

Il database di sintesi nazionale (DBSN) dell'Istituto Geografico Militare (IGM)

Carlo Perugi^(a) Cinzia Tafi^(b) Nicola Nozzoli^(c)

- (a) Istituto Geografico Militare, Direzione Acquisizione Dati, via Cesare Battisti 10, 50122 Firenze vdiracdati@geomil.esercito.difesa.it
- (b) Istituto Geografico Militare, Direzione Acquisizione Dati, via Cesare Battisti 10, 50122 Firenze caservgdbni@geomil.esercito.difesa.it
- (c) Istituto Geografico Militare, Reparto Informazioni Geografiche, via Cesare Battisti 10, 50122 Firenze noznoz@libero.it

PREMESSA

L'informazione geografica, grazie alle sempre più sofisticate tecnologie impiegate nei cellulari, tablet e navigatori satellitari, è entrata ormai a far parte della quotidianità di ognuno di noi e diamo ormai per scontato l'aiuto pratico che ne deriva. Possiamo, almeno per il momento, distinguere l'utilizzo "al dettaglio", con gli strumenti sopraccitati, delle informazioni finalizzate ad un'esigenza contingente come trovare il più vicino ristorante di pesce, trovare il più rapido itinerario stradale oppure un uso di più ampio respiro, fruibile con SW e HW diversi, dove le informazioni geografiche rilevate in modi diversi e riunite in un unico contenitore possono dare luogo a relazioni utili per la creazione di dati statistici. In questa seconda categoria di utilizzo si possono annoverare semplici interrogazioni come il numero di edifici scolastici esistenti in un determinato comune o operazioni più complesse di cosiddetto "data mining" con le quali si possono elaborare, incrociando varie tipologie di dati, ipotesi sulle ragioni di un certo fenomeno. Forse il primo esempio conosciuto in tal senso lo possiamo attribuire all'opera di un medico, John Snow che nel 1854 trovò la relazione fra i morti di colera e l'uso da parte della popolazione dell'acqua di una fontana situata in una strada di Londra, mappando la distribuzione dei casi della malattia nel quartiere di Soho rispetto all'esatta posizione della fontana.



Figura 1 – La mappa di Snow

IGM, in qualità di Organo Cartografico di Stato ha compreso le nuove esigenze dettate dalla necessità di elaborare dati sempre più completi e disponibili in tempo reale e, andando oltre l'usuale concetto di scala al quale era legata la sua produzione, ha focalizzato l'attenzione su ciò che è più importante nella creazione di una Banca Dati (DB) geografica, l'informazione completa, omogenea, accurata nella localizzazione e utile nell'ambito di

competenza che per un Ente statale non può essere che il territorio nazionale.

IL CONTENITORE

IGM sta quindi lavorando alla creazione di un database topografico nazionale (DBSN). La prima fase ormai conclusa ha comportato la raccolta ed omogeneizzazione dei dati provenienti da DB e CAD (Computer Aided Drafting) regionali in un unico modello di database. Tale modello deriva dalla Specifica di contenuto dei database geotopografici (Catalogo dei dati territoriali allegato al DPCM 11/11/2011) e ne costituisce un sottoinsieme di classi e attributi. Infatti da 159 classi divise in dieci categorie tematiche sono state selezionate 91 classi appartenenti a nove tematismi.



Figura 2 – Tematismi classi e attributi presenti nel Database

La selezione operata per le classi del Catalogo è stata effettuata proprio con la finalità di poter rappresentare e collocare le informazioni più significative nel database concepito per un ambito nazionale. DBSN sta per DataBase di Sintesi Nazionale. Il termine sintesi si riferisce alla selezione delle informazioni, cioè di classi e attributi, e all'elaborazione geometrica e topologica e alla fusione degli oggetti basata sulla identità dei valori degli attributi. Si riferisce inoltre alla possibilità di integrare i propri dati da più dataset di diversa origine. Il modello di dati deve quindi essere adeguato per un livello di scala nazionale. Un modello in cui la risoluzione informativa può, specialmente per certe classi, rimanere ad una scala nominale più grande ma che deve trovare il compromesso migliore per adeguare tale risoluzione all'estensione dei fenomeni descritti attraverso le classi di oggetti selezionate.

CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

I dati appartenenti ad ognuna delle Regioni italiane presentano diversità di formato, di schema, di interpretazione e di aggiornamento. Nella prima fase il lavoro si è quindi concentrato nel rendere omogenei i dati nel formato DBSN utilizzando strumenti efficaci come FME (Feature Manipulation Engine). I dati regionali sono stati inclusi con la loro geometria originaria. Solo nei casi in cui lo schema DBSN ne prevede una diversa, il dato originario è stato adeguato. Non sono state quindi portate a termine operazioni di generalizzazione sui dati vettoriali atte a ridimensionarli ad una diversa ed unica scala nominale. La topologia è quella originaria dei dati stessi. La stessa filosofia viene applicata per gli altri dati che vengono inseriti, se necessario, ad integrazione della base regionale.

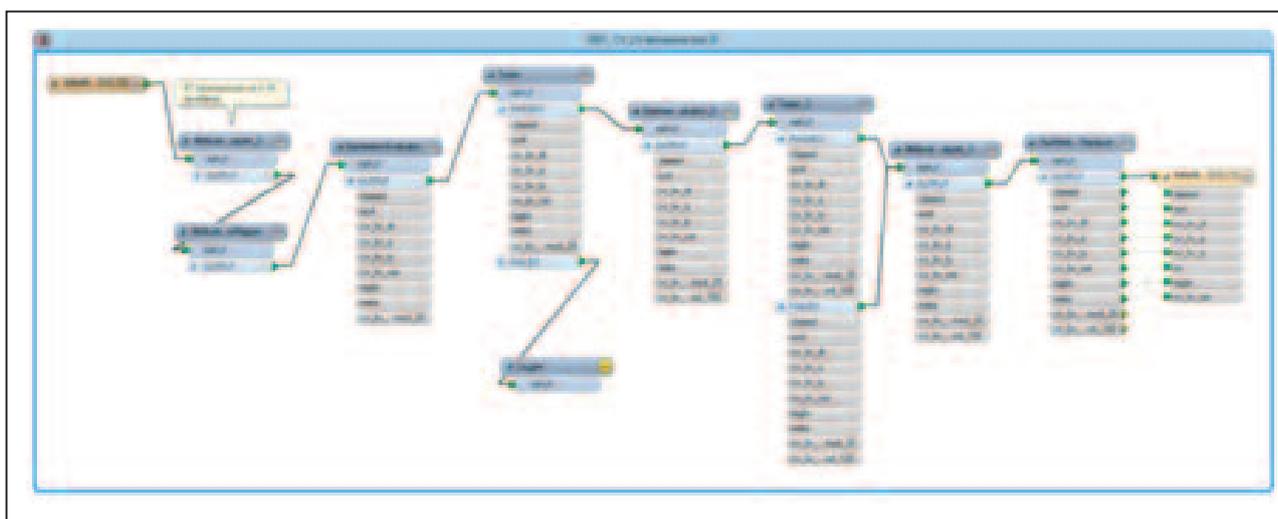


Figura 3 – Un diagramma di conversione dati fra uno schema regionale e quello DBSN

La scala nominale dei vari dati che vanno a popolare il DBSN varia a seconda della provenienza, per i dati regionali tipicamente è il 5K ma si possono trovare anche dati al 10K. Il catasto ha digitalizzato le informazioni partendo dalle canapine, storicamente alle scale 1K e 2K ed altre fonti di informazione raccolgono e assemblano vettori rilevati con metodi satellitari diretti. Vi è quindi una variabilità nell'accuratezza posizionale degli oggetti che comunque rimane in un ambito conforme alla risoluzione dei dati.

La fase attuale consiste nell'aggiornamento di alcune delle principali classi presenti nel DBSN con l'ausilio di fonti informative georiferite ufficiali e non ufficiali. Ogni record porta il metadato relativo alla sua provenienza e la data di acquisizione. Il piano degli interventi di aggiornamento prevede di concentrare l'attenzione, in un primo momento, su un certo numero di classi significative intervenendo successivamente su altre classi appartenenti ad altri tematismi. Quindi a regime si innesterà un ciclo continuo che dovrà mantenere aggiornato il Database intervenendo su un certo numero di classi alla volta. Attualmente siamo in una fase nella quale gli interventi di aggiornamento sono rilevanti, per la mancanza di omogeneità dei dati, e ciò comporta l'allungamento del periodo

di un ciclo completo mentre i prossimi cicli saranno ovviamente via via più brevi. L'unità di lavoro rimane per ora il territorio regionale salvo che per alcune classi per le quali ci può essere un approccio diverso.

AGGIORNAMENTO TRAMITE INTEGRAZIONE DA VARIE FONTI

Fonti di interesse per l'integrazione dei dati sono quelle ufficiali, come ad esempio l'ISTAT, le banche dati georiferite e non come per esempio l'elenco dei plessi scolastici di ogni ordine e grado e delle università, compilato dal MIUR (Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca). In questo caso l'elemento di georeferenziazione consiste nell'esatto indirizzo, comune strada e numero civico, riportati nella tabella a fianco della denominazione dell'edificio scolastico. L'informazione è puntuale ma se esatta ed insistente su di un oggetto areale privo di attributi, serve a completare l'informazione. Fra le fonti non ufficiali, open source, costituisce un riferimento preminente Open Street Map (OSM), sicuramente il più aggiornato e completo specialmente per quanto riguarda i dati relativi ai Trasporti ma non solo. Infatti, per esempio, sono presenti molte informazioni puntuali relative alla destinazione d'uso di edifici di interesse: scuole, ospedali, edifici amministrativi etc.. Nella figura 4 il confronto fra strade ed edifici dove in verde sono i dati regionali ed in



rosso i dati appartenenti ad OSM. In questo caso vi è una certa congruenza per la viabilità mentre vi sono edifici non presenti in OSM. Per contro in questo dataset si possono riscontrare un maggior numero di informazioni puntuali riguardanti proprio gli edifici che nel dato regionale possono mancare. Per quanto riguarda i trasporti, viene lanciata una routine con la quale si confrontano i diversi dataset, mettendo in grado di agire in modo semiautomatico.

Figura 4 – Esempio di confronto fra dato regionale e dato OSM

L'integrazione avviene anche per il tramite della più recente edizione di ortoimmagini a disposizione mediante le quali vengono effettuate le validazioni

su alcuni attributi delle classi da aggiornare.

CLASSI PRIORITARIE E VERIFICHE DI QUALITA'

La pianificazione del lavoro di integrazione prevede l'aggiornamento di alcune classi significative, per questo designate come prioritarie, appartenenti ai tematismi dei trasporti, dell'edificato, dell'idrografia, degli ambiti amministrativi e delle pertinenze. Si è scelto quindi di aggiornare in questa prima versione del DBSN le classi di cui sopra e rimandare a fasi successive l'aggiornamento delle rimanenti.



Nella figura a fianco l'elenco delle suddette classi. A parte l'idrografia, le classi appartenenti a gli altri tematismi sono certamente quelle più suscettibili a frequenti aggiornamenti.

Completate le operazioni di integrazione, vengono effettuate validazioni sui dati. I parametri di qualità presi in esame sono: accuratezza posizionale, completezza, accuratezza tematica. Una serie di controlli vengono eseguite su tutta la popolazione dei dati, altri a campione. Per il controllo dei dati del DBSN vengono utilizzate principalmente le ortofoto AGEA, e tutti i dati ancillari disponibili. L'analisi dei dati tende ad accertare che i

Figura 5 – Classi prioritarie

risultati ottenuti sul campione siano per deduzione significativi per l'intera regione. Confrontando le geometrie con le analoghe interpretate nell'ortofoto, si elaborano dei valori di accuratezza relativa che possono essere utilizzati per determinare valori di accuratezza assoluta conoscendo i parametri dell'ortofoto stessa. Per la completezza di ogni singola classe si determinano le percentuali degli oggetti errati/mancanti sui totali. Il controllo dell'accuratezza tematica interessa una selezione di attributi fra quelli obbligatori e ritenuti più importanti.

Un errore tematico è presente quando, in un singolo record sono stati inseriti uno o più attributi errati fra quelli esaminati.

PRODOTTI E SERVIZI

I dati del DBSN vengono vestiti con i segni convenzionali IGM per la scala 1:25000 in modo da predisporre l'allestimento cartografico che sarà visualizzato in un continuo geografico su apposito portale mediante il quale l'utente (ad oggi solo personale IGM) potrà scegliere e ritagliarsi l'area di interesse, corredata da informazioni marginali, in un formato immagine scaricabile.



Figura 6 – Spezzone cartografico visualizzabile da WEB

Il taglio dello spezzone cartografico è piano quindi coincide con valori interi del reticolo cartografico e la sua ampiezza è di 18 Km in est e 14 Km in nord (252 Km quadrati). Il reticolato è il prodotto dalla trasformazione cartografica Trasversa Mercatore di meridiani e paralleli, appartenenti al Sistema di Riferimento ETRF2008, applicata ad un unico fuso con origine in corrispondenza del meridiano centrale dei 12° (Fuso Italia).

Nel progetto del servizio proposto, il layout cartografico è la visualizzazione dei dati contenuti nel DBSN, almeno di quelli rappresentabili cartograficamente. Considerando che nel database le informazioni devono essere raccolte costantemente perché, in special modo alcuni tematismi, soggette a continuo aggiornamento, le operazioni di vestizione cartografica devono essere automatiche. In effetti sono applicate alcune procedure di generalizzazione cartografica necessarie per la leggibilità della carta, facilitate dal fatto che il passaggio da una risoluzione informativa alla scala nominale 1:10000 a quella ad una scala 1:25000 non necessita di operazioni onerose e complicate.

Sono oggetto di studio l'istituzione di analoghi servizi per la costruzione di layout dalla scala 1:50000 a scale minori.

CONCLUSIONI

Il progetto tende a favorire la partecipazione e concertazione fra Enti produttori di dati geografici mettendo a sistema le informazioni di interesse nazionale. Il futuro del DBSN consiste nel favorire il processo di aggiornamento dei dati geografici per tutti i possibili utilizzatori a partire da quelli della PA (Pubblica Amministrazione) sia per l'ordinaria amministrazione che per gli episodi di emergenza.

BIBLIOGRAFIA

Steven Johnson, *The Ghost Map: The Story of London's Most Terrifying Epidemic – and How it Changed Science, Cities and the Modern World*, Riverhead Books, 2006, pp. 195-196, ISBN 1-59448-925-4.

Dulli Susi; Furini Sara; Peron Edmondo. *Data Mining*, Springer Verlag, 2009

DECRETO 10 novembre 2011 Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici. (Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37). Allegato 1 - Catalogo dei dati territoriali – Specifiche di contenuto per i DataBase Geotopografici. Allegato 2 - Il modello GeoUML – Regole di interpretazione delle specifiche di contenuto per i DataBase Geotopografici

Per una cartografia GIS dei soggetti giuridici religiosi nella Toscana alla metà del XIX secolo

Sergio Pinna ^(a), Paola Zamperlin ^(a), Giancarlo Macchi Jánica ^(b), Massimiliano Grava ^(a)

^(a) Università di Pisa, tel. +390502215400, fax. +390502215537, e-mail. Sergio.pinna@unipi.it

^(b) Università degli Studi di Siena, tel. +390577234614, fax. +390577233671, e-mail. macchi@unisi.it

Abstract

Nelle ricerche geografiche, il ricorso a metodologie digitali GIS, così come consente di processare degli elementi di cartografia storica onde utilizzarli al meglio nella ricostruzione degli assetti territoriali del passato, permette anche, partendo da documentazioni testuali d'archivio, di costruire delle nuove carte che forniscono varie possibilità di estendere gli orizzonti degli studi.

In questo caso, sono stati georeferenziati dei dati inediti relativi al Granducato di Toscana alla metà dell'Ottocento e concernenti i valori imponibili di tutti i soggetti giuridici religiosi. Questi dati sono stati collegati agli elementi poligonali del Catasto Generale della Toscana riferiti agli ambiti comunitativi, in modo da realizzare una serie di carte (una per ognuna delle classi in cui sono suddivisi i suddetti soggetti), che costituiscono uno strumento visivo per un analitico esame dell'organizzazione amministrativa del territorio toscano a poco più di mezzo secolo dalla (temporanea) soppressione degli enti religiosi, operata da Napoleone.

