita la seguente formula (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

*((("POP_2011" / "POP_1971") ^ 0.25)-1)*100*

L'esponente è stato impostato a 0,25 poiché, essendo stato calcolato su un numero di unità di tempo pari a 4 decenni (in questo caso una sezione temporale corrisponde a 10 anni), deve essere estratta la radice quarta che, all'inverso, corrisponde ad elevare la base con un esponente pari a ¼ e cioè 0,25. Il tutto è stato moltiplicato per 100 per ottenere il valore espresso in percentuale. Anche in questo caso l'indice può assumere valori negativi nel caso di diminuzione della popolazione residente tra le due sezioni temporali indagate. Sostanzialmente l'indice esprime di quanto la popolazione di un dato territorio è mediamente aumentata o diminuita per ogni periodo di tempo considerato. Come più volte evidenziato, la classificazione e quindi la rappresentazione degli elementi geografici sono una operazione fondamentale che

serve a mettere in risalto le dinamiche del fenomeno indagato nel territorio di studio. Occorre quindi prestare molta attenzione nell'uso delle classi che devono necessariamente derivare da una analisi statistica dei dati in questione o dall'utilizzo di valori tali nel settare i range degli intervalli che servono ad evidenziare particolari condizioni/situazioni dell'ambito tematico studiato. Gli intervalli utilizzati in questo caso sono i seguenti:

- Decremento demografico;
- Incremento fino al 5%;
- Incremento tra il 5% ed il 10%;
- Incremento tra il 10% ed il 20%;
- Incremento superiore al 20%.

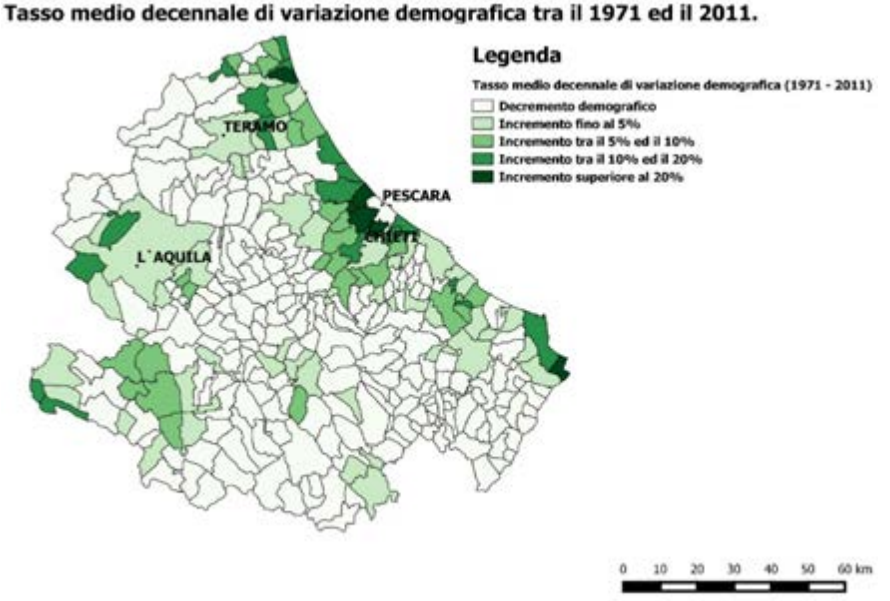


Figura 4.162 - Layout di stampa per il tasso medio decennale di variazione demografica.

Dalla lettura della mappa emergono interessanti informazioni legate appunto all'attributo geografico che permettono di cogliere dinamiche demografiche in atto su scale territoriali ampie. Ciò consente quindi di determinare quali siano le dinamiche in corso nel territorio regionale e, sulla base di queste, mettere in campo delle misure di azione politica, programmatoria/pianificatoria in grado sia di arginare la costante diminuzione di popolazione (ad esempio nelle aree interne e nelle zone appenniniche) sia di assecondarne la crescita come per esempio nei comuni delle aree costiere.

4.2. Indicatori urbanistici

Gli indici urbanistici rappresentano un importante strumento volto alla comprensione delle dinamiche e dell'assetto insediativo-urbano di un determinato territorio. Essi forniscono anche indicazioni circa l'impatto che le aree urbane esplicano a carico degli ecosistemi naturali sia come disturbo sia come frammentazione ambientale. Rappresentano degli efficaci strumenti di valutazione e di monitoraggio e, soprattutto negli ultimi anni, vengono utilizzati per valutare le dimensioni e gli effetti del fenomeno del consumo di suolo e della dispersione urbana (Romano e Zullo 2015a, 2015b, 2014, 2013, 2012; Romano et al., 2015; Zullo et al., 2015; Triantakostantis e Stathakis 2015; ISPRA 2015; Falqui et al, 2014; Mazzeo, 2012; Salvati et al., 2012; Munafò et al, 2011; Falcucci e Maiorano, 2008; Irwin et al., 2007; EEA, 2006; Breslaw, 1990). Prima di addentrarci nelle procedure di elaborazione e di utilizzo, bisogna precisare cosa si intende per superficie urbanizzata in quanto di fondamentale importanza per comprendere le informazioni fornite dagli indici. Il suolo trasformato dall'urbanizzazione può essere definito in diversi modi e nei lavori di indagine e di diagnosi del fenomeno è importante stabilire a quale delle seguenti definizioni sono riferiti i dati e le considerazioni espresse:

a) **Suolo urbanizzato**: superfici destinate alle funzioni urbane, con sostituzione o con mantenimento del suolo naturale: sono comprese le parti di suolo edificato e quelle destinate a funzioni accessorie dell'insediamento, come giardini pubblici e privati, impianti sportivi, strade sterrate e altre aree di servizio permeabili o impermeabili all'acqua.

b) **Suolo artificializzato**: aree nelle quali lo strato naturale è stato sostituito con altri materiali, permeabili o impermeabili all'acqua, per consentire usi diversi: sono comprese le parti di suolo edificato, ma anche strade, piazze e parcheggi (pavimentati o permeabili), così come campi sportivi o aree di escavazione.

c) **Suolo edificato**: superfici coperte da edifici e individuabili dalla proiezione a terra del perimetro di questi ultimi. Il suolo naturale è completamente asportato per consentire la costruzione delle opere di fondazione.

d) **Suolo impermeabilizzato**: superfici coperte da strati di materiale impermeabile che impediscono l'assorbimento delle acque superficiali. Sono comprese sia le parti di suolo edificato, sia quelle parti destinate ad altri usi che necessitano di una pavimentazione come strade, piazze e parcheggi e tutti i casi in cui gli strati di suolo naturale vengono completamente asportati per sostituirli con altri materiali che migliorano la stabilità e la indeformabilità delle superfici. Le forme b), c) e d) (fig. 4.17) sono dei sottoinsiemi della categoria del suolo urbanizzato a) che rappresenta il dato più diffuso ed omogeneo alla scala europea (CORINE Land Cover). Spesso cartografie tecniche geograficamente più dettagliate all'interno dei vari Enti

amministrativi contengono anche dati sul suolo edificato (c) e impermeabilizzato (definito anche "non evapotraspirante"). Negli esempi che seguono la superficie considerata per l'analisi è quella indicata con la lettera A in figura 4.17.

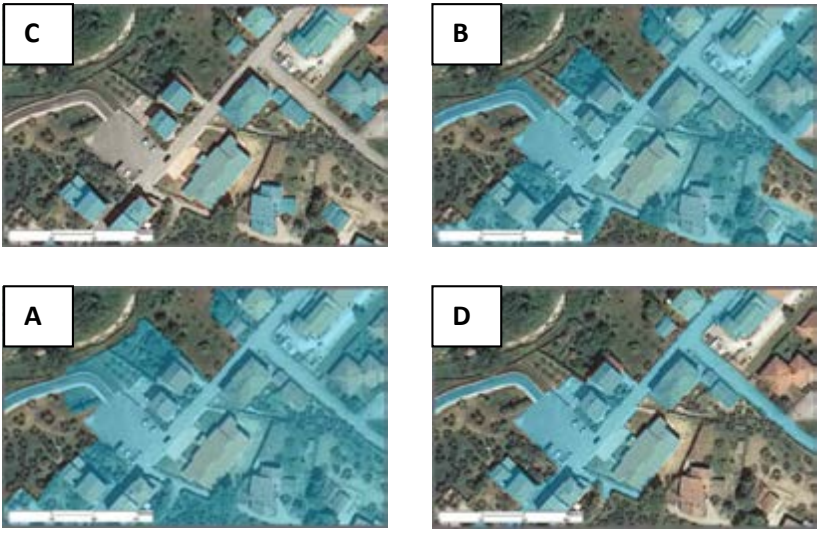


Figura 4.17 - Tipologie di suolo trasformato dall'urbanizzazione. A) suolo urbanizzato; B) suolo artificializzato; C) suolo edificato; D) suolo impermeabilizzato.

4.2.1. Densità di urbanizzazione

La densità di urbanizzazione indica l'entità della superficie urbanizzata per unità territoriale di riferimento. L'unità di misura dell'indice è m^2/km^2 ma può essere espresso anche in percentuale per una analisi più immediata ed efficace. La formulazione dell'indice è la seguente:

$$Du = \frac{\sum Aurb}{Ar} \ (m^2/km^2 \text{ o } \%)$$

Dove:

Aurb = Superficie urbanizzata;

Ar = Superficie dell'unità territoriale di riferimento;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Uso/copertura del suolo (scala 1:25.000 o superiori).

Come base di dati per il calcolo degli indici urbanistici utilizzeremo i dati provenienti dai geoportali della regione Sardegna (http://www.sardegnageoportale.it/) e della regione Veneto (http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=1). L'indice di densità di urbanizzazione verrà calcolato per i comuni della provincia di Cagliari. Vediamo ora qual è la procedura da seguire. Dal geoportale della Sardegna sezione "download – raccolte cartografiche" (http://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=1594&s=40&v=9&c=8831&na=1&n=100) scaricare l'uso del suolo regionale in scala 1:25.000 (strati poligonali) denominato "UDS2008_pol.zip". Così come riportato nella scheda informativa del dato geografico "…*La carta è stata realizzata a partire dall'edizione del 2003. Essa è relativa all'uso reale del suolo, suddivisa in classi di legenda (Corine Land Cover), per i poligoni delle aree rappresentate. Per la realizzazione dell'aggiornamento dell'uso del suolo della Regione Autonoma Sardegna, attraverso la fotointerpretazione, sono state utilizzate: ortofoto AGEA 2003, Ortofoto 2004, immagini Ikonos 2005-06, immagini Landsat 2003, immagini Aster 2004, oltre a materiali ausiliari CTRN10k, DBPrior 10k e altri, con sopralluoghi su 4000 punti distribuiti sul territorio. La scala di riferimento 1:25.000, l'unità minima cartografata 0,5 ettari all'interno dell'area urbana e 0,75 ettari nell'area extra urbana.*" Sempre dalla sezione "download – ricerca" è possibile scaricare il layer dei limiti amministrativi comunali (LimitiAmminstrComunali.zip) (http://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=1617&s=40&v=9&c=8829&n=10&p=27). E' possibile scaricare questo strato informativo anche dal sito dell'ISTAT visto in precedenza però è necessario uniformare i sistemi di riferimento prima di eseguire l'analisi (i dati presenti sul portale cartografico sardo sono tutti georeferenziati con il Datum Roma40 proiezione Gauss-Boaga fuso di riferimento 1 – EPSG:3003). Una volta scaricati i dati vanno decompressi e caricati poi su Qgis. Il layer "LimitiAmministrComunali.shp" rappresenta a livello geografico i limiti amministrativi dei 377 comuni sardi, mentre la tabella contiene tutta una serie di informazioni ad essi connessa (nome del comune, codice Istat a 6 cifre del comune, codice Istat identificativo della provincia, codice Istat identificativo della regione). Il layer "uds2008_pol.shp" rappresenta l'uso reale del suolo con l'indicazione del codice CLC (fino al V livello) di appartenenza e la relativa descrizione di ciascun codice (Campo UDS_Desc). La prima cosa da fare è semplificare i due layer in modo da utilizzare i soli elementi geografici e le informazioni annesse di nostro interesse. Ciò vuol dire estrarre dal layer "LimitiAmministrComunali.shp" solo i confini dei comuni della provincia di Cagliari e dal layer "uds2008_pol.shp" solo ed esclusivamente le aree urbanizzate. Questa operazione di estrazione riduce notevolmente il numero di elementi coinvolti nell'analisi riducendo al contempo i tempi relativi ai vari calcoli computazionali che la macchina deve effettuare. In entrambe queste operazioni si utilizzerà una query (o filtro vedi par. 3.4); il codice Istat identificativo della provincia di Cagliari è 092 (campo CodIstatPr), mentre i codici CLC V livello da considerare come superfici urbanizzate sono tutti quelli che hanno come prima cifra il numero 1 (Territori modellati artificialmente) ad

esclusione delle aree classificate come “Reti ferroviarie e spazi annessi” (Codice 1222) e “Reti stradali e spazi accessori” (Codice 1221). L’informazione è contenuta nel campo UDS_code e dovrà essere necessariamente utilizzato l’operatore “OR” o anche l’operatore “IN”.

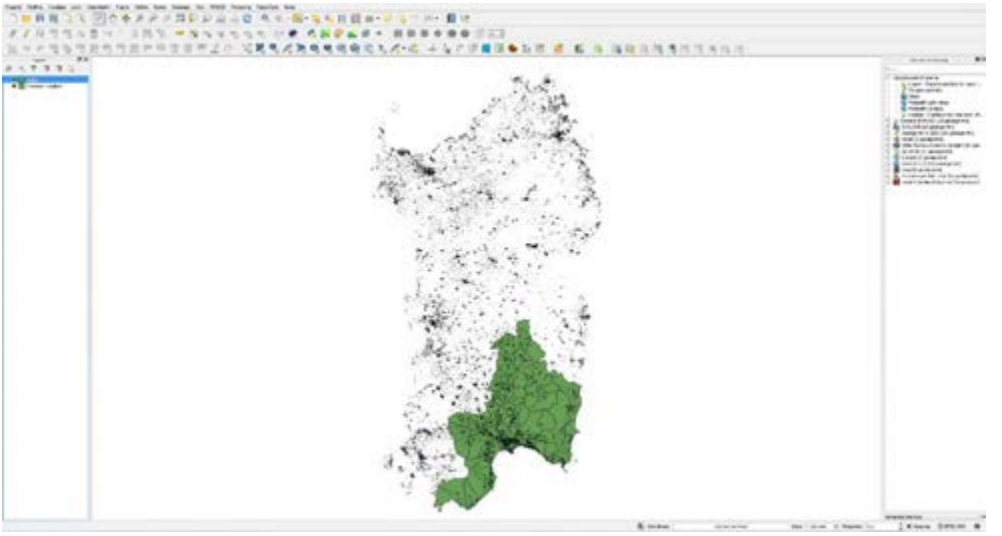


Figura 4.18 - Aree urbanizzate della regione Sardegna e comuni della provincia di Cagliari.

Il risultato dell’operazione di querying è mostrato in figura 4.18. Ai fini poi della rappresentazione tematica dell’indice è utile esportare in un nuovo strato informativo il risultato della query sul layer dei confini comunali (tasto dx – Salva con nome) facendo attenzione a non modificare il sistema di riferimento sin qui utilizzato. E’ inoltre buona norma rimuovere dalla TOC tutti i layer che non servono più all’analisi in modo da ridurre al minimo le possibilità di errore nella fase di applicazione dei geoprocessi. La procedura che utilizzeremo per il calcolo dell’indice è la ISJ acronimo dei geoprocessi impiegati (Intersect – Summarize – Join). Nella condizione mostrata in figura 4.18 non siamo ancora in grado di assegnare a ciascuna area urbanizzata il relativo comune di appartenenza, in quanto questa informazione è contenuta nella tabella associata al layer dei limiti amministrativi comunali. L’operatore di intersezione permette appunto di ricavare questa informazione in quanto restituisce a livello geografico gli elementi o parti di essi comuni ai due strati (e quindi le superfici urbanizzate che insistono sui comuni della provincia di Cagliari ritagliate in funzione dei limiti amministrativi dei comuni) mentre a livello di database associa a ciascuno di essi le informazioni provenienti da entrambi gli shapefile. In altri termini per ciascun poligono di area urbanizzata otterremo l’indicazione nel database del relativo comune di appartenenza (fig. 4.19). Si raccomanda di salvare in una cartella diversa l’output geografico dell’operatore di

intersezione in quanto, una volta estratta l'informazione di nostro interesse, può anche essere eliminato. Non viene utilizzato l'operatore di ritaglio in quanto, benché l'output geografico sia identico a prima vista al risultato dell'intersezione (come estensione spaziale, le aree urbane vengono ritagliate utilizzando il perimetro esterno della forma che comprende tutti i comuni, ma non avviene alcun ritaglio secondo quelli che sono i confini interni di ciascuno di essi) l'informazione alfanumerica associata resta identica a quella dello shapefile utilizzato come "Vettore in ingresso".

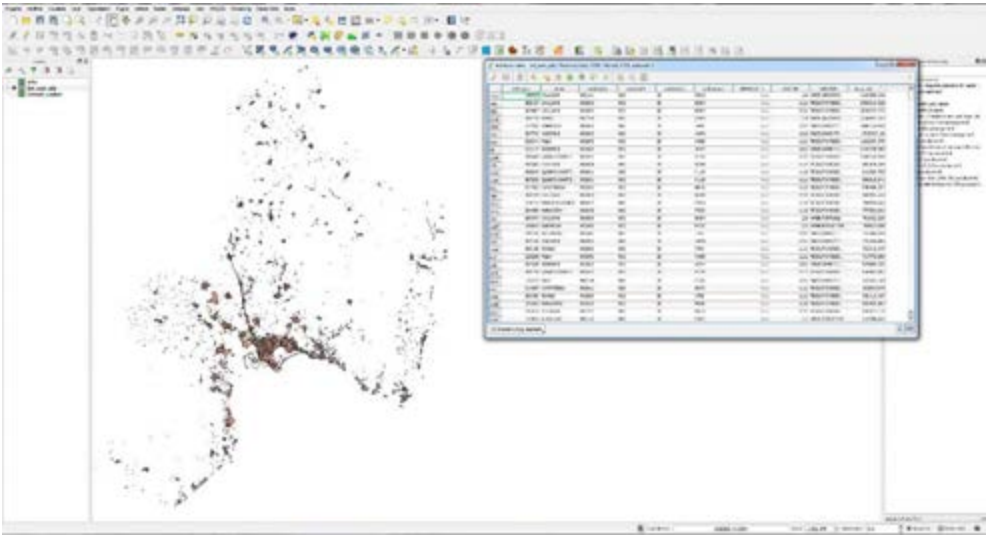


Figura 4.19 - Risultato dell'operazione di Intersezione

Il calcolo computazionale può richiedere anche vari minuti dipendentemente dalle caratteristiche hardware del calcolatore e dal numero degli elementi geografici di partenza. Dopo aver applicato l'operatore di intersezione è necessario effettuare un ricalcolo dell'area dei poligoni risultanti (aree urbanizzate per ciascuno dei comuni della provincia di Cagliari) in quanto non viene ricalcolata in maniera automatica dal software. In tal senso aggiungeremo un campo (Area_urb) che conterrà appunto il valore corretto dell'area. A questo stadio conosciamo l'area di ciascun poligono, il comune al quale questo appartiene ma non conosciamo l'area totale delle superfici urbanizzate per ogni comune. Questa informazione si ottiene utilizzando l'operatore di aggregazione tabellare group stats (procedura del Summarize). Non viene utilizzato l'operatore di dissolvenza in quanto non occorre creare un file geografico destinato poi ad essere eliminato. L'impostazione dei parametri all'interno della finestra di configurazione dell'operatore group stats è mostrata in figura 4.20. La tabella prodotta deve essere salvata in un nuovo file ("Data – Save all to CSV file") che chiameremo "Sum_urba" e che successivamente caricheremo nella TOC. Questa operazione ha permesso di calcolare il numeratore della frazione, mentre il

denominatore (l'area del comune) è una informazione legata allo shapefile dei limiti comunali.

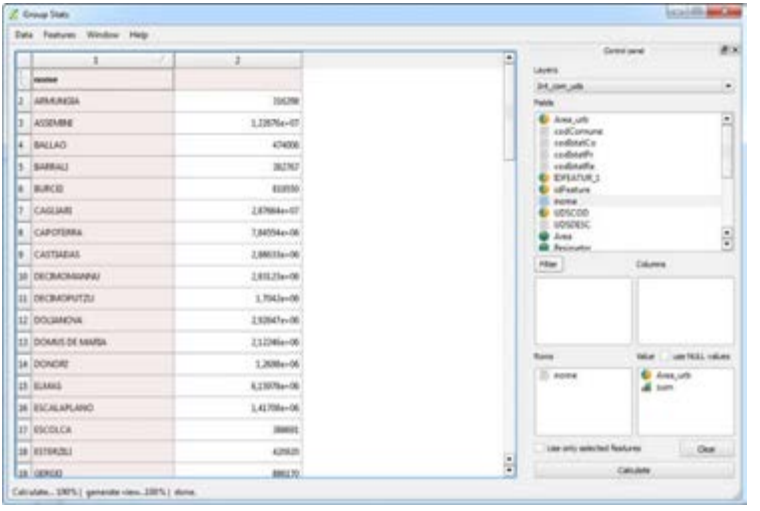


Figura 4.20 - Risultato dell'operatore group stats.

Per poter calcolare l'indice è necessario che entrambi questi parametri siano evidentemente in un'unica tabella. Attraverso il campo chiave "nome" che contiene appunto il nome di ciascuno dei 71 comuni della provincia di Cagliari, è possibile effettuare un join (par.3.3.) in modo da collegare le due tabelle. Naturalmente il join andrà fatto sulla tabella dello shapefile (tasto dx sul layer – proprietà – join) in quanto abbiamo bisogno dell'informazione geografica per classificare poi i comuni sulla base del valore assunto dall'indice. Una volta effettuato il collegamento, il passo successivo è quello di salvare il tutto in un nuovo shapefile ("tasto dx – salva con nome"). Il risultato è mostrato in figura 4.21. Attraverso gli strumenti disponibili nel Table manager possiamo eliminare/rinominare i campi per rendere più leggibile l'informazione in essi contenuta. E' necessario inoltre aggiungere due nuovi campi che conterranno appunto l'area di ciascun comune ("Area_com") e il valore dell'indice di densità di urbanizzazione ("DU"). Questo tipo di operazione andrà eseguita in modalità di editing. La formula da inserire nel campo "DU" è la seguente (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

*("Ar_urb_com" * 100)/ "Area_com"*

Si ricorda che quando nell'espressione di calcolo di un determinato indice c'è bisogno di inserire valori che si trovano all'interno di uno o più campi presenti nella

struttura della tabella, questi sono accessibili nel menù ad albero “Campi e valori” nella sezione “Funzioni” del “Calcolatore di campi”.

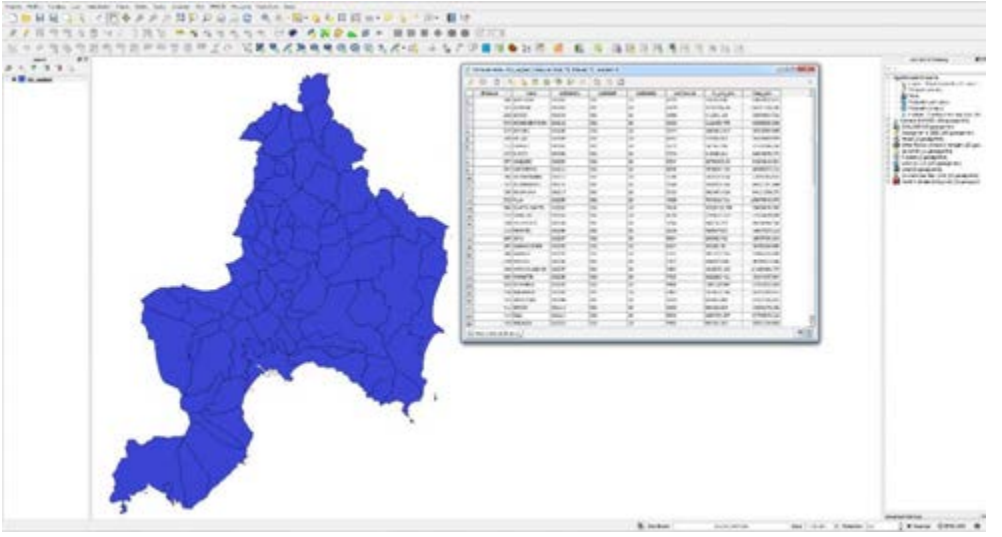


Figura 4.21 - Risultato dell'operazione di join seguita poi dall'esportazione del layer.

Una volta calcolati i valori dell’indice è possibile terminare la sessione di editing salvando poi le modifiche effettuate. A questo punto è possibile allestire la mappa tematizzando il layer attraverso l’informazione contenuta nel campo “DU” con un tipo di classificazione graduato. La scelta degli intervalli è fondamentale poi per comprendere l’andamento del fenomeno nel territorio dei comuni della provincia sarda. Gli intervalli utilizzati per la rappresentazione sono i seguenti:

- < 1%;
- 1 – 5%;
- 5 – 10%;
- 10 – 20%
- > 20%.

E’ oltremodo utile aggiungere nella cartografia tematica le etichette relative ai nomi dei comuni. Non potendo ovviamente inserirli tutti in quanto il prodotto poi non sarebbe di facile lettura, è possibile seguire strade diverse per ottenere un risultato utile allo scopo. Una strada molto semplice è quella di selezionare direttamente dalla tabella o dalla view i principali centri provinciali anche selezionando comuni in modo da coprire tutta l’estensione spaziale della mappa e trasformare poi questi poligoni in punti (“Strumenti di processing – Geoalgoritmi di QGIS – Vector geometry tools – Polygon centroids”). L’applicazione di questo geoprocesso

comporta la trasformazione degli elementi selezionati in punti associando a questi la stessa struttura e le stesse informazioni della tabella da cui deriva (fig. 4.22).

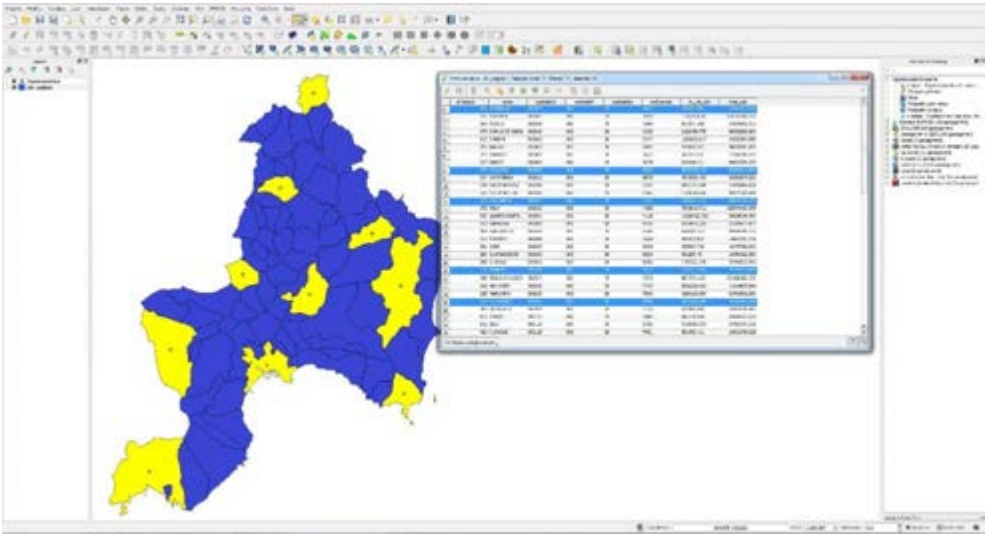


Figura 4.22 - Trasformazione di alcuni elementi poligonali in punti.

La figura 4.23 mostra la mappa tematica dell'indice di densità di urbanizzazione. La continua espansione delle aree urbane aumenta in maniera evidente l'impatto dell'insediamento a carico del suolo naturale. L'impermeabilizzazione del suolo per scopi urbani crea una barriera impenetrabile tra il suolo e la biosfera impedendo di fatto gli scambi di materia e di energia tra questi due sistemi. Il suolo perde così ogni altra sua funzione unitamente all'intera gamma di servizi ecosistemici forniti (Morri et al., 2015; Morri & Santolini, 2013; Santolini et al., 2010). Sono numerosi gli effetti che il consumo di suolo genera a carico delle diverse sfere ambientali. Uno dei maggiori effetti a carico della biodiversità di un territorio è legato alla frammentazione ambientale ma anche al disturbo dovuto a movimenti, rumori, illuminazione e inquinamento. Gli insediamenti urbani sono sempre sorti prevalentemente vicino alle zone più fertili e da sempre i processi di impermeabilizzazione e di conversione urbana dei suoli hanno interessato questi suoli più produttivi, oltre che migliori in termini di localizzazione: terreni pianeggianti, fertili, facilmente lavorabili e accessibili quali, ad esempio, le frange urbane, le aree costiere e quelle pianeggianti. La dilatazione spaziale dei nuclei urbanizzati, soprattutto nelle parti di territorio morfologicamente "deboli" (pianure e fondovalle), e le interruzioni della continuità tra aree naturali provocate dalle strade sono i primi fattori responsabili dell'altissimo livello di frammentazione registrabile oggi in Italia.

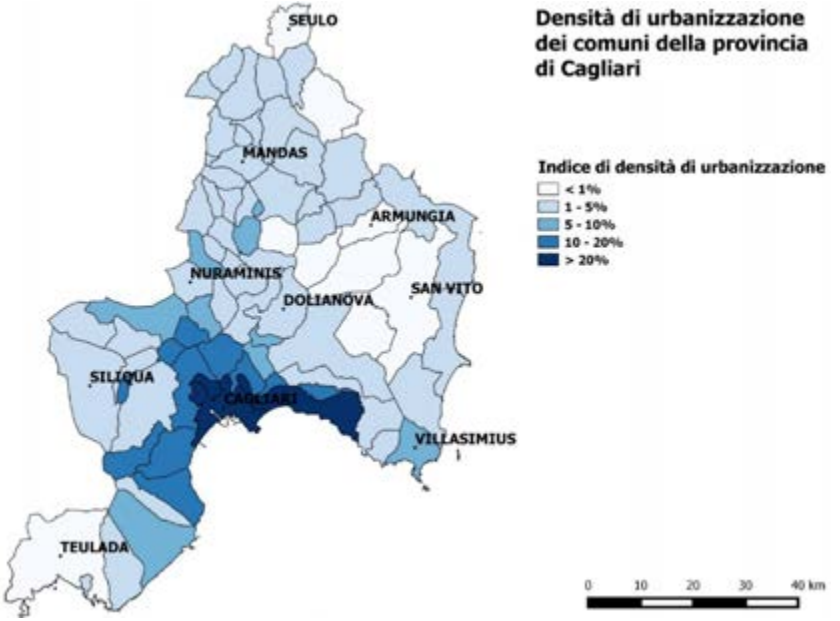


Figura 4.23 - Layout di stampa dell'indice di densità di urbanizzazione

Ciò sta comportando una veloce perdita di connettività nell'impianto ecosistemico complementare, perdita che penalizza in modo molto diverso le specie presenti in funzione della loro ecologia ed etologia (Romano & Zullo 2014a). Oltre a ciò bisogna ricordare che una delle funzioni svolte dai suoli, e di primaria importanza per la sopravvivenza dell'uomo, è quella di produrre cibo (dal suolo deriva il 99,7% di tutto il nostro cibo). E' evidente quindi che perdere suoli agricoli per urbanizzazione produce una perdita netta di produzione di cibo, aumentando così la dipendenza per l'approvvigionamento alimentare da altri Paesi (European Commission, 2012, Gardi et al., 2012). Il suolo inoltre svolge un ruolo chiave nei processi che regolano i cicli biogeochimici tra cui quello del carbonio, per cui la perdita di suolo per urbanizzazione influisce direttamente anche sulle capacità di stoccaggio del carbonio (Pileri, 2011; Scalenghe et al. 2011; Eigenbrod et al., 2011; Poeplau et al., 2011; Jones et al., 2004;). Effetti rilevanti si hanno anche sul clima e sulla qualità dell'aria in città (Van Zoest and Melchers, 2006; Wolff et al., 2011; Bade, 2008). Come in precedenza affermato, la densità di urbanizzazione non è legata alla densità di popolazione in quanto, a parità di quest'ultima, varia enormemente in ragione delle tipologie edilizie e del modello insediativo impiegato. Un esempio significativo è quello di estrema estensione delle urbanizzazioni residenziali a bassa densità demografica tipico degli Stati Uniti, ma ormai recepito da decenni in gran parte dei paesi del mondo. Monitorare le variazioni della densità di urbanizzazione nel tempo diventa quindi estremamente importante sia per la

valutazione di tutti gli effetti a carico del sistema ambientale sia anche per adottare poi misure atte ad arginare/limitare la perdita di suoli così come indicato anche nel Disegno di legge quadro in materia di valorizzazione delle aree agricole e di contenimento del consumo del suolo dell'ex Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali Mario Catania in discussione oggi nelle aule parlamentari.

4.2.2. Indice di dispersione urbana - urban dispersion index)

L'indice di dispersione urbana è volto a valutare il numero di nuclei urbanizzati per chilometro quadrato di superficie di riferimento (solitamente un comune). La sua formulazione è la seguente:

$$UDI = \frac{\sum Nn}{Ar} \text{ (Nn/km}^2\text{)}$$

Dove:

Nn = Numero di nuclei urbanizzati;

Ar = Superficie dell'unità territoriale di riferimento;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Uso/copertura del suolo (scala 1:25.000 o superiori).

I nuclei urbanizzati vengono computati attraverso il rilievo dei poligoni delle superfici urbanizzate. E' un indice molto utile nel valutare la dinamica dei modelli insediativi contraddistinti da uno sviluppo nel tempo di tipo disperso o in continuità di aggregato (fig.4.24).