Le fonti d'archivio

Nel febbraio del 2016, in occasione di una giornata di studi dedicata ai catasti ottocenteschi organizzata dall'Archivio di Stato di Firenze, sono stati presentati i lavori di riorganizzazione e pubblicazione di un complesso documentario conservato presso l'Istituto fiorentino e denominato: *Catasti ottocenteschi e archivi aggregati*.

All'interno di questo articolato ed eterogeneo fondo, il cui riordino successivo all'alluvione di Firenze del 1966 è durato ben cinquant'anni, è confluita un'enorme messe di serie documentarie comprese cronologicamente tra il 1802 e il 1865. Oltre ai fondi più propriamente catastali (Deputazione per la compilazione del Nuovo Catasto; Soprintendenza alla conservazione del Catasto; Soprintendenza generale alle Comunità del Granducato; Imperiale e Regio Ufficio di conservazione del catasto; Commissione per l'ultimazione del Catasto e Ufficio generale delle comunità del Granducato), all'interno di questo "contenitore" dedicato agli Uffici Centrali del Granducato, sono state inoltre ricomprese in detto insieme la documentazione proveniente dall'Ufficio

generale delle comunità del Regno (1802-1806) e quella della Direzione generale del pubblico censimento (istituita nel 1848); due complessi archivistici, come del resto anche gli altri di questo fondo, rimasti del tutto inesplorati sino al loro riordino avvenuto nel 2016.

Durante una fase di ricognizione dei materiali inerenti al catasto, ci siamo imbattuti in una serie del fondo del pubblico censimento, costituita da sette unità archivistiche e denominata: Indice generale delle parrocchie, pievanie, priorati e propositure (Fig. 1).

All'interno di questi registri, talora riportate in ordine alfabetico talaltre per Comunità, sono state annotate la rendita imponibile dei beni di ogni soggetto giuridico religioso, con l'indicazione della carta catastale del campione o del supplemento, la località ove erano situati i beni (esenti o meno che fossero) e la data di verifica della situazione patrimoniale di ogni Istituto (il riordino di tale documentazione è stato effettuato da Susanna Gori, archivista collaboratore esterno dell'Archivio di Stato di Firenze)¹.

Figura 1 - Screenshot di una pagina del volume relativo alle Cappelle con le informazioni in esso contenute.

Nell'ordine, all'interno di questi volumi datati tra il 1850 e il 1856, si trovano pertanto: il nome dell'ente religioso, il nome e cognome del rettore dell'Istituto, la data di verifica dei beni accatastati, la Comunità in cui questi beni erano ubicati, la carta del registro del Campione e la rendita imponibile espressa in lire. Nell'occasione vennero quindi raccolti in questa serie di

¹ <http://www.archiviodistato.firenze.it/catasti/cgi-bin/pagina.pl?CurChiaveAlbero=12036&CurTipoAlbero=ca&CurApriNodo=1&CurRecId=12036&CurRecType=ca&PrpSecId=38>

registri, evidentemente con fini fiscali, tutti i beni di: parrocchie, pievanie, prebende, priorati, propositure, cappelle, chiese, canonici, canoniche, cappellanie, compagnie, confraternite, congregazioni, conservatori, conventi, cure e benefici.

Alcuni di essi avevano una rendita effettiva, che naturalmente non corrispondeva a un importo fisso, ma che veniva richiesta in quota parte nel momento in cui era decretata una imposta generale; altri invece, ereditando probabilmente parte di quelle esenzioni fiscali già del Catasto Generale della Toscana (1835), non avevano alcun imponibile d'imposta per i beni loro accatastati (Zobi, 1852; Poggi, 1867; Baldasseroni, 1871).

Come si può evincere con tutta evidenza, questa serie di registri ci restituisce una serie di notizie relative allo stato patrimoniale dei possidenti religiosi, aggiornata in base ai vari accolti successivi all'attivazione del catasto, estremamente utile per lo studio degli assetti proprietari degli enti ecclesiastici toscani a meno di un decennio dall'entrata della Toscana nel Regno d'Italia (Zuccagni-Orlandini, 1832, 1855). Da segnalare infine il fatto che il suddetto Indice Generale, essendo stato confezionato impiegando i dati catastali, non comprende al suo interno quelli relativi all'ex-Ducato di Lucca (confluito sotto il Granducato solo nel 1847 e quindi privo di documentazione fiscale) così come di quei territori, già granducali a questa data, ma confluiti successivamente all'attivazione del Catasto nella Liguria e nell'Emilia-Romagna (Pontremoli, Barga, Stazzema ecc.).

Criteri di costruzione della banca dati geografica

La prima fase di costruzione del geodatabase si è rivolta all'acquisizione dei dati compresi nei sette volumi che componevano il fondo. Questo passaggio, data la natura seriale del dato, è stato realizzato impiegando un semplice foglio di calcolo, inserendo all'interno delle colonne le informazioni relative al valore assoluto di ricorrenze di ogni Comunità. Nei registri infatti, i redattori dei documenti non specificano il numero e la tipologia di beni posseduti da ogni soggetto, limitandosi solo a indicare l'imponibile complessivo. Di fatto quindi si è pensato di rilevare, per ogni "classe" di possidente, il numero totale di proprietà per ciascuna comunità. Il risultato quindi è consistito nell'elaborazione di una tabella in cui, per ogni territorio, è stato annotato il numero di chiese, parrocchie, monasteri ecc. che avevano beni in esso accatastati.

Terminata questa lunga fase di acquisizione dei dati nelle fonti archivistiche, ci si è successivamente dedicati alla creazione – in realtà come vedremo a breve si è piuttosto trattato di una modifica – dello shapefile poligonale a cui agganciare queste informazioni. Dopo aver valutato le diverse opzioni disponibili e di comune accordo con i dirigenti del SITA (Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale) della Regione Toscana presso il quale pubblicheremo il geodatabase prodotto in questa ricerca, si è infine optato per impiegare il layer poligonale dei comuni toscani realizzato dal detto ente. Questa scelta, dovuta principalmente al fatto che le geometrie poligonali della regione sono state tutte validate topologicamente, è altresì vantaggiosa per il fatto che, tramite strumenti GIS, i poligoni comunali sono stati tagliati, uniti e

mergiati pur mantenendo comunque una coincidenza di geometrie con i dati in uso del SITA.

Al fine di modificare nella maniera più appropriata le geometrie degli attuali comuni e adattarla a quelle di metà XIX secolo, si è deciso di impiegare come cartografia di base le mappe di uno studio intitolato: «La Toscana dal Granducato alla Regione. Atlante delle variazioni amministrative territoriali dal 1790 al 1990» (Pazzagli, Soldani, 1992). Nell'appendice al primo volume si trovano infatti tutta una serie di carte a scala corografica del territorio toscano con indicati, per diverse epoche, gli antichi limiti amministrativi.

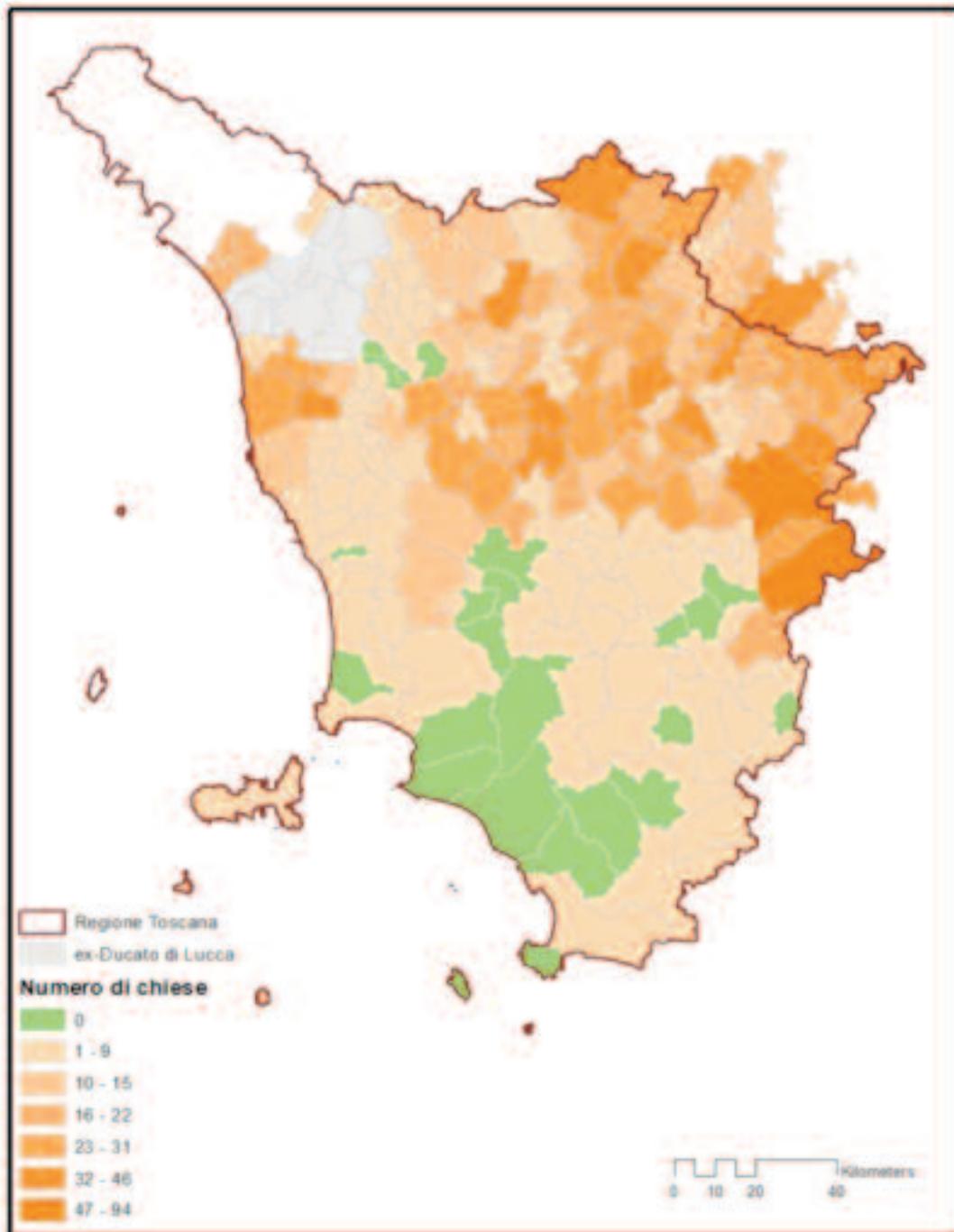


Figura 2 – Carta della distribuzione delle chiese per Comunità, nel 1848; a tratto grosso l'attuale confine amministrativo della Regione Toscana.

Le carte GIS

Una volta individuata la cartografia raster di base più idonea rispetto ai dati contenuti nelle fonti storiche (a nostro avviso quella del 1848), si provveduto a georeferenziare l'immagine raster utilizzando come base di ancoraggio lo shapefile dei comuni toscani. Per cui, una volta completata la georeferenziazione della cartografia, i loro confini hanno dato luogo alla creazione del layer poligonale, al quale sono stati successivamente agganciati i dati del foglio di calcolo degli enti religiosi. Oltre alle informazioni estratte dall'Indice dei contribuenti religiosi, all'interno del geodatabase si è inoltre aggiunta l'informazione demografica comunitativa elaborata dal Laboratorio di Geografia dell'Università di Siena ed estratta dal Dizionario Geografico Fisico e Storico della Toscana del Repetti (Bandettini, 1956, 1960; Repetti, 1833-1846; Macchi Jánica, 2017)².

Un'ulteriore colonna molto importante per il calcolo degli indici di concentrazione inserita nella banca dati geografica è poi quella relativa alla superficie degli ambiti amministrativi modificati. Impiegando rispettivamente il dato delle superfici e quello della popolazione e considerandoli quindi in relazione a quello del numero di chiese (si è scelto di impiegare il dato relativo a questa tipologia di Istituto in quanto dopo il Congresso di Vienna del 1815 le chiese di norma erano state quasi tutte ripristinate), abbiamo realizzato tre carte tematiche.

Nella figura 2, che rappresenta i numeri assoluti delle chiese per ogni unità territoriale, si nota che tutta la parte meridionale della Toscana ha valori molto bassi (il colore verde denota assenza completa), mentre quelli maggiori competono al medio Valdarno, all'Areino orientale ed a qualche zona appenninica. Per quanto riguarda la densità rispetto alla superficie (Fig. 3), ad una analoga condizione di ridotti valori nella porzione meridionale, si osservano differenze nella parte restante, con più alte concentrazioni nei territori di Firenze, Prato e Pistoia. Con riferimento infine alla densità delle chiese rispetto alla popolazione, non desta sorpresa il fatto che i dati maggiori si registrano nella fascia appenninica (Fig. 4).

In conclusione, possiamo quindi affermare che questa fonte, seppur non del tutto impiegata in questa prima fase dell'indagine, sarà fondamentale per chiarire gli assetti proprietari dei diversi Istituti religiosi alla metà del XIX secolo. Un diverso "peso economico" frutto di diverse politiche di questi enti sul territorio (si è visto ad esempio che i conventi, compagnie e le confraternite avevano di norma possedimenti in più Comunità); ma anche di indagare, al di là degli aspetti più propriamente connessi con quelli fiscali, la "rete" (quasi distrettuale) di "famiglie" di religiosi.

Un aspetto di tutto interesse che potremmo quindi indagare, e cartografare, proprio grazie a questo Indice dei Religiosi.

² <http://stats-1.archeogr.unisi.it/repetti/index.php>

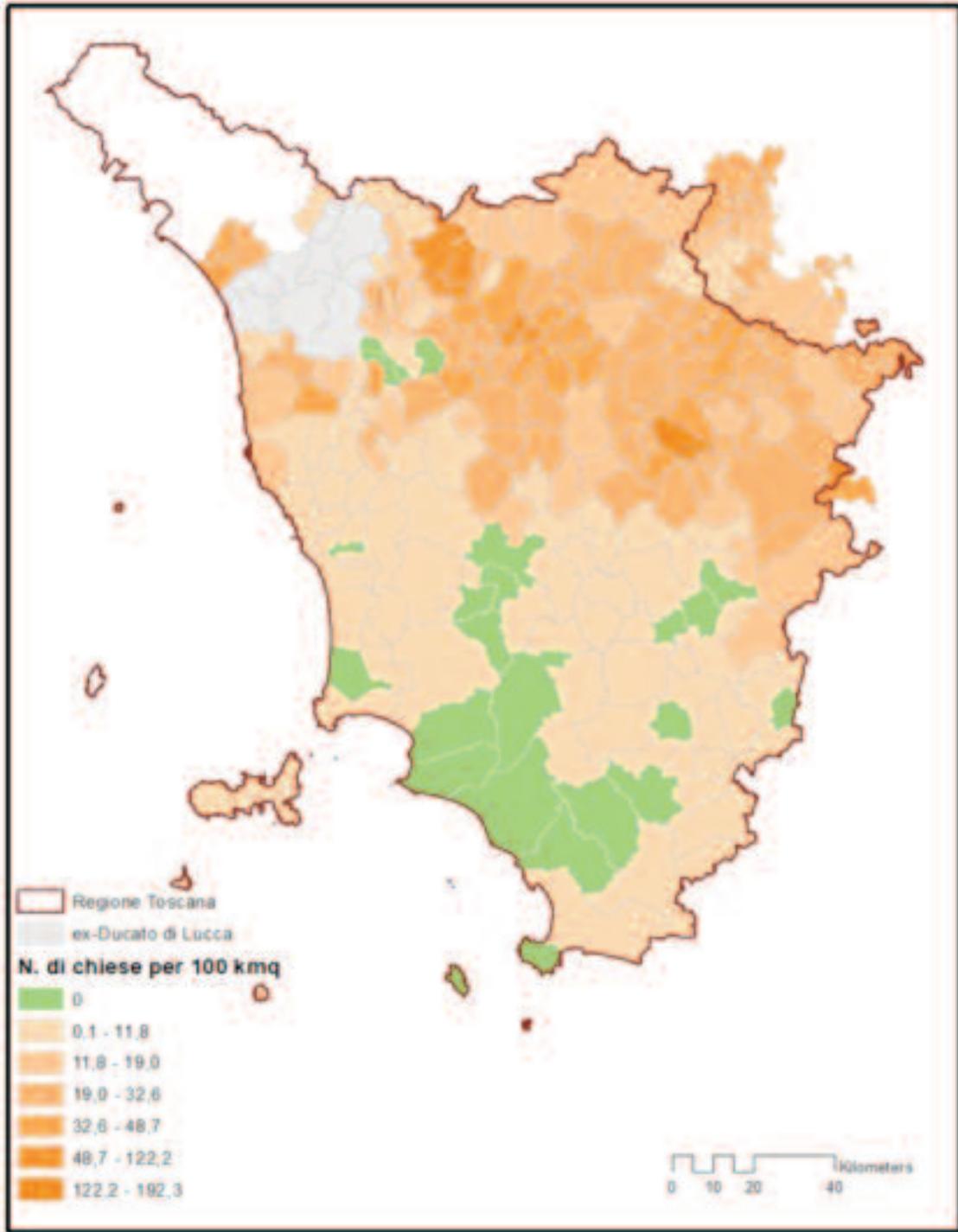


Figura 3 – Carta della densità delle chiese rispetto alla superficie.