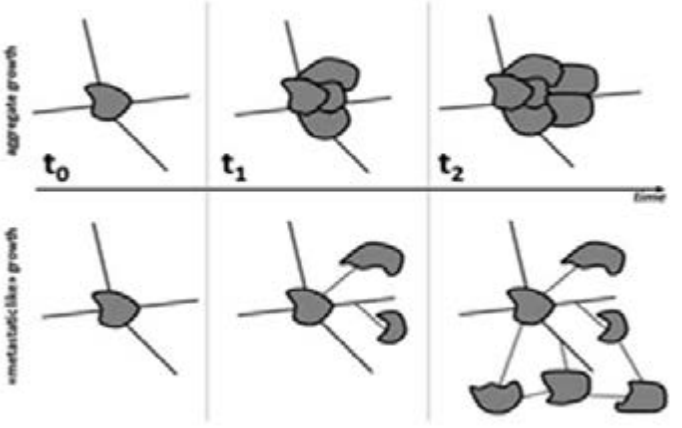


Figura 4.24 - Il confronto tra la modalità di crescita urbana aggregata e dispersa

La figura 4.24 mostra i due modelli di crescita delle aree urbanizzate: la crescita in continuità di aggregato avviene in maniera tale che le nuove superfici urbanizzate sono sempre adiacenti a quelle preesistenti mantenendo in tal modo un confine ben netto tra il margine della città e la matrice circostante. Se invece, a parità di superficie urbanizzata, la crescita della città avviene in forma più diffusa, con una polverizzazione dell'insediamento su aree molto vaste, si parla di crescita metastatica una situazione dove diventa difficile tracciare una linea di demarcazione tra dove finisce la città ed inizia la campagna una condizione in cui la città sfuma nella matrice con diversi gradi di periferia (consolidata, degradata, embrionale, campagna urbanizzata) (Romano et al., 2015). Un aumento quindi della dislocazione delle aree urbanizzate genera di conseguenza un aumento del reticolo viario necessario a connettere tra loro funzioni anche lontane con inevitabili conseguenze sul sistema dei trasporti (non applicabilità dei sistemi hub and spoke di trasporto pubblico), dell'inquinamento atmosferico, dell'erogazione di molti servizi urbani oltre che una maggiore frammentazione degli ecosistemi ed un forte incremento dell'impronta energetica urbana. Appunto per questo l'UDI è un indice che va valutato su almeno due sezioni temporali utilizzando un set di dati che prevede naturalmente le stesse tecniche di rilievo del dato di base. E' infatti la variazione del valore dell'indice, a parità di superficie territoriale di riferimento, a dare indicazioni su quanto finora descritto. Una diminuzione dei valori nel tempo indica un fenomeno di saldatura delle parti urbanizzate mentre un aumento è indice di formazione di nuove conurbazioni spazialmente disgiunte da quelle già presenti.

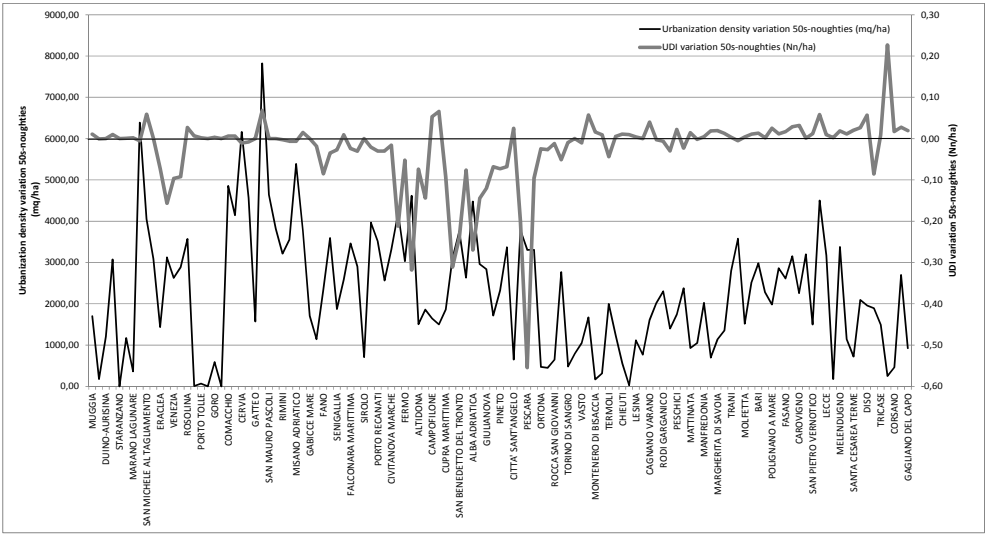


Figura 4.25 - Comparazione tra la variazione dell'indice DU e l'indice UDI nei comuni del sistema costiero adriatico (Tratto da: The urban transformation of Italy's Adriatic Coast Strip: fifty years of unsustainability. Land Use Policy 38: 26-36)

Vediamo ora le procedure tecniche GIS per l'elaborazione dell'indice di dispersione urbana. Come basi territoriali utilizzeremo le stesse utilizzate per il calcolo dell'indice di densità di urbanizzazione. Prima di procedere con il computo dei nuclei urbani bisogna dapprima effettuare delle operazioni sul dato di base volte a eliminare due possibili errori che possono poi falsare le analisi (fig. 4.26). L'immagine A in figura 4.26 mostra come in molti casi una singola area urbanizzata sia costituita dall'insieme di più poligoni che appartengono a diverse categorie di uso del suolo urbanizzato. Ciò vuol dire che, se un singolo centro urbano *x* è suddiviso in *n* poligoni di categorie diverse di uso del suolo urbanizzato, questo non verrà computato come unità singola bensì come *n* unità. Per ovviare a questo errore occorre utilizzare il geoprocesso di dissolvenza e alla finestra di configurazione sezione "Campo dissolvenza" scegliere "- - - dissolvi tutto- - -". In tal modo otterremo un nuovo strato informativo (multipart features) che utilizzeremo per risolvere il secondo problema (B in figura 4.26). Il secondo problema è relativo alle aree urbanizzate che si sviluppano su due o più comuni per cui le aree urbane dovranno essere suddivise sulla base di quelli che sono i confini comunali e dovranno avere assegnato nel database il relativo comune di appartenenza. Questo problema viene risolto attraverso l'utilizzo del geoprocesso di intersezione (layer delle aree urbanizzate ottenuto a seguito del dissolve e quello dei comuni).

Figura 4.26 - Possibili errori nel calcolo dell'indice UDI.

Siamo sempre in presenza di uno shapefile di tipo multiparte (ad un singolo record della tabella sono associati più elementi geometrici, in questo caso tutte le aree urbane ricadenti all'interno di ogni singolo comune) per cui applicando il geoprocesso "da parti multiple a parti singole" ("Menu vettore – Strumenti di geometria") si torna nella condizione in cui ad ogni record della tabella è associato uno ed un solo elemento geometrico. Per effettuare un conteggio del numero dei poligoni presenti all'interno di ogni comune possiamo aggiungere un campo nel database di questo shapefile ed inserire al suo interno il valore 1. Questo permette, attraverso l'ausilio dell'operatore di aggregazione tabellare Group-Stats, di ottenere il numero totale dei nuclei urbanizzati tra loro distinti per ogni comune (fig.4.27).

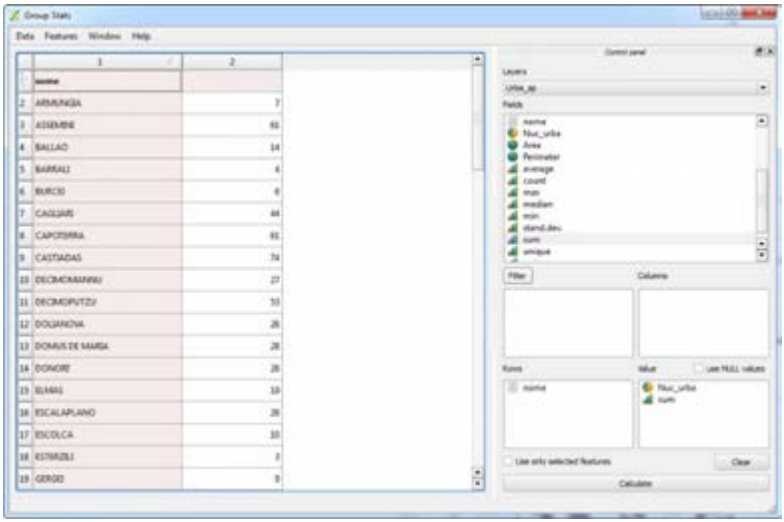


Figura 4.27 - Dati per l'elaborazione dell'indice UDI

Possiamo quindi salvare il risultato di questa operazione in una nuova tabella ("Data – Save all to csv file") e attraverso un join unire l'informazione ivi contenuta a quella del database dello shapefile dei comuni della provincia di Cagliari. Il risultato è mostrato in figura 4.28, i nomi di alcuni campi sono stati modificati utilizzando le funzioni del table manager.

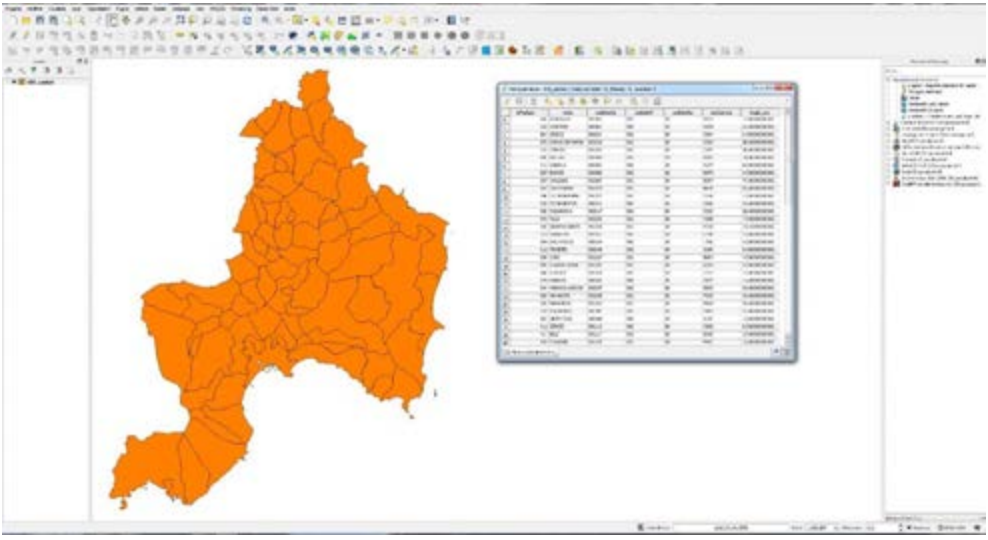


Figura 4. 28 - Risultato dell'operazione di join e successiva esportazione del file.

Nella tabella compare ora un nuovo campo che contiene il numero totale di nuclei urbanizzati per ogni comune. Bisogna quindi calcolare l'area (dovranno essere utilizzati due nuovi campi uno per calcolare in maniera automatica l'area di ciascun poligono, l'altro per ottenere il valore espresso in chilometri quadrati) e in un nuovo campo esprimere il valore dell'indice UDI per ogni comune. La formula da inserire nel campo "UDI" è la seguente (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

"Nuclei_urb" / "Area_kmq"

La figura seguente mostra invece la mappa tematica dell'indice di dispersione urbana dei comuni della provincia di Cagliari. E' utile ricordare che l'UDI valuta solo ed esclusivamente il numero dei nuclei urbanizzati non le loro dimensioni areali che invece vengono valutate attraverso l'indice di densità di urbanizzazione. Per cui ulteriori indicazioni possono derivare da un confronto tra questi due parametri. E' infatti dall'analisi contemporanea di questi due parametri che è possibile valutare sia come sia quanto l'evoluzione urbana ha agito a carico di un dato sistema ambientale.

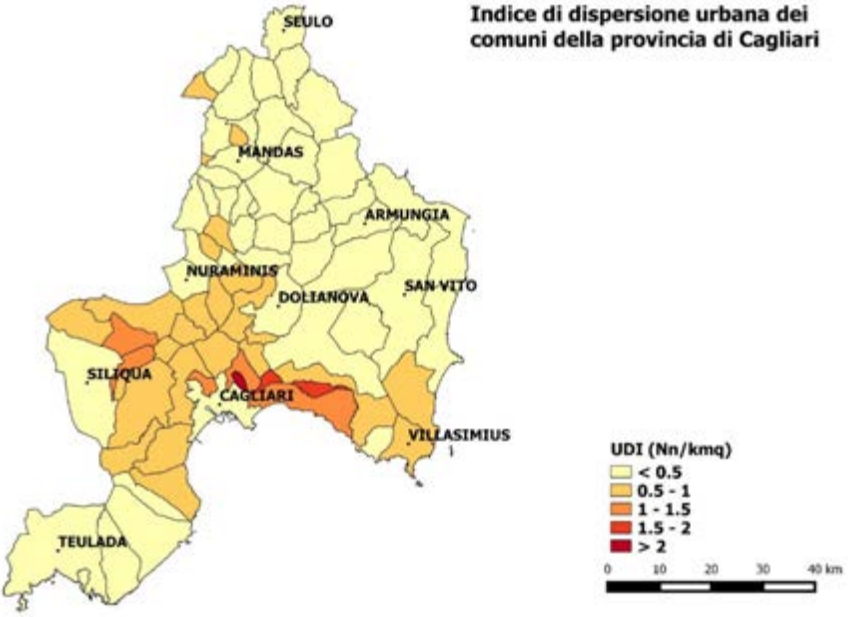


Figura 4.29 - Layout di stampa dell'Urban Dispersion Index

4.2.3. Superficie urbana pro-capite

La superficie urbana procapite indica i metri quadrati di superficie urbanizzata per ogni abitante residente nel comune. La sua formulazione è la seguente:

$$SUpc = \frac{\sum Aurb}{Ab} \text{ (m}^2\text{/ab)}$$

dove:

Aurb = Superficie urbanizzata;

Ab = Abitanti residenti

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Uso/copertura del suolo (scala 1:25.000 o superiori).

Esso rappresenta una normalizzazione della superficie urbanizzata rispetto agli abitanti residenti in un dato territorio amministrativo (solitamente comune o regione) ed è inoltre un indicatore del comportamento insediativo delle entità amministrative indagate in quanto registra la dotazione di superfici urbanizzate per ogni abitante residente in un dato ambito territoriale. Anche in questo caso, la dimensione territoriale non compare nella formulazione dell'indice per cui è possibile effettuare comparazioni tra comuni che rientrano nelle stesse classi demografiche elaborate sulla base del numero di abitanti residenti. Interessanti informazioni possono derivare dal confronto dei valori su più sezioni temporali per uno stesso ambito geografico. Bisogna però prestare attenzione al fatto che un aumento nel tempo del valore procapite può essere sia dovuto ad un forte aumento delle superfici urbanizzate ma anche ad un decremento demografico con poco o nullo aumento delle superfici urbanizzate. Un confronto con uno solo di questi due parametri può chiarire meglio le cause delle variazioni dell'indice. Recenti studi condotti a scala europea e nazionale (Romano e Zullo, 2015; 2013; 2012) hanno fatto emergere come sia le nazioni dell'occidente europeo sia anche le regioni italiane sembrano allinearsi su un valore di urbanizzazione pro capite pari a circa 350 - 370 m^2/ab. In particolare lo studio condotto sulle regioni italiane sulla base dei dati rilevati su due distinte sezioni temporali (anni '50 e primi anni del 2000) mostra come questo valore sia passato dai circa 120 m^2/ab agli oltre 350 m^2/ab attuali. Andando ad analizzare la deviazione standard dal valore medio si nota come questo parametro era pari al 57% nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale ed è passato al 30% negli anni successivi al 2000. Ciò indica una netta convergenza dei modelli di urbanizzazione che invece

nell'immediato dopoguerra faceva emergere una netta distinzione tra regioni agricole e quelle industriali (Romano et al., 2015). In quanto frutto di una convergenza spontanea lungo un arco di oltre mezzo secolo questo valore di 350 m^2/ab sembra essere un valore standard tarato sulle esigenze medie della società contemporanea europea occidentale. Per poter calcolare quindi questo indice utilizzeremo come base geografica i comuni della provincia di Treviso, l'uso del suolo regionale relativo all'anno 2006 mentre i dati della popolazione fanno riferimento al censimento 2011 dell'Istat. I dati geografici possono essere scaricati dall'Infrastruttura dei dati Territoriali del Veneto (IDT): (http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/index?deflevel=1) nella sezione "c05_suolo_e_sottosuolo – c0506_Uso_del_suolo – c0506021_COPSUOLO" scaricare l'uso del suolo della provincia di Treviso. In questo caso l'IDT del Veneto richiede di inserire nome cognome ed un recapito mail dove verrà inviata una mail con un link dal quale scaricare poi il file richiesto. Le caratteristiche tecniche del file di uso del suolo sono riportate nella scheda dei metadati. I dati demografici si possono scaricare dal sito Istat (http://www.istat.it/it/archivio/104317) alla sezione variabili censuarie – censimento della popolazione e delle abitazioni (anno 2011 – File R05_indicatori_2011_sezioni.csv) mentre sempre dallo stesso sito è possibile scaricare nella sezione confini amministrativi lo shapefile dei limiti comunali italiani in WGS84 UTM32N. Il file relativo agli abitanti residenti nei comuni della regione Veneto deve essere elaborato alla stessa maniera di quanto fatto per la regione Abruzzo relativamente l'indice di densità di popolazione (Operatore Group-Stats campi "PROCOM" e "P1"). Il risultato è una tabella in formato .csv (pop_2011_veneto.csv) che contiene 581 record (numero totale dei comuni del Veneto) e due colonne: la prima contiene il codice identificativo Istat di ciascun comune la seconda la popolazione residente per ognuno di essi. Il file geografico dell'uso del suolo è georeferenziato in EPSG: 3003 (Roma40 Fuso 1 o fuso Ovest) per cui bisogna convertirlo in EPSG:32632 (WGS84 UTM32N) per poter elaborare l'indice. Quindi una volta decompresso il file e caricato nella view, cliccare con il tasto destro del mouse scegliendo l'opzione "Salva con nome". Nella schermata successiva, alla voce "Sistema di riferimento" selezionare il codice EPSG 32632 e fare attenzione che il file venga esportato sempre in formato shape. Una volta terminata l'operazione di esportazione il software automaticamente caricherà il nuovo layer nella view, naturalmente non sarà sovrapponibile all'altro in quanto i due sistemi di riferimento sono diversi. Per cui bisognerà rimuovere dalla TOC il layer iniziale di uso del suolo (codice EPSG:3003) e modificare il sistema di riferimento assegnato alla view (abilitare la riproiezione al volo usando il tasto in basso a destra nella view scegliendo il codice EPSG 32632). Carichiamo ora il layer relativo ai limiti amministrativi dei comuni italiani. Da questo attraverso una query è possibile estrarre solo i comuni della provincia di Treviso. La query sarà eseguita utilizzando il codice identificativo Istat delle province (campo

"COD_PRO"). La provincia di Treviso corrisponde al numero 26. L'espressione della query è la seguente:

""COD_PRO" = 26

In tal modo saranno estratti tutti i comuni della provincia di Treviso (salvarli in un nuovo layer – nell'esempio "Comuni Treviso"). Una nuova query deve essere applicata anche al layer di uso del suolo per estrarre le superfici urbanizzate. L'uso del suolo della regione Veneto è articolato secondo la nomenclatura Corine IV livello, la tabella è strutturata in maniera da avere una colonna per ogni livello del codice Corine (1_livello; 2_livello; 3_livello; 4_livello). Le superfici urbanizzate da prendere in considerazione sono tutte quelle che appartengono al codice 1 del primo livello ad esclusione del codice 122 (reti stradali e spazi accessori) per cui attraverso una query ("1_livello" = 1 AND NOT "3_livello" = 122) si ottengono tutte le superfici urbanizzate dei comuni della provincia di Treviso (salvarle in un nuovo shapefile). Una volta terminate queste operazioni sulla TOC devono essere caricati i due layer relativi ai limiti amministrativi comunali e alle superfici urbanizzate e la tabella non spaziale della popolazione residente (fig. 4.30).

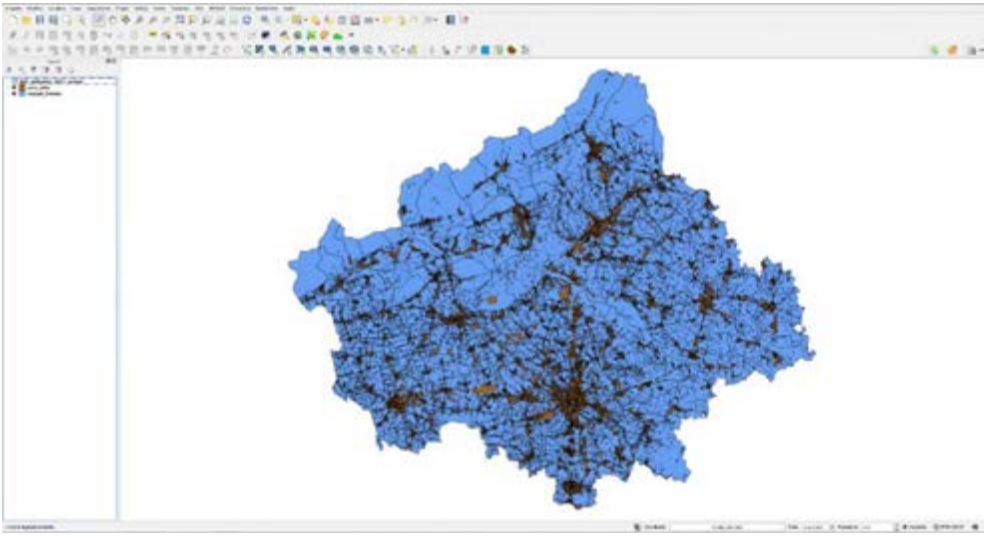


Figura 4.30 - Dataset elaborati per il calcolo dell'indice SUpc.

L'obiettivo è quello di inserire all'interno della tabella dello shapefile dei comuni l'informazione relativa alla popolazione residente e la superficie urbanizzata per ciascuno di essi. Operazioni queste che prevedono l'utilizzo del join e quindi di un campo chiave per poter effettuare il collegamento. Nel caso in questione, la regione Veneto ha inserito all'interno del database dello shapefile di uso del suolo due campi che permettono di evitare l'uso del geoprocesso di intersezione. Infatti ad ogni

poligono di uso del suolo è associato il nome del comune (campo “Nomcom”) e il codice identificativo Istat dello stesso (campo “CODISTAT”) che permettono quindi di calcolare abbastanza rapidamente la superficie urbanizzata totale per ognuno di essi. Si ricorda che se queste informazioni non sono presenti nel database dello shapefile che contiene le aree urbanizzate è necessario applicare una intersezione tra questo ed il layer dei limiti amministrativi comunali. Prima di applicare l’operatore Group-Stats al layer delle aree urbanizzate conviene ricalcolare l’area in modo da essere sicuri dei valori in output alla tabella originata dal Group-Stats. L’operazione di aggregazione andrà effettuata utilizzando come campo chiave quello che contiene l’informazione relativa al codice identificativo numerico Istat. Non conviene utilizzare il campo con la denominazione del comune in quanto i dati provengono da due fonti diverse (Istat e Regione Veneto) per cui in fase di applicazione del join potrebbero verificarsi delle non associazioni tra gli elementi coinvolti, cosa che non accade appunto utilizzando l’identificativo numerico. L’output dell’operatore Group-Stats sarà quindi una tabella che conterrà 95 record (numero complessivo dei comuni della provincia di Treviso) e due colonne: la prima riguarda il codice identificativo Istat numerico mentre la seconda la somma della superficie urbanizzata per ogni comune. Per collegare entrambe le informazioni (superficie urbanizzata e popolazione residente per comune) eseguiremo un doppio join utilizzando come file geografico quello dei limiti amministrativi comunali della provincia di Treviso. Dopo aver accertato che ogni comune ha associato un valore di superficie urbanizzata e uno per gli abitanti residenti, è possibile salvare il tutto in un nuovo shapefile (SUpc.shp). Al termine di queste operazioni la struttura della tabella dello shapefile (che chiameremo “SUpc”) sarà come quella mostrata nella figura 4.31.

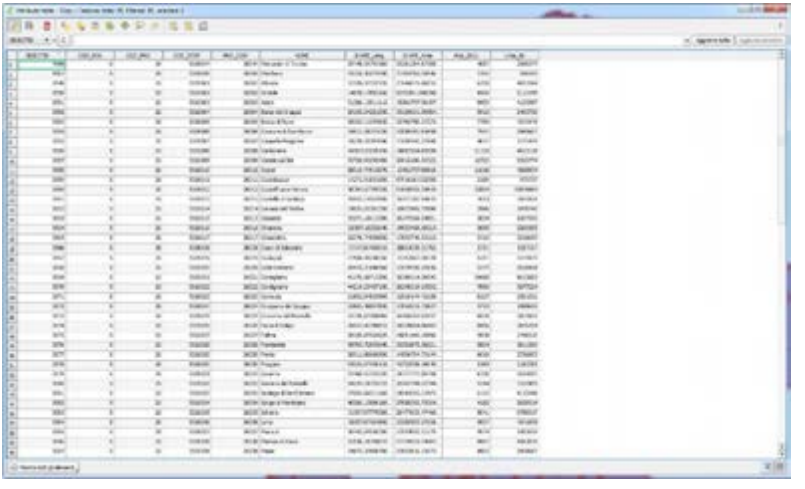


Figura 4.31 - Tabella dello shapefile "Comuni_Treviso" a seguito della doppia operazione di join.

E' oltremodo utile riorganizzare la struttura della tabella utilizzando le funzioni del table manager con intestazioni di più facile comprensione rispetto a quelli salvati a seguito delle operazione di join. L'indice SUpc andrà calcolato in un nuovo campo ("SUpc") e il suo valore sarà dato dal rapporto tra la superficie urbanizzata (espressa in metri quadrati) e il numero di abitanti residenti per ogni comune. La formula da inserire nel nuovo campo è (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

"Urba_06" / "Pop_2011"

La Figura 4.32 mostra la mappa tematica relativa all'indice di superficie urbana procapite per i comuni della provincia di Treviso. La toponomastica è stata inserita utilizzando le stesse tecniche descritte per i comuni della provincia di Cagliari.

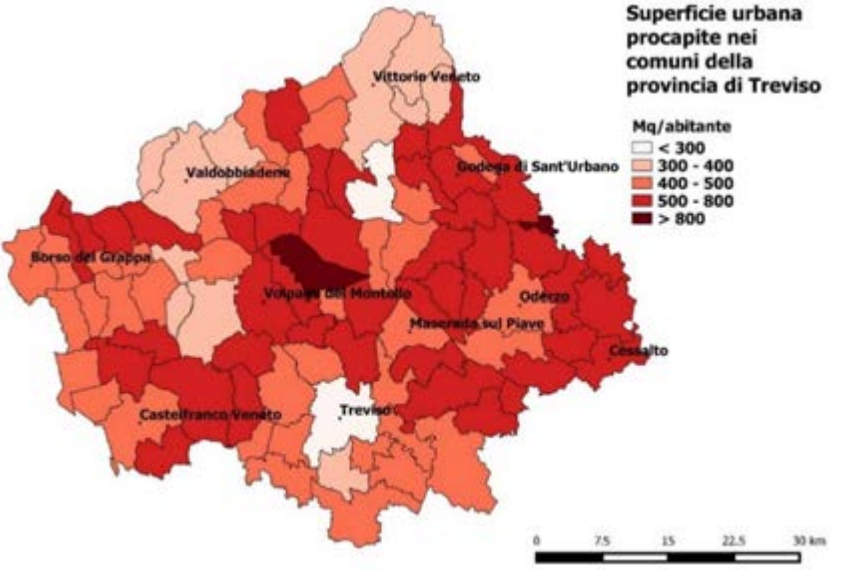


Figura 4.32 - Layout di stampa dell'indice di Superficie Urbana procapite.

4.2.4. Indice di frammentazione da urbanizzazione lineare

E' un indice che viene utilizzato spesso nell'ecologia del paesaggio e nello studio della frammentazione ecosistemica causata dall'urbanizzazione e quindi anche nella pianificazione delle reti ecologiche. Come già anticipato, la frammentazione ambientale ha assunto una rilevanza strategica per la conservazione della biodiversità ed è ormai cospicua la letteratura scientifica che ne sottolinea l'importanza in tutti i Paesi europei (Fahrig, 1991,2003; Dunning et al., 1992; Taylor et al., 1993; Bennett, 1999; Battisti, 2003; Hanski, 2005; Bonnin et al., 2007; EEA,

2011). Questa importanza è stata sancita dall'emanazione e dalle prime fasi applicative della Direttiva Habitat e conseguente programma Natura 2000, ma anche dalla Strategia mondiale per la Biodiversità e dalla corrispondente strategia nazionale (SNB). E' un indice di forma il cui principio base è costituito dal fatto che, a parità di superficie urbanizzata, l'impatto sulla frammentazione del paesaggio è tanto maggiore quanto più queste si sviluppano in forma filamentosa, linearizzata mentre al contrario il loro impatto risulta essere minore quando invece assumono una forma compatta. In sostanza si tratta quindi di una densità di urbanizzazione pesata attraverso un fattore di forma, la cui formulazione è la seguente:

$$UFI = \frac{\sum Aurb}{Ar} * \frac{\sum pi}{2\sqrt{\pi \sum Aurb}} \text{ (adimensionale)}$$

dove:

Aurb = Superficie urbanizzata;

Ar = superficie dell'unità territoriale di riferimento;

pi = perimetri delle aree urbanizzate;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Uso/copertura del suolo (scala 1:25.000 o superiori).

UFI è l'acronimo di Urban Fragmentation Index. Il primo termine dell'espressione fornisce infatti l'incidenza delle aree urbanizzate sulla superficie di riferimento, mentre il secondo termine rappresenta il rapporto tra il perimetro complessivo delle parti urbane e il perimetro che le stesse avrebbero se fossero tutte concentrate in una unica aggregazione di forma circolare. L'indice ha un range variabile tra zero (nel caso di assenza di aree urbanizzate) e il valore assunto dal suo secondo termine (un indice di forma) nel caso di superficie di riferimento interamente urbanizzata. Pertanto l'indicatore risulta tanto più elevato in valore quanto più l'insediamento è esteso e si sviluppa linearmente. Vediamo ora come si calcola l'indice sulla base dei dati utilizzati per i comuni della provincia di Treviso. I layer di partenza sono i limiti amministrativi comunali e lo shapefile delle aree urbanizzate (estratte dall'uso del suolo). Il valore dell'indice UFI tiene conto di tutte le superfici urbanizzate presenti all'interno di ciascun comune per cui bisognerà creare uno shapefile multiparte che permetterà di calcolare automaticamente e su un unico record l'area totale e il perimetro di questi poligoni. Inoltre anche in questo caso un problema da risolvere riguarda il perimetro in quanto, come già affrontato per l'indice UDI (vedi fig. 4.26

a), un centro urbano può essere costituito da più poligoni di classi corine diverse che internamente hanno uno o più lati in comune.

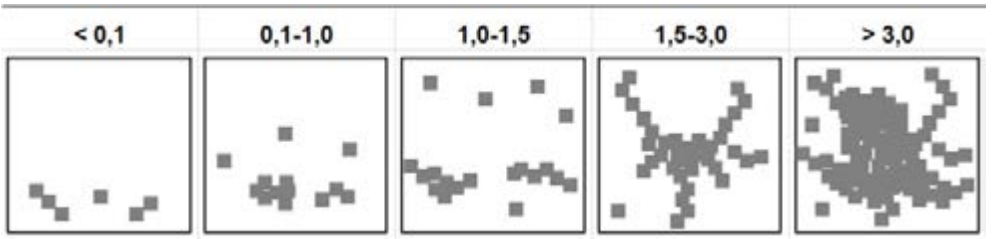


Figura 4.33 - Valori campionati dell'indice UFI applicati alla regione Veneto (Romano e Paolinelli,2007)

Tale perimetro non deve essere computato nel calcolo dell'indice. L'operatore di dissolvenza applicato al layer delle aree urbanizzate utilizzando il campo contenente l'identificativo comunale risolve entrambe le questioni, in quanto elimina i perimetri interni ai poligoni aggregandoli in un unico elemento in riferimento ad ogni singolo comune, per cui basterà poi calcolare in maniera automaticata perimetro e area. Va precisato che, qualora all'interno del database delle aree urbanizzate non è presente un campo con l'identificativo, numerico o testuale, del comune di appartenenza di ogni singolo poligono è necessario procedere ad una intersezione (layer dei comuni con quello delle superfici urbanizzate) prima di effettuare la dissolvenza. Detto ciò possiamo dunque applicare la dissolvenza al layer delle aree urbanizzate utilizzando come campo di aggregazione quello contenente il codice identificativo numerico Istat. Il risultato è un nuovo shapefile ("aree_urba_total.shp") di tipo multiparte con una tabella costituita da 95 record (95 sono i comuni della provincia di Treviso) in cui ogni record ha associato tutti i poligoni relativi alle aree urbanizzate ricadenti in quel comune (shapefile di tipo multiparte). Possiamo quindi aggiungere due campi e calcolare i valori totali dell'area e del perimetro. La tabella finale del layer "aree_urba_total" è quella mostrata in figura 4.34. Il passaggio successivo è quello di trasferire queste informazioni al layer dei limiti amministrativi comunali e procedere poi con il calcolo dell'indice. Questo passaggio si effettua tramite il join utilizzando come campo chiave quello contenente il codice numerico identificativo Istat del comune. Tutte le informazioni necessarie per il calcolo dell'indice sono presenti sulla tabella dello shapefile dei limiti comunali (conviene salvare tutto in un nuovo shapefile e denominarlo UFI) per cui si può procedere con il calcolo dell'indice. Essendo la formulazione di quest'ultimo abbastanza articolata conviene procedere per step, utilizzando quindi più campi. Possiamo innanzitutto calcolare il primo membro dell'espressione, dopo aver però ricalcolato preventivamente l'area dei comuni. Aggiungeremo quindi un campo che chiameremo "I_membro" (tipo decimale) i cui valori saranno dati dal rapporto tra le superfici urbanizzate di un determinato comune e la sua area.

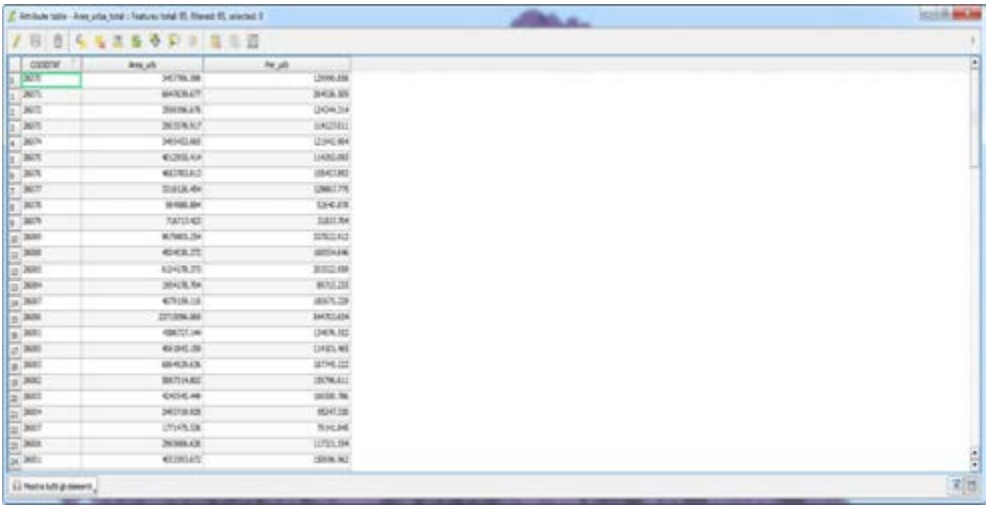


Figura 4.34 - Risultato dell'applicazione dell'operatore dissolvenza sul layer delle aree urbanizzate.

Successivamente eseguiremo il calcolo dell'espressione del denominatore del secondo membro in un nuovo campo che possiamo nominare "De_II" (tipo decimale). La formula da inserire è la seguente (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

$$2 * ((3.14* \text{"Aree_urb"}) \wedge 0.5)$$

Ora è possibile calcolare anche il secondo membro dell'espressione dividendo il perimetro delle aree urbanizzate per il valore contenuto nel campo "De_II". Il valore sarà contenuto all'interno di un nuovo campo che chiameremo "II_membro". Moltiplicando quindi i valori del campo "I_membro" con quelli del campo "II_membro" otterremo il valore finale dell'indice UFI per ogni comune. I valori all'interno di un campo che derivano da una data espressione che coinvolge altri campi della tabella non sono aggiornabili automaticamente. In altri termini se il valore del campo *x* di una tabella deriva dalla somma dei valori dei campi *a* e *b* presenti all'interno della stessa, nel momento in cui vengono modificati uno o più valori in uno solo o in entrambi i campi, il valore di *x* non si aggiorna automaticamente, per cui attraverso il calcolatore di campi va ripetuta l'espressione che determina il suo valore. Per ovviare a questo problema il software offre la possibilità di creare un campo virtuale (calcolatore di campi – crea un campo virtuale), che però viene salvato solo a livello di progetto, che aggiorna automaticamente i suoi valori ogni qualvolta vengono modificati i valori dei record dei campi da cui deriva.

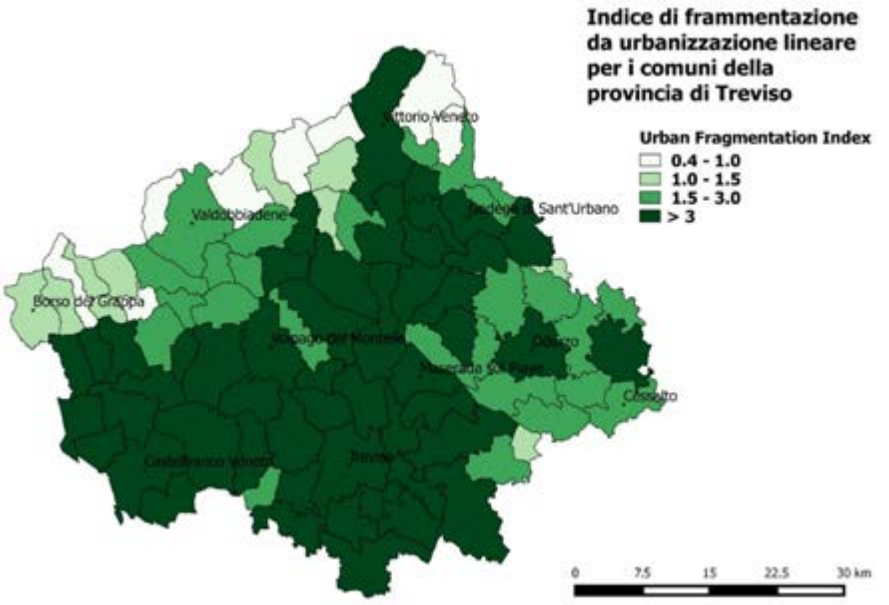


Figura 4.35 - Layout di stampa dell'Urban Fragmentation Index..

Detto ciò possiamo procedere con la creazione della mappa tematica dell'indice UFI per i comuni della provincia di Treviso utilizzando in tal senso gli stessi intervalli mostrati in figura 4.33 a meno della prima classe in quanto il valore minimo rilevato è pari a circa 0.4. Per avere un quadro soddisfacente delle dinamiche insediative in corso è quindi indispensabile analizzare i valori assunti dall'UFI in parallelo con i valori della densità di urbanizzazione meglio se su più sezioni temporali.

4.2.5. Indice di densità infrastrutturale

L'indice di densità o di dotazione infrastrutturale esprime i metri di infrastrutture (stradali e/o ferroviarie) presenti in un chilometro quadrato di superficie di riferimento. La sua formulazione è la seguente:

$$DI = \frac{\sum li}{Ar} \text{ (m/km}^2\text{)}$$

dove:

li = lunghezza della strada – ferrovia iesima;

Ar = superficie territoriale di riferimento;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Strato informativo lineare relativo alla dislocazione geografica delle infrastrutture (strade e/o ferrovie).

E' un indice che si rivela essere molto utile per valutare l'incidenza sul territorio delle barriere infrastrutturali e quindi indirettamente anche il livello di frammentazione ecosistemica (Romano et al. 2012, 2009; Geneletti, 2004). All'aumentare del valore dell'indice aumenta di conseguenza il livello di frammentazione e di disturbo causato da traffico, rumore e inquinamento. L'indice può anche essere implementato per ogni singola tipologia viaria (strade statali, comunali, provinciali, autostrade, ferrovie…). Si rivela inoltre essere uno strumento molto utile anche per comprendere il grado di accessibilità e di connessione di un dato territorio. Vediamo ora come calcolare l'indice utilizzando i dati disponibili per i comuni della provincia di Treviso. Dall'IDT regionale veneta (http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/) scaricare il layer dei limiti amministrativi comunali (c01_informazioni territoriali di base – c0104_limiti amministrativi – c0104044 sezioniistat – Comuni) ed il layer della rete viaria (c01_informazioni territoriali di base – c0107 rete viaria – c0107024 Grafo strade – c01070240012_elemento stradale). Una volta decompressi i file avremo a disposizione 2 strati informativi:

- Limiti amministrativi dei comuni della regione Veneto (c0104011_Comuni.shp);
- Rete viaria della provincia di Treviso (c01070240012_ElementoStradale.shp);

Dallo strato informativo dei limiti amministrativi comunali possiamo estrarre attraverso una query i comuni della provincia di Treviso ("PROVINCIA" = TV) e salvare il risultato in un nuovo shapefile. In alcuni casi è possibile che la rete viaria sia suddivisa in più shapefile uno per ogni tipologia viaria (ad esempio strade comunali, strade provinciali, strade statali, autostrade…) o anche suddivisa sulla base degli elementi della Carta Tecnica Regionale. La struttura del database in entrambi i casi è solitamente identica per cui prima di iniziare l'analisi bisogna applicare il geoprocesso di "Unisci shapefiles" in modo da avere tutta l'informazione relativa al reticolo infrastrutturale di una area in un unico file. La strada più breve per elaborare l'indice è quella di applicare un comando di join spaziale qual è appunto il geoprocesso di "Somma lunghezza linee". Dal menù "Vettore – Strumenti di analisi – Somma lunghezza linee" attivare il geoprocesso e configurare la finestra successiva così come indicato in figura 4.36.

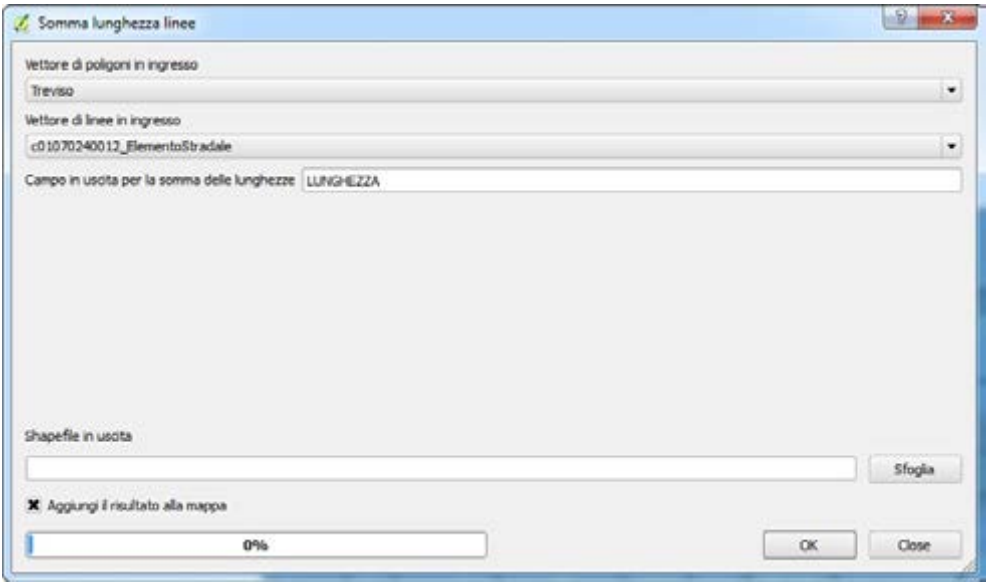


Figura 4.36 - Finestra di configurazione del geoprocesso somma lunghezza linee.

Il geoprocesso esegue in un unico passaggio tutta la procedura ISJ. In pratica taglia gli elementi lineari in corrispondenza dei limiti comunali assegnando ad essi il comune di appartenenza su base spaziale (elemento lineare interamente contenuto in quello poligonale), successivamente effettua la somma delle lunghezze dei singoli tratti viari per ciascun comune ed associa un nuovo campo allo shapefile poligonale in output la cui informazione è appunto la somma di tutte le strade ricadenti all'interno del perimetro di ciascun elemento. A questo punto è possibile quindi calcolare il valore dell'indice che sarà dato dal rapporto tra la somma di tutti i tratti stradali appartenenti ad un dato comune e la sua area espressa in chilometri quadrati (le stringhe fanno riferimento alle intestazioni dei campi utilizzate in questo esempio):

"LUNGHEZZA" / "Area_kmq"

Come già specificato in altre parti del presente lavoro, la definizione dei range delle classi da utilizzare per la rappresentazione tematica è fondamentale anche per l'utilizzo dell'indice nelle procedure di pianificazione e di valutazione ambientale. I valori rilevati esprimono il livello di infrastrutturazione di un territorio e descrivono la condizione di disturbo in termini di frammentazione ambientale causata dalle stesse in quella determinata sezione temporale, rilevando indirettamente anche il grado di impatto generato sulla continuità ambientale. Nelle procedure di valutazione di impatto ambientale ed in particolare nella fase di clustering il

raggruppamento in soglie significative degli indici legati poi agli effetti che questi generano sulle componenti ambientali, è di fondamentale importanza per comprendere poi l'intensità dell'impatto stesso.

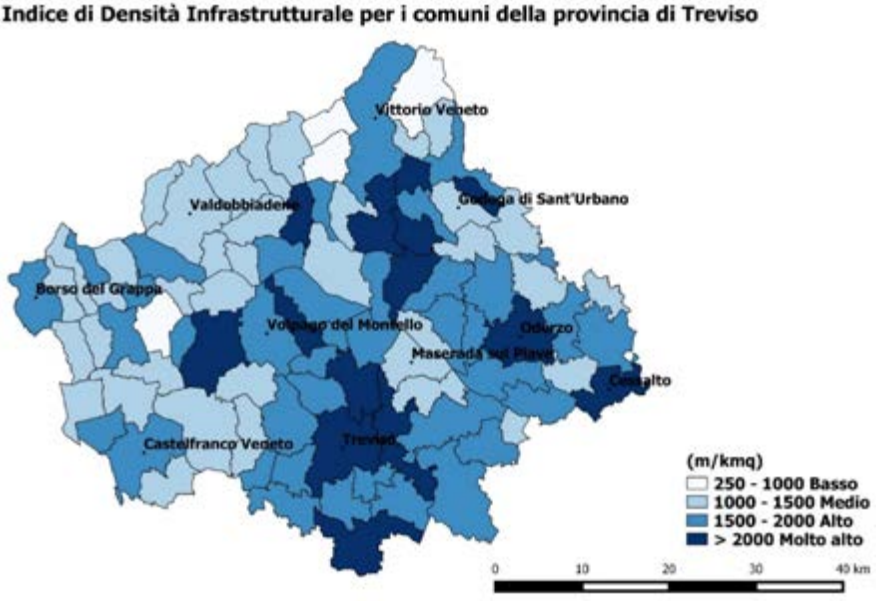


Figura 4.37- Layout di stampa dell'indice di densità infrastrutturale.

A questo poi vengono associati spesso dei descrittori sinottici d'impatto in grado di fornire immediatamente all'utilizzatore informazioni circa l'intensità dell'impatto generato. Detto ciò, i comuni della provincia di Treviso sono stati clusterizzati utilizzando gli intervalli derivati da una recente ricerca condotta sulla regione Veneto (Romano e Paolinelli, 2007) ai quali è stato associato un descrittore in grado di indicare il livello di frammentazione provocata dal reticolo stradale sulla continuità ambientale.

4.2.6. Indice di frammentazione da infrastrutture - infrastructural fragmentation index)

Si tratta di un indice di densità infrastrutturale pesato per un coefficiente di occlusività dovuto a interruzione fisica o disturbi, creato dalle diverse tipologie viarie a carico dei potenziali flussi biotici di una data area. La sua formulazione è la seguente:

$$IFI = \frac{\sum li}{Ar} * o_i \text{ (m/kmq)}$$

Dove:

li = lunghezza della strada – ferrovia iesima;

Ar = superficie territoriale di riferimento;

o_i = coefficiente di occlusione ecosistemica delle tipologie viarie;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Strato informativo lineare relativo alla dislocazione geografica delle infrastrutture (strade e/o ferrovie).

I valori assunti dall'IFI sono sempre inferiori al più uguali a quello della densità infrastrutturale potendo infatti assumere o_i al massimo il valore pari a 1 (occlusione totale). Il coefficiente di occlusione rappresenta appunto il coefficiente di pesatura del singolo tratto viario e può essere implementato in modi diversi in funzione dei dati che si hanno a disposizione. Una infrastruttura rappresenta una barriera per i potenziali flussi biotici di una data area. Una barriera che, a seconda delle caratteristiche proprie della sede viaria, delle caratteristiche eco-etologiche delle specie considerate, delle condizioni presenti ai lati della carreggiata, può risultare facilmente sormontabile per alcune specie e insormontabile per altre (vedi box 4.2.). Sono numerose infatti le variabili da tenere in considerazione (qualora siano disponibili i dati) per determinare il valore di questo coefficiente (Romano e Zullo, 2013; Romano et al. 2012; 2009):

- flusso di traffico (es. num. veicoli/ora);

- velocità media dei veicoli;

- larghezza della carreggiata;

- percentuale di carreggiata occupata dalle superfici di contatto stradale del veicolo (dipendenti dalle tipologie degli automezzi);

- dimensioni e velocità dell'animale in attraversamento;

- accessibilità laterale della carreggiata;

- relazione con il mosaico di paesaggio.

Se si hanno a disposizione i dati relativi ai flussi di traffico sulla viabilità analizzata è possibile migliorare ulteriormente la precisione del coefficiente di occlusione biologica, attribuendo a questo il valore massimo di occlusione quando il flusso di traffico è pari o superiore a 60 veicoli/h (la carreggiata rimane libera mediamente per un minuto). In generale stessi tratti di viabilità presentano flussi di traffico molto differenziati in ragione di periodi dell'anno o della settimana e delle fasce orarie diurne e notturne. Il traffico degli autoveicoli rappresenta l'elemento principale da valutare nel campo della road ecology in quanto unitamente alla tipologia stradale, ha una serie di effetti negativi su una vasta gamma di specie (Spellerberg, 2002; Fahrig and Rytwinski, 2009; Rytwinski and Fahrig, 2012; Benítez-López et al., 2010; van der Ree et al., 2015). I dati, specie quelli relativi ad incidenti con la fauna, forniscono infatti importanti informazioni sulla localizzazione di possibili vie preferenziali per la permeabilità faunistica di un'area e quindi la possibilità di mettere in campo misure di mitigazione tali da prevenire incidenti e garantire la sicurezza degli attraversamenti (Roedenbeck & Jaeger, 2006; Van der Ree et al., 2011). I veicoli infatti ogni anno uccidono un gran numero di animali di numerose specie, solo in Europa vengono stimati dai 10 ai 100 milioni tra uccelli e mammiferi travolti ogni anno sulle strade con conseguenti perdite anche di vite umane. In ciascuna provincia italiana si stimano oltre 15.000 animali travolti ogni anno, e la tendenza generale va verso l'aumento, alla luce dell'espansione della rete stradale e dell'incremento dei volumi di traffico (ISPRA, 2011). In tal senso l'effetto di frammentazione di un asse stradale è fortemente variabile e ciò comporta per l'indice IFI la possibilità di essere ulteriormente precisato in possesso naturalmente dei relativi dati. Utilizzato in forma speditiva, i valori di o_i possono basarsi su una stima comparativa per le diverse tipologie infrastrutturali:

Livello 1 – Autostrade, tangenziali e ferrovie (occlusioni generalmente totali derivanti dalla presenza delle recinzioni laterali) $o_1= 1$;

Livello 2 – Strade statali e regionali, generalmente con elevato volume di traffico (occlusione pronunciata derivante dal disturbo acustico e di movimento permanente) $o_2= 0.7$;

Livello 3 – Strade provinciali, generalmente con medio volume di traffico (occlusione di media portata dovuta alle condizioni di disturbo) $o_3 = 0.5$.

Livello 4 – Strade comunali, generalmente con volumi di traffico variabili nell'arco giornaliero da molto alti a molto bassi, ma con un rapporto con la morfologia locale favorevole in termini di occlusione; $o_4 = 0.3$.

Quest'ultima formulazione è quella che utilizzeremo per calcolare l'indice IFI sempre per i comuni della provincia di Treviso. I layer necessari sono quelli che abbiamo utilizzato per il calcolo dell'indice di densità infrastrutturale. All'interno della tabella dello strato informativo della rete viaria vi è un campo ("CLASS_AMM") che, attraverso un codice numerico, identifica la classificazione amministrativa della rete viaria regionale. In particolare:

- 1: Strade Statali;
- 2: Strade Regionali;
- 3: Strade Provinciali;
- 4 e 6: Strade Comunali;
- 7: Autostrade.

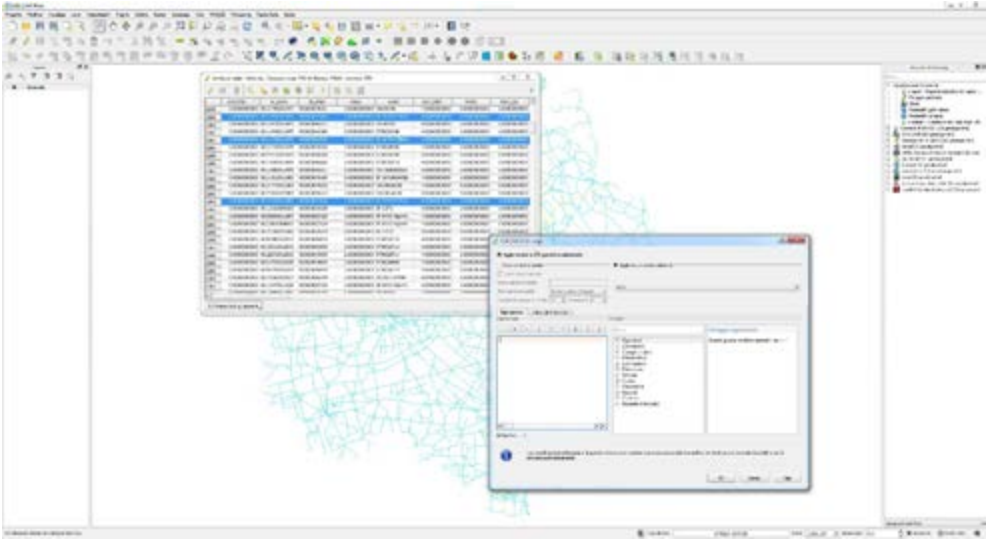


Figura 4.383 - Inserimento del valore del coefficiente di occlusione all'interno della tabella dello shapefile della rete viaria.

Sulla base di questa classificazione e delle considerazioni espresse pocanzi, assegneremo ora ad ogni singolo tratto viario il relativo coefficiente di occlusività in modo poi da ottenere la somma pesata per ogni singolo comune. Una operazione di questa natura può essere facilmente portata a termine aggiungendo preventivamente un campo alla tabella (ad esempio "Occl") ed utilizzando

contestualmente il comando di "Seleziona elementi usando un'espressione". Vediamo ora la procedura tecnica. Una volta inserito il campo restare in modalità di editing e clicchiamo sul tasto per attivare il relativo comando. Eseguiremo quindi una prima selezione sul database del layer della rete viaria evidenziando una classificazione amministrativa per volta trascrivendo contestualmente il valore di o_i nell'apposita colonna (fig.4.38) utilizzando il calcolatore di campi. Una volta inseriti i valori del coefficiente di occlusione e dopo aver accertato che ogni record, quindi ogni singolo tratto viario, ha associato il suo coefficiente possiamo salvare l'operazione eseguita. La stessa operazione può essere eseguita costruendo dapprima una tabella (da salvare in formato .csv o .dbf) con i codici identificativi delle tipologie stradali e i relativi coefficienti di occlusività per poi eseguire un join tabellare con lo shapefile del reticolo infrastrutturale. Una volta accertato l'avvenuto collegamento il tutto andrà salvato su un nuovo shapefile. Se all'interno del database del reticolo viario non è presente alcun campo con l'informazione legata all'identificativo univoco del comune (nome, codice Istat) è necessario eseguire una operazione di intersezione (prestando attenzione ad inserire il layer a geometria lineare nella finestra di configurazione come "Vettore in ingresso") tra questo layer e quello dei comuni. Una volta terminato il geoprocesso otterremo uno strato informativo che a livello geografico conterrà i singoli tratti stradali suddivisi per ogni comune mentre nel database ci sarà anche l'informazione alfanumerica relativa al comune di appartenenza, fondamentale per eseguire poi l'operatore di aggregazione group-stats. Il passo successivo è quello di ricalcolare le lunghezze dei vari segmenti e inserire un nuovo campo che conterrà il prodotto tra queste e il coefficiente di occlusione. Attraverso l'operatore di aggregazione tabellare possiamo quindi definire il numeratore della frazione per il calcolo dell'indice andando a sommare tutti i valori della lunghezza dei singoli tratti viari ciascuno pesato attraverso il suo coefficiente di occlusione per ciascun comune (fig.4.39). Il campo da utilizzare per l'aggregazione tabellare è quello che contiene il codice identificativo Istat. La tabella andrà salvata e caricata così nella TOC. Per collegare l'informazione contenuta in quest'ultima con quella all'interno della tabella dello shapefile applicheremo un join utilizzando come campo chiave quello contenente il codice identificativo numerico Istat per comune. Una volta accertato l'avvenuto collegamento tra le due tabelle possiamo salvare il tutto in un nuovo shapefile da utilizzare per il calcolo dell'indice IFI. Basterà quindi aggiungere un nuovo campo e calcolare il rapporto tra la somma dei singoli tratti stradali pesati per il loro coefficiente di occlusività e l'area in chilometri quadrati del comune di appartenenza. La conoscenza del grado di occlusione e quindi del livello di frammentazione ambientale di un asse stradale già durante la fase di progettazione dello stesso consente di adottare diverse misure di mitigazione quali riduzioni programmate del traffico, sistemi di rilevamento degli animali, chiusure temporanee o anche strutture che permettono gli attraversamenti in sicurezza della fauna selvatica (Clevenger and Ford, 2010; Huijser and McGowen,

2010). Accorgimenti e strutture di questo genere permettono un migliore inserimento dell'infrastruttura nel complesso sistema ambientale riducendone notevolmente gli impatti e gli effetti negativi (Van der Grift et al., 2013; Gibelli & D'Ambrogi, 2011).

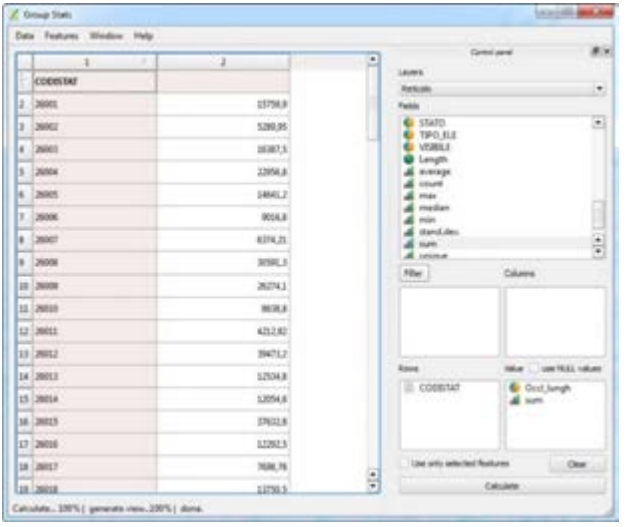


Figura 4.39 - Risultato dell'operatore di aggregazione tabellare group-stats.

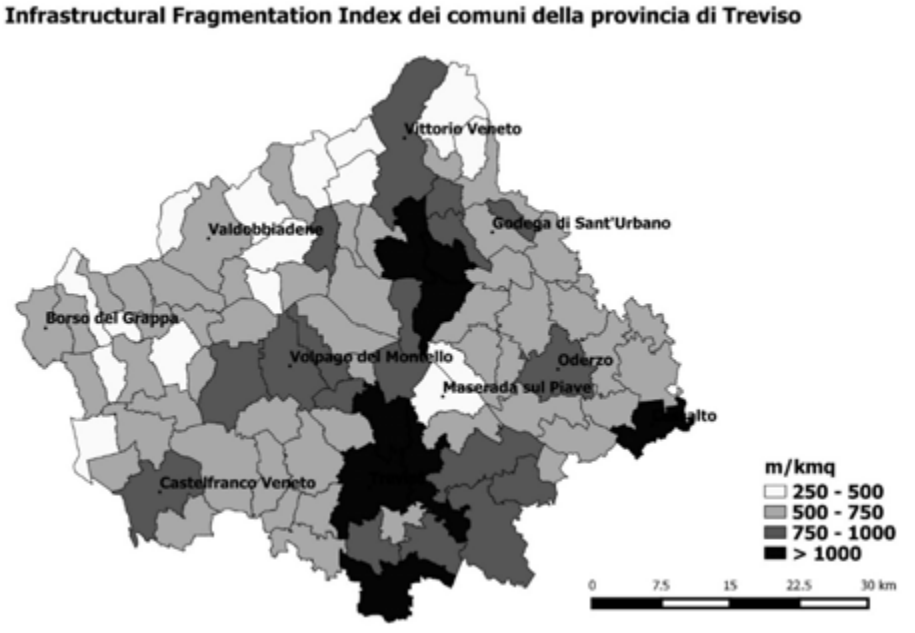


Figura 4.40 - Layout di stampa dell'Infrastructural Fragmentation Index.

4.3. Indicatori ambientali

Si tratta di indici utili alla valutazione quali-quantitativa delle condizioni ambientali di un dato territorio. Gli indicatori ambientali nella loro formulazione generale sono legati al livello di inquinamento presente, per cui essi esprimono in termini numerici l'andamento del livello di contaminazione dell'ambiente considerato e, quindi, del conseguente livello di qualità ambientale (indici di contaminazione/qualità ambientale). Gli indici ambientali presentati in questo volume invece sono volti a comprendere il grado di interferenza antropica sull'odierno assetto territoriale analizzando sia il livello di tutela verso i valori ambientali riconosciuti (Aree protette, Siti di Interesse Comunitario, Zone di Protezione speciale…) sia anche attraverso la valutazione quantitativa della maggiore o minore presenza delle aree forestali, sistemi biologici complessi indispensabili per la conservazione della qualità della vita, per gli essenziali servizi ecosistemici offerti oltre che per l'azione che svolgono nell'ambito dei cambiamenti climatici (D'Aprile et al., 2015; Matteucci et al., 2015; Morri et al., 2014; Marchetti et al., 2014; Cianfaglione K.,2013).

4.3.1. Tasso di copertura forestale

L'indice fornisce la percentuale delle superfici coperte a bosco rispetto alla superficie territoriale di riferimento. La sua formulazione è la seguente:

$$Tf = \frac{\sum Sfor}{Ar}(\%)$$

Dove:

Sfor = superfici coperte a bosco;

Ar = superficie territoriale di riferimento.

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Uso/copertura del suolo (scala 1:25.000 o superiori), Carta forestale, carta geobotanica.

Le aree forestali rappresentano degli spazi che assolvono numerose funzioni per l'uomo e per la biodiversità in generale e che forniscono tutta una serie di servizi ecosistemici indispensabili per la nostra sopravvivenza sul pianeta. Le aree forestali presentano generalmente un elevato valore ecologico per molte specie animali, in relazione alla diffusa presenza di ripari e nascondigli e alla limitata entità del disturbo antropico, almeno nelle ore notturne, nelle stagioni non turistiche e nei periodi in cui non si attuano interventi di taglio. Un elevato livello di biodiversità si trova in questi

territori (Vizzari et al., 2015; Blasi & Michetti, 2005; Gasparini & Tosi, 2000; Pignatti, 1998). La superficie forestale italiana è pressoché unanimemente valutata in incremento dal secondo dopoguerra, anche se i dati a disposizione non consentono, per disomogeneità nella genesi e nel livello di dettaglio, di avere informazioni molto precise (Romano & Zullo, 2014a). Secondo i dati del secondo inventario delle foreste nazionali, che il Corpo Forestale dello Stato ha realizzato nel 2005, sul territorio italiano sono presenti 8.760.000 ettari di foreste, cui devono aggiungersi 1.710.000 ettari di formazioni forestali rade o basse, e le formazioni arbustive e cespugliate. In totale le foreste coprono circa un terzo del territorio nazionale (INFC, 2005). Stando invece a quanto riportato nell'ultimo censimento (INFC, 2015), le foreste nel nostro Paese sono aumentate di ulteriori 600.000 ha arrivando a sfiorare così gli 11.000.000 di ettari (36% circa del territorio nazionale). Le aree boschive sono delle risorse di estrema importanza per cui valutare la loro presenza in un dato ambito geografico può essere di estremo ausilio nell'implementazione delle politiche territoriali oltre che per la gestione delle stesse. Vediamo ora come elaborare l'indice per i comuni della provincia di Treviso utilizzando i layer scaricati in precedenza dall'IDT del Veneto (limiti amministrativi comunali della provincia di Treviso e l'uso del suolo della provincia di Treviso). Per superfici forestali si intendono quelle identificate con i codici terzo livello corine 311 (Boschi di latifoglie), 312 (Boschi di conifere), 313 (Boschi misti di conifere e latifoglie) oltre che categorie di maggior dettaglio che da queste derivano. Nel caso specifico la tabella associata al file geografico di uso del suolo contiene 4 campi uno per ogni livello Corine. La nomenclatura Corine è fatta in modo che i codici di un livello di maggior dettaglio sono ricompresi nel livello precedente. Questo vuol dire che applicando una query utilizzando i 3 codici III livello indicati in precedenza per le superfici boschive (campo "3_livello" del database dell'uso del suolo) automaticamente verranno ricomprese anche le categorie di IV livello a queste collegate. La query dovrà essere composta utilizzando l'operatore logico "OR" o anche "IN" per cui la sintassi è una di quelle indicate di seguito:

"3_Livello" = 311 OR "3_Livello" = 312 oppure *"3_Livello" IN (311;312)*

In questo caso manca il codice 313 in quanto nella provincia di Treviso non sono state rilevate aree appartenenti a questa classe. Con alcuni layer può succedere che il software non applica correttamente il filtro, in casi del genere utilizzare il comando "seleziona elementi con una espressione" e salvare la selezione (tasto dx – salva con nome) prestando attenzione a spuntare la voce "salva solo le geometrie selezionate" in modo da ottenere così lo stesso risultato. Prima di applicare l'operatore di aggregazione tabellare Group-stats è consigliabile ricalcolare le aree in modo da evitare possibili errori nell'analisi. Come abbiamo visto, la struttura della tabella contiene un campo ("CODISTAT") che identifica univocamente ciascun comune (in pratica per ogni superficie forestale disponiamo già dell'informazione relativa al

comune di appartenenza) che permette di applicare direttamente l'operatore group-stats. Nel caso in cui questa informazione non è disponibile si ricorda che è necessario applicare il geoprocesso di intersezione e ricalcolare le aree. La finestra di configurazione dell'operatore group-stats è mostrata in figura 4.41. Il group-stats permette di ottenere la somma (espressa in metri quadrati) totale delle superfici forestali presenti nei comuni sulle quali queste insistono (è naturalmente possibile quindi che ci siano comuni che non hanno superfici forestali) sottoforma di tabella che è possibile salvare (data – save all to csv file).

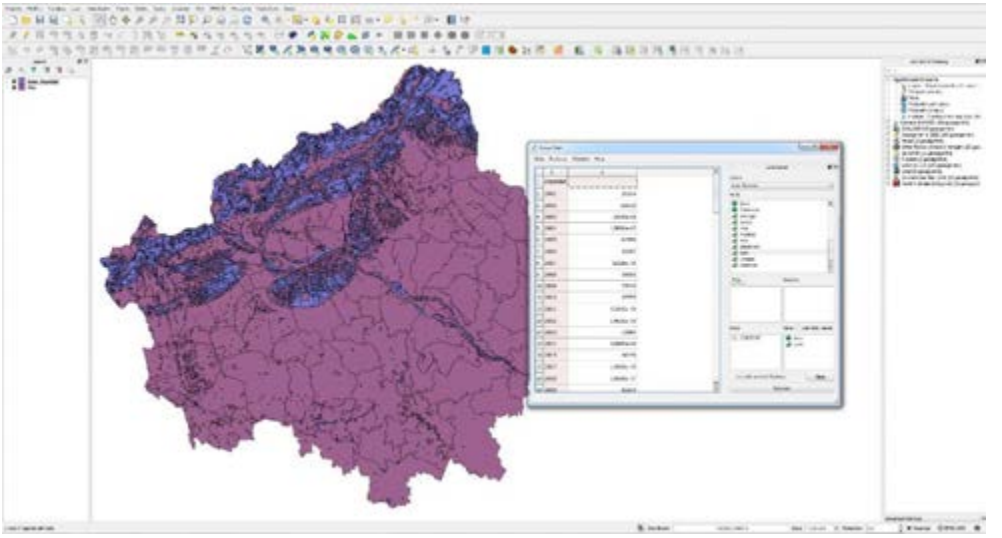


Figura 4.41 - Finestra di configurazione dell'operatore Group-stats per il calcolo del tasso di copertura forestale

Possiamo quindi caricare la tabella sulla TOC e, attraverso l'identificativo numerico Istat dei comuni, collegare con un join questa alla tabella dello shapefile degli enti amministrativi comunali. In questo caso nella colonna relativa alla somma delle superfici forestali può essere presente la dicitura "Null" in quanto, come espresso precedentemente, possono esserci dei comuni che non presentano superfici forestali rilevate. Una volta effettuato il join possiamo quindi salvare tutto in un nuovo layer e procedere con il calcolo dell'indice utilizzando le informazioni contenute nei campi della tabella associata. Il tasso di copertura forestale sarà pari quindi alla somma delle superfici forestali diviso la superficie del comune di appartenenza (entrambe espresse in metri quadrati), moltiplicando poi questo rapporto per cento otterremo il valore finale dell'indice.