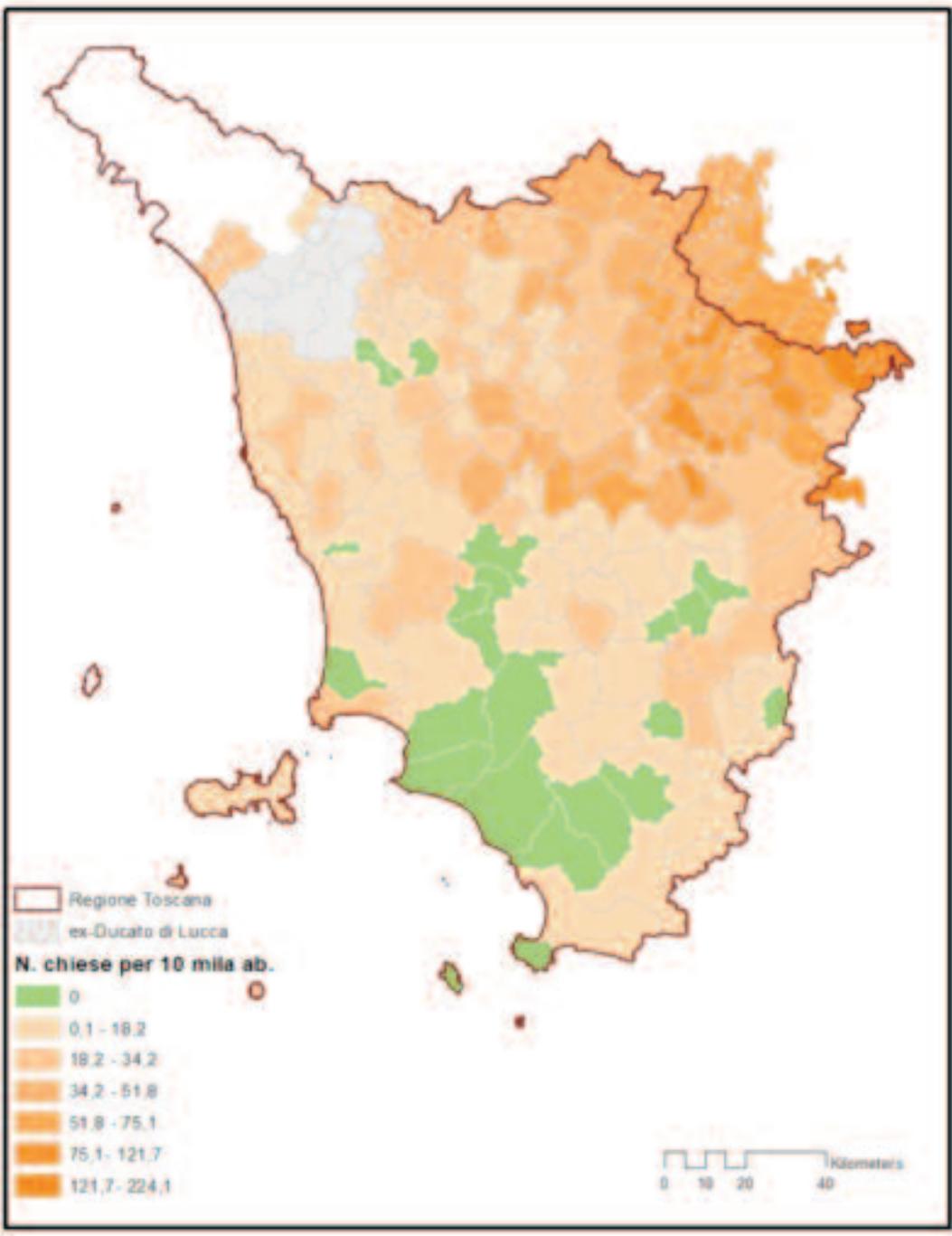


Figura 4 – Carta della densità delle chiese rispetto alla popolazione.

Riferimenti bibliografici

Aa. Vv. (1815-1860), *Almanacco della Toscana*, Stamperia Granducale, Firenze.

Bandettini P. (1956), *La popolazione della Toscana alla meta dell'Ottocento*, Roma.

Bandettini P. (1960), *L'evoluzione demografica della Toscana*, Torino, ILTE - Industria Libreria Tipografica Editrice.

Macchi Jánica G. (2017), *La geografia delle ricerche del Dizionario geografico fisico storico della Toscana*, Accademia senese dei rintronati, Siena.

Pazzagli C., Soldani S. (1992), *La Toscana dal Granducato alla Regione. Atlante delle variazioni amministrative territoriali dal 1790 al 1990*, Edizioni Marsilio.

Poggi E. (1867), *Memorie storiche del Governo della Toscana nel 1859-60*, Tipografia Nistri, Pisa.

Repetti E. (1833-1846), *Dizionario geografico, fisico, storico, della Toscana*, Firenze, Tofani.

Zobi A. (1852), *Storia Civile della Toscana*, Luigi Molini, Firenze.

Baldasseroni G. (1871), *Leopoldo II Granduca di Toscana e i suoi tempi*, Tipografia all'insegna di S. Antonino, Firenze.

Zuccagni-Orlandini A. (1832), *Atlante geografico, fisico e storico del Granducato di Toscana*, Firenze, Stamperia Granducale.

Zuccagni-Orlandini A. (1855), *Annali statistici del Granducato di Toscana*, Firenze, Tipografia Tofani.

Utilizzo di diversi metodi di telerilevamento per la caratterizzazione del danno da schianti su bosco: esperienza post-tempesta VAIA

Francesco Pirotti (^{ab}), Stefano Schiavon(^a), Stefano Grigolato(^a), Giulio Marchetti (^a), Emanuele Lingua (^a)

(^a) Dipartimento TESAF, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16 35020 Legnaro (PD) (*francesco.pirotti, stefano.schiavon, stefano.grigolato, emanuele.lingua*)@unipd.it

(^b) CIRGEO – Centro Interdipartimentale di Ricerca di Geomatica - Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16 35020 Legnaro (PD).

Sommario

L'informazione primaria richiesta dalle autorità dopo un evento che causa un danno significativo sul territorio è la quantificazione dello stesso e la sua geolocalizzazione. Il telerilevamento fornisce la risposta più evidente per fornire questa informazione in modo semi-automatico in tempi brevi. Come riportato nel seguente lavoro, le complessità sono diverse e richiedono soluzioni non immediate per ottenere un dato puntuale ed affidabile. Nel lavoro presentato si riportano le esperienze in alcune aree di studio identificate dopo i danni riportati dalla tempesta VAIA in aree forestali nel Veneto. Le esperienze riguardano sia l'utilizzo di immagini satellitari per un rilievo estensivo che immagini da drone per una stima più dettagliata.

I sensori del programma Copernicus i.e. il gruppo Sentinel, della European Space Agency, in particolare il Sentinel-1 e Sentinel-2, sono la scelta più ovvia dato il libero accesso, il tempo di ritorno di pochi giorni e la risoluzione spaziale relativamente alta. Le elaborazioni presentano delle sfide significative, ovvero la presenza di atmosfera non libera da nuvole - per quanto riguarda i sensori ottici - o i coni d'ombra che si presentano nelle aree montane; per quanto riguarda i sensori radar la differenza tra bosco danneggiato e bosco non danneggiato non è facilmente identificabile. Nel seguente lavoro vengono presentati e discussi i risultati ottenuti usando diversi metodi.

Introduzione

Nel continente Europeo sono stati registrati eventi meteorologici estremi che hanno causato ingenti danni sia al comparto ambientale sia al comparto urbano. Nel caso della tempesta VAIA però, non si sta parlando di un "semplice" disturbo da vento, ma di una vera e propria catastrofe ambientale. Le prime osservazioni sui disturbi da vento nelle foreste sono scarse. Solo nella seconda metà del XIX secolo il numero di segnalazioni è aumentato, specialmente nei paesi dell'Europa centro-occidentale. Tuttavia, è probabile che le informazioni non siano complete e armonizzate, poiché non esisteva un sistema di monitoraggio Europeo rivolto a tali eventi (Gardiner et al., 2013).

Le ricerche scientifiche stimano che circa lo 0,12% del volume dei popolamenti forestali Europei viene danneggiato ogni anno (media 1950–2010) equivalente a circa 38 milioni di $\text{m}^3 \text{anno}^{-1}$ (Gardiner et al., 2013). Il danno alle foreste è dovuto ad una moltitudine di disturbi. Per quanto riguarda i danni abiotici, il vento è il più importante. È il responsabile di circa il 51% di tutti i danni registrati, seguono incendi con il 16%, neve 4% e altri danni abiotici con il 6%. Il danno biotico aggiunge il 17% ed è principalmente causato da scarabei di corteccia (scolitidi). Il restante 6% è costituito da combinazioni di danni che non possono essere direttamente contabilizzati (Gardiner et al., 2013) – vedi figura 1.

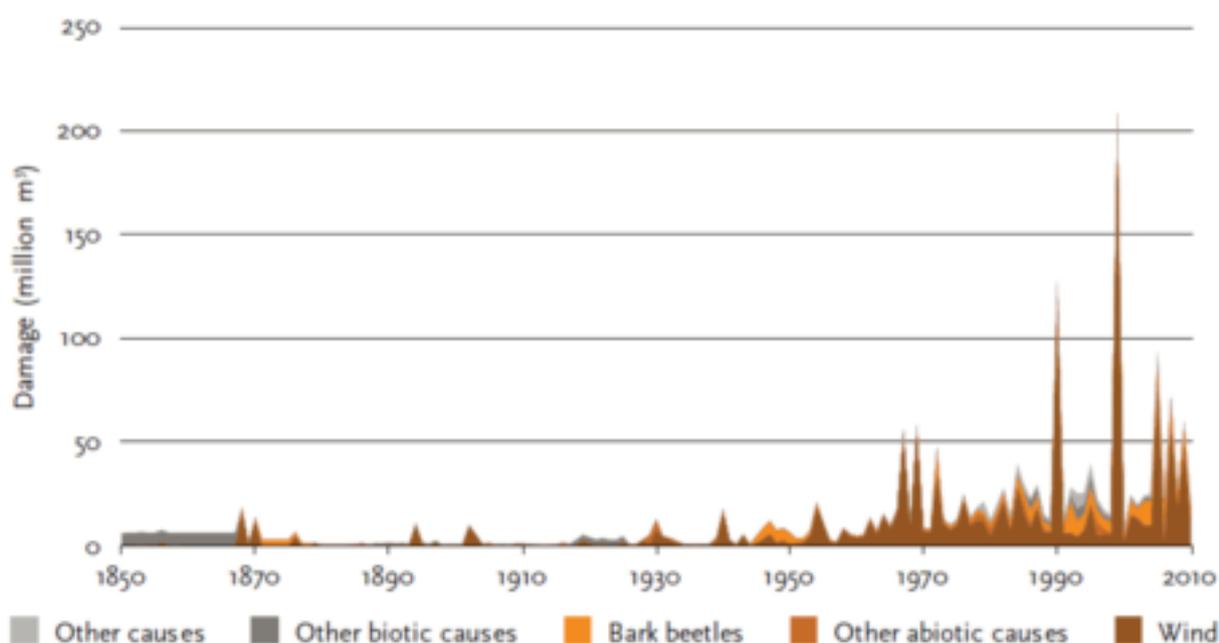


Figura 1 - Danni totali verificatisi nelle foreste europee a causa di diversi disturbi. La categoria "altre cause" comprende danni antropici, cause non identificate e cause miste; modificato da Fonte: (Gardiner et al., 2013).

In figura 2 sono rappresentate in un'unica mappa molte tempeste che hanno causato ingenti danni alla copertura forestale, dal 1950 al 2009. Nel periodo compreso tra il 25 gennaio e il 2 marzo 1990, vasta parte dell'Europa ha subito otto cicloni invernali extratropicali, fenomeno denominato "Vivian", con velocità del vento superiore a livello 12 della scala di Beaufort. E' dunque chiaro che in Europa, in tempi relativamente recenti, si sono verificati vari eventi estremi legati a tempeste e che quasi tutti hanno portato un livello di distruzione del comparto forestale superiore rispetto a VAIA.

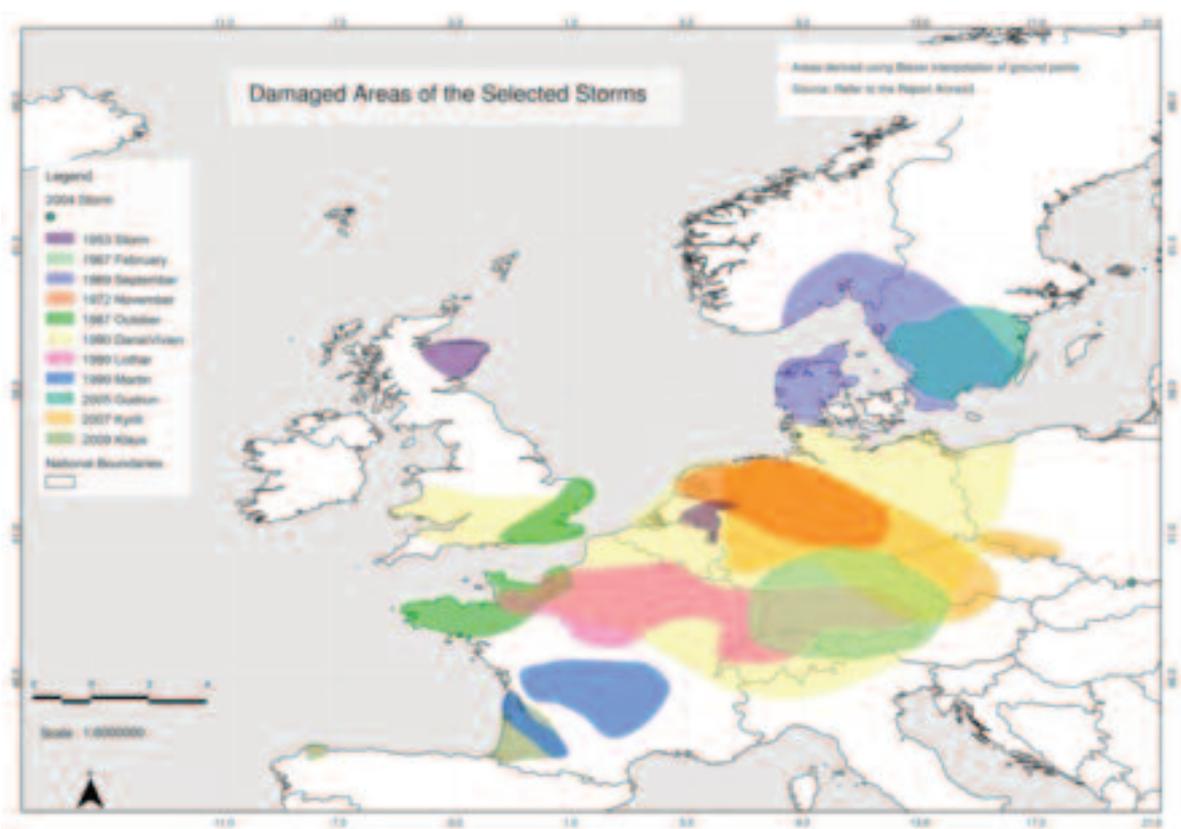


Figura 2 - Zone stimate in Europa colpite da grandi temporali (Fonte: Gardiner et al., 2010).