Figura 4.42 - Layout di stampa del tasso di copertura forestale.

4.3.2. Indice di protezione ambientale

Indica l'entità di superficie interessata da provvedimenti di tutela ambientale (aree protette, riserve naturali, siti di interesse comunitario o altre tipologie di aree sottoposte a tutela ambientale) per ogni kmq di area di riferimento.

$$Ipa = \frac{\sum Aapi}{Ar} (\%)$$

dove:

Aapi = superfici delle aree protette (in questo esempio il dato viene derivato dalla sommatoria delle superfici relative sia alle aree protette istituite, sia ai siti Natura 2000);

Ar = superficie territoriale di riferimento.

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Strati informativi contenenti l'informazione geografica dei siti protetti (SIC-ZSC, ZPS, Aree Protette, Riserve Naturali, Oasi di protezione).

L'indice fornisce quindi informazioni circa la percentuale di territorio comunale sottoposto a vincoli di tutela ambientale. L'indice Ipa verrà implementato per i comuni della regione Molise, utilizzando i servizi WFS messi a disposizione dal geoportale nazionale. I limiti amministrativi dei comuni della regione Molise possiamo scaricarli dal più volte citato portale dell'Istituto Nazionale di Statistica (http://www.istat.it/it/archivio/104317) in WGS84 UTM 32N (EPSG: 32632) applicando una query (i confini amministrativi sono relativi a tutti i comuni di Italia) per estrarre solo quelli molisani. Apriamo quindi il programma e carichiamo dapprima il layer delle aree protette nazionali come un servizio di tipo WFS (vedi par. 3.5). La risorsa disponibile on line è scaricabile solo ed esclusivamente in WGS84 con coordinate geografiche (EPSG:4326) per cui, una volta caricata nella view, possiamo salvarla in un nuovo shapefile prestando attenzione alla voce "Sistema di Riferimento" dove dovrà necessariamente essere impostato lo stesso sistema di riferimento del layer dei comuni (EPSG:32632). Carichiamo sempre con un servizio di tipo WFS lo strato informativo dei Siti di Interesse Comunitario (SIC) – Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Una volta inserito nella view possiamo aprire la tabella e utilizzando il comando "Seleziona elementi con un'espressione" possiamo selezionare solo ed esclusivamente i siti della regione Molise (informazione contenuta nel campo "regione"). Una volta selezionati salviamo il tutto in un nuovo shapefile con l'accortezza di modificare il sistema di riferimento (EPSG:32632).

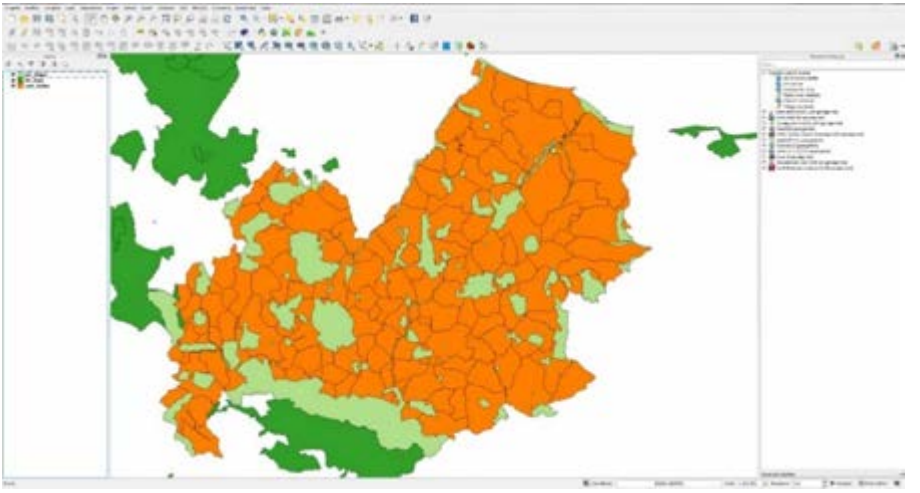


Figura 4.43 - Layer per il calcolo dell'indice Ipa.

Al termine di queste operazioni apriamo un nuovo progetto di Qgis e carichiamo i 3 layer così come mostrato in figura 4.43. Essendo lo strato delle aree protette relativo a tutto il territorio nazionale, è possibile applicare un geoprocesso di "taglia" per

ottenere solo le aree protette che ricadono nel territorio della regione Molise. La figura mostra anche come possono esserci casi in cui i SIC-ZSC si sovrappongono alle aree protette situazione questa riscontrabile in tutto il territorio nazionale (Romano & Zullo 2015). Nel calcolo dell'indice Ipa, è necessario tenere conto di questa situazione in quanto le aree che si sovrappongono possono essere computate due volte e quindi falsare l'esito dell'analisi. La prima operazione da effettuare è quella di unire i due shapefile attraverso il geoprocesso "Unisci shapefiles", in modo da avere entrambe le informazioni spaziali in un unico strato ("AP_SIC"). Questo però non elimina il problema denunciato in precedenza che invece dovrà essere risolto utilizzando tecniche diverse. L'informazione contenuta nel database non è in alcun modo indispensabile ai fini del calcolo dell'indice stesso per cui nelle successive fasi questa può essere rimossa senza alcun problema. Attiviamo quindi l'editing sullo shapefile "AP_SIC" e attraverso uno degli strumenti di selezione, selezioniamo tutti gli elementi dello strato informativo. Con il tasto "Unisci gli elementi selezionati" tutte le geometrie verranno unite in un unico poligono ottenendo in tal modo uno shapefile di tipo multiparte. La finestra successiva di configurazione può essere lasciata così come è impostata in quanto, come specificato, per questo tipo di analisi la struttura del database e l'informazione alfanumerica presente, non sono necessarie. Così facendo sono stati rimossi tutti gli errori di sovrapposizione di aree tra poligoni. Possiamo convertire ora lo shapefile multiparte in uno con corrispondenza univoca record – poligono (single part features). A tal fine utilizzeremo il geoprocesso "da parti multiple a parti singole" ottenendo così un nuovo shapefile ("AP_SIC_def"). A questo punto è possibile eliminare tutti i campi della tabella e lasciarne solo uno all'interno del quale inseriremo il valore dell'area degli elementi poligonali che lo costituiscono. Il passo successivo consiste nell'assegnare a ciascuna area tutelata il relativo comune di appartenenza in funzione della loro distribuzione geografica, operazione resa possibile dal geoprocesso di "Intersezione". Le aree sottoposte a tutela ambientale vengono in tal modo ritagliate sulla base di quelli che sono i limiti amministrativi dei comuni molisani mentre nella tabella associata allo shapefile in output viene trascritta anche l'informazione relativa al comune di appartenenza (informazione proveniente da entrambi i dataset in input). Per il calcolo della somma delle aree tutelate all'interno di ciascun comune si utilizzerà l'operatore di aggregazione tabellare "group-stats" applicato al layer risultante dal geoprocesso di intersezione previo ricalcolo delle aree. Il campo da utilizzare per l'aggregazione è "PRO_COM" che contiene il più volte citato codice identificativo Istat univoco per ciascun comune. Il risultato sarà quindi una tabella che avrà due colonne (l'identificativo del comune e la somma delle aree tutelate al suo interno) e tanti record quanti sono i comuni all'interno del quale è presente almeno una porzione di superficie tutelata. E' ora possibile applicare una operazione di join per collegare al file geografico la tabella prodotta, salvando poi il tutto in un nuovo layer che verrà utilizzato per il

calcolo dell'indice di protezione ambientale avendo l'accortezza di ricalcolare le aree dei comuni della regione Molise prima di applicare l'algoritmo di formulazione dell'indice. Le indicazioni riportate da quest'ultimo riguardano quindi la percentuale di territorio sottoposta a tutela ambientale ma indirettamente anche informazioni circa il grado di naturalità e di valenza ecosistemica rilevata nei SIC-ZSC (Romano, 2011; Erba & Di Marino, 2010; Malscevschi, 2010; Gibelli, 2008; Battisti & Romano, 2007; Jongman & Pungetti, 2004; Gambino, 2003). Spesso nelle procedure di Valutazione Ambientale Strategica il numero e la percentuale di territorio occupata dai Siti Natura 2000 e dalle aree protette, analizzati separatamente, vengono utilizzati come indicatori durante la fase di elaborazione del piano per valutare l'incidenza e la sostenibilità delle scelte di piano su queste aree. Va sottolineato che l'identificazione dei siti natura 2000, sulla base di quanto indicato sulla Direttiva 92/43/CE ha seguito un processo più scientifico e meno politicamente "negoziato" che non quello condotto nella perimetrazione delle aree protette, selezionando valori esclusivamente ecosistemici (gli habitat di interesse comunitario) e non quelli paesaggistici o storico-culturali (Romano e Zullo, 2015). Appunto per questo può essere molto utile studiare il rapporto dimensionale e geografico tra aree protette e SIC-ZSC ai fini della valutazione dell'efficienza della politica di tutela ambientale, applicata in Italia fino alla fine degli anni '90, nell'intercettare i valori prettamente naturalistici rispetto a quelli più genericamente estetici e culturali.

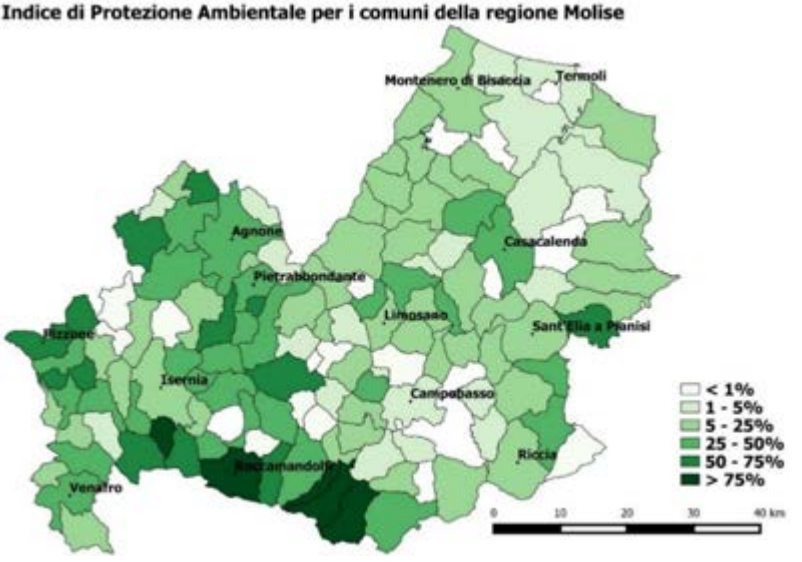


Figura 4.44 - Layout di stampa dell'indice di protezione ambientale

4.4. Indicatori socio – economici

Gli indici socio economici vengono utilizzati come descrittori della condizione sociale ed economica di un dato territorio. Sono appunto in grado di rilevare e di misurare quindi dei "sintomi" che permettono di identificare particolari fenomeni in atto in determinate realtà territoriali. Lo studio infatti di questi parametri permette di comprendere quelle che sono le caratteristiche socioeconomiche delle differenti tipologie di territori indagati, delle loro modificazioni (se analizzati su più sezioni temporali) e di conseguenza il differente livello di benessere e di qualità della vita (Zajczyk, 1997; Guala, 2000). La composizione demografica di una popolazione, le potenzialità lavorative legate alla forza lavoro, il tasso di natalità/mortalità, il pendolarismo, il numero delle unità lavorative locali unitamente al numero degli addetti nei vari settori (industriali, artigianali, agricole, direzionali) e altri ancora sono indici che forniscono importanti informazioni ai decisori in vista dell'elaborazione di politiche e di programmi di sviluppo territoriale.

4.4.1. Indice di vecchiaia della popolazione

E' un indice statistico che descrive il peso della popolazione anziana in una determinata popolazione dato un territorio di riferimento (solitamente viene elaborato su base comunale). L'analisi del trend temporale fornisce interessanti indicazioni sulle dinamiche evolutive del rapporto tra la popolazione anziana (considerata tale oltre i 65 anni) rispetto a quella dei giovanissimi (popolazione residente al di sotto dei 15 anni di età) (ISTAT, 2014). La sua formulazione è la seguente:

$$Ivc = \frac{Nab{>}65anni - Nab{<}15anni}{Nab{<}15anni}$$

dove:

Nab>65 anni = numero di abitanti con età superiore ai 65 anni;

Nab<15 anni = numero di abitanti con età inferiore ai 15 anni.

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Dati popolazione residente con suddivisione per classi di età riferiti ai limiti amministrativi considerati.

E' un indice molto utilizzato nelle scienze sociali e nella pianificazione territoriale in quanto permette di stimare il grado di invecchiamento di una popolazione (Cavallo & Marino, 2014; Bolano, 2010; Mencarini, 2002). La disponibilità di dati nel tempo permette di calcolare questo indice su più sezioni temporali e, unitamente ad altri

indici demografici (es: tasso di immigrazione ed emigrazione), può farci comprendere se la popolazione che vive un determinato territorio sta andando incontro ad un processo di senilizzazione (valori più elevati nel tempo) o se al contrario si è in presenza di crescita demografica dettata da un aumento della popolazione giovane nel tempo (valori dell'indice di vecchiaia che al contrario diminuiscono). Sostanzialmente indica di quante volte la popolazione di giovanissimi (meno di 15 anni) moltiplica quella anziana (più di 65 anni); valori superiori a 1 indicano una maggiore presenza di soggetti anziani rispetto ai giovanissimi. E' un indicatore abbastanza efficace nel descrivere il fenomeno indagato in quanto in una popolazione in fase di invecchiamento aumenta il numero degli anziani e contemporaneamente diminuisce quello dei giovani esaltando in tal modo l'effetto dell'invecchiamento della popolazione denunciato dall'indice. I dati necessari possono essere reperiti presso i servizi anagrafici dei vari enti territoriali i quali aggiornano con una maggiore costanza queste informazioni. Nell'esempio che segue invece verranno utilizzati i dati del censimento decennale Istat 2011 per la regione Toscana, dati questi accessibili attraverso il portale istituzionale dell'Ente (http://www.istat.it/it/archivio/1043179). Dalla sezione "basi territoriali" scaricare lo shapefile delle sezioni censuarie per i comuni della regione Toscana in WGS84UTM32N relative all'anno 2011 (R09_11_WGS84.zip) mentre dalla sezione "variabili censuarie" scaricare il file "censimento della popolazione e delle abitazioni" per l'anno 2011 già utilizzato anche per il calcolo dell'indice di densità di popolazione. L'informazione rilevata dal censimento di nostro interesse è contenuta all'interno della cartella "Sezioni di censimento – R09_indicatori_2011sezioni.csv". La popolazione è stata rilevata dall'Istat per classi di età, così come riportato nel file di descrizione dei dati accessibile allo stesso indirizzo, per cui la popolazione residente con età inferiore ai 15 anni sarà data dalla somma delle variabili P14 (Popolazione residente - età < 5 anni) P15 (Popolazione residente - età 5 - 9 anni) e P16 (Popolazione residente - età 10 - 14 anni) per sezione di censimento mentre quella con età superiore ai 65 anni sarà data dalla somma di P27 (Popolazione residente - età 65 - 69 anni), P28 (Popolazione residente - età 70 - 74 anni) e P29 (Popolazione residente - età > 74 anni). Possiamo quindi pensare di elaborare questa informazione direttamente su una copia del file "R09_indicatori_2011sezioni.csv" e importare il risultato nel software geografico. Una volta aperto come un normale foglio di calcolo elettronico (con excel ad esempio o anche OpenOffice) si possono eliminare tutti i campi non inerenti l'analisi e lasciare quindi solo i campi "PRO_COM", "P14", "P15", "P16", "P27", "P28", "P29". Su due colonne distinte possiamo calcolare la popolazione residente con età inferiore ai 15 anni (P14 + P15 + P16) e quella con età superiore ai 65 (P27 + P28 + P29). La formula va scritta una sola volta e applicata poi a tutte le altre celle della stessa colonna in modo da ottenere un valore per ogni record. Una volta eseguito il calcolo bisogna copiare entrambe le informazioni contenute in queste due colonne ed incollarle in due diverse con la modalità "incolla valori" in modo da memorizzare

in tabella il solo dato numerico e non la formula. Possiamo caricare questa tabella nella TOC e applicare ad essa l'operatore group-stats in modo da ottenere questa informazione (popolazione residente con età inferiore ai 15 anni e popolazione residente con età superiore ai 65 anni) per ogni comune toscano. La tabella andrà caricata utilizzando il tasto "Aggiungi layer di testo delimitato" spuntando alla sezione "Geometria" l'opzione "Nessuna geometria solo tabella degli attributi". L'operatore group-stats presenta alcune limitazioni, una di queste è dovuta al fatto che riesce ad eseguire i calcoli su una sola colonna per volta. Questo vuol dire che bisognerà creare due nuove tabelle una per gli abitanti residenti con età inferiore ai 15 anni per comune ed una che invece contiene il numero di abitanti residenti con età superiore ai 65 anni per comune (il campo tabellare da utilizzare per l'aggregazione in entrambi i casi è PRO_COM). Per creare il file geografico dei limiti amministrativi dei comuni toscani, si utilizzerà il geoprocesso di "Dissolvenza" usando l'informazione contenuta nel campo "PRO_COM" come campo di dissolvenza. In tal modo da uno shapefile composto da circa 29.000 poligoni otterremo uno strato informativo che avrà un numero di elementi pari a quello dei comuni toscani (287 al 2011) con i relativi confini amministrativi. Attraverso un doppio join sul questo layer è possibile collegare ad esso l'informazione delle due tabelle create in precedenza ed esportare il tutto in un nuovo shapefile. In tal modo avremo nel layer geografico tutta l'informazione necessaria per calcolare l'indice di vecchiaia della popolazione (fig. 4.45) il cui valore sarà espresso all'interno di un nuovo campo denominato "IDV".

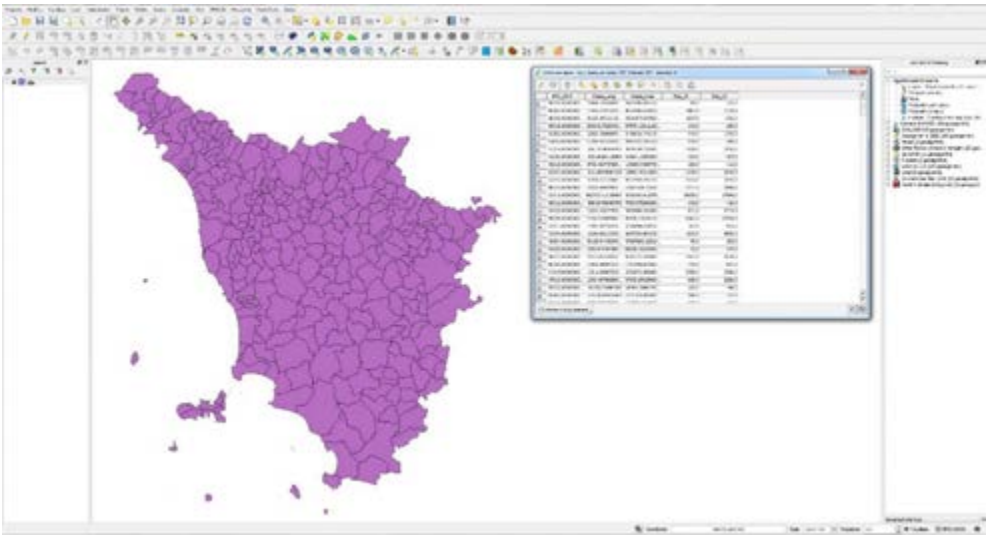


Figura 4.45 - Layer geografico e tabella recanti l'informazione relativa all'indice di vecchiaia della popolazione.

Le informazioni che possono essere desunte dall'indice e quindi dalla mappa riguarda la condizione relativa ai rapporti esistenti tra la popolazione anziana e quella dei giovanissimi all'interno di ciascun comune e, se analizzata su più sezioni temporali, i processi di invecchiamento o di crescita cui ciascun comune è soggetto permettendo in tal modo anche stime future di evoluzione del fenomeno (ricambio generazionale). Questo indice può essere naturalmente elaborato e confrontato utilizzando scale territoriali più ampie quali possono essere ad esempio le regioni italiane o i paesi europei anche per valutare ad esempio l'efficacia di politiche di sostegno capaci di favorire la tenuta o la ripresa dei livelli di fecondità della popolazione (valori dell'indice inferiori a 1) o anche per la messa in campo di politiche sociali e assistenziali laddove necessario. Interessanti valutazioni possono essere condotte a scala del singolo comune utilizzando come base geografica la sezione censuaria Istat (tutte le variabili rilevate dall'Istat fanno riferimento a questa unità) soprattutto nella fase di conoscenza nell'allestimento di un piano. Lo studio dei valori dell'indice condotti su questa dimensione geografica garantisce una maggiore coerenza nell'inserimento ad esempio dei servizi pubblici di un territorio o di altre strutture funzionali.

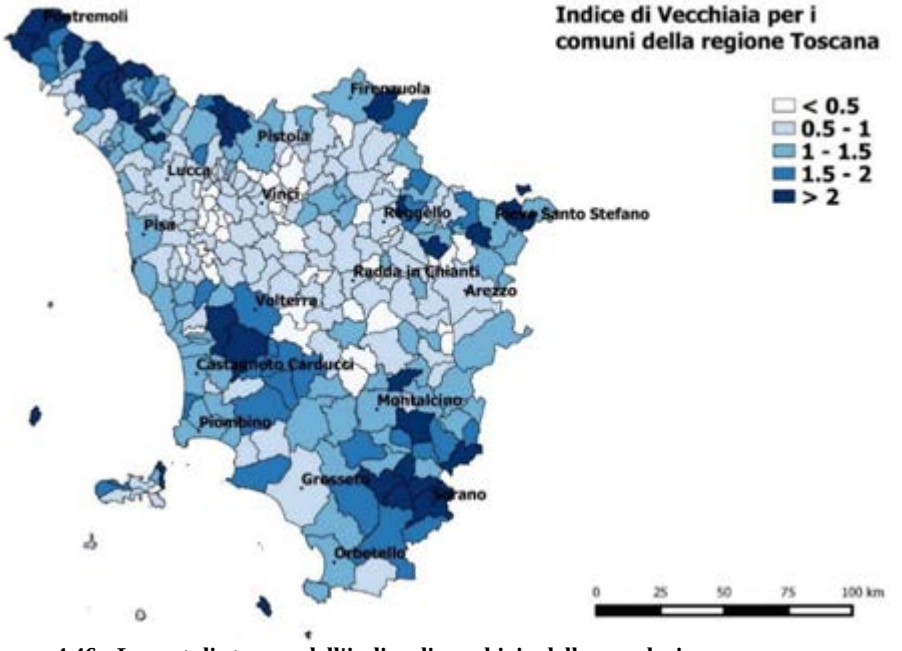


Figura 4.46 - Layout di stampa dell'indice di vecchiaia della popolazione.

4.4.2. Indice di utilizzazione edilizia

L'indice esprime la percentuale di abitazioni occupate rispetto al totale di un dato ambito territoriale. La sua formulazione è la seguente:

$$Iued = \frac{Nabit_{occ}}{Nabit_{totali}}$$

dove:

$Nabit_{occup}$ = numero delle abitazioni occupate;

$Nabit_{totali}$ = numero delle abitazioni totali.

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Dati circa il numero di abitazioni totali e quelle non occupate riferiti ai limiti amministrativi considerati.

Per abitazione l'Istat intende "*Alloggio costituito da un solo locale o da un insieme di locali (stanze e vani accessori), costruito con quei requisiti che lo rendono adatto a essere dimora stabile di una o più persone, anche nel caso in cui una parte sia adibita a uso ufficio (studio professionale eccetera). Dotato di almeno un accesso indipendente dall'esterno (strada, cortile eccetera) o da spazi di disimpegno comune (pianerottoli, ballatoi, terrazze eccetera), un accesso cioè tale che non comporti il passaggio attraverso altre abitazioni. Separato da altre unità abitative da pareti. Inserito in un edificio.*" Nei suoi censimenti decennali l'Istituto Nazionale di Statistica rileva quindi oltre agli edifici (distinti in base alla loro funzione) anche il numero di abitazioni totale e se sono o meno occupate da persone residenti o non residenti in quel dato comune. Nell'esempio che segue vengono utilizzati i dati relativi al censimento 2001 per i comuni della regione Abruzzo (dati ISTAT 2001 - http://www.istat.it/it/archivio/104317). A tal fine scaricheremo i limiti amministrativi comunali (sezione confini amministrativi – limiti comunali 2001 in WGS84 UTM32N) dell'Italia e i dati sul censimento della popolazione e delle abitazioni 2001 (sezione variabili censuarie – censimento della popolazione e delle abitazioni). Dai limiti amministrativi comunali italiani possiamo estrarre con una query solo ed esclusivamente i comuni della regione Abruzzo (COD_REG = 13) e salvare il risultato in un nuovo shapefile. Il file "R13DatiCPA_2001.xls" (dati del censimento della popolazione e delle abitazioni) è riferito alla regione Abruzzo e contiene tutte le informazioni necessarie per il calcolo dell'indice. In ogni caso conviene lavorare su una copia del file per non modificare/perdere le informazioni iniziali. Questo file excel è strutturato su due fogli con il primo che contiene la

decodifica di tutti i codici utilizzati per le variabili censite presenti nel secondo foglio elettronico. In particolare le voci che ci interessano sono le seguenti:

- A1: Abitazioni totali;
- A2: Abitazioni occupate da persone residenti;
- A3: Abitazioni occupate da persone non residenti;

In sostanza il valore dell'indice Iued sarà dato da (A2 + A3)/A1 per ogni comune della regione Abruzzo. Possiamo quindi procedere ad eliminare tutti i campi del database di questo file tranne i tre indicati e il campo "Pro_Com" che ci servirà sia in fase di collegamento con il file geografico sia per sviluppare i calcoli dell'indice su base comunale. Già in questa fase possiamo sommare i valori contenuti nelle colonne A2 e A3 ed inserire il solo valore numerico (e non la formula) in una nuova colonna. Il file va esportato in formato .csv e caricato nella TOC utilizzando il tasto "Aggiungi layer di testo delimitato" spuntando alla sezione "Geometria" l'opzione "Nessuna geometria solo tabella degli attributi". Una volta caricata la tabella applicheremo due volte l'operatore di aggregazione tabellare (group-stats) per calcolare il numero totale di abitazioni e il numero di quelle occupate per ciascun comune utilizzando come campo di aggregazione l'informazione contenuta nel campo "Pro_Com". Il risultato di questa operazione è costituito da due tabelle dove sono riportate le variabili utili ai fini dell'implementazione dell'indice. Attraverso l'esecuzione di un doppio join sul file geografico dei comuni riusciamo quindi ad attribuire una dimensione spaziale ai valori riportati in tabella. Una volta accertato che ogni comune ha associato il valore di abitazioni totali e l'altro relativo al numero di quelle occupate possiamo salvare il tutto in un nuovo shapefile sul quale eseguiremo la procedura di calcolo dell'indice di utilizzazione edilizia. Il valore dell'indice verrà inserito all'interno di un nuovo campo ed i suoi valori possono oscillare da un minimo pari a zero (tutte le abitazioni sono vuote) ad un massimo pari a 1 (tutte le abitazioni sono occupate). Le classi per la rappresentazione tematica per l'esempio utilizzato sono riportate nell'immagine 4.47. E' un indice di importanza notevole in quanto permette di conoscere le potenzialità abitative di un dato territorio. E' possibile calcolare il valore dell'indice anche per ogni singola sezione censuaria e stabilire con maggiore precisione geografica le aree urbane dove sono maggiormente concentrate le abitazioni occupate e di conseguenza anche quelle vuote. Se analizzato su sezioni temporali distinte l'indice da informazioni sulle dinamiche abitative in essere su un determinato territorio e può rivelarsi un indicatore molto utile nei piani di monitoraggio soprattutto nelle procedure di Valutazione Ambientale Strategica cui sono soggetti i piani.

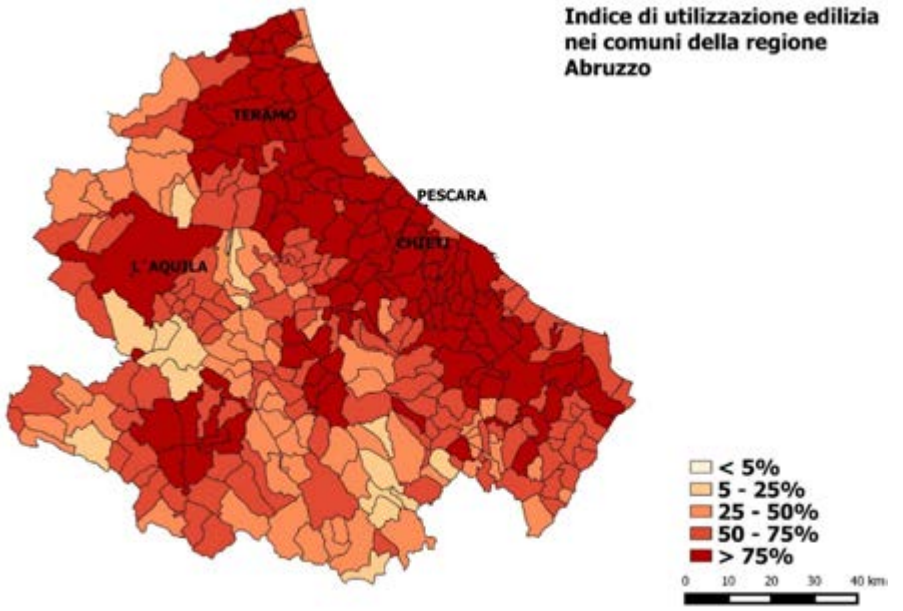


Figura 4.47 - Layout di stampa dell'indice di utilizzazione edilizia.

Non solo, nelle diverse fasi di redazione di un Piano urbanistico ad esempio diventa una informazione importante anche per progettare le future espansioni insediative tenuto conto del patrimonio abitativo esistente e non utilizzato. Negli ultimi anni si sente parlare spesso di piani a consumo di suolo zero, piani che prevedono un recupero ed una riqualificazione del patrimonio edilizio-abitativo preesistente che necessitano anche di valutazioni di questa natura ai fini della loro reale applicabilità. La dimensione geografica assegnata dal GIS al valore numerico dell'indice resta di estrema importanza per comprendere dinamiche e problematiche connesse con un dato fenomeno su scale territoriali diverse.

4.4.3. Indice di occupazione/disoccupazione

Indica la percentuale occupata della forza lavoro totale di un dato ambito territoriale. La sua formulazione è la seguente:

$$Iocc = \frac{FL_{occup}}{FLtot}$$

Dove:

FL_{occup} = Popolazione residente totale di 15 anni e più occupata (FL);

FL_{tot} = Popolazione residente totale di 15 anni e più appartenente alla forza lavoro totale;

Dati necessari:

- Limiti amministrativi (comunali, provinciali, regionali);
- Dati circa la forza lavoro (totale e occupata) riferiti ai limiti amministrativi considerati.

L'indice viene calcolato sulla base sempre delle informazioni dell'Istat, in questo caso le variabili che ci interessano sono quelle corrispondenti alla voce P60 e P61(il file di riferimento è sempre quello scaricato dalla sezione variabili censuarie – Censimento della popolazione e delle abitazioni anno 2011). Vediamo ora come calcolare questo indice per i comuni della regione Lombardia. Dal sito dell'Istat (http://www.istat.it/it/archivio/104317) scaricare quindi il layer dei limiti amministrativi comunali italiani (sezione confini amministrativi – Limiti comunali 2011 WGS84 UTM32N) e il foglio elettronico dei dati censiti per la regione Lombardia (R03_indicatori_2011_sezioni.csv) all'interno della cartella sezioni di censimento (sezione variabili censuarie – censimento della popolazione e delle abitazioni). Dai limiti amministrativi comunali italiani possiamo estrarre quelli appartenenti alla regione Lombardia tramite una query ("COD_REG" = 3) e salvare il risultato in un nuovo file (comuni_lombardia.shp). Possiamo quindi operare sul file .csv lasciando solo le informazioni contenute nei campi P60 e P61 oltre a Pro_com campo che invece utilizzeremo nei processi successivi. Per non modificare il file originario è preferibile salvare il tutto in una nuova tabella sempre in formato .csv e caricarla nella TOC utilizzando il tasto "Aggiungi layer di testo delimitato" spuntando alla sezione "Geometria" l'opzione "Nessuna geometria solo tabella degli attributi". Alla nuova tabella dovranno quindi essere creati due nuovi campi che chiameremo FL_TOT e FL, nei quali andranno inserite le informazioni contenute rispettivamente nei campi P60 e P61 per ciascun comune. Ora è quindi possibile applicare l'operatore group-stats per ottenere due nuove tabelle: la prima conterrà

l'informazione relativa alla forza lavoro totale per ciascun comune oltre al codice identificativo Istat di quest'ultimo, mentre la seconda tabella in output al group-stats conterrà l'identificativo numerico del singolo comune e la sua forza lavoro totale occupata. Sulla base dell'informazione contenuta nel campo "Pro_com" possiamo procedere con una doppia operazione di join per collegare e trasferire tutta l'informazione contenuta nelle due tabelle non spaziali a quella del layer geografico dei comuni. Naturalmente l'associazione sarà di tipo uno a uno per cui ad ogni comune corrisponderà un record della tabella relativa alla forza lavoro totale e uno di quella della forza lavoro totale occupata. Una volta effettuato il collegamento, possiamo salvare il tutto in un nuovo shapefile e procedere con il calcolo dell'indice di occupazione. I valori dell'indice possono oscillare tra un valore minimo pari a zero (nessun residente appartenente alla forza lavoro totale lavora) ed un massimo pari a uno (tutti gli appartenenti alla forza lavoro totale risultano essere occupati). Per meglio comprendere la situazione socio-economica di un determinato territorio possiamo utilizzare ulteriori indici collegati con quello di occupazione/disoccupazione. Innanzitutto informazioni aggiuntive si ottengono attraverso il calcolo di questo indice per settori produttivi (agricoltura, industria, commercio e servizi), i dati sono censiti anche dall'Istituto nazionale di statistica (disponibili per il 2001 ad oggi non per il 2011) e può aiutarci a comprendere quale settore economico assorbe una maggiore forza lavoro in un dato ambito territoriale. Altre indicazioni derivano dal rapporto tra la popolazione residente appartenente alla forza lavoro totale ed il numero totale di abitanti residenti. In pratica esprime in percentuale la quota parte del totale della popolazione residente in un determinato comune che rientra nella forza lavoro (fig.4.48). Naturalmente non tutti gli occupati lavorano nel comune di residenza/dimora abituale. Può quindi rivelarsi molto interessante elaborare un indice di occupazione nelle unità aziendali locali o di pendolarismo dato dal rapporto tra il numero di abitanti residenti occupati nelle unità locali ed il numero di occupati totali residenti per comune. L'Istituto nazionale di statistica rileva infatti dati relativi agli spostamenti per motivi di studio o di lavoro in base al luogo di destinazione, al motivo dello spostamento, al mezzo utilizzato e al tempo impiegato. In tal senso è possibile utilizzare come base territoriale anche i Sistemi Locali del Lavoro che, secondo la definizione ISTAT, *"…rappresentano una griglia territoriale i cui confini, indipendentemente dall'articolazione amministrativa del territorio, sono definiti utilizzando i flussi degli spostamenti giornalieri casa/lavoro (pendolarismo)"*. Il pendolarismo può coinvolgere anche fenomeni più complessi. Innanzitutto una rappresentazione cartografica del fenomeno permette di comprendere dove sono localizzate maggiormente le aree produttive ed i luoghi di residenza la cui separazione rappresenta una delle cause del fenomeno stesso. Nel tempo, grazie anche alla diffusione di massa delle auto private e alla crescita del sistema di trasporto pubblico (Glaeser, 2013; De Matteis e Lanza, 2014), si è assistito ad una riorganizzazione urbano-funzionale delle città che hanno

subito una maggiore "terziarizzazione" a scapito dell'industrializzazione che le aveva viste protagoniste nei precedenti decenni.