Come si può vedere in figura 2 sopra, la zona alpina italiana è stata solamente sfiorata da due eventi: uno nel 1967 e uno nel 1990 (Vivian). L'Italia è dunque stata relativamente al sicuro da eventi di tale intensità e dimensioni. Anche per questi motivi, la tempesta VAIA è stato un evento per il quale non c'erano strutture già testate, sia organizzative che logistiche, per una risposta concertata e organizzata. Le organizzazioni addette alla gestione del territorio e la popolazione si è dunque trovata a dover affrontare la sfida complessa di rispondere all'evento mettendo in programma decisioni importanti in poco tempo.

Tabella 1 - Principali tempeste avvenute in Europa negli ultimi 30 anni.

Storm	Anno	m³ x10³ (danno)
Viviane	1990	60
Lothar & Martin	1999	240
Gudrun	2005	75
Kyrill	2007	66
Klaus	2009	47
Vaia	2018	~8.5

La tempesta VAIA

Tra il 27 ed il 30 ottobre 2018, oltre ad intense piogge, i monti del triveneto sono stati interessati da venti molto forti ad oltre 120 km h⁻¹, con un picco addirittura di 196 km h⁻¹ (Tabella 2) misurato dalla stazione ARPAV del Monte Cesen (TV) a quota 1552 m s.l.m. Il forte vento non ha generato la classica tromba d'aria, che normalmente agisce in modo piuttosto localizzato, ma

un'estesa azione della tempesta che ha colpito ampie superfici (vedi Figura 3).

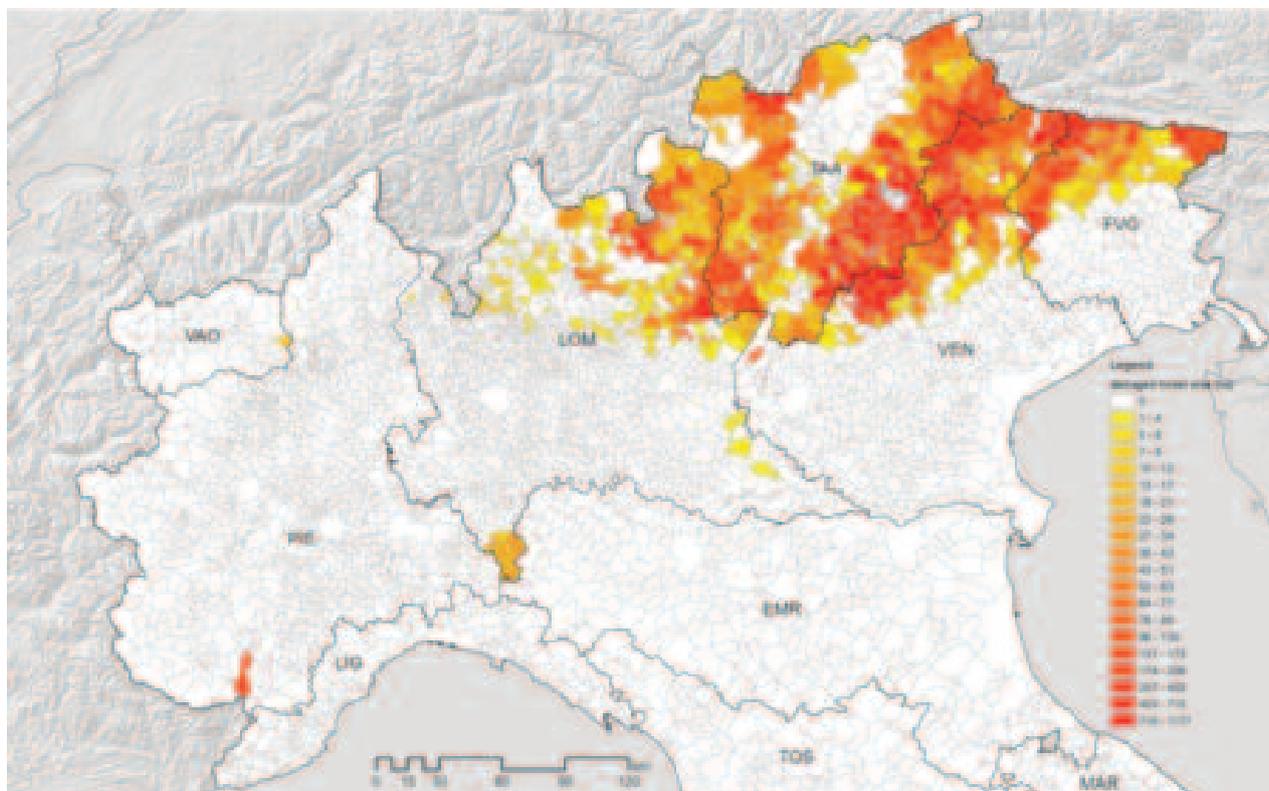


Figura 3 1- Estensione dei danni causati da Vaia nel Nord-Est Italia (Chirici et al. 2019).

Si è trattato di una profonda depressione transitata nelle sue massime intensità il giorno 29 sulle Alpi occidentali, raggiungendo un minimo barico eccezionale. La pressione atmosferica è arrivata a ben 978.7 hPa, valore tra i più bassi mai registrato; questo ha permesso la generazione di una potente "forza traente" capace, a sua volta, di originare un vento di scirocco sull'Italia nord-orientale e di libeccio sulle coste tirreniche, di notevole intensità. Le persistenti e intense piogge e il fortissimo vento caldo di scirocco hanno avuto un effetto devastante sulle aree forestali, probabilmente amplificato anche dall'orografia, che ha favorito in molti casi l'innesco di venti di versante. Questo fenomeno avviene quando la massa d'aria, spinta violentemente sui rilievi montuosi, accelera ulteriormente (effetto Venturi), come l'acqua di un torrente che improvvisamente supera dei massi presenti in alveo (Durrant D. R., 2002).

La suscettibilità allo schianto degli alberi dipende da diversi fattori, oltre che dalla velocità del vento anche gestionali, ma per quanto sia robusto l'ancoraggio offerto dall'apparato radicale, esiste comunque un limite di velocità (circa 150 km/h) oltre il quale il vento, pur non sradicando l'albero, ha un'alta probabilità di spezzarlo (Viroto E., 2016).

Tabella 2 - Velocità massime del vento registrate il 29.10.2018 in alcune località del triveneto. Fonte: ARPAV, ARPA FVG, Meteo Trentino, Meteo Alto Adige. Tratto da (Carraro V. 2019).

Stazione	Prov.	Quota m s.l.m	Ora	Direzione	Velocità Km h⁻¹
Monte Cesen	TV	1552	18:23	SSE	192.2
Monte Verena	VI	2002	20:01	SE	166.7
Monte Zoncolan	UD	1705	n.d	SE	139
Monte Matajur	UD	1630	n.d	S	131
Monte Avena Feltre	BL	1415	18:37	SE	126.4
Dobbico Cima Piatta	BZ	2906	18	SE	125
Cansiglio	TV	1022	21:06	SSO	121.3
Bondone	TN	1490	n.d	SE	121
Perarolo di Cadore	BL	525	21:17	NNE	121
Pian delle Fugazze	TN	1170	n.d	SE	119
Rifugio la Guardia	VI	1130	18:05	E	114.1
Caprile	BL	1000	21:20	NO	113.8
Piana di Marcesina	VI	1310	18:07	SE	113

Materiale e metodi

In questo lavoro si analizzano diverse possibili soluzioni per identificare e caratterizzare le aree che hanno subito danni. Per prima cosa sono state identificate diverse aree dove il danno è stato quantificato empiricamente da esperti. Queste aree hanno permesso di stabilire l'accuratezza dei metodi testati.

I metodi che si vogliono valutare sono i seguenti:

- ∞ Sensori passivi a media risoluzione (Sentinel-2 e Landsat-8)
- ∞ Sensori passivi a risoluzione medio-alta (Sentinel-3 e MODIS)
- ∞ Sensori attivi radar (Sentinel-1 e Cosmo SkyMed)

In questa fase si riportano i risultati dei sensori ottici a media risoluzione ed alcuni risultati preliminari di analisi dei dati Sentinel-1. I metodi utilizzati sono quelli dell'utilizzo di classici indici vegetazionali per identificare dove c'è stato un cambiamento di valore pre e post evento, per quanto riguarda i sensori nell'ottico. I metodi utilizzati invece per i sensori attivi, ovvero il Sentinel-1 in questo caso specifico, fanno uso dell'intensità di "backscatter" del segnale. I valori di questa intensità rappresentano la capacità degli oggetti di riflettere il segnale a microonde emesso dal sensore. Il Sentinel-1 porta dei sensori che utilizzano la banda C, ovvero Alcuni studi fatti recentemente presentano metodi promettenti anche se non immediati e che richiedono di creare immagini composte usando il metodo del "local resolution weighting (LRW)" usando diverse immagini pre e post evento (Rüetschi et al., 2019). Il risultato con questo metodo consente di identificare un'area minima danneggiata di 0.5 ha con valori di accuratezza di 0.88 e 0.85 rispettivamente per l'accuratezza sui falsi negativi (errori di omissione) e quella sui falsi positivi (errori di commissione). Nel nostro caso è stato utilizzato un metodo più semplice,

basato su soglie applicate alla differenza di bande VH dopo il pre-processamento indicato in figura sotto.

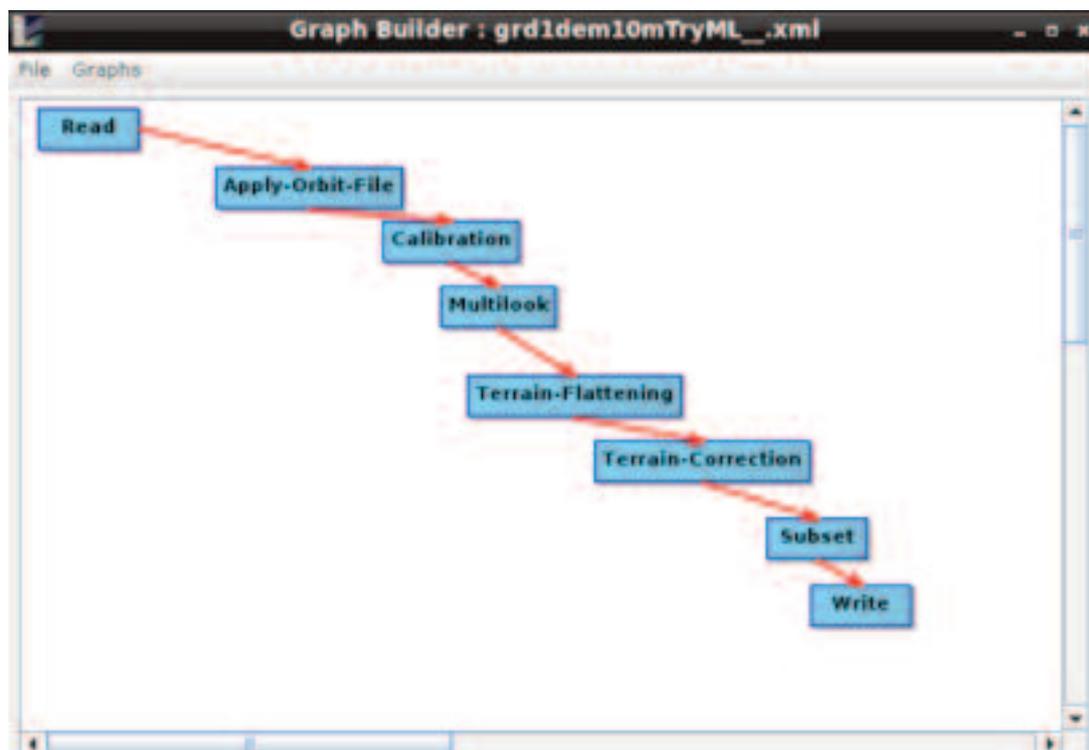


Figura 4 – Schema di lavoro per la parte di pre-processamento dell'immagine Sentinel-1

Risultati e discussione

La questione della copertura nuvolosa è stata la maggior causa di difficoltà per quanto riguarda una veloce identificazione delle aree danneggiate nei giorni immediatamente successivi all'evento mediante l'uso di sensori passivi. Non è stato possibile ottenere immagini dove le aree di interesse fossero sufficientemente prive di nuvole. Anche mediante immagini composte da più ritorni, la presenza di nuvole era sempre preponderante per diversi mesi. In futuro potrà essere più promettente l'inclusione di un approccio diverso, usando un satellite a risoluzione spaziale minore ma tempi di ritorno più brevi, come il Sentinel-3, che ogni 2 giorni circa riprende la stessa area. In figura 5 sotto sono visibili i risultati ottenuti con l'utilizzo di soglie sulla differenza dei valori del *normalized difference vegetation index* (NDVI). Questo indice, ben noto in letteratura, è sensibile alla capacità fotosintetica della vegetazione sfruttando la zona red-edge dello spettro elettromagnetico – l'area tra il rosso e l'infrarosso vicino (*near infrared* – NIR). I valori di NDVI dopo uno schianto saranno sicuramente più bassi dato il danno alla vegetazione ed all'esposizione di tronchi e rami invece della tipica chioma dell'albero, strutturata per intercettare i raggi del sole e assorbire nell'area dello spettro elettromagnetico corrispondente al blu ed al rosso.

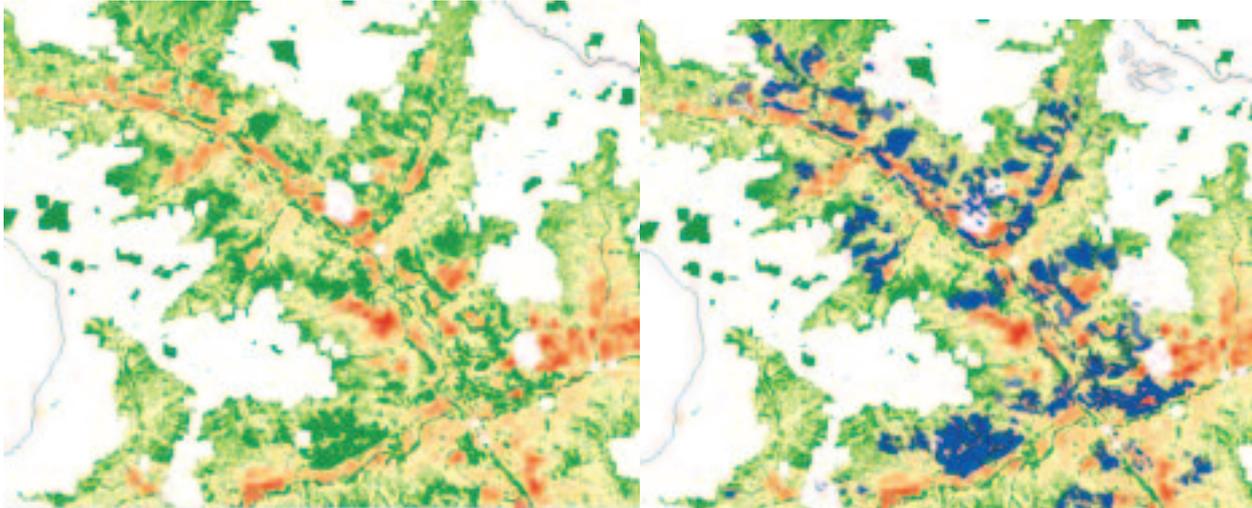


Figura 5 – In verde le zone che si stima abbiano avuto più danni. A destra dei poligoni di aree identificate come effettivamente danneggiate.

Per quanto riguarda il sensore Sentinel-1, i risultati del metodo applicato non sono stati significativi. Come si evince dall'immagine seguente, le differenze di backscatter (σ_0) sono molto sensibili all'angolo di incidenza con il terreno. Questo nonostante siano state il più possibile compensate con le operazioni di pre-processamento indicate nella sezione precedente.

Conclusioni

L'utilizzo del telerilevamento è sicuramente uno strumento valido per una stima semi-automatica dei danni da schianti da vento in ambito forestale. Nonostante tutto va marcata la forte dipendenza con le condizioni atmosferiche dell'utilizzo di sensori che registrano il visibile. Va dunque applicato uno schema di lavoro che dia più peso all'integrazione di sensori diversi in modo da poter sfruttare il complessivo tempo di ritorno che sicuramente può aiutare a fornire un'immagine composta dal segnale di diversi sensori con caratteristiche diverse, ma comunque completa. Per quanto riguarda i sensori attivi, le prime analisi indicano che le complessità orografiche delle aree colpite incidono significativamente e dunque non consentono l'utilizzo del Sentinel-1 per questi scopi. Nonostante tutto vanno indagati ulteriormente diverse soluzioni legate a sensori attivi, su bande diverse, e con metodi più complessi, in quanto il vantaggio di non dipendere dalle condizioni atmosferiche, nelle situazioni post-evento ed in emergenza, presentano sicuramente un vantaggio non trascurabile.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Agenzia Veneta per i Pagamenti in Agricoltura (AVEPA) e le Unità Organizzative forestali della Regione Veneto per la disponibilità all'accesso dei dati vettoriali che identificano le aree boschive danneggiate.

Riferimenti bibliografici

Carraro V. (2018) "La furia del vento che ha danneggiato le foreste dell'arco alpino", Centro Studi per l'Ambiente Alpino L. Susmel
<http://intra.tesaf.unipd.it/cms/Sanvito/doc/CicloneVaia.pdf>

Chirici C., Giannetti, G., Travaglini T., Nocentini N., Francini F., D'Amico D., Calvo C., Fasolini F., Broll B., Maistrelli M., Tonner, T., Pietrogiovanna P., Oberlechner O., Andriol, A., Comino, C., Faidiga, F., Pasutto, P., Carraro, C., Zen, Z., Contarin, C., Alfonsi A., Wolynski W., Zanin Z., Gagliano G., Tonolli T., Zoanetti Z., Tonetti T., Cavalli C., Lingua L., Pirotti P., Grigolato G., Bellingeri B., Zini Z., Gianelle G., Dalponte D., Pompei P., Stefani S., Motta M., Morresi M., Garbarino G., Alberti A., Valdevit V., Tomelleri T., Torresani T., Tonon T., Marchi M., Corona C., Marchetti M. (2019), "Stima dei danni della tempesta "Vaia" alle foreste in Italia", *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale*, 16(1), 3. <https://doi.org/10.3832/EFOR3070-016>

Durrán D. R. (2003). DOWNSLOPE WINDS. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227090-8/00288-8>

D'Este M., Pirotti F. (2017), "Stima della proporzione di specie forestali decidue sfruttando NDVI", in: *XXI Conferenza Nazionale ASITA*. Salerno, 21-23.

Gardiner B., Blennow K., Carnus J., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., ... Usbeck T. (2010), "Destructive Storms in European Forests : Past and Forthcoming Impacts." *Final Report to European Commission - DG Environment* (07.0307/2009/SI2.540092/ETU/B.1).

Gardiner B., Schuck A., Schelhaas M.-J., Orazio C., Blennow K., Nicoll B. (2013) "Living with storm damage to forests." In *Living with storm damage to forests. What science Can Tell Us* 3. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0111-0>

Schelhaas M.-J., Schuck A., Varis S. (2003), Database on forest disturbances in europe – technical description. Database.

Virost E., Ponomarenko A., Dehandschoewercker Quéré D., Clanet C. (2016), "Critical wind speed at which trees break". *Physical Review E*, 93.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.93.023001>

Rüetschi M., Small D., Waser L. (2019), "Rapid Detection of Windthrows Using Sentinel-1 C-Band SAR Data". *Remote Sensing*, 11, 115.
<https://doi.org/10.3390/rs11020115>

Classificazione di dati LiDAR da aeromobile utilizzando algoritmi di machine learning: un confronto tra Random Forest e TensorFlow

Francesco Pirotti ^(a), Filippo Tonion ^(b)

^(a) CIRGEO – Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università Legnaro, +39 0498272710, francesco.pirotti@unipd.it,

^(b) CIRGEO – Università degli Studi di Padova, T.E.R.R.A. S.r.l., Via Galleria Progresso 5, +390421332784, f.tonion@terrasrl.com

1. Introduzione

Il Machine Learning (ML) è la branca dell'Intelligenza Artificiale (IA) che riguarda l'individuazione automatica di modelli significativi nei dati (Shalev-Shwartz and Ben-David, 2014). L'approccio del ML all'analisi dei dati è nato nella seconda metà del 20° secolo, quando le teorie matematiche (come i minimi quadrati, il teorema di Bayes e le catene di Markov) hanno affiancato lo sviluppo dell'informatica moderna. A partire dall'ultima decade le tecniche di ML sono state adottate in ambiti di applicazione caratterizzati da un notevole ammontare di dati, come ad esempio l'astronomia, la biologia, la climatologia, la finanza e l'economia (Is et al., 2015). Grazie al gran numero di algoritmi, oggi il ML trova applicazione in numerosi ambiti connessi alla vita di tutti i giorni (internet, produzioni industriali, medicina.. ecc).

In generale i moderni algoritmi di ML consentono di usare differenti metodi di apprendimento dai dati. In particolare è possibile distinguere le seguenti tipologie di approcci:

- ∞ Non supervisionato. Quando schemi e strutture sconosciute sono individuate all'interno del dataset senza una conoscenza a priori.
- ∞ Supervisionato. Quando viene definito un sottoinsieme del dataset avente funzione di "training" e la restante parte con funzione di validazione.
- ∞ Semi supervisionato. Quando non è necessario definire il "training" e il modello viene perfezionato sulla base dell'esperienza accumulata.

L'utilizzo di un approccio supervisionato è comune per problemi di classificazione. Due algoritmi di classificazione affermati e di comune utilizzo sono Random Forest (RF) e Tensor Flow (TF); questi algoritmi eseguono analisi statistiche non parametriche e ottengono risultati eccellenti con distribuzioni multimodali.

Il modello RF è basato su un insieme di alberi decisionali (la foresta) che crescono attraverso il training verso la miglior combinazione. Infatti l'insieme consiste in un numero definito di alberi, allenati individualmente come classificatori, che sono combinati per classificare nuovi dati (Kulkarni, 2013).

Il modello RF richiede la definizione di due parametri che sono il numero di alberi da generare (Ntree) e il numero di variabili (Mtry) da selezionare e testare come miglior combinazione in fase di addestramento degli alberi (Belgiu and Drăgu, 2016).

Il numero di alberi può essere diverso e dipende dall'efficienza computazionale e dal rischio di overfitting; per esempio il numero di alberi standard nel

pacchetto R "Random Forest" è 500. Una volta che tutti i parametri sono definiti il modello costruisce tutti e 500 i classificatori. Relativamente alla selezione delle variabili sono di solito utilizzati i seguenti approcci:

- Random Forest utilizzando Selezione di input casuale (Random Input). Questo tipo di approccio è il più comune e prevede che m variabili siano selezionate a caso tra quelle disponibili.
- Random Forest utilizzando una combinazione lineare degli input (RC). Prima della selezione delle migliori variabili da selezionare, è creata una combinazione lineare delle variabili.

Comunque in fase di costruzione della foresta il numero di variabili da selezionare è mantenuto costante. Prima dell'utilizzo del modello il dataset è diviso in due parti: la parte di addestramento (training) e quella di validazione. Durante la fase di addestramento il dataset di addestramento è processato in ciascuno degli alberi decisionali della foresta.

In fase di classificazione il dataset è processato da ogni albero. La classificazione finale è assunta secondo un criterio di voto maggioritario.

L'algoritmo RF fornisce inoltre l'importanza delle variabili (VI) e la vicinanza, che sono importanti per capire il comportamento delle variabili nel modello (Breiman, 2001; Cutler et al., 2007).

Il TF è una libreria creata dalla sezione intelligenza artificiale di Google e rilasciata nel 2015 con una licenza open source. TF usa grafici per rappresentare sia il calcolo dell'algoritmo che lo stato in cui l'algoritmo opera (Abadi et al., 2016). TF è basato sulle Reti Neurali Convolutionali (CNN); questo tipo di approccio è simile a quello delle Reti Neurali (NN), ma usa funzioni di convoluzione e riduce il numero di parametri necessari al modello.

La riduzione del numero di parametri riduce i costi computazionali e migliora la capacità di generalizzare (Hemmes, 2018).

Una comune applicazione del TF è divisa in due fasi, ovvero:

- Definizione del programma. In questa fase una CNN da addestrare è definita e rappresentata graficamente.
- Ottimizzazione. Nella seconda fase la rete neurale definita è eseguita e ottimizzata sulla base dei dati disponibili.

In generale queste due tecniche di classificazione possono trovare interessanti applicazioni nella classificazione delle nuvole di punti. Infatti le tecniche di Laser Scanning consentono di acquisire informazioni spaziali sotto forma di nuvole di punti 3D. Prima di eseguire la classificazione è possibile fare una segmentazione dei punti 3D. Questo processo raggruppa i punti in diversi cluster, usando diversi approcci, come ad esempio segmentazione margini, segmentazione per regioni, segmentazione per fitting del modello, tecniche ibride di segmentazione e segmentazione con ML (Grilli et al., 2017).

Il risultato della fase di segmentazione (cluster) può essere usato come variabile per la fase di classificazione della nuvola di punti. Il processo di classificazione riguarda inizialmente la fase di estrazione delle variabili. Inizialmente questo processo riguarda la determinazione della prossimità per ciascuno dei punti, quindi l'estrazione delle geometrie tridimensionali è basata su ciascuno dei punti più prossimi, secondo la distanza stabilita. L'area di analisi della prossimità può essere di forme diverse (sferica, cilindrica...ecc) e per dimensione (fissa o variabile) (Weinmann et al., 2017). Sulla base di

queste analisi sono estratte le geometrie, che vengono alla fine classificate utilizzando un algoritmo di classificazione (RF, TF, ANN..). Una moltitudine di applicazioni per approcci ML per dati spaziali è mostrata in numerose pubblicazioni recenti che si focalizzano sull'analisi delle immagini (Pirotti et al., 2016) e anche sulle predizioni spaziali basate su immagini raster (Piragnolo et al., 2019).

In questo lavoro viene comparata l'accuratezza del RF e del TF nella classificazione di nuvole di punti 3D.

2. MATERIALI E METODI

2.1. DATI

I dati utilizzati per l'investigazione dei modelli sono stati forniti dal ISPRS e riguardano il benchmark sull'individuazione di oggetti e sulla ricostruzione 3D (Lukac et al., 2014). In particolare è stata utilizzato il dataset della scansione laser della città di Vaihingen (Germania). I punti nel dataset erano tutti classificati in 8 class differenti (Alberi, tetti, vegetazione bassa, linee elettriche..).

2.2. METODI

L'obiettivo dello studio è testare gli algoritmi RF e TF in un set di osservazioni (punti) usando un vettore con le variabili come predittore. I predittori sono derivati non solo dai dati presenti come attributi dei punti (ovvero l'intensità della riflessione), ma anche dalle caratteristiche geometriche estratte analizzando i punti nelle vicinanze (analisi della prossimità). Il vettore con le caratteristiche è successivamente utilizzato come input per RF e TF.

2.2.1. Estrazione delle Variabili

Il vettore delle variabili con i predittori sono calcolati considerando il contesto spaziale. Il contesto deve essere definito da un numero di punti più vicini (*nearest neighbours nn*), che sia largo abbastanza da rappresentare una classe, ma anche sufficientemente piccolo da evitare di includere punti che appartengono ad altre classi.

Quindi la cardinalità di *nn* non è fissata ma è determinata con un metodo che massimizza le consistenze geometriche. Ciò è fatto selezionando il numero *nn* che risulta avere il valore dell'indice di entropia di Shannon più basso, calcolato utilizzando l'autovettore normalizzato della matrice di covarianza in 3D, rappresentato dalla seguente espressione:

$$\min\{\sum_i^3 \lambda_i(nn) \cdot \ln[\lambda_i(nn)]\} \quad [1]$$

dove $nn = 15$ e $nn \max = 100$, λ_i sono gli autovettori normalizzati della matrice tensoriale 3D e $i = \{1, 2, 3\}$.

Complessivamente le variabili di predizione estratte sono state 20 (linearità, planarità, verticalità, anisotropia.. ecc).

2.2.2. Definizione dei parametri

Per la definizione dei parametri Numero di Alberi (NT) e Numero di Variabili (Nf) dell'algoritmo RF è stato utilizzato un approccio iterativo mediante "k-fold validation" utilizzando a ciascuna iterazione il 20% dei dati.

Al termine del processo sono stati utilizzati i seguenti parametri: $N_f = 8$ e $N_t = 200$.

2.2.3. Matrice dell'accuratezza

La valutazione dell'accuratezza è stata condotta fornendo le metriche sull'accuratezza per ciascuna classe, ovvero: Precisione, Recall, Indice di Jackard. La matrice di accuratezza utilizzata è:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & \dots & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad TP_i = a_{ii}$$

$$FP_i = \sum_j a_{ji} - TP_i \quad FN_i = \sum_j a_{ij} - TP_i$$

$$Pr = \frac{TP}{TP + FP} \quad Re = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Ji = \frac{TP}{FP + FN + TP} \quad F1 = 2 \cdot \frac{Pr \cdot Re}{Pr + Re}$$

[2]

dove A è la matrice degli errori, TP sono i veri positivi, FP sono i falsi positivi, FN sono i falsi negativi, Pr è la precisione, Re è la Recall, Ji è l'indice di Jackard ed $F1$ è il punteggio della classe F1.

I due algoritmi di Machine Learning sono stati addestrati con un campionamento del dataset stratificato per classe. La dimensione del campionamento è variata dal 5% al 50%. Quindi è stata analizzata la modificazione dell'accuratezza alla modificazione della dimensione del campione di training.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel presente capitolo viene fornita una descrizione dei risultati ottenuti. In particolare vengono di seguito illustrati i risultati della classificazione dei due algoritmi utilizzati. Infine viene fornita una comparazione tra i due metodi utilizzati.

3.1. Risultati Random Forest

La tabella successiva mostra gli errori di omissione e di commissione della classificazione fatta con RF, con le metriche di accuratezza.

	Powerline	Low vegetation	Impervious surfaces	Car	Fence/Hedge	Roof	Facade	Shrub	Tree
0	419	7	1	1	2	23	9	11	127
1	686728	4720	25	77	2542	84	711	3797	
2	0	3544	97229	45	13	780	11	53	311
3	0	580	123	2316	14	195	4	93	383
4	0	1140	64	9	4588	205	34	243	1139
5	3	4849	2216	10	20	98685	95	272	2898
6	7	608	82	6	25	267	8383	115	1731
7	2	2929	256	8	43	731	99	15302	5448
8	12	2179	139	9	53	1255	288	856	49435
F1	0.799	0.862	0.940	0.755	0.749	0.924	0.829	0.721	0.827
Re	0.698	0.879	0.953	0.625	0.618	0.905	0.747	0.617	0.912
Pr	0.933	0.846	0.927	0.953	0.949	0.943	0.931	0.867	0.757
Ji	0.285	0.301	0.320	0.274	0.272	0.316	0.293	0.265	0.293

Tabella 1 – Risultati classificazione RF con metriche accuratezza

Nella figura successiva viene riportata la mappa dei punti classificati erroneamente con RF.