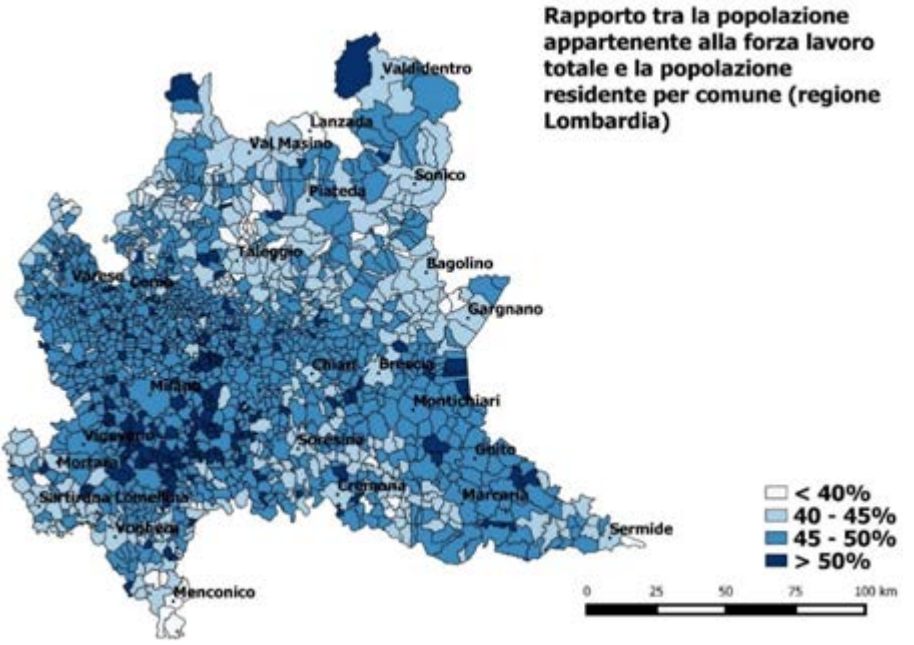


Figura 4.48 - Mappa del rapporto tra la popolazione appartenente alla forza lavoro totale e la popolazione residente per comune.

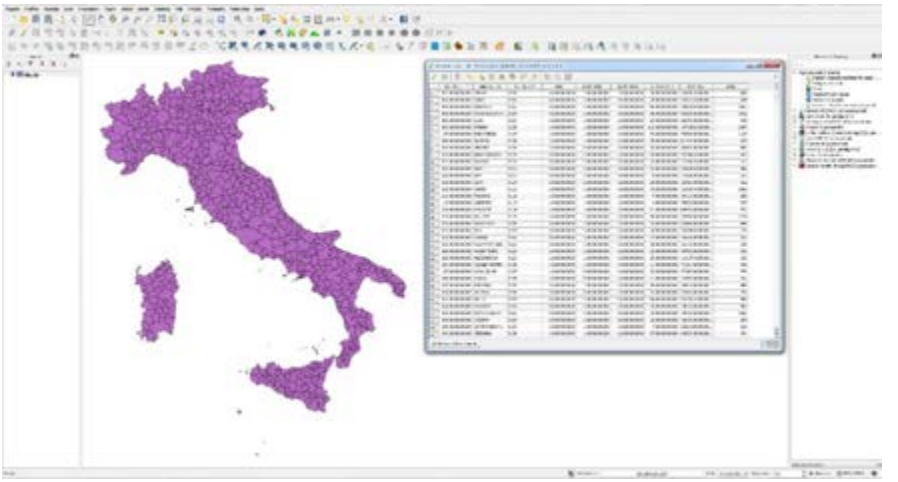


Figura 4.494 - Sistemi Locali del Lavoro in Italia (Dato Istat 2011).

Ciò ha comportato e comporta un mutamento degli stili di vita della popolazione con conseguenze inevitabili sul territorio. Lo studio dei flussi di mobilità sistematica attraverso opportuni indicatori, permette quindi di programmare al meglio i servizi legati al trasporto pubblico locale o anche alla pianificazione urbanistica ed infrastrutturale di un dato territorio.

4.5. Tecniche di analisi di idoneità territoriale

Quali sono gli ambiti territoriali compatibili con gli interventi pianificati e i progetti a maggiore impatto ambientale? Quali quelli dove si verifica il maggiore impatto ambientale? Quale è l'alternativa di localizzazione migliore per le realizzazione di un determinato servizio? Le tecniche utilizzate per rispondere a queste e ad altre domande fanno riferimento al metodo dell'overlay mapping utilizzato nelle sue diverse forme (McHarg 1969, Krauskopf e Bunde 1972, Falque 1975; Imperio 2004; Paolillo 2007; Del Gaudio e Vallario 2007; Torretta 2010; Naddeo et al. 2012; Cagnoli e Riberti, 2013; Pollino e Modica 2013, Torricelli, 2015). Come già sottolineato, è stata una delle prime tecniche implementate all'interno di un GIS ed è una di quelle maggiormente utilizzata in vari settori tecnici ed ambiti scientifici. La Land Suitability Analysis (o LSA) è una tecnica molto utilizzata nei processi di valutazione ambientale in quanto rappresenta uno strumento molto utile per determinare la localizzazione ottimale di opere sin dalla loro progettazione, per la valutazione della sensibilità ambientale, per il risanamento di aree degradate, per la valutazione dei rischi o anche per l'allestimento di scenari e azioni di monitoraggio. L'analisi di idoneità ambientale rappresenta uno strumento innovativo anche in altri settori come la zoologia o la botanica dove viene utilizzata per determinare ad esempio la maggiore o minore idoneità dei siti alle varie specie considerate (Harris 2006; Stagliano 2006; Prato e Fagre 2007; Kinley e Nancy, 2008; Yong e Wood, 2012). Nella pianificazione territoriale la Land Suitability Analisys può essere utilizzata sin dalle prime fasi di formazione del piano, ancora prima di conoscere le scelte sia strategiche sia di zoning dello strumento urbanistico. La conoscenza infatti della sensibilità/suscettività ambientale di un dato territorio orienta le valutazioni successive, consentendo quindi di tradurre sul territorio le scelte di piano in maniera oculata evitando al contempo possibili contraddizioni azione/sensibilità ambientale. L'applicazione di questa metodologia in maniera corretta presuppone una lettura incrociata dei vari fattori/indicatori considerati al fine di evidenziare criticità/sensibilità/potenzialità dell'area di interesse. Nell'esempio che segue vedremo, in una maniera semplificata, come identificare ad esempio un sito idoneo per la realizzazione di una nuova scuola utilizzando una serie di dataset geografici idonei allo scopo. I dati di partenza sono i seguenti:

- Layer poligonale di uso del suolo;
- Modello Digitale del Terreno (DTM);
- Layer puntuale dei siti ricreativi;

- Layer puntuale dei siti scolastici;
- Layer poligonale dei limiti amministrativi del comune in oggetto;

Per lo scopo si utilizzeranno le tecniche di map algebra e di geoprocessing raster mostrate nel capitolo 3 che risultano essere le migliori per questo tipo di analisi. L'obiettivo è quello di creare una serie di strati in formato raster ognuno dei quali fornirà delle indicazioni circa la maggiore o minore idoneità territoriale per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico. In linea generale problemi di questa natura vanno affrontati seguendo dapprima un workflow logico/progettuale tale da individuare la soluzione al problema ed in un secondo momento, attraverso la procedura tecnica GIS, tale da implementare un modello che ricomprenda quanto previsto. Il modello deve tener conto quindi di una serie di variabili e di relazione/interazione tra le stesse in modo da avere una rappresentazione più fedele possibile a quella che è la situazione reale (Lapucci et al., 2005; Las Casas et al., 2005, 2004; Berry, 2001). Nel modello che verrà implementato in questo esempio si terrà conto della vicinanza dei siti ricreativi, della lontananza dalle scuole esistenti, della morfologia e dell'uso del suolo del comune di interesse. Gli strumenti che ci permetteranno di costruire il modello sono gli strumenti dell'analisi geomorfologica (pendenze), raster della distanza (creazione di mappe della distanza), riclassificazione (per la normalizzazione dei dati) ed il calcolatore raster per implementare l'algoritmo finale. L'idoneità di una area per la costruzione di un nuovo sito scolastico terrà conto quindi della distanza dai siti scolastici e ricreativi esistenti, della quota e della pendenza del terreno e dell'uso del suolo. Stabiliremo quindi una scala di valori delle idoneità dove 1 rappresenta il valore minimo di idoneità e 10 il valore massimo, mentre attribuiremo il valore no data ad aree per nulla idonee. Per le classi di distanza in tutti i casi utilizzeremo i seguenti valori:

- 0 – 500 metri;
- 500 – 1000 metri;
- 1000 – 1500 metri;
- 1500 – 2000 metri;
- 2000 – 2500 metri;
- 2500 – 3000 metri;
- 3000 – 3500 metri;
- 3500 – 4000 metri;
- 4000 – 4500 metri;
- 4500 - 5000 metri;

Il valore di idoneità assegnato sarà pari a 10 per le aree situate tra 4,5 e 5 km dai siti scolastici (1 invece per i siti ricreativi) esistenti mentre sarà pari a 1 (10 per i siti ricreativi) per le aree situate a meno di 500 metri da questi. Iniziamo lavorando sui layer puntuali dei siti ricreativi e dei siti scolastici. Utilizzeremo in questo caso un nuovo plugin denominato "MultiDistance Buffer" che è possibile scaricare dal menù

a tendina plugin. Una volta scaricato, il tool è accessibile direttamente dalla barra degli strumenti (icona) o dal menù a tendina "Vettore – Multiple Distance Buffer – MultiDistance Buffer". Questo strumento permette di creare all'interno di uno strato informativo una serie di aree di buffer a distanze predefinite (la distanza considerata è quella Euclidea). Il tool si attiva in presenza di layer vettoriali caricati nella TOC. Quindi una volta inserito il layer relativo agli edifici scolastici esistenti è possibile utilizzare il tool la cui finestra di configurazione è mostrata nella figura 4.50. Alla voce input layer va inserito lo strato dal quale partire per la creazione delle aree di buffer. Nella sezione "buffer distance" vanno inserite, una per volta, tutte le distanze da utilizzare per la creazione appunto di queste aree. Una volta inserita la prima (in questo caso 500), prima di inserire la seconda classe di distanza, bisogna cliccare sul tasto "ADD" in modo che questo valore compaia nel box sottostante. Dopo aver inserito tutte le classi ed il nome da assegnare al nuovo layer nella sezione di output si può cliccare su "Ok". Il layer viene creato nella memoria virtuale dell'hardware per cui per salvarlo in maniera definitiva bisogna esportarlo con la solita procedura di salvataggio di uno strato informativo (tasto destro – salva con nome).

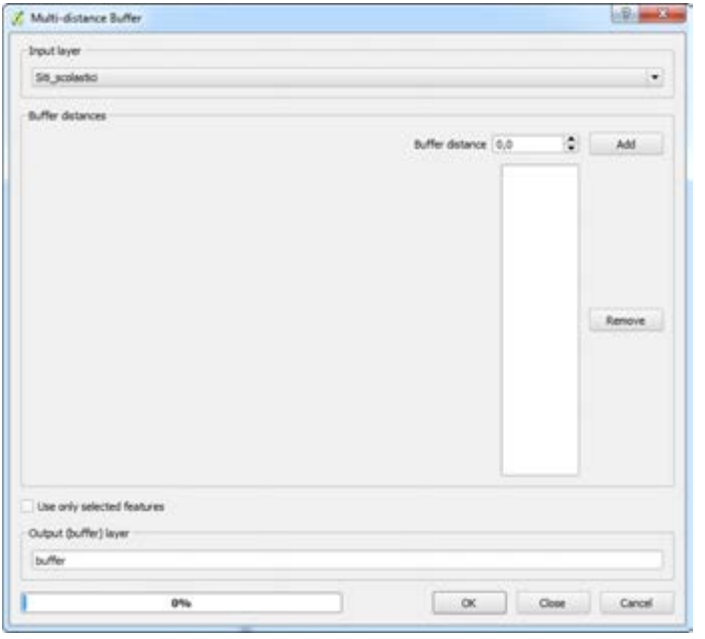


Figura 4.50 - Finestra di configurazione del Multi-Distance Buffer

Il database del layer così creato conterrà un unico campo (denominato "Distance") all'interno del quale è possibile ritrovare l'informazione relativa alla classe di distanza (è indicato l'estremo superiore della classe). Si tratta di uno shapefile multiparte per cui a ciascun record sono associati più elementi della view. L'analisi

si svolge, in questo caso, su tutto il territorio comunale, ma le aree di buffer considerate non coprono per intero l'estensione geografica del comune peraltro le aree che si trovano oltre 5 km dai siti scolastici non sono state considerate in questo esempio ma verrà comunque assegnato loro un valore fittizio di idoneità (0 in questo caso) per evitare il problema del Nodata (vedi par 3.10). A questo punto quindi bisogna utilizzare una serie di operatori per layer vettoriali in modo da creare uno shapefile la cui estensione geografica sarà pari a quella dell'intero territorio di studio (comune) e che al suo interno abbia la suddivisione appena creata attraverso le distanze multiple di buffer. Per fare questo è necessario dapprima applicare una operazione di intersezione tra il layer del buffer e quello del comune, in modo da salvare le parti comuni ad entrambi. Il layer in output a questo processo deve essere poi utilizzato come "vettore di differenza" nella finestra di configurazione del geoprocesso "Differenza" in modo da ottenere le parti di territorio comunale che non rientrano nelle aree di buffer considerate. L'output di questo geoprocesso unitamente a quello derivante dall'intersezione devono essere utilizzati come strati in input per l'operazione di "Unisci shapefile" ottenendo in tal modo lo strato finale relativo alla distanza dai siti scolastici esistenti. Ora si procederà con la trasformazione di questo in raster e all'attribuzione di un valore di idoneità per ciascuna area. Per la conversione del dato vettoriale in raster potrà essere utilizzato il tool "Rasterizzazione" presente all'interno del menù raster. La risoluzione geometrica del raster è un parametro fondamentale per l'applicazione della map algebra, appunto per questo deve essere scelto ed utilizzato un unico valore per tutti i layer raster che verranno creati ed inseriti poi nell'analisi. Il valore da assegnare a ciascun pixel è naturalmente quello presente all'interno del campo "Distance" dello shapefile da rasterizzare. Spesso conviene utilizzare la risoluzione geometrica di acquisizione del modello digitale del terreno e rapportare quindi tutto a quest'ultimo. Una volta rasterizzato il layer va riclassificato per assegnare un valore di idoneità a ciascuna delle classi.

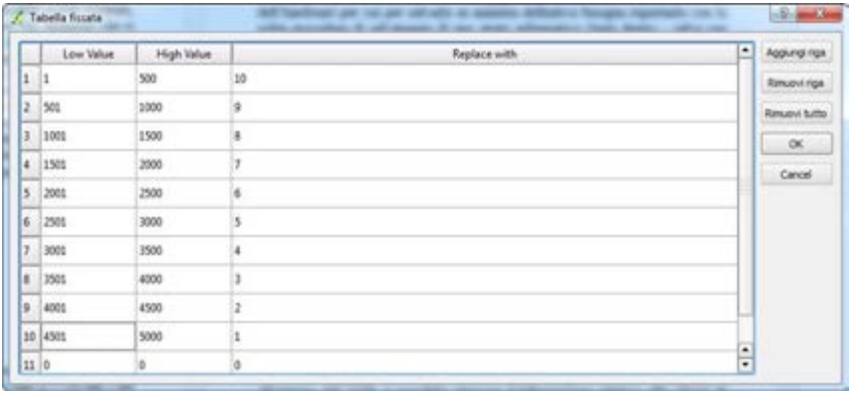


Figura 4.51- Fixed table per la riclassificazione del layer.

Prima però è utile applicare il comando “Stira usando l’estensione attuale” (tasto dx sul layer) e visualizzare il layer alla massima estensione spaziale, ai fini di una corretta riclassificazione. Il geoprocesso da utilizzare è il “Change grid Value”. La fixed table dovrà quindi essere impostata come tabella 11x3 (10 classi più una per la restante parte del territorio) (fig.4.51).

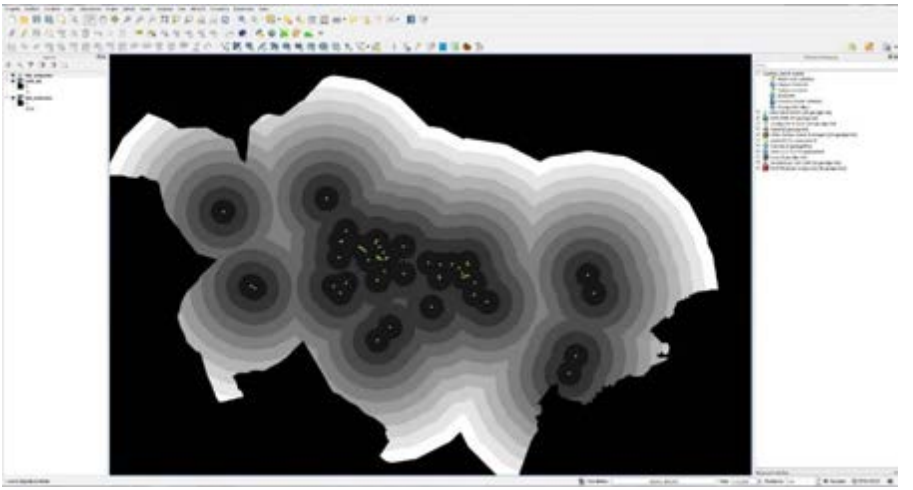


Figura 4.52 - Risultato dell'applicazione del tool change grid values.

Il risultato di questa operazione è mostrato nella figura 4.52. In questo caso quindi le aree a maggiore idoneità sono quelle che si trovano maggiormente distanti dai siti scolastici esistenti fino ad una distanza massima di 5 km.

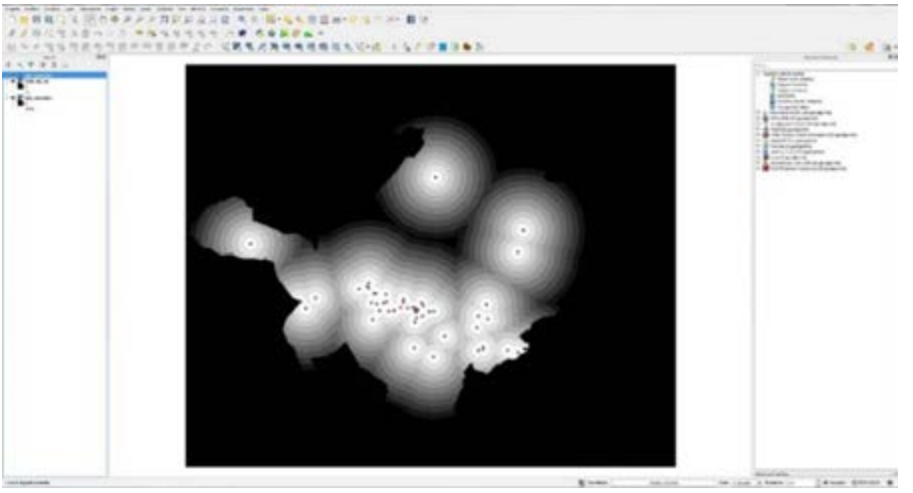


Figura 4.53 - Grid riclassificata relativa alla distanza dai siti ricreativi.

Lo stesso procedimento è possibile ripeterlo per i siti ricreativi, utilizzando le stesse classi di distanza con valori di idoneità però invertiti. Al contrario sono le aree più prossime a questi siti ricreativi ad avere una idoneità maggiore rispetto a quelle situate a distanze più elevate da questi (fig. 4.53). Dal modello digitale del terreno è possibile valutare la maggiore o minore idoneità in funzione del parametro pendenza e di quello relativo alla quota. Per quanto riguarda quest'ultima variabile, le aree a maggiore idoneità sono quelle che si trovano a quote più basse valore che diminuisce man mano che la quota sul livello del mare aumenta. Quindi attraverso il tool "change grid value" è possibile riclassificare il DTM tenendo conto di quanto appena espresso. Le classi utilizzate per la riclassificazione dell'altimetria sono le seguenti:

- < 600;
- 600 – 650;
- 650 – 700;
- 700 – 750;
- 750 – 800;
- 800 – 850;
- 850 – 900;
- 900 – 1000;
- 1000 – 1500;
- > 1500;

Il valore di idoneità è pari a 10 per le zone situate al di sotto dei 600 metri sul livello del mare e risulta essere pari a 1 per ambienti invece di montagna dove le quote superano i 1500 m slm. Dal modello digitale del terreno è possibile anche calcolare le pendenze e poi operare una riclassificazione di queste per classi ben definite in modo da assegnare a ciascuna di esse un valore di idoneità per la realizzazione di un nuovo sito scolastico. L'elaborazione della mappa delle pendenze può essere fatta utilizzando uno degli strumenti illustrati nel paragrafo 3.11. Una volta elaborata la mappa delle pendenze (espresse in percentuale - tool slope di GDAL) è possibile procedere con la riclassificazione e con l'assegnazione di un valore di idoneità. Naturalmente sono le aree relativamente pianeggianti o comunque con valori di pendenza molto bassi ad avere i valori più alti di idoneità mentre le aree maggiormente acclivi avranno sicuramente una idoneità minore. Le classi utilizzate in questo esempio sono le seguenti:

- < 1%;
- 1 – 2 %;
- 2 - 5%;
- 5 – 10%;
- 10 – 15%;
- 15 – 20%;

- 20 – 30%;
- 30 – 40%;
- 40 – 50%;
- > 50%.

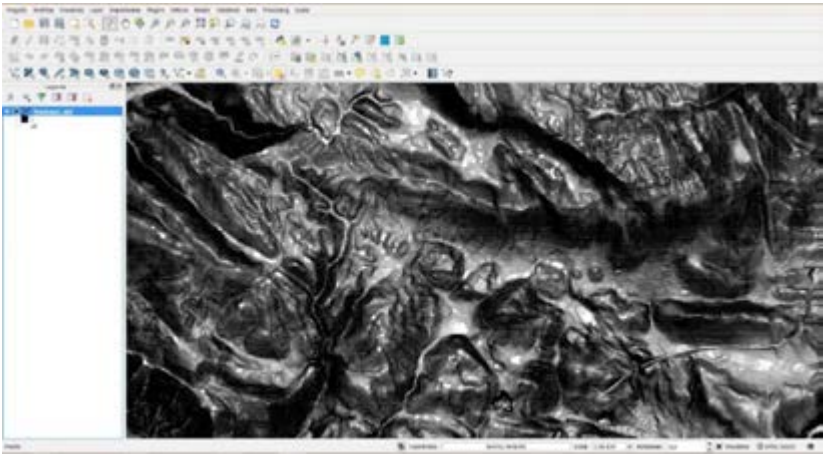


Figura 4.54 - Riclassificazione del layer delle pendenze.

I valori di idoneità vanno dal massimo di 10 (aree con pendenza inferiore all'1%) ad un minimo di 1 (aree con pendenza superiore al 50%) (fig. 4.54). Vediamo ora come lavorare sul file di uso del suolo. Strati informativi di questa natura contengono nella tabella associata uno o più campi che descrivono, in maniera esplicita o attraverso dei codici, l'uso di quella particolare porzione di territorio rappresentata dall'elemento poligonale. La classificazione di uso del suolo maggiormente utilizzata è quella europea Corine Land Cover, già menzionata nei paragrafi precedenti. Il layer di uso del suolo è uno strato informativo vettoriale che deve essere convertito in raster prima di poter essere utilizzato nell'analisi. Appunto per questo conviene creare un nuovo campo all'interno del database per assegnare un valore di idoneità a ciascuna categoria di uso del suolo dopodiché questo campo verrà utilizzato per l'attribuzione del valore di idoneità di ciascun pixel in fase di rasterizzazione. Nell'esempio illustrato vengono attribuiti i seguenti valori di idoneità:

- Territori urbanizzati: **5**;
- Territori agricoli: **8**;
- Aree forestali: **4**;
- Praterie e ambienti seminaturali: **5**;
- Corpi idrici: **No Data**;

L'uso del suolo attraverso l'algoritmo di rasterizzazione viene quindi convertito in raster ed i pixel avranno i valori assegnati in precedenza. Dall'analisi però i corpi idrici vanno esclusi in quanto non rappresentano aree sulle quali è possibile edificare siti scolastici. Va quindi assegnato a questi pixel la dicitura "No Data" in modo escluderle completamente dalle successive analisi di map algebra. In generale la dicitura "No Data" va lasciata per tutte quelle aree che non sono idonee per il tipo di analisi che si sta effettuando in modo da escluderle automaticamente dall'algoritmo finale (ad esempio aree vincolate, aree soggette a rischio idrogeologico o di inondazione…). Anche un'operazione di questa natura si esegue attraverso la riclassificazione del raster. Questa volta però verrà utilizzato il comando r.reclass di GRASS ("Comandi di GRASS GIS – Raster – r.reclass"). La finestra di configurazione è mostrata nella figura 4.55.

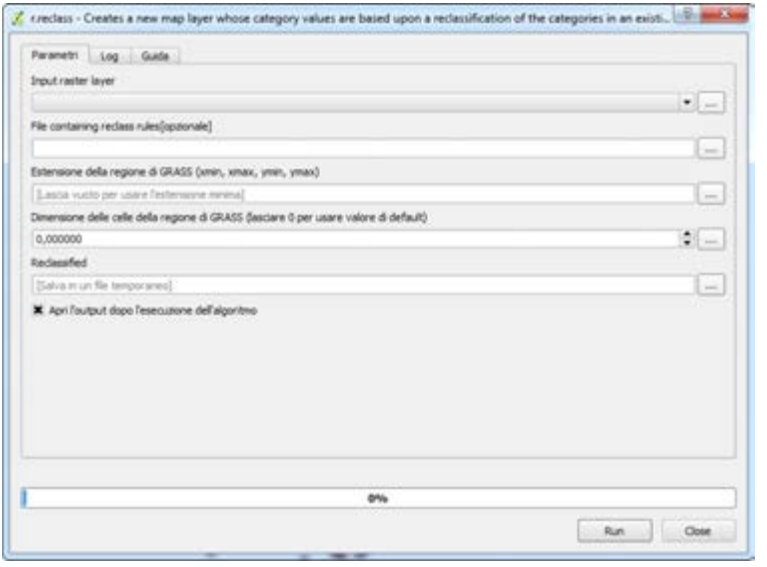


Figura 4.55 - Finestra di configurazione del comando r.reclass.

In input va inserito il layer raster da riclassificare mentre gli intervalli ed i nuovi valori da assegnare a questi vanno trascritti in un file di testo la cui estensione dovrà essere .txt. Una volta elaborato il file andrà inserito nella sezione "File containing reclass rules". Intervalli e nuovi valori andranno scritti utilizzando la seguente formattazione:

Val min thru val max = new value

Nel caso specifico il file è stato elaborato utilizzando i seguenti intervalli:

0 thru 0 = NULL

4 thru 4 = 4

5 thru 5 = 5

8 thru 8 = 8;

Il comando permette anche di effettuare un ricampionamento modificando la risoluzione geometrica di partenza del raster (in caso non si debba modificare, basta lasciare il valore 0 di default nell'apposita sezione). Il risultato sarà quindi un nuovo layer raster all'interno del quale ci saranno alcuni pixel (quelli relativi ai corpi idrici) che avranno assegnata la stringa "No data" escludendole così automaticamente dall'analisi.

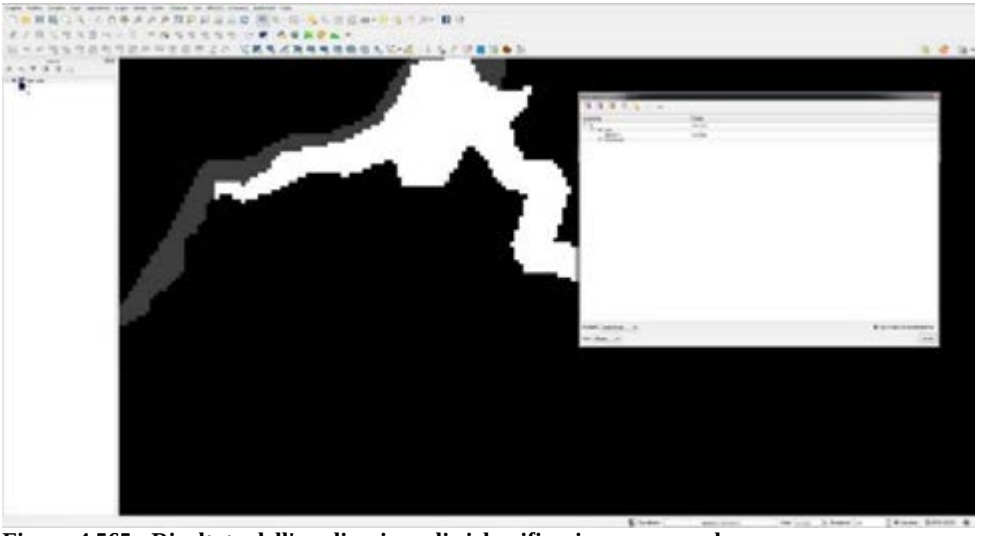


Figura 4.565 - Risultato dell'applicazione di riclassificazione con r.reclass

A questo punto si hanno a disposizione una serie di layer raster con la stessa risoluzione geometrica, la stessa estensione spaziale (superficie comunale) e ambiti tematici differenti ma che concorrono tutti alla maggiore o minore idoneità di una data porzione territoriale alla realizzazione di un nuovo polo scolastico. Si tratta quindi di sovrapporre l'informazione numerica contenuta in questi strati e ottenere in tal modo la mappa di idoneità. Questa operazione di sovrapposizione può essere effettuata attraverso una semplice somma o anche un overlay pesato (in gergo weighted overlay) o un algoritmo implementato a tal fine. E' possibile quindi assegnare ad ogni ambito tematico un peso diverso in funzione della loro maggiore o minore influenza nel determinare l'idoneità di un sito. Naturalmente è necessaria una analisi di dettaglio per determinare con esattezza questo valore ma, nel caso in esame, vengono fissati dei valori arbitrari. In particolare:

- la distanza dai siti ricreativi verrà moltiplicata per 0.4;
- la distanza dai siti scolastici esistenti verrà moltiplicata per 0.2;
- l'uso del suolo verrà moltiplicato per 0.10;
- le classi di pendenza verranno moltiplicate per 0.15;
- le classi altimetriche verranno moltiplicate per 0.15.

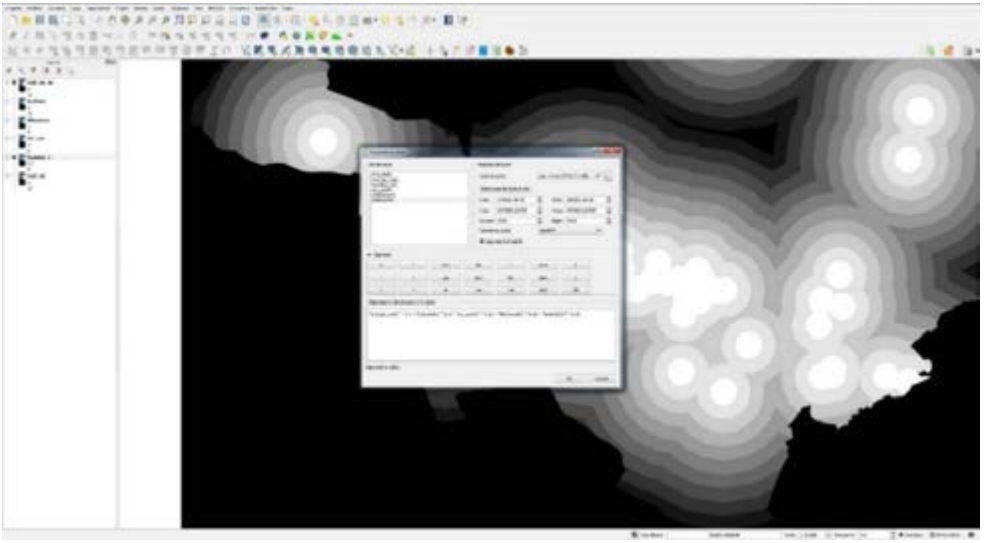


Figura 4.57 - Calcolatore raster per l'elaborazione della mappa di idoneità

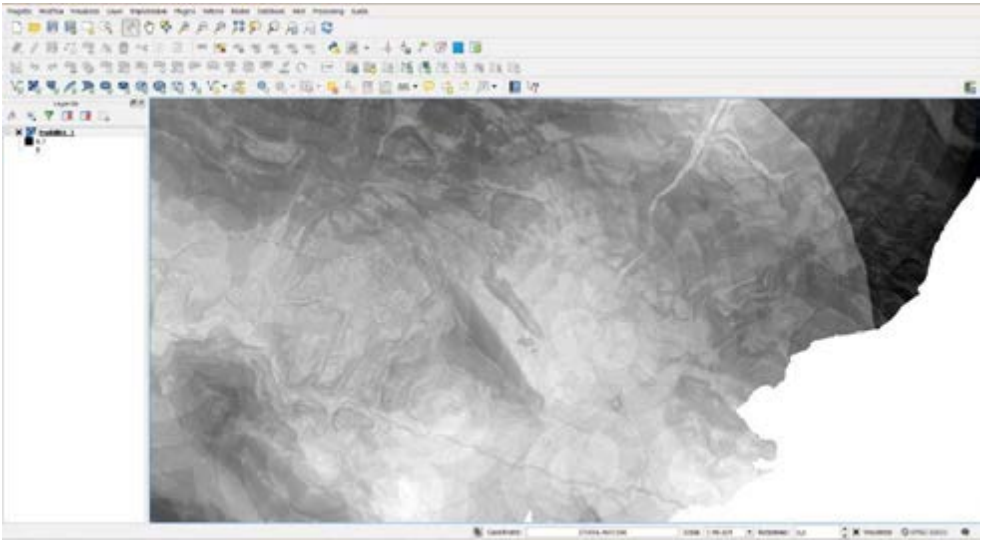


Figura 4.58 – Mappa di idoneità per la realizzazione di una nuova scuola.