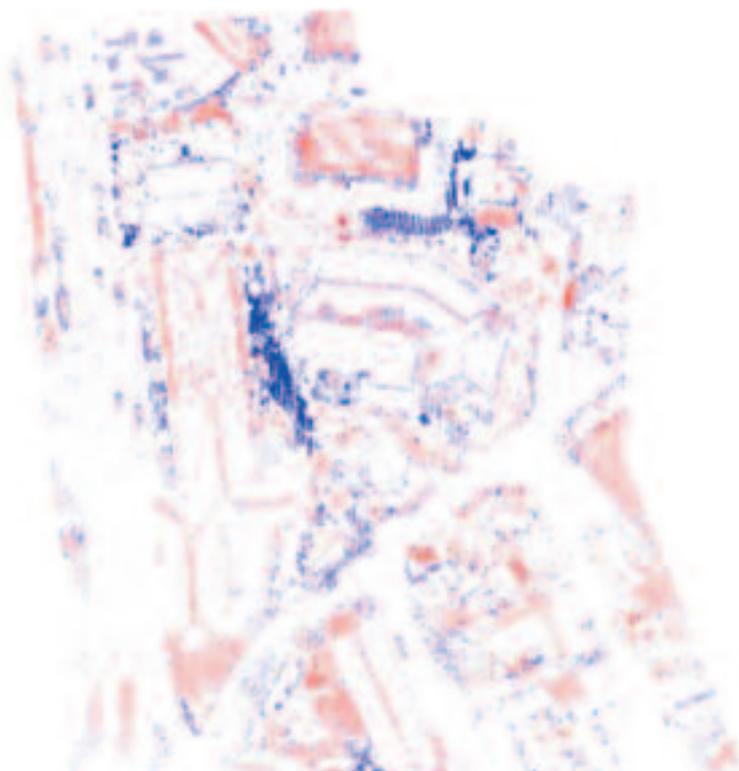


Figura 1 – Punti classificati erroneamente RF

3.2. Risultati Tensorflow

La tabella successiva mostra gli errori di omissione e di commissione della classificazione fatta con TF, con le metriche di accuratezza.

	Powerline	Low vegetation	Impervious surfaces	Car	Fence/Hedge	Roof	Facade	Shrub	Tree
0	265	12	1	1	0	29	42	0	250
1	2	63634	13124	26	74	8806	247	342	12435
2	1	7294	87276	22	11	5889	18	9	1466
3	3	1345	421	219	7	742	33	56	882
4	3	2784	232	5	119	519	246	115	3399
5	19	14350	6927	19	11	77313	238	122	10049
6	18	1051	230	9	28	812	4612	60	4404
7	15	5866	602	20	43	2174	319	391	15388
8	21	4065	457	30	30	3631	1033	258	44701
F1	0.560	0.639	0.827	0.108	0.031	0.740	0.512	0.030	0.607
Re	0.442	0.645	0.856	0.059	0.016	0.709	0.411	0.016	0.824
Pr	0.764	0.634	0.799	0.624	0.368	0.774	0.679	0.289	0.481
Ji	0.219	0.242	0.292	0.051	0.015	0.270	0.204	0.015	0.233

Tabella 2 – Risultati classificazione TF con metriche accuratezza

Nella figura successiva viene riportata la mappa dei punti classificati erroneamente con TF.

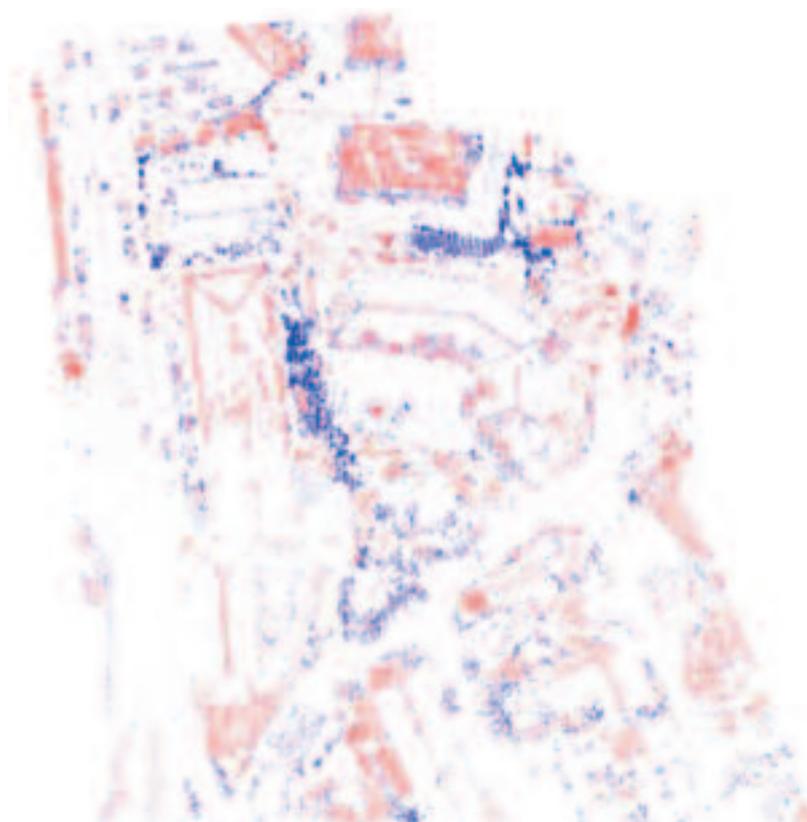
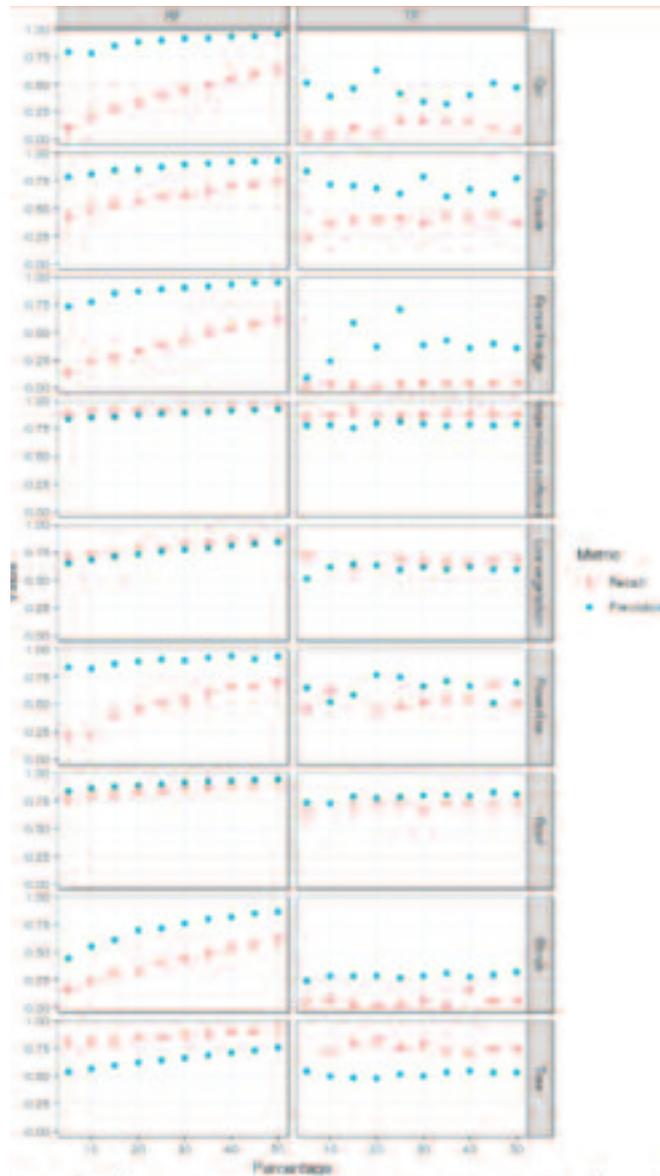


Figura 2 – Punti classificati erroneamente TF

3.3. Comparazione dei risultati di RF e TF

Nella figura successiva viene riportato l'andamento delle metriche di accuratezza (recall e precisione) per ogni classe e metodo in funzione della percentuale di dati usati per l'addestramento.



L'esame della figura precedente permette di riscontare che il RF consente di incrementare rapidamente l'accuratezza per alcune classi (per esempio cespugli). Punti appartenenti alla classe cespugli vengono frequentemente classificati erroneamente come classe alberi. In merito a tale tipologia di distinzione il modello RF si è dimostrato più accurato.

4. Conclusioni

In questo studio è stata presentata la comparazione tra due modelli di Machine Learning (ML) per la classificazione semantica di nuvole di punti 3D. I modelli oggetto del confronto sono Random Forest (RF) e Tensorflow (TF). La comparazione delle accuratze ottenute permette di riscontrare che RF permette di ottenere accuratze maggiore. In particolare punteggi di F1 maggiori con RF sono dovuti a maggiore flessibilità di RF; TF necessita invece

di tarare e definire i parametri degli strati nascosti (operazione non sempre immediata).

La classificazione delle nuvole di punti con metodi avanzati sta fornendo risultati promettenti, che in futuro permetterà di utilizzare le nuvole di punti per scopi applicati.

5. Bibliografia

- Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., Devin, M., Ghemawat, S., Irving, G., Isard, M., Kudlur, M., Levenberg, J., Monga, R., Moore, S., Murray, D.G., Steiner, B., Tucker, P., Vasudevan, V., Warden, P., Wicke, M., Yu, Y., Zheng, X., Brain, G., Osdi, I., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., Devin, M., Ghemawat, S., Irving, G., Isard, M., Kudlur, M., Levenberg, J., Monga, R., Moore, S., Murray, D.G., Steiner, B., Tucker, P., Vasudevan, V., Warden, P., Wicke, M., Yu, Y., Zheng, X., 2016. TensorFlow : A System for Large-Scale Machine Learning This paper is included in the Proceedings of the TensorFlow : A system for large-scale machine learning.
- Belgiu, M., Drăgu, L., 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011
- Breiman, L.E.O., 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 5–32.
- Cutler, D.R., Edwards Jr., T.C., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J., Lawler, J.J., 2007. RANDOM FORESTS FOR CLASSIFICATION IN ECOLOGY. *Ecology*, 88, 2783–2792. doi:10.1890/07-0539.1
- Grilli, E., Menna, F., Remondino, F., Scanning, L., Scanner, L., 2017. A review of point clouds segmentation and classification algorithms. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII, 1–3. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017
- Hemmes, T., 2018. Classification of large scale outdoors point clouds using Covolutional Neural Networks. *Master in Science in Geomatics for Built Environment*.
- Is, G.K., Taha, KamalAl-Jarrah, O.Y., Yoo, P.D., Muhaidat, S., Karagiannid, 2015. Efficient Machine Learning for Big Data: A Review. *Big Data Research*, 2, 87–93. doi:10.1016/j.bdr.2015.04.001
- Kulkarni, V.Y., 2013. Random Forest Classifiers : A Survey and Future Research Directions 36, 1144–1153.
- Lukac, N., Meidow, J., Pohl, M., Solbrig, P., Wernerus, P., Habib, A., Lari, Z., Xiong, B., Elberink, S.O., 2014. Urban object detection and 3D building reconstruction '. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 143–144. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.04.009
- Piragnolo, M., Grigolato, S., Pirotti, F., 2019. Planning harvesting operations in forest environment: Remote sensing for decision support IV, 12–14.
- Pirotti, F., Sunar, F., Piragnolo, M., 2016. Benchmark of machine learning methods for classification of a sentinel 2 image XLI, 335–340. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B7-335-2016
- Shalev-Shwartz, S., Ben-David, S., 2014. Understanding machine learning: From theory to algorithms, *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. doi:10.1017/CBO9781107298019
- Weinmann, M., Weinmann, M., Mallet, C., Brédif, M., 2017. A classification-segmentation framework for the detection of individual trees in dense MMS point cloud data acquired in urban areas. *Remote Sensing*,. doi:10.3390/rs903277

Territorio, fede, paesaggio. Il ruolo degli edifici di culto nella caratterizzazione dei paesaggi del passato¹

Cinzia Podda ^(a), Paolo Secchi ^(b)

^(a) Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione, via Zanfarino, 62 – Sassari – 079229746, cpodda@uniss.it

^(b) Ufficio dei Beni Culturali Ecclesiastici – Diocesi di Alghero-Bosa, via Principe Umberto, 7 – Alghero (SS), 079975209, info@diocesialghero-bosa.it

Abstract

Se è vero che il paesaggio è la rappresentazione dello spazio di vita di un territorio costruito e modellato dall'uomo, è altrettanto vero che esso rappresenta il riflesso delle civiltà che lo hanno organizzato e nel quale è possibile riconoscere la propria identità. In ogni paesaggio sono infatti racchiusi i segni dell'azione umana che, a sua volta, può essere delineata attraverso un'attenta analisi della documentazione che la racconta. La carta, in particolare, soprattutto se presente a partire dai tempi storici, è riconosciuta come lo strumento per questo più valido, la cui interpretazione può portare alla ricostruzione del rapporto col territorio nelle sue varie fasi evolutive, nonché all'identificazione di segni del passato che permettono di definirne i valori, le radici, l'identità. Ciò, in particolare, nel caso siano presenti edifici di culto, spesso associati a villaggi scomparsi, la cui diffusione ha rivestito un ruolo importante nella definizione dei paesaggi dominati dalla loro presenza, arrivando a caratterizzarne profondamente l'identità. In questo senso la cartografia storica, con il suo carico di toponimi, molti dei quali non più presenti, se raffrontata con quella più recente, costituisce uno strumento privilegiato di analisi del territorio, in grado di restituirne le caratteristiche principali e definire i tratti essenziali del paesaggio in prospettiva sincronica e diacronica.

1. Premessa

Partendo dal presupposto che le costruzioni dell'uomo per scopi religiosi (unitamente alle modificazioni dell'ambiente e del territorio che ad esse sono direttamente collegate) hanno contribuito a creare dei sistemi relazionali materiali e immateriali da cui è derivata una forte caratterizzazione dei paesaggi, il lavoro intende analizzare il rapporto tra questi e lo spazio che sottendono, al cui interno sembrano essere immersi per il carico di significati che in qualche modo vi aleggiano, con evidente richiamo alla sacralità. L'esempio preso come riferimento è quello dell'abbazia cistercense di Santa Maria di Corte (o di *Cabuabbas*), situata nell'agro del comune di Sindia, nella Sardegna centro-occidentale, in merito a cui si è cercato di effettuare delle ipotesi riguardanti il ruolo avuto dall'antica struttura religiosa nella caratterizzazione del paesaggio circostante, laddove si svolgeva l'attività tipica di questi impianti monastici: dalla coltivazione dei campi all'organizzazione della vita civile e religiosa, alla raccolta, conservazione e vendita dei prodotti in esubero. La sua edificazione, infatti, risalente al XII secolo, faceva parte di un ambizioso progetto portato avanti dalla Chiesa, in accordo con i governanti, che prevedeva la diffusione della fede attraverso lo stanziamento capillare di ordini religiosi, in questo caso cistercensi. L'abbazia di Santa Maria di Corte, che è situata nel settore meridionale dell'antico Giudicato di Torres, sulla base delle prime ricognizioni, sembra assolvere proprio a questa funzione. L'analisi è stata incentrata

¹ Mentre l'organizzazione generale del lavoro e la ricerca bibliografica è comune ai due autori, a C. Podda, oltre all'analisi e alla ricerca cartografica, sono da attribuire i paragrafi 2, 4, 6 e a P. Secchi la ricerca storica, sulle fonti archivistiche e i paragrafi 1, 3, 5.

prevalentemente su un'ipotesi di ricostruzione degli assetti territoriali effettuata con l'ausilio della documentazione storica esistente, con il confronto fra questa, le evidenze archeologiche e i resti degli elementi strutturali o materiali ascrivibili a quella presenza. Di fondamentale importanza si è rivelato il ricorso ai sistemi informativi geografici, i quali hanno facilitato la lettura e il confronto tra i documenti cartografici recenti e del passato, grazie a cui si è giunti alle ipotesi delineate. In futuro, l'approfondimento della ricerca prevede lo sviluppo di una seconda fase, anche sulla base di verifiche dirette e indagini sul campo con sistemi di rilievo dall'alto (UAV, ecc.), al fine di identificare e, possibilmente, ricostruire ogni traccia dell'antica vita monastica, nonché l'influenza che essa ha avuto nella profonda caratterizzazione dei luoghi, tanto da connotarli ancora oggi come *paesaggi della fede*.

2. Paesaggio e culture religiose

Per la Convenzione Europea sul Paesaggio (art.1) presentata a Firenze nell'ottobre del 2000, e ad oggi, sottoscritta da quasi tutti i Paesi membri del Consiglio d'Europa, esso rappresenta “una determinata parte di territorio, così com'è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”. Una definizione ormai entrata nel lessico comune e accettata dai diversi orientamenti culturali che si erano caratterizzati per visioni differenti in funzione della scienza di riferimento: strutturalista o oggettivistica da una parte, per la quale il paesaggio è il risultato combinato di diverse azioni, soprattutto naturali; umanistica o soggettivistica dall'altra, secondo cui il paesaggio si presta ad essere interpretato in funzione della cultura di chi lo legge². Di fatto, comunque, essendo ormai considerato una *porzione di territorio*, il paesaggio è divenuto “una realtà materiale, oggettivamente identificabile; circostanza che conduce a metterlo in rapporto ai processi di territorializzazione [...] assunto, almeno in partenza, come manifestazione di *cultura tangibile*”, per cui l'idea accolta dalla CEP si basa su “una visione combinata dove il paesaggio è inteso come una realtà oggettiva – forme espresse da strutture territoriali – ma nei termini in cui è filtrato dal soggetto, vale a dire dalle singole comunità umane” (Vallega, 2008, p. 22).