L'operazione va eseguita utilizzando il calcolatore raster presente nel menù a tendina "Raster". Il risultato è quindi un layer raster (il cui formato può essere scelto tra quelli disponibili) che avrà al suo interno pixel con valore "no data" per quelle aree che sono state escluse dall'analisi mentre il dominio di validità dei restanti pixel oscillerà tra 0 (idoneità nulla) e 10 (aree a maggiore idoneità). La mappa risultante è quella mostrata in figura 4.58. E' possibile a questo punto operare una classificazione del raster in modo da tematizzarlo e visualizzare geograficamente le aree a maggiore idoneità. La classificazione utilizzata è quella indicata di seguito:

- 0 – 2: aree ad idoneità molto bassa;
- 2 – 4: aree ad idoneità bassa;
- 4 – 6: aree ad idoneità media;
- 6 – 8: aree ad idoneità alta;
- 8 – 10: aree ad idoneità molto alta.

Il calcolatore raster può essere utilizzato anche per estrarre ad esempio le aree a maggiore idoneità (valore pari o superiore a 7) e isolarle dal resto della mappa. La finestra di configurazione di questo tool funziona allo stesso modo del costruttore di interrogazioni per un layer di tipo vettoriale per cui è possibile quindi interrogare lo strato raster ed estrapolare solo le informazioni di nostro interesse. La figura 4.60 mostra appunto il risultato di questa operazione di interrogazione; il layer risultante (archiviato come un file raster a se stante) può assumere solo due valori 0 (attribuito a quei pixel che non soddisfano la query) 1 (attribuito a quei pixel che invece la soddisfano). Ancora, possono essere effettuate anche query specifiche su più strati raster contemporaneamente: ad esempio utilizzando i layer dell'altimetria e delle pendenze è possibile conoscere quali sono le aree che si trovano al di sopra di una certa quota e contestualmente rientrano in un determinato range di pendenza. Il calcolatore raster è un potente strumento di analisi territoriale che permette di combinare più informazioni presenti in formato raster e di ottenere risultati con tempistiche nettamente inferiori rispetto alle medesime svolte però su base vettoriale. La stessa operazione se fatta con i layer in quest'ultimo formato era equivalente ad una serie di intersezioni con la creazione di layer molto articolati da un punto di vista geometrico e di campi nel database, di gestione non semplice soprattutto per utenti meno esperti. Il calcolatore raster facilita notevolmente l'analisi e risulta essere uno strumento territoriale molto semplice da utilizzare. Una mappa di idoneità come quella elaborata in questo esempio può quindi essere implementata utilizzando anche altre variabili (distanza dagli assi viari, localizzazione dell'utenza di un determinato servizio…) e risultare quindi uno strumento di fondamentale importanza per la gestione e la localizzazione dei servizi pubblici all'interno di un dato territorio (comunale o intercomunale). Come abbiamo visto è possibile escludere direttamente delle aree (si pensi ad esempio alle aree a rischio idrogeologico), assegnare un peso diverso alle variabili considerate, inserire

ulteriori strati informativi per meglio comprendere la realtà territoriale di un dato ambito geografico. Operazioni di questa natura giocano un ruolo chiave nel disegno di piano o anche nella definizione delle alternative nei processi valutativi potendo inserire nell'analisi anche informazioni legate all'aspetto prettamente ambientale.

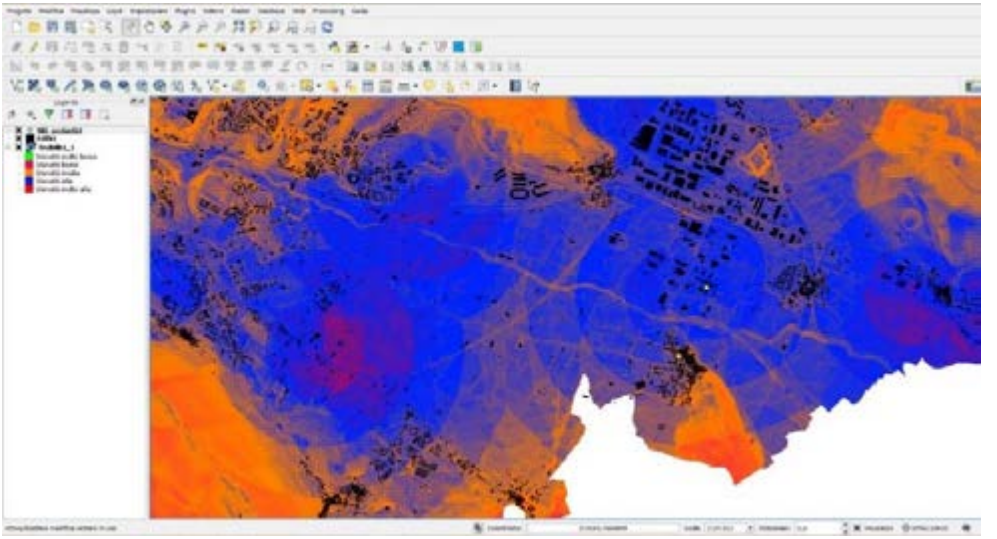


Figura 4.596 - Particolare della mappa di idoneità, in blu sono riportate le aree ad alta idoneità per la costruzione di una nuova scuola.

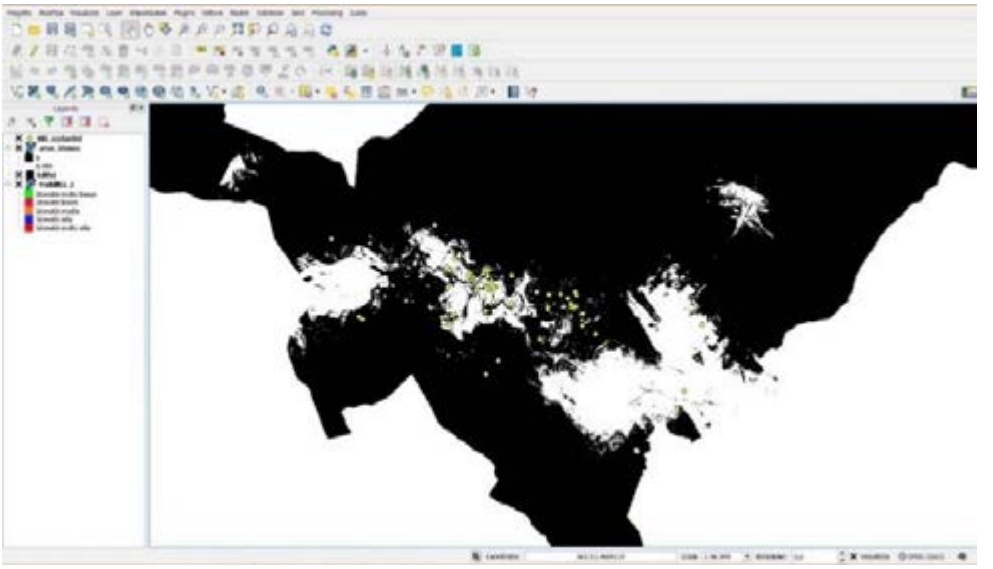


Figura 4.60 - Estrazione delle aree a maggiore idoneità per la localizzazione di un complesso scolastico.

Box 4.1. Applicazioni GIS per la valutazione del rischio idraulico nell'ambito dell'attuazione della Direttiva Alluvioni. *Anna Rita SCORZINI*

Le alluvioni sono riconosciute tra i fenomeni naturali più pericolosi per l'uomo e le sue attività (Cellerino 2004; Barredo 2007; Lugeri et al. 2010). Basti pensare che nell'ultimo decennio in Europa sono state registrate oltre 200 gravi inondazioni, con un bilancio complessivo di circa 1100 vittime, l'evacuazione di circa mezzo milione di persone e almeno 52 miliardi di Euro di perdite economiche (EEA 2010). Si stima inoltre che la crescita della popolazione e l'accumulo di beni sul territorio siano destinati a crescere negli anni, così come la frequenza e l'intensità degli eventi estremi a causa dei cambiamenti climatici, aggravando in modo consistente il quadro generale di rischio (Milly et al. 2002). Negli ultimi anni, partendo dalla constatazione che la protezione contro le alluvioni in senso totale non sia né attuabile né perseguibile (Schanze 2006), approcci basati sul concetto di rischio idraulico stanno sempre più assumendo il ruolo di elemento chiave per la predisposizione di strategie volte alla prevenzione e gestione della difesa idraulica del territorio (Sayers et al. 2002; Merz et al. 2010). Ciò costituisce evidentemente il superamento dell'approccio tradizionale basato sul controllo della pericolosità, ovvero della probabilità di accadimento. In tal modo il livello di protezione viene ad essere determinato da considerazioni più vaste, tenendo in considerazione gli impatti negativi delle piene, piuttosto che delle soglie di sicurezza prestabilite. Questo nuovo approccio ha trovato la sua espressione a livello legislativo nella Direttiva 2007/60/CE ("Direttiva Alluvioni"), la quale ha posto tra i suoi obiettivi quello di istituire un quadro per la valutazione e gestione del rischio idraulico, volto a ridurre le conseguenze negative prodotte dagli eventi alluvionali per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche nei Paesi membri della Comunità, attraverso l'attuazione di tre fasi successive:

1. Valutazione preliminare del rischio;

2. Redazione delle mappe di pericolosità e rischio;

3. Predisposizione del Piani di Gestione del rischio.

In ambito idraulico, coerentemente con la definizione comunemente accettata a livello internazionale (e.g. Sayers et al. 2002), il rischio R può essere espresso nel seguente modo:

$$R = P \cdot E \cdot V = P \cdot D \tag{1}$$

dove:

• P indica la pericolosità, ossia la probabilità di accadimento di un determinato evento alluvionale nell'area di interesse;

• E sta a rappresentare l' "esposizione", ovvero gli elementi esposti a rischio (individui, beni materiali, infrastrutture, ecc.);

• V denota la vulnerabilità dei beni esposti (ovvero la loro attitudine ad essere danneggiati in caso di allagamento).

Quindi, indicato con D il prodotto degli ultimi due termini, il rischio, nella sua forma più generale, viene ad essere definito come la combinazione della probabilità di accadimento di un evento alluvionale e del danno potenziale ad esso associato. È inoltre possibile fornire una misura quantitativa del rischio in termini economici, facendo riferimento al valor medio annuo dei danni causati (Merz et al. 2009), esprimibile attraverso la seguente relazione:

$$R = EAD = \int_0^{\infty} D \cdot f_h(h)dh \qquad (2)$$

dove:

• R è il valore atteso medio annuo del danno di piena (indicato nella letteratura anglosassone come EAD, expected annual damage);

• D è il valore aleatorio del danno che si verifica con una probabilità fh (h)dh;

• fh(h) è la funzione di densità di probabilità.

Come già accennato, all'adozione di un approccio basato sul rischio consegue il venir meno di una progettazione delle opere di mitigazione funzione di un'unica determinata forzante di progetto, sostituita invece dall'analisi di tutto uno spettro di eventi, comprendenti anche quelli caratterizzati da un tempo di ritorno superiore a quello di progetto. Con la gestione del rischio si tende dunque a porre particolare enfasi sulla riduzione degli esiti indesiderati causati dalle piene, piuttosto che utilizzare approcci prescrittivi in risposta a particolari eventi. Inoltre, la conoscenza quantitativa del rischio (in termini economici) può fornire una solida base per i processi decisionali relativi alla pianificazione di bacino, ponendo particolare attenzione all'adeguatezza della misure da implementare, ovvero a stabilire se le risorse economiche da investire siano proporzionate all'entità del rischio stesso, valutando quindi il rapporto tra i costi ed i benefici associati ad una determinata

opera. In relazione alle due definizioni (1) e (2), la procedura per la determinazione del rischio viene ad essere costituita dalle seguenti fasi:

• valutazione della pericolosità, in funzione delle caratteristiche idrologiche e idrauliche del bacino idrografico, delle caratteristiche morfologiche dell'alveo e delle adiacenti aree inondabili;

• valutazione del danno potenziale, in relazione alla tipologia e vulnerabilità degli insediamenti e alla presenza antropica nelle aree inondabili.

Come illustrato di seguito, ciascuna delle due fasi può essere condotta in ambiente GIS a diversi livelli di dettaglio, seguendo approcci differenti e ottenendo come risultato delle analisi varie tipologie di informazioni, che possono andare da un livello qualitativo, in cui il rischio viene rappresentato attraverso una combinazione matriciale della pericolosità e del danno opportunamente classificati, utile per la mera localizzazione delle aree a rischio, fino ad un approccio di tipo quantitativo (a micro/meso scala), basato sulla definizione (2), particolarmente efficace, ad esempio, nelle analisi costi-benefici per la pianificazione e progettazione degli interventi di mitigazione.

Procedure per la valutazione e gestione del rischio

Valutazione della pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica può essere determinata utilizzando metodi di diversa complessità, funzione della quantità di dati, risorse e tempo disponibili. Pur in questa varietà, la base concettuale è piuttosto generale e consistente essenzialmente in due fasi, una di tipo idrologico e l'altra di tipo idraulico: la prima ha ad oggetto la valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena a diversi tempi di ritorno, attraverso analisi statistiche e di regionalizzazione, mentre la seconda è volta alla determinazione delle condizioni di deflusso dei corsi d'acqua per le portate idrologiche stimate e alla delimitazione delle aree potenzialmente inondabili, in funzione dei parametri idraulici ad esse associati (normalmente tiranti idrici e velocità). Per questo secondo punto, la modellistica numerica, a partire dai più semplici modelli 1D, a quelli accoppiati 1D/2D e ai 2D (e.g. Apel et al. 2009; Paiva et al. 2011) costituisce un importante strumento di analisi, permettendo l'individuazione delle aree inondabili attraverso l'intersezione dell'informazione idraulica con il modello digitale del terreno. La restituzione grafica dei risultati può essere espressa evidenziando i tiranti idrici che si realizzano puntualmente su piano campagna, così come da output della modellazione numerica 1D/2D o 2D, ad esempio sottoforma di griglie a maglie quadrate (Figura b4.1.1a), oppure in termini di "mappe di allagamento" (Figura b4.1.1b), come adottato generalmente nella maggior parte dei Piani predisposti dalle Autorità di Bacino (Ministero

dell'Ambiente, 2013), in ottemperanza ai requisiti richiesti dalla Direttiva 2007/60 e D.Lgs. 49/2010, ottenendo una distribuzione della pericolosità idraulica in classi, attraverso una zonizzazione in funzione del limite di inondazione ed eventualmente dei valori di altezza d'acqua e velocità della corrente, per scenari caratterizzati da diversi tempi di ritorno, quali:

• 20-50 anni, eventi ad elevata probabilità di accadimento;

• 100-200 anni, eventi a media probabilità di accadimento;

• 200-500 anni, eventi a bassa probabilità di accadimento.

Ad esempio, nel vigente Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) della Regione Abruzzo (2005) vengono distinte quattro classi di pericolosità, definite come riportato in Tabella b4.1.1. È evidente come la scelta della tipologia di rappresentazione del dato relativo alla forzante idraulica abbia ripercussioni sulle successive elaborazioni per la determinazione del rischio. Alla metodologia di suddivisione della pericolosità in classi sarà associato un analogo procedimento per la valutazione del danno potenziale, mentre l'utilizzo dei raster contenenti le informazioni puntuali per i diversi scenari, così come in Figura 1a, risulterà idoneo per un'analisi, su base quantitativa, capace di fornire informazioni aggiuntive sugli scenari di rischio (i.e. gli effetti economici prodotti da eventi alluvionali), utili nei processi decisionali per la predisposizione dei Piani di Gestione.

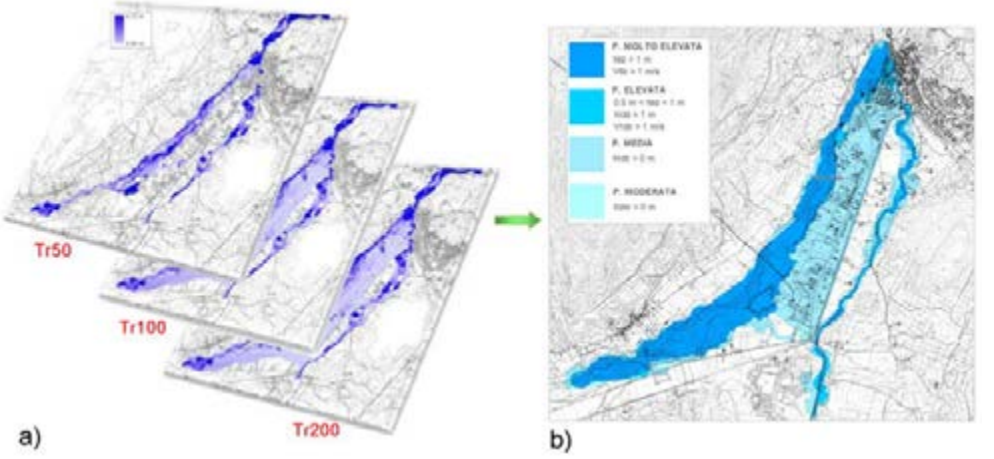


Figura b4.1.1. Valutazione della pericolosità idraulica: a) rappresentazione puntuale mediante raster dei tiranti idrici; b) zonizzazione in classi di pericolosità.

Classi di pericolosità		Caratteristiche idrauliche
P4	Pericolosità molto elevata	h_{50} >1 m ; v_{50} >1 m/s
P3	Pericolosità elevata	0.50 m < h_{50} < 1 m; h_{100} >1 m ; v_{100} >1 m/s
P2	Pericolosità media	h_{100} > 0 m
P1	Pericolosità moderata	h_{200} > 0 m

Tabella b4.1.1. Definizione delle classi di pericolosità nel PSDA (Regione Abruzzo, 2005)

Valutazione del danno potenziale e del rischio

Metodologia "qualitativa"

La prima metodologia riguarda una valutazione del danno, e conseguentemente del rischio, di tipo qualitativo, per classi di gravosità, idonea soprattutto per una pianificazione di bacino a larga scala, per la quale una valutazione quantitativa, in termini economici, potrebbe risultare particolarmente onerosa, per la mole di informazioni necessarie. L'obiettivo finale di tale approccio è dunque quello di avere un quadro conoscitivo di dettaglio sulle diverse forme di uso del suolo, con lo scopo di valutare e localizzare il danno potenziale correlato a fenomeni di inondazione. La ricognizione dei beni esposti è in genere basata, inizialmente, sulla lettura dell'uso del suolo, desunto dalla cartografia tecnica regionale a scala 1:5000, dalle ortofoto e dai vincoli stabiliti sul territorio dai vari livelli di pianificazione. A questo può venir associato un secondo livello informativo di maggiore dettaglio, che tende ad aumentare il grado di definizione territoriale dei beni esposti, della vulnerabilità, del danno e quindi del rischio, fino a raggiungere la dimensione di singoli insediamenti significativi, quali ad esempio strutture pubbliche e/o strategiche, insediamenti produttivi maggiori, infrastrutture principali e secondarie, non desumibili dalla documentazione cartografica e di pianificazione. Il risultato grafico di tali operazioni è rappresentato da quella che può essere definita "Mappa degli insediamenti" (Figura b4.1.2a), nella quale gli elementi a rischio vengono ad essere raggruppati in classi, come ad esempio:

1) Aree urbanizzate (comprendente: agglomerato urbano, case sparse, aree servizi pubblici e privati, aree ricreative e sportive, aree verdi urbane, aree industriali, commerciali e artigianali, autostrade, ferrovie, aeroporti, strade);

2) Infrastrutture a rete e impianti tecnologici (comprendente: infrastrutture a rete, aree estrattive, discariche, impianti a rischio);

3) Aree agricole (seminativi e colture permanenti);

4) Aree vegetate (aree boscate e a vegetazione naturale);

5) Aree protette (comprendente: parchi, riserve, SIC e ZPS);

6) Beni ambientali, storici, culturali e archeologici.

La "Mappa del danno potenziale" (Figura b4.1.2b) è quindi ottenibile agendo sulla tabella degli attributi del layer della "Mappa degli Insediamenti", andando ad associare a ciascuna categoria di uso del suolo una classe del danno potenziale (molto alto, alto, moderato, basso) in funzione della sua esposizione, come di seguito suggerito nelle linee guida del Ministero dell'Ambiente (2013):

• Aree D4 (Danno potenziale molto elevato): in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico-ambientali (sono incluse ad esempio in questa classe: aree residenziali, aree interessate da attività economiche rilevanti, strutture strategiche (e.g., scuole/ospedali), infrastrutture strategiche, beni ambientali, storici, culturali di rilevante interesse);

• Aree D3 (Danno potenziale alto): in cui possono verificarsi problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico (sono incluse ad esempio in questa classe: aree estrattive, discariche, aree ricreative e sportive);

• Aree D2 (Danno potenziale moderato): in cui sono possibili limitati effetti sulle persone e sul tessuto socioeconomico (sono incluse ad esempio in questa classe le aree destinate sostanzialmente ad attività agricole (colture permanenti) o a verde pubblico);

• Aree D1 (Danno potenziale basso): in cui i danni prodotti dalle piene posso considerarsi trascurabili o nulli (sono incluse ad esempio in questa classe: aree agricole non pregiate (seminativi), aree boscate e a vegetazione naturale).

Combinando successivamente le zonizzazioni del danno potenziale (Figura b4.1.2b) e della pericolosità idraulica (Figura b4.1.2c) attraverso una matrice di rischio (Figura b4.1.2d) è possibile ottenere la mappatura delle aree a diverso livello di rischio (Figura b4.1.2d), definite come segue (Ministero dell'Ambiente 2013):

• Aree R4 (rischio molto elevato): in cui sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

• Aree R3 (rischio elevato): in cui sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;

• Aree R2 (rischio medio): in cui sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

• R1 (rischio moderato o nullo): in cui i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili.

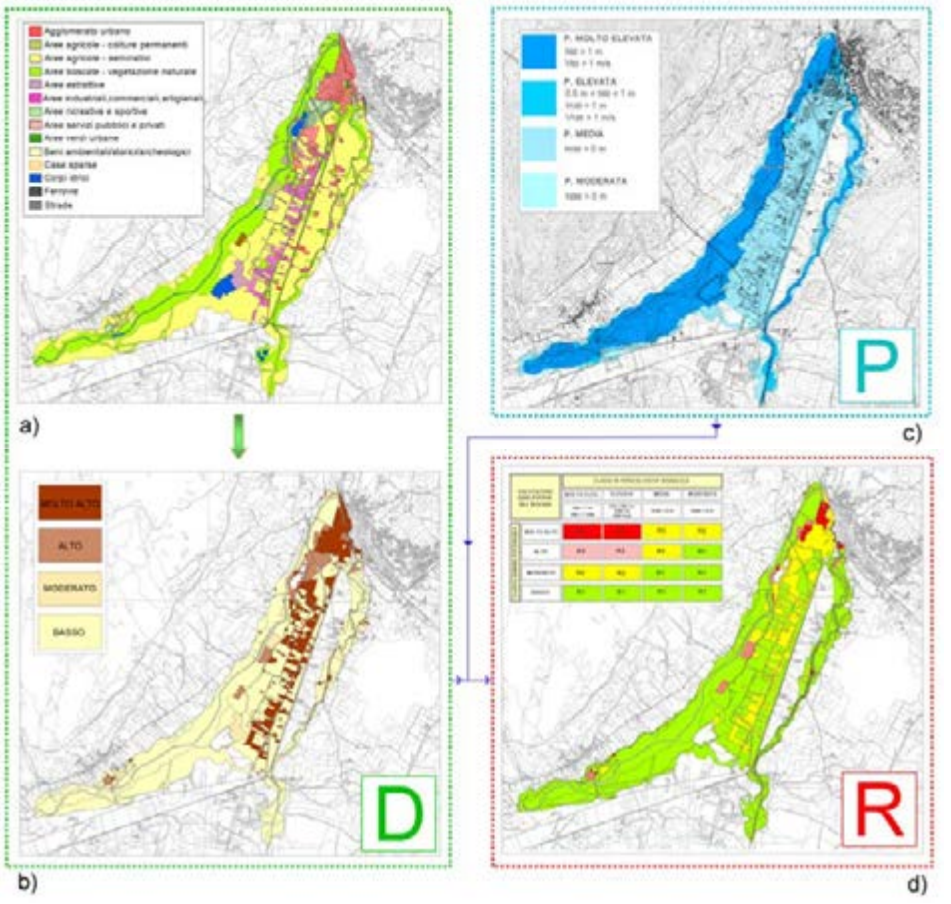


Figura b4.1.2. Valutazione qualitativa del rischio: a) "Mappa degli Insediamenti" (adattato da Regione Abruzzo 2013); b) Mappa del danno potenziale; c) Mappa della pericolosità idraulica; d) Mappa e matrice del rischio.

Metodologia "quantitativa"

Di seguito viene invece introdotto l'approccio per la valutazione quantitativa del rischio, espresso in termini monetari, utilizzando quale indicatore il danno medio annuo atteso (2). Fermo restando il calcolo delle aree allagate e dei parametri idraulici puntuali caratterizzanti i vari scenari per i diversi tempi di ritorno mediante un modello idrodinamico 1D/2D o 2D (così come in Figura b4.1.1a), l'iter concettuale seguito per la stima dei danni, implementabile in ambiente GIS su base raster, può essere riassunto con i punti riportati di seguito e schematizzato nelle Figure b4.1.3 e b4.1.4.

• *Valutazione del grado di danneggiamento degli elementi esposti, in funzione delle caratteristiche dell'evento*

Le curve di danno o di vulnerabilità rappresentano l'elemento chiave per predire, per una determinata tipologia di bene esposto, il valore delle perdite economiche prodotte da un evento alluvionale in funzione delle caratteristiche idrauliche di quest'ultimo, in genere rappresentate principalmente dall'altezza d'acqua raggiunta. Tale approccio, proposto già a metà del secolo scorso negli Stati Uniti (White 1945; 1964), solo negli ultimi anni ha ricevuto particolare impulso, diventando uno standard de facto per la quantificazione dei danni alluvionali. La letteratura fornisce un ampio spettro di curve, tipicamente desunte da rilievi ex-post (di natura empirica), o basate su giudizio esperto (di natura sintetica) o da una combinazione dei due (di natura empirico-sintetico), relative a differenti scale spaziali e settori accomunati da un medesimo comportamento nei confronti della risposta, in termine di danno, alle forzanti idrauliche (Merz et al. 2010; Messner et al. 2007). Le curve di vulnerabilità sono classificabili in due famiglie, di tipo assoluto e relativo, con le prime che esplicitano il danno atteso, in funzione dell'altezza d'acqua, direttamente in termini monetari e le seconde che lo esprimono come perdita percentuale del valore totale del bene esposto. Per loro natura, quest'ultime richiedono quindi in input l'informazione sul valore locale degli elementi a rischio, cosa invece non necessaria per quelle di tipo assoluto, che però, al tempo stesso, risultano di più difficile trasferibilità da un contesto all'altro, richiedendo inoltre un continuo aggiornamento nelle stime dei valori economici esprimenti il danno. Quindi, per ogni scenario alluvionale di dato tempo di ritorno, per il quale sia stata condotta un'analisi idraulica e per il quale sia disponibile un raster dei livelli idrici risultanti su piano campagna (Figura b4.2.3a), la valutazione del grado di danneggiamento degli elementi esposti viene effettuata introducendo le suddette curve relative di danno (Figura b4.1.3b). Operando in GIS con lo strumento "Riclassifica", associando a ciascun valore del tirante il corrispettivo danno percentuale desumibile dalle curve di vulnerabilità (diverse a seconda dei beni esposti), i raster relativi alle altezze di inondazione

vengono dunque ad essere portatori delle informazioni relative al grado di danneggiamento per ciascuna cella di calcolo (Figura b4.1.3c).

• *Identificazione dei beni presenti nell'area soggetta ad allagamento e attribuzione di un valore economico agli elementi esposti*

Tale analisi, eseguibile a diverse scale spaziali, è basata sulla conoscenza della localizzazione, destinazione d'uso e tipologia delle strutture presenti nell'area inondabile. Nell'ipotesi di analisi a meso-scala, per la valutazione dell'esposizione è possibile far riferimento alle informazioni derivanti dalla carta regionale dell'uso del suolo, della carta tecnica regionale al 5000 e della "Carta degli insediamenti" (Regione Abruzzo, 2013), in modo analogo a quanto fatto nell'approccio qualitativo. A partire da questi dati, il territorio può essere classificato in aree omogenee per destinazione d'uso (come ad esempio settore agricolo, industriale/commerciale e residenziale) procedendo, per ognuna di esse, all'attribuzione dei rispettivi valori economici unitari. In questo modo, per le singole aree esposte a rischio può essere creato un layer, riclassificato sulla base del valore economico unitario [€/m^2] attribuito ad esse, successivamente convertito in formato raster (Figura b4.1.4), in modo da risultare omogeneo con l'informazione relativa agli scenari idraulici.

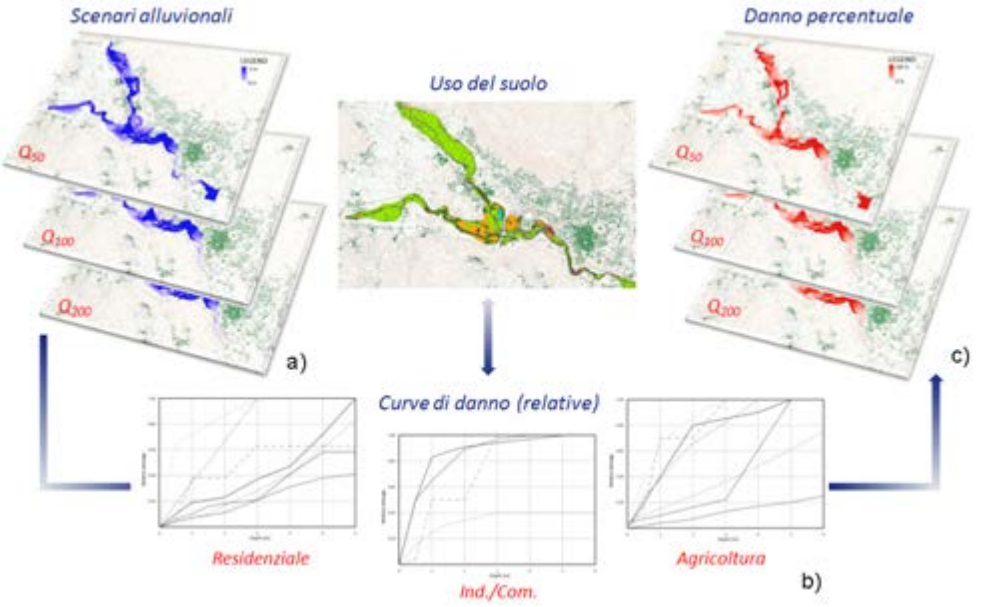


Figura b4.1.3. Schema concettuale per la valutazione quantitativa del rischio: valutazione del grado di danneggiamento degli elementi esposti per mezzo delle curve di vulnerabilità

Per determinare il valore economico delle aree a destinazione agricola è possibile far riferimento ai valori agricoli medi dei terreni nelle aree di studio, tenendo conto della tipologia delle colture praticate e delle informazioni sul dato provinciale relativo alla produzione annuale per ettaro e ai prezzi all'origine dei vari prodotti. I valori associati al tessuto residenziale, industriale e commerciale sono stimabili sulla base dell'intersezione delle informazioni relative alle stime comunali della Banca dati delle quotazioni immobiliari dell'Agenzia delle Entrate e alla densità insediativa in ciascuna unità di uso del suolo (calcolando la percentuale di area effettivamente edificata), in modo da distinguere le aree di una stessa tipologia per valore economico, in funzione del numero di edifici presenti. Per il settore residenziale è inoltre possibile tener conto dell'incidenza dei beni mobili non registrati, ipotizzando, sulla base di studi presenti in letteratura, un loro valore pari al 20-50% di quello attribuito ai beni immobili. Per il settore industriale e commerciale, invece, il valore del contenuto è determinabile disaggregando il dato regionale relativo all'ammontare degli investimenti fissi, in funzione del numero di addetti presenti in ogni zona censuaria (su base dati ISTAT), ripartiti sulla superficie di ogni unità di uso del suolo considerata (Figura 4.1.4a).

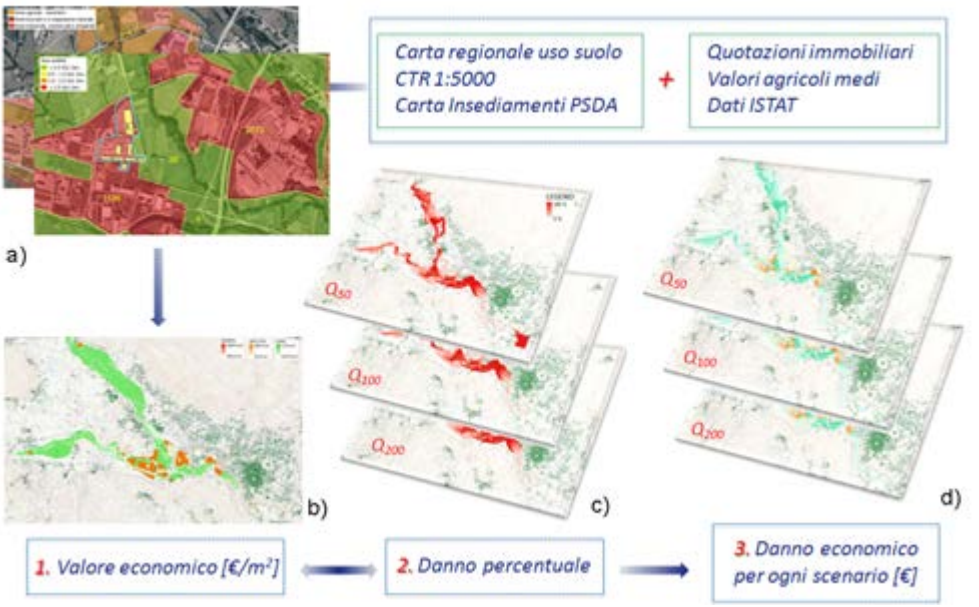


Figura b4.1.4. Schema concettuale per la valutazione quantitativa del rischio: attribuzione dei valori economici unitari ai beni esposti e calcolo del danno per ogni scenario

• *Quantificazione, per ciascun tempo di ritorno, della perdita di valore (danno economico)*

È possibile quantificare il danno economico [€] associato all'accadimento di un evento alluvionale di caratteristiche note per ogni cella di calcolo eseguendo il prodotto tra i raster rappresentanti i valori economici unitari dei beni [€/m^2] (Figura b4.1.4b) e il grado di danneggiamento per singolo settore [%] (Figura b4.1.4c), così come definito precedentemente, e moltiplicando il tutto per l'area delle singole celle di calcolo [m^2]. Il danno totale su tutta l'area di indagine sarà ovviamente dato dalla somma dei danni calcolati in ogni singola cella.