Queste considerazioni mettono dei punti fermi nel dibattito più generale sul paesaggio, che ha visto un lungo percorso cui molto hanno contribuito i geografi, a iniziare dalle visioni induttive di Paul Vidal de la Blache quando, circa un secolo addietro, “analizzava i quadri regionali francesi attraverso analisi dettagliate delle molteplici componenti naturali, della storia e dei generi di vita, ricomponendole all'interno di quadri paesistici per arrivare a visioni di sintesi con cui spiegare la realtà geografica: una lettura in chiave possibilista e idiografica che attraverso le forme del paesaggio cercava di spiegare il rapporto tra uomo e ambiente” (Scanu, Podda, 2016, p. 913)³. Aspetti culturali che possono essere intesi anche come “valori della storicità, in quanto alimentati dalle forme più o meno antiche della cultura soprattutto locale, e specialmente dai richiami” (Rombai, 2002, p. 73) allo spirito e al sacro. Nell'ambito di tali dinamiche, un ruolo non marginale è quindi attribuito agli aspetti culturali, al cui interno possono ricomprendersi anche quelli religiosi, in quanto elementi capaci di qualificare i luoghi in maniera forte, caricandoli di significati emozionali e spirituali, che rappresentano un elemento di sicuro interesse per coloro che, in qualche modo, sono legati ad esso

² Su queste tematiche la letteratura è assai ampia e di durata ormai storica: per una sintesi di tali concetti si può rimandare agli scritti di Adalberto Vallega (2004, 2008).

³ Una visione geografica cui ha portato un grande contributo la scuola italiana del secolo scorso – a iniziare da Olinto Marinelli con *Italia. Atlante dei tipi geografici* (1922), Renato Biasutti con *Il Paesaggio terrestre* (1962), Aldo Sestini con *Il paesaggio*, il volume monografico della collana *Conosci l'Italia* del TCI (1963) – prima che la recente rivisitazione del paesaggio, operata grazie a un'umentata sensibilità ambientale, portasse alla definizione di strumenti di salvaguardia e di gestione avviati già dal 1985 con la cosiddetta Legge Galasso, che introdusse lo strumento dei piani paesaggistici regionali estesi alle aree più importanti sotto questo profilo. Contenuti ripresi poi dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (il D.Lgs n. 4 del 22.1.2004) che impose l'estensione di tali piani a tutte le regioni sulla scia, appunto, dell'applicazione in Italia della Convenzione europea. La Sardegna, come noto, è stata la prima a varare tali piani, il cosiddetto PPR che ha prodotto un ampio dibattito culturale e politico, ma ha anche posto il paesaggio all'attenzione dei processi di analisi e promozione dello sviluppo del territorio, fino a farlo divenire elemento di cultura identitaria su cui ogni comunità, riconoscendosi in esso, può basare le aspettative di pianificazione e di gestione.

da un senso di appartenenza, nonché per quanti vi si approcciano per motivi tradizionalmente legati alla fede. A questo proposito occorre rilevare come, se non del tutto assente, di certo molto poco strutturata appare la bibliografia volta ad analizzare il ruolo che le strutture religiose hanno avuto nella caratterizzazione del paesaggio, sia in senso storico, sia in quello che gli viene attribuito oggi, ovvero di elemento portatore di valori identitari capaci di interagire con i flussi che animano la vita e l'economia di un determinato territorio.

L'obiettivo del presente studio si richiama direttamente allo spirito di quanto appena enunciato, ossia quello di approfondire tali aspetti a partire dall'analisi della realtà di Santa Maria di Corte, che rappresenta il primo impianto cistercense nell'Isola.

A tal fine, e in considerazione della difficoltà di reperire documenti relativi al periodo storico che vede la fondazione del sito abbaziale nella località presa in esame (XII-XIII secolo) – a prescindere da generali trattazioni storiche – si è cercato, come detto, di mettere in relazione le informazioni materiali (archeologiche) con quelle d'archivio e cartografiche, per ricostruire il percorso che ha portato alla sua nascita ed all'impatto sul territorio nel quale gravitava. Ciò partendo dal presupposto che questi grandi complessi – istituiti col sostegno di potenti famiglie signorili e dislocati lungo le principali direttrici di spostamento di uomini e beni – ebbero un ruolo fondamentale non solo nella diffusione della cultura religiosa, ma anche in una nuova organizzazione del sistema agricolo e della viabilità (Rombai, 2002).

3. Cenni storici sull'organizzazione territoriale cistercense

A differenza di altri ordini religiosi germinati dalla *Regola* benedettina, in cui dominava il sistema curtense⁴, in quello cistercense prevaleva nettamente l'agricoltura intensiva.

L'organizzazione territoriale prevedeva una suddivisione del territorio in *grange*⁵, “centri agricoli costituiti da coltivatori diretti, senza più servi” (Zanetti, 1976, p. 16) che, pur essendo indipendenti fra loro, rappresentavano comunque una singola unità economica. Progettate a forma di quadrilatero chiuso per motivi legati alla sua difesa (gli edifici erano spesso circondati da mura o da fossati, per tenere lontani ladri o autori di scorriere), le *grange*, che possono essere considerate elementi caratteristici della prima agricoltura cistercense, venivano realizzate in zone disabitate, solitamente ricche di risorse idriche⁶.

Quando l'estensione delle proprietà diventava eccessiva per essere coltivata come unico insieme, si rendeva necessario suddividerle in appezzamenti di dimensioni variabili in funzione delle caratteristiche morfologiche del terreno. I campi aperti venivano così recintati e si costruivano degli edifici per ospitare i conversi⁷, per raccogliere gli animali, per custodire gli attrezzi indispensabili alla

⁴ Il sistema curtense prevedeva la suddivisione delle terre in parte dominica, gestita direttamente dai servi (includeva la residenza del *dominus*-signore, i boschi, i pascoli, le abitazioni dei servi, la parrocchia, le attrezzature agricole, i laboratori artigianali e una porzione dei campi coltivati; il signore versava alla parrocchia la decima, ossia un decimo dei suoi prodotti), e parte massaricia, esterna alla prima, la quale prevedeva una gestione indiretta (era affittata ai massari, contadini liberi, in cambio di un canone in natura oppure in denaro).

⁵ Il termine deriva dal francese “*grange*”, che significa costruzione chiusa e indica una fattoria di proprietà di un convento, o un convento con podere annesso.

⁶ Nella sua *Regola*, San Benedetto afferma, infatti: “Possibilmente il monastero deve essere costruito in modo da potervi trovare quanto è necessario, cioè l'acqua, un mulino, un orto e reparti per le varie attività, così che i monaci non debbano girovagare fuori: ciò infatti non reca alcun vantaggio alle loro anime” (*Regola di San Benedetto*, n. 66).

⁷ Durante il XII secolo, la gestione ordinaria delle *grange* era affidata esclusivamente ai conversi, anche se al tempo dell'aratura o della mietitura si utilizzava frequentemente manodopera esterna. Tuttavia, il moltiplicarsi delle *grange* superò ben presto le possibilità di lavoro dei conversi e l'aiuto degli abitanti dei villaggi vicini venne richiesto con sempre maggiore frequenza. L'istituzione dei conversi come categoria di religiosi sotto la disciplina del monastero, incaricati degli affari economici delle fondazioni cistercensi, costituisce certamente un aspetto caratteristico dell'Ordine. Nell'epoca di San Benedetto, la maggior parte dei monaci era costituita da laici; solo occasionalmente, i sacerdoti venivano ammessi, nella misura in cui lo richiedevano le necessità spirituali e liturgiche delle abbazie. Tutti i monaci prendevano parte in egual misura al lavoro manuale e se, al tempo della messe, il lavoro era superiore alle loro possibilità, venivano impiegati degli operai. Tuttavia, a partire dal IX secolo, le proprietà dei monasteri aumentavano a dismisura, mentre i monaci, che all'epoca erano in gran parte sacerdoti impegnati in varie attività missionarie e culturali, non erano in grado di rispondere pienamente alle esigenze del lavoro manuale richiesto dai loro possedimenti. I primi monasteri medioevali, compreso

lavorazione e per immagazzinare il prodotto delle messi. In ogni grangia erano presenti tutte quelle strutture necessarie ad alimentare un sistema economico basato sulla sussistenza: vi si svolgevano, quindi, non solo le attività agro-pastorali, ma anche tutte quelle manuali, “domestiche e casalinghe, la lavorazione delle pelli e della lana, il servizio infermieristico e di foresteria [...] unitamente ai servizi più umili e ai lavori più pesanti della lavorazione del ferro e dell’arte muraria” (Masia, 1982, p. 75).

Le grange non dovevano distare dall’abbazia più di una giornata di cammino al fine di permettere ai conversi di farvi ritorno per gli uffici religiosi: quando questo non era possibile, e le dimensioni dell’area non lo permettevano per l’aumentare delle distanze, si costruivano edifici di culto secondari per consentire loro di partecipare alle celebrazioni quotidiane.

I monaci non avevano il permesso di pernottare nelle grange, per cui il lavoro quotidiano era affidato ai conversi, sotto la direzione del maestro della grangia (grangiario). Le dimensioni di ogni grangia dipendevano dalle circostanze locali e dall’utilizzazione cui erano destinate. Quando si trattava di terreno fertile sottoposto a coltivazione intensiva, situato in pianura, una grangia poteva estendersi per meno di duecento ettari, in caso contrario potevano avere dimensioni decisamente maggiori. Il numero delle grange dipendeva dall’estensione territoriale di pertinenza dell’abbazia, ma normalmente non era superiore a quattro o cinque: la grangia meglio coltivata era quella più vicina all’abbazia (Lekai, 1989).

Si trattava di un sistema di gestione che ha avuto un impatto sul territorio che va di pari passo all’opera di rinnovamento religioso o di rafforzamento dell’esercizio della fede esercitata dagli ordini monastici, giacché “con l’attività agraria razionalizzata i cistercensi vitalizzarono incolti abbandonati e paludi malsane, dissodando boscaglie e sterpati, prosciugando paludi e terreni acquitrinosi, disboscando foreste, canalizzando le acque per irrigare pianure e praterie ove pascolassero bovini, ovini e suini” (Masia, 1982, p. 76). Il successo dell’economia agraria cistercense, e la sua superiorità nei confronti delle grandi proprietà terriere, trova quindi spiegazione nell’organizzazione e nella pianificazione dello sfruttamento delle proprietà dell’Ordine. Un sistema particolare che assicurava all’abbazia, e a tutto l’impianto socioeconomico annesso, la possibilità di sopravvivere in maniera autonoma senza ricorrere a forme di contribuzione esterna, divenendo spesso determinante nel dare nuovo impulso all’economia di quei territori, in considerazione del fatto che, non di rado, quando la produzione era abbondante, questa veniva commercializzata (ad esempio nelle fiere che si svolgevano in periodi particolari dell’anno, parallelamente a cerimonie religiose, come nel caso della solennità dell’Assunta).

Di non secondaria importanza appare, inoltre, la funzione di emancipazione sociale svolta dalla fondazione monastica. Lo strumento di maggior successo per raggiungere tale scopo, infatti, fu proprio la strutturazione in grange che, come si è appena visto, univano i vantaggi della pianificazione centrale all’autonomia locale. La differenza con il sistema delle grandi proprietà terriere è evidente. Questa, infatti, suddivideva le ampie estensioni feudali in unità isolate e solo virtualmente indipendenti, al cui interno i servi, svantaggiati da usanze di tempi antichi e da innumerevoli tasse e obbligazioni, erano abbandonati a sé stessi, senza una direzione del proprietario, il cui principale interesse era la raccolta delle rendite abituali. I coloni cistercensi lavoravano, invece, per sé stessi, giacché la loro vita e la loro sopravvivenza dipendevano dal frutto del loro lavoro (Lekai, 1989).

4. Santa Maria di Corte e il suo territorio

Tra i fenomeni che hanno contribuito a modificare in maniera decisiva l’organizzazione socioeconomica e culturale della Sardegna tra i secoli XI e XIII, ai movimenti monastici spetta un ruolo

Cluny, accettarono, come soluzione, i sistemi feudali e assegnarono il lavoro agricolo alle popolazioni rurali, rendendo così liberi i monaci di impiegare il loro tempo e le loro energie esclusivamente per le crescenti attività liturgiche, pastorali, letterarie o educative. Fu San Romualdo a Camaldoli, nel 1012, ad organizzare servi laici, seguito poi da San Pier Damiani a Fonte Avellana, alla metà dello stesso secolo; San Giovanni Gualberto, fondatore di Vallombrosa, chiamò i suoi aiutanti laici “conversi”, nome dato dai Cistercensi ai laici (Lekai, 1989).



Figura 1 - Ripartizione amministrativa della Sardegna medioevale in Giudicati e area di studio.

di primo piano⁸. La loro presenza è stata capace di incidere profondamente sul territorio, non solo caricandolo di connotazioni religiose, ma anche caratterizzandolo sotto il profilo ambientale e paesaggistico. Tali aspetti, tra la fine del dominio bizantino e la definitiva conquista aragonese, si intrecciano con le vicende delle quattro partizioni autonome in cui il territorio era diviso (Figura 1) ciascuna dominata da un “giudice”, che vi esercitava la sovranità, da cui deriva il nome di “Giudicato”⁹. Fu per volontà di uno dei primi e più famosi di questi giudici, Gonario di Torres, che i cistercensi giunsero nell’isola, quando, nel XII secolo, secondo quanto attestato da alcune fonti¹⁰, in seguito al suo viaggio in Terra Santa, incontra Bernardo di Chiaravalle e gli concede una vasta dotazione di terre per una nuova fondazione nel suo territorio, alla quale farà seguito “l’invio di un nutrito drappello dei suoi monaci per una rinnovata incarnazione del benedettino ‘ora et labora’ in terra sarda” (Besta, 1906, p. 7).

4.1. Caratteri di base

Il territorio scelto per la realizzazione del sistema di Santa Maria di Corte possiede tutte le caratteristiche morfologiche, litologiche, pedologiche, idriche e ambientali atte ad ipotizzare la realizzazione e la gestione di un sistema agrario nuovo, secondo il modello cistercense. Situato a circa 400 metri s.l.m., occupa il settore più elevato di un lembo pianeggiante e omogeneo della regione in cui la catena montuosa del Marghine, caratteristica struttura che suddivide trasversalmente la

⁸ “La cronologia della penetrazione monastica in Sardegna è stata ben delineata dalla storiografia, così come la distribuzione nel territorio [...]. Nel 1065 i Cassinesi si insediarono nel giudicato di Torres (S. Maria di Bubalis, S. Elia di Montesanto); prima del 1081 i Vittorini di Marsiglia vennero dotati di ampi beni nel giudicato di Cagliari (S. Saturno e chiese dipendenti) e successivamente in quello di Gallura (S. Stefano di Posada); nei primi decenni del secolo XII si registra l’arrivo dei Camaldolesi (S. Pietro di Scano, SS. Trinità di Saccargia, S. Nicola di Trullas, nel giudicato di Torres; S. Maria di Bonarcado, nel giudicato di Arborea) e dei Vallombrosani (S. Michele di Plaiano, S. Michele di Salvennor, nel regno di Torres; S. Michele di Tamis e S. Michele di Arcuentu, in Arborea), insieme ad una nuova ondata di Cassinesi nel giudicato di Torres (S. Nicola di Soliu, S. Pietro di Nurki, S. Maria di Tergu); lungo l’intero arco del secolo XII i monaci benedettini si affermarono ulteriormente in Arborea (S. Giorgio di Bonarcado e S. Nicola di Urgu), mentre i Vittorini incrementarono la loro presenza nel giudicato di Cagliari ed acquisirono beni anche nel Logudoro (S. Nicola di Guthule); il monastero di S. Zeno di Pisa beneficiò di chiese sia nel giudicato di Torres che in Arborea; infine, l’ordine cistercense venne dotato di estese proprietà nel giudicato di Torres (S. Maria di Cabuabbas, fondata nel 1149, S. Maria di Paulis, nel 1205)” (Soddu, De Santis, 2009, p. 353).