• *Calcolo del danno medio annuo atteso*

Il danno medio annuo atteso, inteso come indicatore quantitativo di rischio, viene quindi ad essere determinato sulla base della discretizzazione dell'equazione (2):

$$EAD = \sum_{j=1}^{N} \Delta P_j \cdot D_j \tag{3}$$

in cui ΔPj e Dj sono rispettivamente la differenza tra le probabilità di superamento e la media dei danni attesi tra due eventi di probabilità di superamento Pj e Pj+1, con N pari al numero di eventi di piena caratterizzati da diverse probabilità di superamento.

• *Esempio di output ottenibile con la metodologia quantitativa*

Oltre alle informazioni sul danno economico totale atteso, è possibile visualizzare i risultati della metodologia quantitativa su esposta anche attraverso delle mappe, che possono essere generate a diversi livelli di aggregazione, dalle unità minime di calcolo (risoluzione dei raster in input) fino alla scala comunale/provinciale (un esempio è illustrato in Figura b4.1.5 per il bacino del Sangro-Aventino). Tale flessibilità consente di utilizzare i risultati delle analisi per diversi scopi: se il primo tipo di restituzione consente di valutare la variabilità puntuale del danno, identificando in modo esatto le aree a maggior rischio, il secondo può costituire un utile strumento a supporto dei processi decisionali per la messa in atto di misure di prevenzione e protezione, permettendo ad esempio la sensibilizzazione degli amministratori locali informandoli sull'entità del danno atteso nei territori di loro competenza.

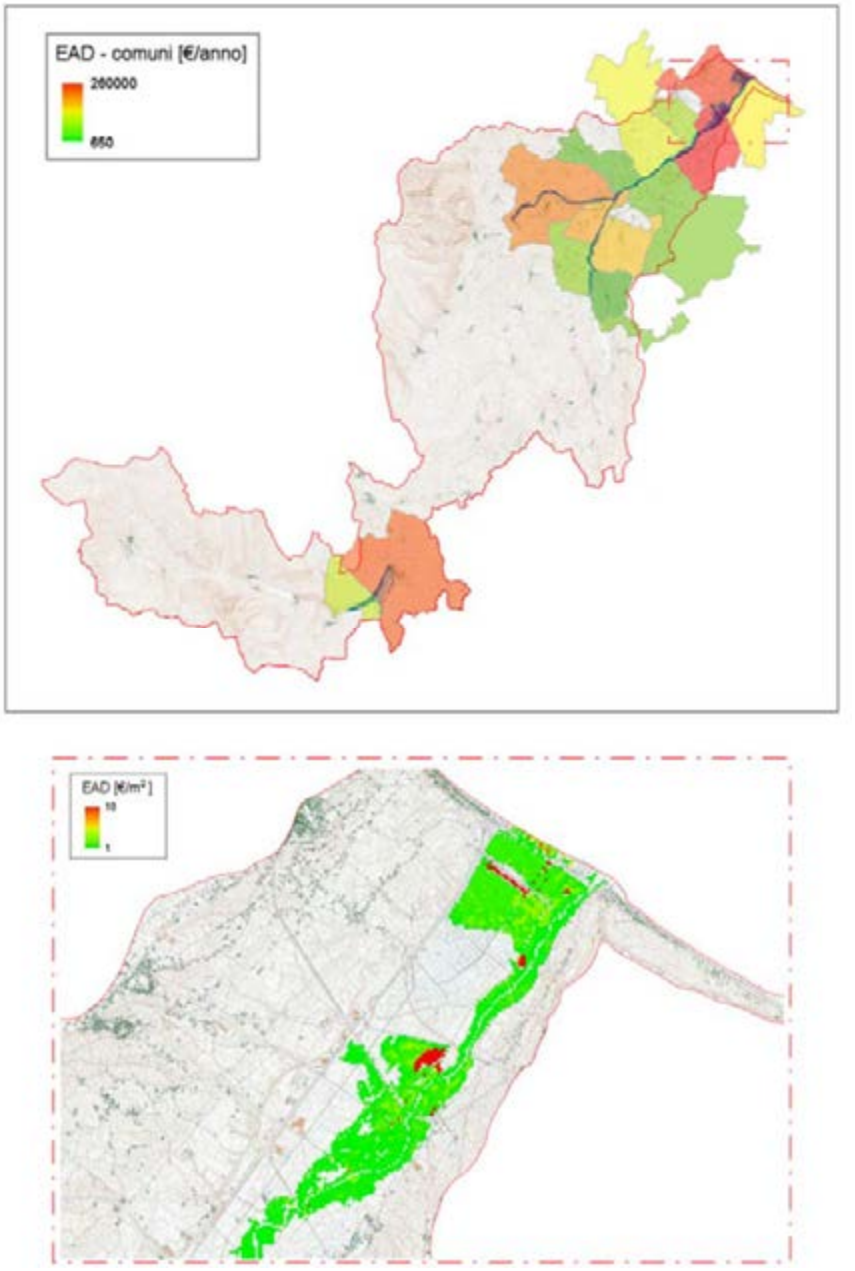


Figura b4.1.5. Esempio di mappe del rischio in termini quantitativi: a) danno medio annuo atteso aggregato su base comunale; b) danno medio annuo atteso per unità minime di calcolo (Bacino del Sangro-Aventino)

Osservazioni conclusive sugli approcci per la valutazione del rischio

La metodologia qualitativa per l'analisi del rischio, pur costituendo ormai un approccio pressoché standard utilizzato da tutte le Autorità di Bacino nazionali, presenta delle criticità nei confronti dell'ottemperanza alle prescrizioni della Direttiva Alluvioni per quel che riguarda la predisposizione dei Piani di Gestione del rischio (art.7), non consentendo la stima economica dei danni attesi su cui basare le analisi costi-benefici. In tale contesto, la metodologia quantitativa, a fronte di una maggiore complessità, può esser vista come uno strumento fondamentale ed imprescindibile per i processi decisionali di programmazione e progettazione delle misure di mitigazione del rischio, permettendo di valutarne l'efficienza economica e di giustificarne gli investimenti, nell'ottica di un'analisi costi-benefici. Se quindi l'adozione di un approccio del primo tipo, costituente una mera mappatura, seppur di dettaglio, degli scenari a diversa pericolosità e rischio, può essere ancora utile ai fini della regolamentazione dell'uso del suolo e della localizzazione delle aree di intervento, incontra invece dei limiti per analisi di dettaglio riguardanti la scelta delle misure di gestione del rischio, richiedendo quindi necessariamente il passaggio alla seconda metodologia, con tutte le complicazioni che ne conseguono dal punto di vista della modellazione (basti osservare in Tabella b4.1.2 la quantità e il tipo di parametri necessari per il perseguimento dei due diversi obiettivi appena citati).

Parametri	**Pianificazione uso del suolo**	**Gestione del rischio**
Estensione area inondabile	E	E
Tirante idraulico	d	E
Velocità della corrente	d	d
Trasporto solido		d
Tipo elementi esposti	E/d	E
Vulnerabilità		E

Essenziale Desiderabile Essenziale/desiderabile

Tabella b4.1.2 Parametri necessari in input per diversi usi nella valutazione del rischio

BOX 4.2 L'uso del GIS nelle valutazioni ambientali: alcuni esempi applicati alla pianificazione e progettazione infrastrutturale. *Serena CIABO'*.

Tra le procedure che hanno contribuito maggiormente all'affermazione dei software GIS come strumenti di uso comune, nonché allo sviluppo di programmi open source, vanno senza dubbio annoverate le diverse forme di valutazione ambientale (Abbozzo et al. 2009, Geneletti, 2000a, Beinat et al. 1999, Haklay e Feitelson 1998, Patrono 1998), ormai divenute procedimenti di routine in seguito all'obbligatorietà introdotta da norme nazionali e internazionali (Tabella b4.2.1).

STRUMENTO	TARGET	RIFERIMENTI NORMATIVI EUROPEI	RECEPIMENTO IN ITALIA
Valutazione di Impatto Ambientale (VIA)	Progetti di opere	Direttiva 85/337/CEE Direttiva 97/11/CE	Legge 8 luglio 1986, n. 349 e s.m.i.
Valutazione Ambientale Strategica (VAS)	Piani e programmi	Direttiva 2001/42/CE	Parte seconda del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.
Valutazione di Incidenza Ambientale (VIncA)	Progetti e piani/programmi che possono avere effetti sui Siti Natura 2000	Direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat)	D.P.R. 357/97 e s.m.i.

Tabella b4.2.1 – Caratteristiche delle principali procedure di valutazione ambientale

I processi valutativi, benché indirizzati ad analizzare gli effetti sul territorio di opere e strumenti di natura e scala diversa, sono accumunati da un percorso logico simile che accompagna l'elaborazione progettuale o programmatica in oggetto e che prevede i seguenti passaggi fondamentali:

1. L'analisi dello stato di fatto dell'ambito territoriale
2. La valutazione ex ante dei possibili impatti causati dall'eventuale attuazione del piano/progetto esaminato sulle diverse componenti biotiche e abiotiche
3. La configurazione di diversi scenari e/o alternative progettuali
4. L'informazione, la consultazione e la partecipazione del pubblico

5. L'espressione di un giudizio di compatibilità finale

6. Il monitoraggio ex post degli impatti effettivi ed una gestione adattativa delle diverse fasi di attuazione del piano/progetto.

Data la natura spaziale di molti impatti ambientali e delle informazioni richieste nei vari step, i Sistemi Informativi Geografici (GIS) hanno una vasta applicazione in tutte le fasi elencate, in quanto, secondo un approccio di "spatial thinking" (Eta et al. 2014; Campo, 2012), consentono la composizione di un quadro integrato per l'intero processo, che comprende la generazione, l'archiviazione, e la visualizzazione delle informazioni tematiche relative alla vulnerabilità e/o la sensibilità delle risorse interessate, la modellizzazione degli effetti previsti nonché la loro valutazione per un supporto decisionale (Antunes et al., 1996). Uno degli utilizzi più frequenti di applicativi GIS riguarda il calcolo di indicatori, descrittori fondamentali per coadiuvare tutte le fasi valutative. Gli indicatori forniscono infatti informazioni sulle condizioni attuali delle componenti analizzate, dunque necessarie per delineare lo stato di fatto, inoltre se calcolati in serie storica evidenziano trend in atto e in prospettiva costituiscono il punto di partenza per monitorare gli effetti indotti dalla concretizzazione dell'opera/piano esaminato. Molti inoltre sono alla base di modellizzazioni più o meno complesse utilizzate per valutare preventivamente i possibili impatti nonché fornire scenari alternativi. Il GIS, in quanto strumento di calcolo, elaborazione e rappresentazione, si presta non soltanto alla computazione degli indici, ma anche ad una loro restituzione di facile lettura e ben localizzata sul territorio, necessaria per l'informazione del pubblico. Partendo da tale premessa di seguito si illustra sinteticamente, il possibile utilizzo di programmi GIS nel calcolo di indicatori all'interno di processi di valutazione ambientale. Tutti gli esempi riportati riguardano il sistema infrastrutturale viario in quanto, la realizzazione e la gestione di strade comporta sia l'elaborazione di piani di settore a scale differenti (es: Piano Regionale dei trasporti, Programma delle infrastrutture sovraregionali e regionali, Piani di mobilità provinciali e comunali, ecc.) che la progettazione di opere, rendendo pertanto tali elementi potenzialmente suscettibili a tutti i procedimenti valutativi presi in considerazione. Tra gli indicatori più semplici, definibili anche "primari" ovvero calcolabili utilizzando dati di base e/o che fanno uso dell'applicazione di una semplice operazione matematica (Graci et al., 2008), che vengono comunemente utilizzati nell'inquadramento territoriale di opere o piani inerenti il sistema stradale si annovera la Densità Infrastrutturale (DI), data dal rapporto tra la lunghezza dei tracciati viari presenti nell'unità territoriale di riferimento e l'area di quest'ultima:

$$Di = \frac{\sum li}{Au} \ (m/Kmq) \ [1]$$

dove

li = lunghezza dei singoli tratti di viabilità in metri;

Au= superficie dell'unità territoriale di riferimento in Kmq

La procedura GIS che consente di ottenere la DI, è molto semplice e prevede, a partire dal calcolo della lunghezza dei segmenti stradali e delle aree dei territori di riferimento, l'applicazione di un processo ISJ dato dalla successione di operazioni Intersect, Summarize, Join (vedi paragrafo 4.2.5) con il quale si riportano le informazioni relative alla lunghezza totale dei tratti infrastrutturali di ogni unità territoriale all'interno del database associato al file poligonale contenente le superfici delle unità territoriali di riferimento. A seguito di questa operazione è sufficiente creare un nuovo campo e calcolare il rapporto espresso nella formula [1]. Fatto ciò è possibile confrontare visivamente la diversa DI ottenuta per unità geografiche o amministrative omologhe come ad esempio comuni (Figura b4.2.1), aree protette o altro, clusterizzando i valori dell'indice in appropriate classi di riferimento ed utilizzando corrispondenti gradazioni di colore per la rappresentazione in legenda. La DI da sola non fornisce alcuna informazione sulla distribuzione delle barriere nel paesaggio (ad esempio, se sono concentrate in fasci o distribuite in modo uniforme) e dunque sul grado di frammentazione del territorio. Accanto ad indici basilari come questo, ne vanno pertanto considerati altri più complessi che forniscono informazioni maggiormente esplicative degli effetti indotti sul territorio dal complesso della rete viaria. Come esempio di indice più articolato, si propone l'Effective Mesh Size (meff) che misura il grado di frammentazione di un'area. In estrema sintesi, la meff esprime la probabilità che due punti qualsiasi scelti casualmente nella regione sotto osservazione possano essere

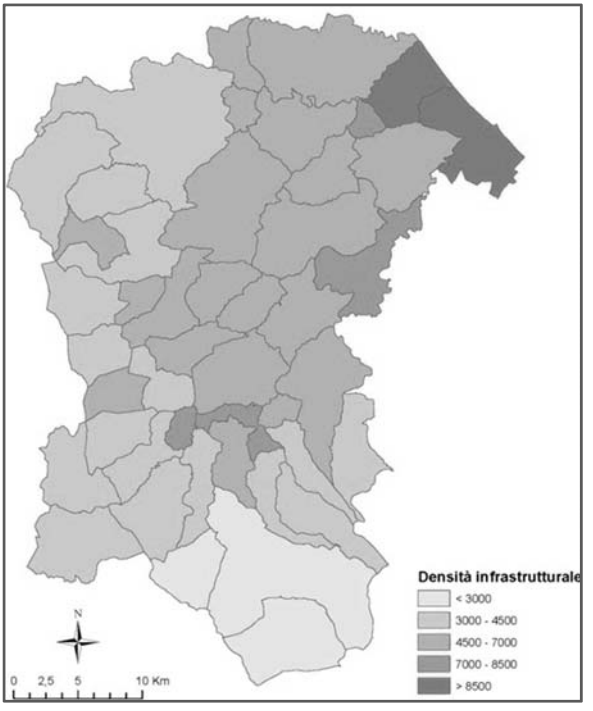


Figura b4.2.1- DI calcolata per i Comuni della Provincia di Pescara (Ciabò e Fabrizio, 2012).

collegati in quanto non separati da barriere come strade, ferrovie, o aree antropizzate: più barriere sono presenti, minore è la probabilità che i punti saranno collegati i due punti, e minore sarà il valore di meff (Jaeger et al., 2012). I punti possono essere anche interpretati come individui di una stessa popolazione animale. In tal caso l'indice fornisce la probabilità che essi hanno di incontrarsi.

$$m_{eff} = A_t \cdot C \quad [2]$$

dove At è l'area totale del territorio che si sta analizzando e C è la probabilità di connessione ed è data dalla seguente formula:

$$C = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{Ai}{At}\right)^2 \quad [3]$$

Da cui discende che:

$$M_{eff} = \frac{1}{At} \sum_{i=1}^{n} Ai^2 \quad [4]$$

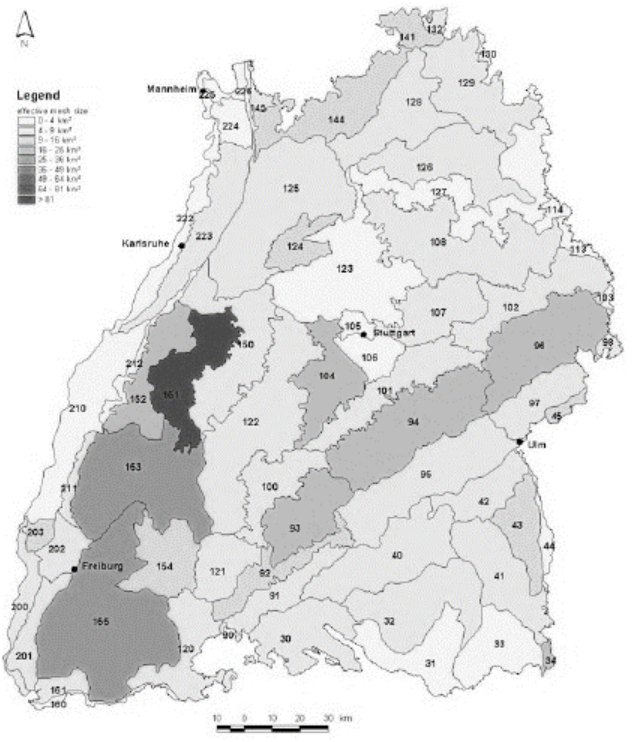


Figura b.4.7.2 - M_{eff} calcolata nelle 66 ecoregioni del Baden-Wurttemberg, Germania (Jaeger, 2007)

Dove Ai è l'area della patch iesima in cui è suddivisa l'area di studio (nel conteggio sono considerate solo le patch con caratteristiche naturali residuali). Come nell'esempio precedente, attraverso il calcolo delle superfici dell'area di studio e delle patch, un procedimento "ISJ" finalizzato a calcolare la sommatoria delle Ai in ogni area di studio, e l'immissione nel database della formula finale [4], con l'utilizzo di applicativi GIS si riesce in via speditiva ad ottenere e rappresentare il valore dell'indice anche per aree di studio molto estese (Figura b.4.2.2). Oltre all'uso di indicatori a scala

territoriale, i GIS supportano con efficienza anche analisi di maggior dettaglio e più circostanziate, riguardanti ad esempio gli effetti prodotti sull'ambiente da una specifica opera sottoposta a valutazione. Rimanendo sul caso delle infrastrutture viarie si propone l'utilizzo dei sistemi informativi territoriali per la stima dell'effetto barriera prodotto dalle strade in funzione della conformazione dell'asse viaria e delle strutture presenti al bordo della carreggiata (guard rail, barriere spartitraffico, barriere acustiche, new jersey, muri di contenimento, recinzioni ecc.). Tali elementi enfatizzano il ruolo di cesura ecosistemica ricoperto dalle infrastrutture costituendo dei veri e propri impedimenti per il passaggio faunistico che, oltre a limitare il movimento di singoli individui, riducono o annullano gli scambi all'interno di popolazioni, suddividendo in alcuni casi quest'ultime in metapopolazioni. Un metodo per quantificare tale fenomeno è quello di tracciare un Profilo di Occlusione (PdO) della strada (Romano et al., 2012; Romano et al., 2009a; Romano et al., 2008; Ciabò e Fabrizio, 2007). Esso si configura come un diagramma longitudinale dell'asse stradale lungo il quale è esplicitato il grado di interferenza esercitato dalla struttura della strada, in considerazione dell'entità e della tipologia degli ostacoli presenti utilizzando, come parametro valutativo, la possibilità per alcune specie faunistiche selezionate, di attraversare o meno la barriera lineare. Nel PdO il tratto stradale esaminato viene suddiviso in porzioni equivalenti, la cui lunghezza è dipendente dall'estensione totale della porzione di strada da studiare, dalla complessità delle barriere presenti e dalle specie target individuate. Per ogni sezione sono riportate le caratteristiche strutturali della sezione stradale (a raso, a mezza costa, in trincea, in rilevato ecc.) e gli ostacoli presenti al margine della carreggiata su ambo i lati (es. muro di altezza inferiore a 0,7 m, muro compreso tra 0,7 m e 2 m di altezza, recinzione, guard rail ecc.). Ognuno di questi elementi rilevati inciderà in modo differente sulla capacità di dispersione delle specie presenti e determinerà così un diverso grado di occlusione che sarà differenziato sia in funzione delle barriere presenti, sia in modo specie-specifico; i diversi gruppi faunistici hanno infatti capacità differenziate rispetto alla possibilità di superare o meno determinati ostacoli. Sia l'analisi strutturale che quella funzionale (specie-specifica) vengono riportate tratto per tratto all'interno del database collegato al file vettoriale che rappresenta il tracciato suddiviso in unità base. Ciò consente di visualizzare il grado di occlusività dei vari tratti sia in termini assoluti che rispetto a determinate specie target che ragionevolmente rappresentano o le più problematiche in termini di sicurezza stradale (es. ungulati) o le più vulnerabili in termini di biodiversità (orso, lupo, ma anche alcune specie di anfibi o micro e meso mammiferi particolarmente suscettibili alla mortalità su strada). Attraverso operazioni di overlay dello strato informativo del PdO con altri layer tematici, quali ad esempio l'uso del suolo, mappe di distribuzione faunistica, presenza di aree protette ecc., è possibile individuare agevolmente le aree potenzialmente più a rischio per quanto concerne l'incidentalità con la fauna selvatica, i possibili varchi sicuri rappresentati da cavalcavia, sottopassi e gallerie. Un'analisi di tal genere risulta particolarmente utile per scegliere, come

richiesto dalle procedure di valutazione ambientale, le opere di mitigazione e compensazione più adatte al contesto di riferimento, sia ambientale che infrastrutturale e determinarne la localizzazione più consona.

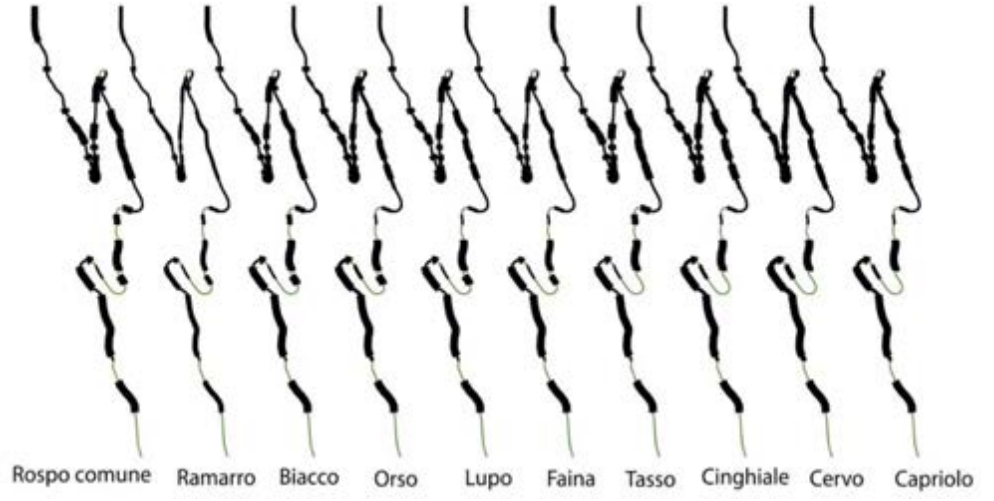


Figura b.4.8.3 – Esempio di Profilo di Occlusione (PdO) di un asse stradale per varie specie. Il tratto in nero indica la presenza di barriere e quindi il grado di occlusione esercitato dalla stessa alla specie considerata.

5. Bibliografia

Abbozzo P., Boggia A. & Ciani A., 2009. *Valutazione di impatto ambientale : aspetti teorici e metodologici*. Aestimum, 115–125

Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., Boucher C. , 2007. *ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters*, Journal of geophysical research, 2007, DOI: 10.1029/2007JB004949

Altamimi Z., Collilieux X., Métivier L., 2011. *ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame*, Journal of geodesy, 2011, DOI: 10.1007/s00190-011-0444-4

Amadio G., 2012. *Introduzione alla Geomatica. Manuale introduttivo ai sistemi informativi geografici.* Dario Flaccovio Editore

Amadio G., Attias M., Cima V., De Gennaro M., Desideri M., Gavaruzzi R., Longhi D., 2007. *Stato dell'arte dell'applicazione delle specifiche tecniche intesagis per la costituzione dei database topografici*. Atti 11° conferenza Nazionale ASITA. Centro Congressi Lingotto, Torino 6 – 9 Novembre 2007.

Antongiovanni R., Ghetti G., 1985. *Problemi riguardanti la correlazione fra i vari sistemi locali catastali, fra loro e con il sistema di Gauss Boaga, risolti con l'ausilio dei personal computers*. In: Rivista del Catasto e dei Sistemi Tecnici Erariali. Ministero delle Finanze, n. 2 1985.

Antunes P., Santos, R. & Jardao, L., 2001. *The Application of Geographical Information System to determine environmental impact significance*,Environmental Impact Assessment Review, Vol. 21,pp 511-535.

Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H. & Thieken, A.H., 2009. *Flood risk analyses - how detailed do we need to be?* Nat. Hazards, 49 (1), 79–98.

Aronoff, S., 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publication, Ottawa, Ontario.

Atzeni P., Ceri S., 2009. *Basi di dati-Modelli e linguaggi di interrogazione*, McGraw-Hill, Milano.

Bade T., 2008. *De kroon op het werk. Werken aan het juiste klimaat voor mensen en bomen*. Triple E productions (citato in Technische commissie bodem, 2010).

Barredo, J.I., 2007. *Major flood disasters in Europe: 1950-2005.* Nat. Hazards, 42, 125-148.

Battisti C., 2003. *Habitat fragmentation, fauna and ecological network planning: toward a theoretical conceptual framework*. Italian Journal of Zoology, 70:241 – 247.

Battisti C., Romano B., 2007. *Frammentazione e connettività: dall'analisi ecologica alla pianificazione ambientale*. Edizioni Città Studi Milano, p 465.

Beaujardiere de la J., 2006. *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 06-042, http://www.opengeospatial.org/standards/wms.

Beinat, E., Bressan, M., Jones, M., Fabbri, K., 1999. *Geographical Information Systems and Environmental Impact Assessment*, UNIGIS Site, Faculty of Economics, Vrije Universiteit Amsterdam.

Benítez-López A., Alkemade R., Verweij P.A. 2010. *The impact of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis*. Biol Conserv 143: 1307–1316.

Bennett A.F., 1999. *Linkages in the landscapes. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. X + 254 pp.

Berry J., K., 2001. *Map Analysis. Procedures and applications in GIS modelling*. http://www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/Topic9/Topic9.htm

Bezoari G., Monti C., Selvini A., 2002. *Topografia generale con elementi di geodesia*. UTET Editore. ISBN: 8802059802.

Biallo G., 2005. *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*. MONDOGIS Editore.

Blasi C., Michetti L. 2005. *Biodiversità e clima.* In: Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F., Marchetti M. eds. Stato della Biodiversità in Italia. Palombi Editori. Roma.

Bolano D., 2010. *Il quadro socio-demografico della popolazione pugliese*. In: Candela A., Viganò G., Dinamiche del welfare pugliese. Implementazione del Sistema Informativo Sociale Regionale: i risultati su sei reti di servizi alle persone. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788856833324.

Bonnin M., Bruszik A., Delbaere B., Lethier H., Richard D., Rientjes S., van Uden G., Terry A., 2007. *The Pan-European Ecological Network: Taking stock. Council of Europe*, Nature and Environment, N. 146

Borri D., Concilio G., Conte E., 1998. *A fuzzy approach for modelling knowledge in environmental systems evaluation*. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 22 Issue 3, 1 May 1998, Pages 299–313.

Borruso G., 2003. *Network Density and the Delimitation of Urban Areas*. Transactions in GIS 03/2003; 7(2):177 - 191. DOI:10.1111/1467-9671.00139

Borruso G., Iacoviello V., Porceddu A., 2007. *GIS and geostatistics for modelling urban times in neighbouring border cities*. Geocomputation 2007; 09/2007.

Borruso G., 2010. *Geographical Analysis of Foreign Immigration and Spatial Patterns in Urban Areas: Density Estimation, Spatial Segregation and Diversity Analysis*. Bollettino A.I.C. nr. 136/2010.

Borruso G., 2012. *Geographical Information Systems for Biomass Estimate and the Search for Renewable Energy Sources*. International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems 01/2012; 3(1):26-39. DOI:10.4018/jaeis.2012010103.

Borruso G., 2013. *Cartografia e Informazione Geografica "2.0 e oltre", Webmapping, WebGIS. Un'introduzione Cartography and Geographic Information "2.0 and Beyond", Webmapping, WebGIS. An introduction*. Bollettino A.I.C. nr. 147 / 2013.

Breslaw J.A., 1990. *Density and urban sprawl: comment*. Land Econ. 66:464–468

Briggs D.J., Collins S., Elliot P., Fisher P., Kingham S., 2010, *Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach*, International Journal of Geographical Information Science.

Burrough P.A. 1986. *Principles of geographical information systems for land resource assessment*, Clarendon Press, Oxford, U.K, 194pp.

Cagnoli P., 2010. *VAS, Valutazione Ambientale Strategica. Fondamenti teorici e tecniche operative*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2010.

Cagnoli P., Riberti R., 2013. *L'evoluzione dei GIS per la gestione del territorio. Ecoscienza n. 2*, 2013.

Campo, A. G. D., 2012. *GIS in Environmental Assessment: A Review of Current Issues and Future Needs*, Journal of Environmental Assessment Policy and Management Vol. 14, No. 1, 1250007 (23 pages)

Carter, J.R. 1989. *On Defining the Geographic Information System. In W. J. Ripple (ed.), Fundamentals of Geographic Information Systems: A Compendium. Falls Church*, VA: ASPRS/ACSM, 3-7.

Cavallo A., Marino D., 2014. *L'analisi delle trasformazioni del paesaggio: quali indicatori?*. In: Barbera G., Biasi R., Marino D., I paesaggi agrari tradizionali. Un percorso per la conoscenza. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788891705389.

Cellerino, R., 2004. *L'Italia delle alluvioni. Un'analisi economica.* Ed. Franco Angeli, Milano.

Cetraro F., 2015. *GIS per la cartografia e l'analisi territoriale. Come scegliere il GIS più adatto alle tue esigenze Guida pratica all'uso dei GIS più diffusi QGIS, GRASS, SAGA, ArcGis®, MapInfo Pro®, Autocad Map 3D® con riferimento alla pubblicazione sul WebGIS.* EPC Editore. ISBN 978-88-6310-660-2.

Chrisman, N. 1988. *The risks of software innovation: A case study of the harvard lab*. The American Cartographer, 15(3):291-300.

Ciabò S. e Fabrizio M., 2007. *Il profilo di occlusione come strumento di supporto per la road ecology*. In: Battisti C. e Romano B., Frammentazione e Connettività. Dall'analisi ecologica alla pianificazione ambientale. Città Studi, Novara

Ciabò S., Fabrizio M., 2012. *Linee guida per la prevenzione di incidenti stradali causati da fauna selvatica nella Provincia di Pescara*. Provincia di Pescara, 136 pp.

Cianfaglione K.,2013. *L'importanza degli alberi e del bosco. Cultura scienza e coscienza del territorio*. Temi Editore, ISBN 9788897372639.

Cima V., Maseroli R., Surace L., 2003. *Il processo di georeferenziazione del telerilevamento al GIS*. Atti della VII conferenza nazionale ASITA, Verona.

Clevenger A.P., Ford A.T. 2010. *Wildlife crossing structures, fencing, and other highway design considerations*. In: Beckmann JP, Clevenger AP, Huijser MP, Hilty JA, editors. Safe passage: Highways, wildlife, and habitat connectivity. Washington: Island Press. pp 17-49.

Clough R., Tocher J., 1965. *Finite element stiffness matrices for analysis of plates in bending.* Proceedings of Conference on Matrix Methods in Structural Analysis.

Coppock J. T. e Rhind D. W.,1991. *The history of GIS*, in Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J. e Rhind D.W., Geographic Information Systems, Wiley, Chichester. Prima edizione, 1991.

Cowen, D.J. 1988. *GIS Versus CAD Versus DBMS: What Are the Differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54:11, 1551-1554.

Cressie N., 1982. *Statistics for Spatial Data,* Academic Press, New York.

Cressie N., 1991. *Statistics for spatial data*, John Wiley and Sons,New York.

D'Aprile F., Tapper N., Marchetti M., 2015. *Forestry under Climate Change. Is Time a Tool for Sustainable Forest Management?* Open Journal of Forestry 01/2015; 05(04):329-336. DOI:10.4236/ojf.2015.54028.

Diamantini C., Geneletti D., 2005. *Un quadro conoscitivo a supporto di decisioni territoriali: il sistema informativo della sensibilita' ambientale* in Terre d'Europa e fronti Mediterranei. Il ruolo della pianificazione tra conservazione e trasformazione per il miglioramento della qualità della vita, Milano: SIU, 2005, p. 120-128. Atti di: X Conferenza Nazionale della Societa' Italiana degli Urbanisti, Palermo, 3-4 marzo 2005.

Del Gaudio A., Vallario A., 2007. *Attività estrattive: cave, recuperi, pianificazione.* Liguori Editore Srl. ISBN 9788820739973.

De Matteis G., Lanza C., 2014. *Le città del mondo, una geografia urbana*. Seconda Edizione UTET editore.

Department of the Environment, 1987. *Handling Geographic Information*. London: HMSO.

Department of the environment, 1987. *Handling Geographic Information: Report to the Secretary of State for the Enviroment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Inforrnation*, London, HMSO.

Devine H.A., Field R.C. 1986. *The Gist of GIS*. Journal of Forestry, 8, 17-22.

Dueker, K.J., 1979. *Land Resource Information Systems: A Review of Fifteen Years Experience*. Geo-Processing, 1, 105-128.

Dunning J.B, Danielson B.J., Pulliam H.R., 1992. *Ecological processes that affect populations in complex landscapes*. Oikos 65:169-175.

European Environment Agency, 2015. *Air quality in Europe*, report 2015.

European Environment Agency, 2011. *Landscape fragmentation in Europe*. EEA-FOEN, p.92.

European Environment Agency, 2010. *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe – An overview of the last decade.* EEA Technical Report 13/2010.

European Environment Agency, 2006. *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge*. Copenhagen: EEA Report No 10/2006.

Eigenbrod F., Bell V.A., Davies H.N., Heinemeyer A., Armsworth P.R, Gaston K.J., 2011. *The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. Proceedings of the royal society* (278) 2011: 3201-3208.

Eisnor D. 2006. *"Neogeography"*, http://www.platial.com, accessed 23rd April 2008.

Erba V., Di Marino M., 2010. *Reti ecologiche e pianificazione urbanistica: programmi e strumenti a Montreal, Milano e Roma*. Urbanistica n.149 pp 71-78

ESRI, 1998. *Shapefiles Technical Description. An Esri White paper* – July 1998.

Eta J. B., Adepoju M. O., Halilu, S. A., Mohammed, S. O., Adeluyi, S. A., 2014. *Geographic Information Systems (GIS) As an Indispensable Tool for Environmental Impact Assessment (EIA)*. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), 8(12), 32–39.

European Commission, *Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing,* Commission Staff Working Document, 14/04/2012.

Fahrig L., 1997. *Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction*, J. Wildl. Manag. 61:603–610

Fahrig L., 2003. *Effects of habitat fragmentation on biodiversity*. Ann. Rev Ecol. Syst. 34:487–515.

Fahrig L, Rytwinski T, 2009. *Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis*. Ecol Soc 14: 21. Available: http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art21/. Accessed 20 July 2013.

Falcucci, A., Maiorano, L., 2008. *Land use and misuse: landscape changes in Italysince 1950*. In: Teofili, C., Clarino, S. (Eds.), Riconquistare il paesaggio, la Convenzione Europea del Paesaggio e la Conservazione della Biodiversità in Italia.MIUR, Roma, pp. 176–187.

Falque F., 1975. *Prise en compte de l'environment dans les procedures d'amenagement*, Research Environment, 10, 56-78.

Falqui, E., Paolinelli, G., Pavoni, P., Schirò, R. & Tredici, C., 2014. *La pre/occupazione dei "vuoti": consumo di suolo e pianificazione territoriale*. In G.F. Cartei, L. De Lucia (Eds.), Contenere il consumo di suolo: saperi ed esperienze a confronto (pp 3-137). Napoli: Editoriale Scientifica.

Fantozzi P.L., 2013. *Georeferenziare dati geografici con ArcGis. Problemi cartografici e metodi di soluzione tramite l'uso di ArcGis 10.1*. Dario Flaccovio Edizioni.

Fenger J., 1999. *Urban air quality*, Atmospheric Environment; 33: 4877-4900.

Frigeri A., 2012. *Software libero, licenze e dati geografici*. In: Casagrande L., Cavallini P., Frigeri A., Furieri A., Marchesini I., Neteler M., 2012 GIS Open Source. GRASS GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Dario Flaccovio Editore.

Furieri A., 2012. *Spatial DBMS: SQLite, SpatiaLite e RasterLite*. In: Casagrande L., Cavallini P., Frigeri A., Furieri A., Marchesini I., Neteler M., 2012 GIS Open Source. GRASS GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Dario Flaccovio Editore.

Gambino R., 2003. A cura di, AP, *Il sistema delle aree protette*. Alinea, Firenze.

Gardi, C., Panagos P., Bosco C., De Brogniez D., 2012. *Soil Sealing, Land Take and Food Security: Impact assessment of land take in the production of the agricultural sector in Europe* (soggetto a revisione inter pares).

Gasparini P., Tosi V., 2000. *Foreste e biodiversità: principi e metodi di monitoraggio*. Monti e Boschi n.6.

Geneletti D., 2000. *GIS, dati telerilevati e sistemi di supporto alla decisione applicati alla valutazione di impatto ambientale*, Geomedia. 16-21

Geneletti, D. 2000a. *GIS e sistemi di supporto alla decisione applicati alla valutazione di impatto ambientale*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

Geneletti D., 2003. *Ecological Evaluation for Environmental Impact Assessment*, in Environmental Impact Assessment Review, 23 (1 2003), p. 137-138.

Geneletti D., 2004. *Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures*, International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation. 4 (2004) 1-15.

Geneletti D., Bragagnolo C., 2009. *L'uso di indicatori per il confronto tra scenari nella Valutazione Ambientale Strategica*, Sentieri Urbani. 33-37.

Gibelli M.G., 2008. *Ecologia e Governance del paesaggio*, in "Ecologia e Governance del Paesaggio, esperienze e prospettive", Atti del X Congresso Nazionale Siep-Iale, (a cura di Mariota P., Mininni M.V., Lafortezza Raffaele, Padoa Schioppa E.). Università degli Studi di Bari, SIEP-IALE. pp. 11-18.

Gibelli M. G., D'Ambrogi S., 2011. *L'inserimento paesaggistico delle infrastrutture stradali: strumenti metodologici e buone pratiche di progetto*, in Valutazione Ambientale, n°19 gennaio-giugno 2011, pp. 74-77.

Glaeser E., 2013. *Il trionfo delle città. Come la nostra più grande invenzione ci rende ricchi e felici.* Bompiani editore.

Goodchild, M. F., 1991, *Keynote address: progress on the GIS research agenda.* Proceedings, EGIS 91, Brussels, pp. 342-350.

Goodchild M. F., 2007. *Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography*, GeoJournal 69(4), pp. 211-221.

Graci G., Pileri P., Sedazzari M., 2008. *GIS e ambiente. Guida all'uso di ArcGIS per l'analisi del territorio e la valutazione ambientale*. Dario Flaccovio Editore. ISBN: 9788877588227.

Grimshaw D., 2000. *Bringing Geographical Information Systems into Business*. Wiley, New York. Seconda Edizione.

GSDI, 2004. *Spatial Data Infrastructure Cookbook v2.0*.

Guala C., 2000. *Metodi della ricerca sociale. La storia, le tecniche, gli indicatori*. Carocci, Roma.

Haklay, M. e Feitelson, E., 1998. *The potential of a GIS-based scoping system: an Israeli proposal and case study*, Environmental Impact Assessment Review, 18, 439-459.

Hanski I., 2005. *Landscape fragmentation, biodiversity loss and the societal response*, EMBO reports, 6, 388 – 392.

Harris N.C., 2006. *Monitoring survival of young in ungulates: a case study with Rocky Mountain elk.* Thesis of Wildlife Biology.

Henderson S., Beckerman B., Jerrett M., Brauer M., 2007, *Application of land use regression to estimate long-term concentrations of traffic related nitrogen oxides and fine particulate matter*, Environ. Sci.Technol, 41, 2422–2428.

Horn, B.K.P., 1981. *Hill shading and the Reflectance Map*. Proceedings of the IEEE, 69 (1), 14-47.

INFC, 2005. *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF).

INFC, 2015. *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF).

Irwin, E. G., & Bockstael, N. E. 2007. *The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation*. PNAS, 104(52), 20672–20677.

ISPRA, 2011. *Frammentazione del territorio da infrastrutture lineari. Indirizzi e buone pratiche per la prevenzione e la mitigazione degli impatti.* Manuali e linee guida 76.1/2011.

ISPRA, 2015. *Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015*. Ispra rapporti 218/2015. ISBN: 978-88-448-0703-0.

Jaeger, J. A. G., Raumer, H. S., & Esswein, H., 2007. *Time Series of Landscape Fragmentation Caused by Transportation Infrastructure and Urban Development: a Case Study from Baden- Württemberg*, Germany. Ecology And Society, 12(1).

James R. Smith 1997. *Introduction to Geodesy: The History and Concepts of Modern Geodesy*, John Wiley & Sons, 1997. ISBN 9780471166603.

Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P.J. and Montanarella, L., 2004. *The map of organic carbon in topsoils in Europe*, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra

2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Jongman R.H.G., Pungetti G., eds. 2004. *Ecological networks and Greenways. Concept, design and implementation*. Cambridge U.P., Cambridge U.K.

Keskitalo E.C.H., Legay M., Marchetti M., Nocentini S., Spathelf P., 2015. *The Role of Forestry in National Climate Change Adaptation Policy: Cases from Sweden, Germany, France and Italy*. International Forestry Review 03/2015; 17(1). DOI:10.1505/146554815814725068.

Kinley T.A., Nancy J., 2008. *Ecology and Translocation-Aided Recovery of an Endangered Badger Population.* The Journal of Wildlife Management Volume 72, Issue 1, pages 113–122, January 2008.

Kitanidis G., 1993. *Geostatistics*. In D.R. Maidment (ed.), editor, Handbook of Hydrology, pages 153–165, McGraw Hill, 1993.

Koshkariov, A.V., Tikunov, V.S., and Trofimov A.M. 1989. *The Current State and the Main Trends in the Development of Geographical Information Systems in the USSR*. International Journal of Geographical Information Systems, 3:3, 257-272.

Krauskopf T.M., Bunde D.C., 1972. *Evaluation of Environmental Impact through a Computer Modelling Process*, in 'Environmental Impact Analysis: Philosophy and Methods' (eds. Ditton R. and Goodale T.), University of Wisconsin.

Künzli N, Jerrett M, Mack WJ, Beckerman B, LaBree L, Gilliland F, et al. 2005. *Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles*. Environmental Health Perspectives 113:201–206.

Hudson-Smith, A., Batty, M. And Milton, R. 2008. *The Neogeography of Virtual Cities: Digital Mirrors into a Recursive World*, in M.Foth (Ed), Handbook of Research on Urban Informatics: The Practice and Promise of the Real-Time City, Information Science Reference, Hershey, PA: Information Science Reference, IGI Global.

Hudson-Smith A., Crooks A., 2008. *The Renaissance of Geographic Information: Neogeography, Gaming and Second Life.* UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. Working papers series. Paper 142 – Aug 08. ISSN 1467-1298.

Huijser M.P., McGowen P.T. 2010. *Reducing wildlife-vehicle collisions*. In: Beckmann JP, Clevenger AP, Huijser MP, Hilty JA, editors. Safe passage: Highways, wildlife, and habitat connectivity. Washington: Island Press. pp 51–74.

Imperio M., 2004. *Progetti ambientali e cooperazione. Identità locale in armonia con lo sviluppo*. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788846455666

ISTAT, 2014. *Istat, Annuario statistico italiano*. 2014.

Lapucci A., Lombardo S., Santucci A., 2005. *Innovazione dalla sinergia fra AMC e GIS: l'analisi a criteri multipli spaziale. Implementazione e applicazione alla valutazione del rischio.* In: Cecchini A., Plaisant A., Analisi e modelli per la pianificazione. Teoria e pratica: lo stato dell'arte. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788846470959.

Lapucci A., Lombardo S., Candura D.,Santucci A., 2006. *Un modello di valutazione territoriale integrata basato sulla sinergia tra GIS ed analisi multiattributo*. Atti della XXVI conferenza italiana di Scienze Regionali.

Las Casas G., Murgante B., Nolè G., Pontrandolfi G., Sansone A., 2005. *L'uso della geostatistica per la delimitazione degli ambiti periurbani della Provincia di Potenza.* In: Cecchini A., Plaisant A., Analisi e modelli per la pianificazione. Teoria e pratica: lo stato dell'arte. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788846470959.

Las Casas G.,B., Murgante B., 2004. *The use of fuzzy evaluation in a G.I.S. approach to the land suitability*. Seventh Agile International Conference on Geographical Information Science. 29/04 - 01/05 in Toppen F., Prastacos P.(eds.), Crete University Press.

Las Casas G.B., Murgante B., Pontrandolfi P., Sansone A., 2004. 4 - 7 October in *New Technical and Cultural Challenges for Environmental Sustainability* Gangemi Editore.

Liao D., Peuquet DJ., Duan Y., Whitsel EA., Dou J, 2006, *GIS approaches for the estimation of residential-level ambient PM concentrations,* Environmental health.

Lodovisi A., Torresani S., 1996. *Storia della cartografia*. Editore Patron. ISBN-10: 8855523783.

Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2001. *Geographic Information System and Science*, Jonh Wiley & sons. Prima edizione.

Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2005. *Geographic Information Systems and Science*, Chichester, Wiley, Seconda edizione.

Lugeri, N., Kundezewicz, Z.W., Genovese, E., Hochrainer, S. & Radziejewski, M., 2010. *River flood risk and adaption in Europe – assessment of the present status.* Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change, 15, 621-639.

Malczewski J., 1995. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley, Chichester.

Malscevschi S., 2010. *Reti Ecologiche Polivalenti*. Il Verde Editoriale, Milano.

Mann S., 1999. *Cubic precision Clough-Tocher interpolation*. Computer Aided Geometric Design Volume 16, Issue 2, February 1999, Pages 85–88.

Marchesini I., 2012. *Grass GIS & Quantum GIS: caratteristiche e campi di applicazione*. In: Casagrande L., Cavallini P., Frigeri A., Furieri A., Marchesini I., Neteler M., 2012 GIS Open Source. GRASS GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Dario Flaccovio Editore.

Marchetti M., Vizzari M., Lasserre B., Tavone A., 2014. *Natural capital and bioeconomy: challenges and opportunities for forestry.* Annals of silvicultural research 38 (2) 2014:62-73.

Mass C., Madaus L., 2013. *Smartphone Pressure Observations: A Revolutionary Advance for Mesoscale Meteorology?* 15th Conference on Mesoscale Processes.

Matheron G., 1965, *Regionalized variables and their estimation*, Masson, Paris, France.

Matteucci G., Fabbio G., Ferretti F., Cantiani P., Pavone N., Garfì V., Marchetti M., Lombardi F., Carraro G., Simoncic P., Kutnar L., Posillico M., Altea T., Mason F., Panella M., D'Andrea E., Bombi P., De Cinti B., 2015. *Gestione forestale, multifunzionalità del bosco e servizi ecosistemici: l'esperienza del progetto LIFE ManFor C.BD.* Proceedings of the 10th SISEF National Congress "Sostenere il pianeta, boschi per la vita - Ricerca e innovazione per la tutela e la valorizzazione delle risorse forestali" (Travaglini D, Rossi P, Bucci G eds), Firenze (Italy); 09/2015.

Mattiozzi G., Di Donato P., Berardi L., Salvemini M., 2013. *La rappresentazione cartografica*, Apogeo Editore, 2013. ISBN 9788850313648.

Mazzeo, G., 2012. *Scenario analysis. Toward a change in the use of the soil consumption paradigm*. TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment. 5(1), 21-32. doi: 10.6092/1970-9870/746.

McHarg I.L., 1969. *Design with nature. Garden City*, N.Y., Published for the American Museum of Natural History [by] the Natural History Press, 1969. ISBN 0-471-11460-X

Mencarini L., 2002. *Gli aspetti demografici. Metodi e strumenti per la pianificazione*. In: Cusmano M.G., Cusmano S.C., Città e insediamenti. Dalle prospettive dell'area vasta alla costruzione dello statuto dei luoghi. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788846428097

Merz, B., Elmer, F. & Thieken, A.H., 2009. *Significance of ''high probability/low damage'' versus ''low probability/high damage'' flood events*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1033–1046.

Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. & Thieken, A.H., 2010. *Assessment of economic flood damage*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1697–1724.

Messner, F., Pennning-Rowsell, E.C., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S.M. & Van der Veen, A., 2007. *Evaluating flood damages: Guidance and recommendations on principles and methods*. FLOODsite, Report No. T09-06-01.

Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A. & Delworth, T.L., 2002. *Increasing risk of great floods in a changing climate*. Nature, 415, 514-517.

Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, 2013. *Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni*. 33p.

Ministero delle Finanze Direzione del catasto e dei servizi tecnici erariali, 1951. *Istruzione per le operazioni trigonometriche*. Istituto poligrafico dello stato 1951.

Mogorovich P., Mussio P. 1988. *Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici*, Masson, 1988. p.503-8 vol.2

Morri E., Pezzi G., Santolini R., 2015. *Land cover changes and impact on ecosystems services. The case study of Rimini (Italy)*. Territorio 03/2015; 72:167-176. DOI:10.3280/TR2015-072024

Morri E., Pruscini F., Scolozzi R., Santolini R., 2014. *A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: Supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy).* Ecological Indicators 02/2014; 37:210-219. DOI:10.1016/j.ecolind.2013.08.016.

Morri E., Santolini R., 2013. *Valutare i servizi ecosistemici: un'opportunità per limitare i disturbi al paesaggio*. Biodiversità, disturbi, minacce, FORUM – Editrice Universitaria Udinese edited by Corrado Battisti Michela Conigliaro Gianluca Poeta Corrado Teofili, 10/2013: chapter Parte seconda. Le minacce antropiche: pages 178-182; , ISBN: 978-88-8420-803-3.

Murgante B., 2008. *L'informatica, i Sistemi Informativi Geografici e la Pianificazione del territorio*. In: Murgante B. (a cura di) L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale. Franco Angeli Editore.

Murgante B., 2008. (a cura di) *L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale*. Franco Angeli Editore.

Murgante B., Borruso G., Lapucci A., 2009. *Geocomputation and Urban Planning*. Geocomputation and Urban Planning, Edited by Beniamino Murgante, Giuseppe Borruso, Alessandra Lapucci, 01/2009: pages 1-17; Springer-Verlag, Berlin., ISBN: 978-3-540-89929-7

Munafo M., Martellato G., Salvati L., 2011. *Il consumo di suolo nelle città italiane*. Ecoscienza (4), Arpa Emilia Romagna.

Naddeo V., Zarra T., Belgiorno V., Napoli R.M.A., 2012. *Tecniche per la valutazione di impatto ambientale*. ISBN-13: 978-1257007530

Noti V., 2014. *GIS Open Source per geologia e Ambiente. Analisi e gestione di dati territoriali e ambientali con QGIS.* Dario Flaccovio Editore.

Nuckols J.R., Ward M.H., Jarup L., 2004. *Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies*. Environmental Health Perspective, Jun, 2004; 112 (9): 1007 – 1015. Doi: 10.1289/ehp.6738.

Overeem A., Robinson J. C. R., Leijnse H., Steeneveld G. J., Horn B. K. P., Uijlenhoet R., 2013. *Crowdsourcing urban air temperatures from smartphone battery temperatures*. Geophisycal Research Letters Volume 40, Issue 15, pages 4081–4085, 16 August 2013

Ozemoy, V.M., Smith, D.R., and Sicherman, A. 1981. *Evaluating Computerized Geographic Information Systems Using Decision Analysis*. Interfaces, 11, 92-98.

Panagiotis P., Vretanos P.A., 2010. *OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard*. Reference number: OGC 09-025r1. http://www.opengeospatial.org/standards/wfs

Paiva, R.C.D., Collischon, W. & Tucci, C.E.M., 2011. *Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach*. Journal of Hydrology, 406, 170–181.

Paolillo P.L., 2007. *Fare il piano dei servizi. Dal vincolo di carta al programma delle attrezzature urbane*. Franco Angeli editore. ISBN: 9788846487254

Parente C., Santamaria R., 2004. *Sistemi Informativi Georiferiti*. Giannini Editore.

Parker H.D.,1988. *The Unique Qualities of a Geographic Information System: A Commentary.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:11, 1547-1549.

Patrono, A., 1998. *Multi-criteria analysis and GIS: analysis of natural areas and ecological distributions*. In: Multicriteria analysis for land-use management, Beinat and Nijkamp eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Peverieri G., 1995. *GIS. Strumenti per la gestione del territorio*. Ed. Il Rostro. ISBN: 887365035X, 9788873650355.

Pignatti S., 1998. *I boschi d'Italia. Sinecologia e biodiversità*. Edizioni UTET, 1998. 978-8802052519

Pileri P., 2011. *Misurare il cambiamento. Dalla percezione alla misura delle variazioni d'uso del suolo*, in AA.VV., "L'uso del suolo in Lombardia negli ultimi 50 anni", ERSAF, Regione Lombardia.

Poeplau C., Don A., Leifeld J., Vesterdal L., Van Wesemael B. 2011. *Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach*. Global Change Biology 17: 2415-2427.

Pollino M., Modica G., 2013. *Le trasformazioni del territorio urbano ed agroforestale*. Editore: youcanprint. ISBN: 9788891122643

Portele C., 2007. *OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Standard*. Reference number 07-036. http://www.opengeospatial.org/standards/gml

Pozzato F., 2006. *Open source*. Licenze e Copyright. Pc Open Pp 98 – 107. Aprile 2006.

Prato T., Fagre D., 2007. *Sustaining Rocky Mountain Landscapes: Science, Policy and Management for the Crown of the Continent Ecosystem*. Publisher: Resources for the Future Press.

Puliafito E., Guevara M., Puliafito C., 2003. *Characterization of urban air quality using GIS as a management system Environmental Pollution*, Environmental Pollution, Elsevier.

Regione Abruzzo, 2005, 2013. *Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni.*

Riley S. J., DeGloria S. D., Elliot R., 1999. *A Terrain Ruggedness Index that quantifies topographic heterogeneity*. Intermountain journal of sciences. Vol 5; No 1-4: 23-27. December 1999.

Roedenberg I.A., Jaeger J.A.G, 2006. *Towards landscape-scale research in road ecology.* Naturschutz und Landschaftsplanung 38(10):297-299 · October 2006

Romano B., Ciabò S. e Fabrizio M., 2008. *Il Profilo d'Occlusione come metodo di analisi dell'effetto barriera dovuto alle infrastrutture viarie*. Atti del X Congresso Nazionale SIEP-IALE. Ecologia e Governance del Paesaggio. Esperienze e prospettive. Bari: 245-252.

Romano B., 2011. *Le reti ecologiche tra "zoning approach" e "urban policy approach"*. Territorio, 58:27-35.

Romano B., Ciabò S. e Fabrizio M., 2011. *Infrastructure obstruction profiling, a method to analyse ecological barriers formed by transport infrastructure*, Proceedings of 2011 International Conference on Ecology and Transportation Sustainability in Motion August 21-25, 2011. Seattle, Washington, USA.

Romano B., Zullo F., Tamburini G., Fiordigigli V., Fiorini L., 2015. *Il Riassetto del suolo urbano italiano: questione di 'sprinkling'?.* Territorio ISSN: 1825-8689. 10.3280/TR2015-074024. Pp 146-153. Franco Angeli Edizioni.

Romano B., Ciabò S., Fabrizio M., 2009. *The impact of habitat fragmentation: a method for the analysis of the ecological barriers posed by transport infrastructures*. Estimo e Territorio 72 (5), 36-45

Romano B., Ciabò S. e Fabrizio M., 2009a. *Il profilo di occlusione ecosistemica: un metodo di analisi delle barriere ecologiche costituite dalle infrastrutture di trasporto*. Estimo e Territorio, LXXII (5): 35-45.

Romano B., Zullo F. 2012. *Land urbanization in Central Italy: 50 years of evolution*. Journal of Land Use Science, ISSN: 1747-423X, doi: 10.1080/1747423X.2012.754963.

Romano B., Ciabò S., Fabrizio M., 2012. *Infrastructure Obstruction Profiling: a method to analyse ecological barriers formed by transport infrastructure*. International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2011);

Romano B., Zullo F. 2013. *Models of Urban Land Use in Europe Assessment tools and criticalities.* International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS), IGI Global volume 4(3):80-97, DOI: 10.4018/ijaeis.2013070105.

Romano B., Zullo F., 2013. *Valutazione della pressione insediativa. Indicatori e sperimentazioni di soglie*. In: Battisti C., Conigliaro M., Poeta G., Teofili C. 2013 "Disturbi, Minacce, Biodiversità. Dall'ecologia di base alla gestione e conservazione degli ecosistemi". Forum Editrice. ISBN 978-88-8420-803-3.

Romano B., Zullo F., 2014. *The urban transformation of Italy's Adriatic Coast Strip: fifty years of unsustainability*. Land Use Policy 38: 26-36 - DOI:10.1016/j.landusepol.2013.10.001;

Romano B., Zullo F., 2014a. *Biopermeabilità e frammentazione forestale in Italia: indicatori per il supporto della politica territoriale*. In Cianfaglione K., 2013: "L'importanza degli alberi e del bosco. Cultura, Scienza e Coscienza del territorio". Ed. Temi, Vol. I:119-132. ISBN 9788897372639.

Romano, B., Zullo, F., Ciabò, S., Fiorini, L. & Marucci, A., 2015. *Geografie e modelli di 50 anni di consumo di suolo in Italia*. Scienze e Ricerche, 6.

Romano B., Zullo F., 2015. *Protected Areas, Natura 2000 Sites and Landscape: Divergent Policies on Converging Values*. In: Gambino R., Peano A. (Eds), Nature Policies and Landscape Policies: Urban and Landscape Perspectives, Springer, Volume 18:127-135. DOI:10.1007/978-3-319-05410-0_13 – ISBN 978-3-319-05409-4.

Romano B., Zullo F., 2015a. *Half a century of urbanisation in Southern European Lowlands: a study on the Po Valley (Northern Italy)*. Journal of Urban Research and Practice. (ISSN 1753-5069 (Print), 1753-5077 (Online)); DOI:10.1080/17535069.2015.

Romano B., Zullo F., 2015b. *Consumo di suolo ed ecosistemi. Analisi quantitative e prospettive di diagnosi qualitative*. In: Falqui E., Paolinelli G., Reti e Sostenibilità nella Pianificazione territoriale in Toscana. Edizioni ETS. ISBN: 9788846741479.

Rytwinski T., Fahrig L., 2012. *Do species life history traits explain population responses to roads?* A meta-analysis. Biol Conserv 147: 87–98.

Salerno G., 2014. *Map Design per il GIS.* Dario Flaccovio Editore. ISBN 9788857903330

Salvati, L., Munafò, M., Gargiulio, Morelli, V. & Sabbi, A. (2012). *Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region*. Landscape and Urban Planning, 105(1-2), 43-52. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.11.020.

Santolini R., Scolozzi R., Cataldi M.A., Zaccarelli N., 2010. *Il valore economico dei servizi ecosistemici in Italia dal 1990 al 2000. Indicazioni per strategie di sostenibilità o vulnerabilità.* Valutazione ambientale n.17.

Sayers, P.B., Hall, J.W. & Meadowcroft, I.C., 2002. *Towards risk-based flood hazard management in the UK*. Civil Engineering, 150 (5), 36-42.

Scalenghe R., Malucelli F., Ungaro F., Perazzone L., Filippi N., Edwards A.C., 2011. *Influence of 150 years of land use on anthropogenic and natural carbon stocks in Emilia Romagna region (Italy)*, in "Environmental Science & Tecnology", vol. 45, ACS Publications, pp. 5112 – 5117.

Schanze, J., 2006. *Flood risk management – a basic framework.* In: Flood Risk Management - Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. Schanze, J., Zeman, E., & Marsalek, J. (eds.), 149–167.

Shepard, Donald (1968). *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*. Proceedings of the 1968 ACM National Conference. pp. 517–524. doi:10.1145/800186.810616.

Smith, T.R., Menon, S., Starr, J., and Estes, J. 1987. *Requirements and Principles for the Implementation and Construction of Large-Scale Geographic Information Systems*. International Journal of Geographical Information Systems, 1:1, 13-31.

Sobel D., 1999. *Longitudine*. Traduzione di Gianna Lonza e Olivia Crosio, collana BUR Saggi, Rizzoli, 1996, pp. 155, ISBN 88-17-11290-9.

Spellerberg I.F., 2002. *Ecological effects of roads.* Plymouth: Science Publisher. 251 p.

Stagliano, David M. 2006. *Aquatic Surveys and Assessment of the Slim Buttes Region of Harding and Butte Co.*, SD. Report to the MT and SD TNC Field Offices. Montana Natural Heritage Program, Helena, Montana. 59 pp. plus appendices.Taylor P.D., Fahrig L., Henein K., Merriam G., 1993. *Connectivity is a vital element of landscape structure*. Oikos 68:571-573.

Stedman J., Vincent K., Campbell G., Goodwin J., Downing C., 1997. *New high resolution maps of estimated background ambient NOx and NO2concentrations in the U.K,* Atmos. Environ., 31, 3591–3602.

Stefanini L., 2006. *I sistemi informativi geografici (GIS) e le nuove applicazioni dell'informazione georeferenziata*. Argomenti, 16. Franco Angeli Editore.

Tillio L., 2008. *Una nuova concezione dell'informazione geografica: verso le infrastrutture di dati spaziali*. In: L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788856803631

Tomlin C., D., 1990. *GIS and cartographic modeling*. Publisher: Prentice Hall College Div. ISBN-10: 0133509273

Tomlin C., D., 1994. *Map Algebra: one perspective. Landscape and Urban Planning*. Volume 30, Issues 1–2, October 1994, Pages 3-12.

Tomlinson, R., Petchenik, B. (eds.), 1988. *Reflections on a Revolution: The Transition from Analogue to Digital Representations of Space*, 1958-1988, vol. 15 (3). The American Cartographer. (Special issue).

Torricelli M.C., 2015. *ES-LCA e patrimonio naturale Life Cycle Analisi ambientale e sociale di un'area protetta*. ISBN: 978-88-6655-802-6

Triantakostantis D., Stathakis D., 2015. *Examining urban sprawl in Europe using spatial metrics.* Geocarto International, DOI: 10.1080/10106049.2015.1027289

USACE, 1992. *Catalog of residential depth-damage functions used by the Army Corps of Engineers in Flood Damage estimation*. IWR Report 92-R-3. 140 pp.

Van der Grift E.A., Findlay S., van der Ree R., Fahrig L., Houlahan J., Jaeger J.A.G., Klar N., Madriñan L.F., Olson L. 2013. *Evaluating the effectiveness of road mitigation measures*. Biodivers Conserv 22(2): 425-448.

Van der Ree R., Jaeger J.A.G., Van der Grift E.A. Clevenger A.P., 2011. *Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales.* 16 (1): 48. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art48/

Van der Ree R., Grilo C., Smith D. 2015. *Road ecology: A practitioner's guide*. Wiley Publications.

Van Zoest, J. and Melchers M., 2006. *Leven in stad. Betekenis en toepassing van natuur in de stedelijke omgeving. KNNV Uitgeverij Utrecht* (citato in Technische commissie bodem, 2010).

Vienneau D., De Hoogh K., Briggs D., 2009. *A GIS-based method for modelling air pollution exposures across Europe*, Science of the Total Environment, Elsevier.

Vizzari M., Tognetti R., Marchetti M., 2015. *Forest Ecosystem Services: Issues and Challenges for Biodiversity, Conservation, and Management in Italy*. Forests 06/2015; 6:1810-1838. DOI:10.3390/f6061810

Vretanos P.A., 2005. *OpenGIS® Web Feature Service Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 04-094. http://www.opengeospatial.org/standards/wfs

Wackernagel H.. 1995. *Multivariate Geostatistics*, Springer Verlag, Berlin, 1995.

Walden A. T. Guttorp P.,1992. *Statistics in the environmental and earth Sciences*, Arnold, 1992.

White, G.I., 1945. *Human adjustments to floods.* Department of Geography, University of Chicago, Research Paper No. 29.

White, G.I.. 1964. *Choice of adjustments to floods.* Department of Geography, University of Chicago, Research Paper No. 93.

Whiteside A., Evans J.D., 2008. *OpenGIS® Web Coverage Server Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 07-067r5, http://www.opengeospatial.org/projects/groups/wcs.swg

Wilson M.F.J., O'Connel B., Brown C., Guinan J. C., Grehan A. J., 2007. *Multiscale Terrain Analysis of multibeam Bathymetry data for habitat mapping on the continental slope*. Marine Geodesy, 30: 3-35, 2007.

Wolff, G., Höke, S., Lazar S., Kaufmann-Boll C. 2011. *Environmental impact of urban soil consumption*. Urban SMS, Soil Management Strategy.

Yong, D. L., Wood, A. K. 2012. *Effectiveness of Sharp-tailed Grouse Transplants in the Tobacco Valley, Montana*. Intermountain Journal of Sciences 18(1-4): 31-38.

Zajczyk F., 1997. *Il mondo degli indicatori sociali*. Una guida alla ricerca sulla qualità della vita, La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Zevenberger L.W., Thorne C.R., 1987. *Quantitative Analysis of land surface topography*. Earth Surface Processes and Landforms 12, pp 12-56.

Zullo F., 2014. *La direttiva INSPIRE sui metadati territoriali*. In: Pianificazione sostenibile del territorio. Romano B., 2013. Verdone Editore.

Zullo F., Paolinelli G., Fiordigigli V., Fiorini L., Romano B., 2015. *Urban development in Tuscany. Land uptake and landscapes changes*. TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment. ISSN 1970-9889 | on line ISSN 1970-9870, 8(2):183-201. DOI 10.6092.1970-9870/2864.

Dal 2014 è professore a contratto in "Sistemi Informativi Territoriali e Valutazione Ambientale" nei Corsi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Biologia Ambientale e Gestione degli Ecosistemi dell'Università degli Studi dell'Aquila. È Ph.D. in Scienze Ambientali, la sua attività di ricerca riguarda i temi della pianificazione territoriale, dell'ecologia del paesaggio e dell'uso delle applicazioni GIS nelle scienze del territorio in particolare per lo studio dei cambiamenti di uso del suolo e per l'analisi, la diagnosi e la valutazione ambientale. E' autore di circa 40 pubblicazioni tra cui 4 dei primi lavori su rivista internazionale inerenti il fenomeno della conversione urbana dei suoli in Italia (Journal of Land Use Science, 2012; International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems, 2013; Land Use Policy, 2014; Journal of Urban Research and Practice, 2015). http://www.planeco.org/staff/pag_person.htm.

L'obiettivo di questo libro è quello di formare il lettore sul complesso mondo dell'informazione geografica e del suo utilizzo nei processi che riguardano la diagnosi ambientale e la pianificazione territoriale. I Sistemi Informativi Territoriali sono infatti uno strumento indispensabile per chi opera nel campo ambientale e per questo sono sempre più diffusi negli uffici tecnici delle amministrazioni e degli enti locali oltre che nel mondo delle professioni. La struttura del testo è stata pensata per essere utilizzata in via prioritaria dagli studenti dei corsi di laurea in Ingegneria Civile, Edile – Architettura, Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Biologia Ambientale e Gestione degli Ecosistemi ma anche da chi quotidianamente si occupa di attività che hanno a che fare con il territorio (valutazioni ambientali, pianificazione territoriale, geomarketing, sistemi di servizi di rete ed infrastrutturali, organizzazione e gestione dei servizi pubblici). Il volume inoltre analizza e descrive le principali tecniche di analisi spaziale illustrando contestualmente una serie di indicatori utilizzati correntemente in campo ambientale oltre che le modalità analitiche per la loro implementazione. Il lettore può quindi replicare tali esercizi o applicare le tecniche descritte secondo le proprie esigenze utilizzando il software Open Source.

ISBN 978-88-85312-65-4

€ 40,00