⁹ Uno tra i più ampi, il Giudicato di Torres, si estendeva su tutta la Sardegna nord-occidentale e centrale e comprendeva la regione in esame, situata in prossimità del limite sud-occidentale, al confine con quello di Arborea.

¹⁰ Con riferimento al tardo-duecentesco *Liber Iudicum Turritanorum* (Besta, 1906) Giuseppe Manno, nel volume della sua *Storia della Sardegna* che dedica ad una panoramica sul periodo medievale, registra che: “Gonario turritano [...] al ritorno dal viaggio intrapreso nella Palestina fondò e dotò con ampie rendite nell’isola un monistero della regola cassinese, chiamato Capo d’aque di Sindia, popolato tosto da un grande numero di monaci speditovi sollecitamente da san Bernardo” (Manno, 1840, p. 422); Vittorio Angius, nel suo *Dizionario geografico storico-statistico-commerciale degli Stati di S.M. il Re di Sardegna*, alla voce “Sassari”, nel quadro di un elenco delle presenze monastiche “cisterciensi” nel Logudoro, riporta: “Il monastero di s. Maria di Capod’acque in territorio di Sindia e nella diocesi di Bosa, fondato da Gonnario II giudice del Logudoro nel suo ritorno dalla Palestina nell’inclinare della prima metà del secolo XII, e popolato d’un gran numero di monaci, speditivi dall’abate di Chiaravalle, s. Bernardo” (Angius, 1849, p. 325).

parte nord-occidentale da quella centrale dell'Isola, cede il passo al *plateau* basaltico di Campeda, digradando nell'ampia pianura della Planargia di Suni (Ginesu, 2018, p. 31). La più palese peculiarità della zona nella quale s'inserisce il sito abbaziale è la ricca situazione idrografica, rispondente a quanto specificato nella *Regola di San Benedetto* (cfr. la nota 6). L'area, infatti, si contraddistingue per l'abbondante presenza di sorgenti e corsi d'acqua e non è un caso che sia nota anche con il toponimo di *Cabuabbas* (da *Caput Aquæ*), con evidente richiamo alla sua presenza significativa. Come si noterà in seguito, gli elementi idrici erano funzionali, e servivano, alle diverse strutture delle grange.

Solo per citarne alcuni, nei pressi dell'abbazia, a est del territorio comunale, possiamo ricordare la sorgente *Funtana 'e Corte* (che, storicamente, supplisce al fabbisogno idrico dell'abitato di Sindia) oppure, in prossimità del nuraghe *Casina*, cui, secondo una radicata tradizione locale, facevano riferimento le attività del monastero, il *Riu Carrabùsu* e, poco più a sud, il *Riu 'e Corte*. La stessa situazione idrografica caratterizza tutte le aree in cui furono realizzate le grange: nel settore occidentale del territorio, ad esempio, incontriamo il *Riu Furrighesu* e *Funtana Murimessi* (nei pressi dei quali erano le omonime grange), mentre a nord il *Riu Mannu* incide l'altopiano basaltico in maniera profonda fino a formare un vero e proprio *canyon* che da sempre costituisce un confine naturale (*Figura 2*).

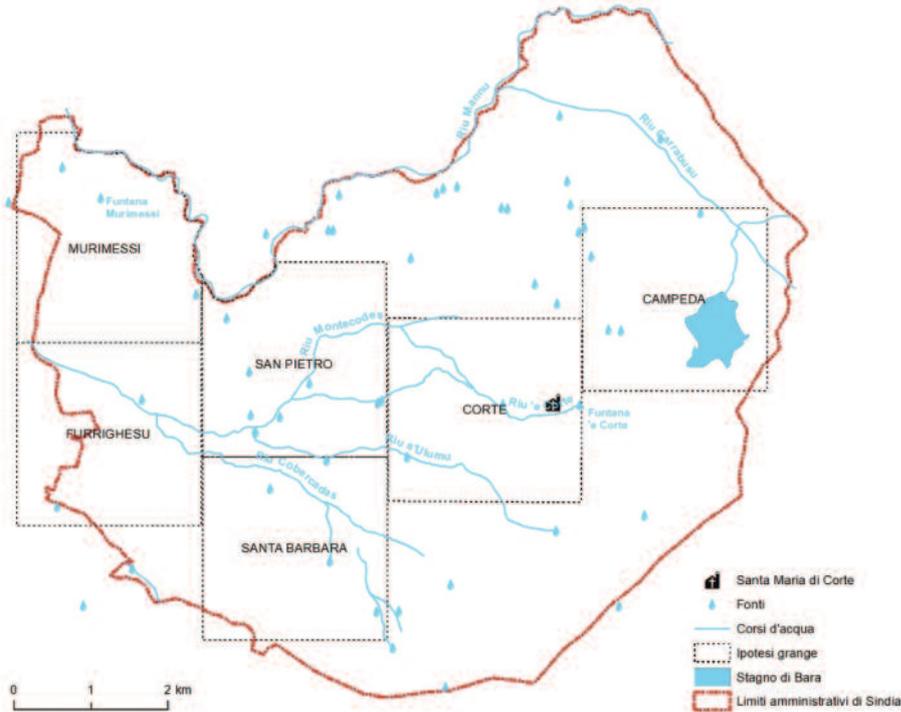


Figura 2 - Situazione idrografica del territorio in esame.

Il carattere idrologico della zona, quale è stato richiamato, induce a sottolineare un altro importante aspetto, peraltro comune alle aree situate ai margini dei centri d'emissione o di espansione delle colate laviche oligo-mioceniche, ovvero la presenza di tipi litologici caratteristici di tale attività magmatica, costituiti prevalentemente dalle rocce basaltiche fratturate più o meno intensamente. Fin dall'antichità tale carattere ha avuto una funzione significativa nell'antropizzazione della zona per avere fornito del pietrame idoneo alle costruzioni e pronto per essere raccolto, piuttosto che scavato. Il margine dell'altopiano, infatti, mette a disposizione un gradino morfologico che consente il facile prelievo di questo materiale, utilizzabile quasi direttamente per la costruzione delle strutture abitative, come peraltro è stato osservato a proposito dei nuraghi (Brandis, 1979). La notevole concentrazione degli edifici nuragici (solo in questa zona se ne contano ben dieci) suggerisce una particolare strategia nella scelta localizzativa legata, appunto, alla disponibilità di materiali e risorse da cui poteva

dipendere un uso ottimale del territorio. Anche per i cistercensi, dunque, il basalto rappresentò il materiale lapideo più idoneo alla costruzione, facilmente reperibile in loco e, per questo, adoperato in maniera preponderante. Un utilizzo, questo, dovuto alla buona durabilità e alla facile lavorabilità in conci squadrabili regolarmente, funzionale anche per il suo aspetto austero e scuro il quale, quando affiancato a rocce più chiare (come i calcari o le trachiti), crea un contrasto cromatico molto apprezzato nel costruito romanico pisano in generale, e presente, in particolare, anche nel sito in esame. Nel territorio circostante l'abitato di Sindia sono infatti presenti alcuni antichi siti di estrazione (presumibilmente già medievale), trasformati (negli ultimi settant'anni) in cave per la produzione di materiali per infrastrutture viarie e in alcuni casi anche per l'edilizia, una delle quali è localizzata nel versante orientale della collina su cui è ubicato il nucleo più antico del paese (Secchi, 2018).

Da questa breve panoramica, risulta dunque evidente come le peculiarità del territorio in esame siano state determinanti nella scelta dell'area da "colonizzare" dall'Ordine monastico attraverso l'opera di bonifica, in considerazione del fatto che, come già accennato in precedenza, possiede tutte quelle caratteristiche richieste nella *Regola di San Benedetto*.

4.2. Dal territorio al paesaggio del sacro

Per quanto attiene l'organizzazione territoriale, si può verosimilmente affermare che l'area di pertinenza dell'abbazia di Santa Maria di Corte, sulla base di quanto documentato in letteratura, ma soprattutto dall'analisi del sito, nonché dei reperti e segni di antiche strutture, fosse suddivisa almeno in cinque grange. La principale, il cui ricordo è rimasto vivo anche nella tradizione orale, era quella di Santa Barbara, della quale vengono ricordati gli impianti strutturali e infrastrutturali e la cui estensione si aggirava intorno ai trecento ettari. Ancora oggi il terreno è caratterizzato dalle tracce dell'opera di canalizzazione che aveva origine dalle sorgenti di cui il territorio è particolarmente ricco e si irradiava nell'area circostante per l'irrigazione dei campi. Un aspetto documentabile proprio a partire dalle evidenze materiali, data la possibilità di rinvenire i resti di robusti canali in trachite rossa (*Figure 3-4*).



Figure 3-4 - Sezioni di canalizzazione di drenaggio reperiti in loco.

Nelle grange di *Cabuabbas*, così come nelle altre grange cistercensi, si svolgevano tutte le attività tipiche di un'economia di sussistenza. Oltre ai contadini e ai pastori che si occupavano di gestire la terra, vi si svolgevano, infatti, le attività artigianali (falegnameria, sartoria, lavorazione del ferro, ecc.) e, conseguentemente, erano presenti tutte le strutture atte ad accogliere le persone e gli ambienti di lavoro (le abitazioni dei conversi e degli artigiani, gli ospedali, le stalle, i fienili, i granai, ecc.). Peraltro, considerato che all'interno della grangia si provvedeva alla trasformazione e alla conservazione dei prodotti, non mancavano caseifici, cantine e distillerie, mentre in prossimità dei

corsi d'acqua erano frequenti i mulini¹¹. Dall'analisi della cartografia storica, nel caso specifico il riferimento è contenuto in una delle tavole della carta De Candia¹² relativa al comune di Sindia, i mulini risultano ancora ben rappresentati. Di non marginale importanza, come è possibile osservare nella *Figura 5*, il chiaro riferimento toponomastico (*Riu Sos Molinos* – Rio I Mulini) che definisce in maniera precisa l'antico uso di quel territorio.

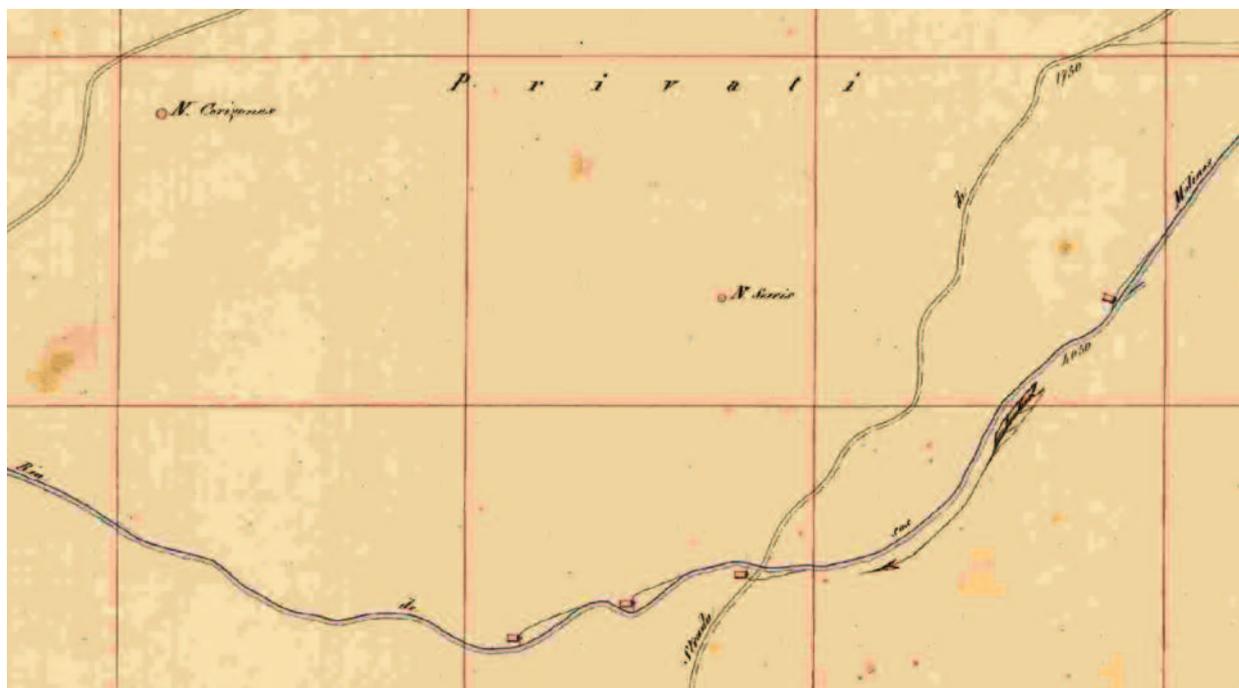


Figura 5 - Stralcio della tavola del catasto De Candia con la rappresentazione dei mulini e dell'idronimo che ne indica la presenza (Riu Sos Molinos).

In ogni grangia era presente una chiesa per le celebrazioni quotidiane le quali però, come già specificato, non dovevano interferire con le funzioni dell'edificio principale. In occasione delle solennità religiose si svolgevano delle fiere, che rappresentavano un'occasione per "affacciarsi" al mondo esterno e commerciare le eccedenze di produzione¹³. Uno degli aspetti caratteristici di queste organizzazioni territoriali, così come è possibile osservare anche in quella di *Cabuabbas*, era quello di trovarsi a poca distanza dalle più importanti reti viarie del tempo. Si può, infatti, notare che l'abbazia di Santa Maria di Corte sorse a poca distanza dalla strada romana che collegava *Molaria* (attuale Mulargia) a *Forum Traiani* e per la quale si raggiungeva il porto di Cagliari. Secondo quanto affermato dall'Angius, che ne descrive il percorso, "questa strada, o diciam sentiero, da sotto monte Giave scendeva a Semestene, poi saliva sul pianoro per *Scala de Olla*, procedeva poi a s. Maria de Cabuabbas presso Sindia (al suo sirocco-levante), poi al monte di s. Antonio (*su litu de s. Antòni*), indi a Settefontane e di là a santu Lussurgiu" (Angius, 1849, p. 833). Queste informazioni non possono che essere messe in relazione con alcuni resti rinvenibili in località *Serra Suelzu*. Si tratta di

¹¹ Vi si produceva grano, orzo, prodotti derivati dall'apicoltura, frutta secca, formaggi rinomati, lana, lino, tessuti. Casalis attesta, infatti, la qualità dei tessuti di lana come gli orbaci: "le donne lavorano il lino e la lana; il panno che fabbricano è molto stimato per cappotti e gabbani. Essi rifiutano l'acqua e non ne lasciano [...] penetrare una sola goccia" (Casalis, 1833, p. 178).

¹² Il rilievo, eseguito tra il 1841 e il 1852 dal Real Corpo di Stato Maggiore Generale, prese il nome del suo comandante, Carlo De Candia, e fu disegnato su "tavolette di rilievo" alla scala 1:5.000, con quadri d'unione per ciascun comune a una scala variabile tra 1:20.000 e 1:50.000.

¹³ Masia osserva che, oltre alle fiere, "le abbazie cistercensi sarde e le grange di Cabuabbas commerciavano con il Continente o «Terra Manna». Seguendo le strade romane esportavano i loro prodotti verso Pisa, Genova e Marsiglia. La produzione agricola, specie cerealicola e zootecnica, era esuberante per il numero limitato degli abitanti dell'isola, circa 110.000; era quindi necessaria l'esportazione per dare così uno sfogo alla produzione" (Masia, 1982, p. 82).

una massicciata che da San Nicola di Trullas porta a Campeda e tocca il fiume Temo, il ponte *Òinu*, per arrivare a Santa Maria di Corte (Campus, 2018). Ugualmente rilevante la presenza sul territorio di tratti di un'altra strada, la cui datazione è da definire, individuabile in località *Corizanas* e *Sos Contones*, a sud-ovest dell'abitato di Sindia (Lai, 2018), il cui andamento lascerebbe presumere si trattasse del tracciato stradale che collegava appunto questa strada all'arteria passante per Bosa e quindi ai porti esistenti in questo tratto di costa, di cui rimane traccia nella carta De Candia (Figure 6-8).

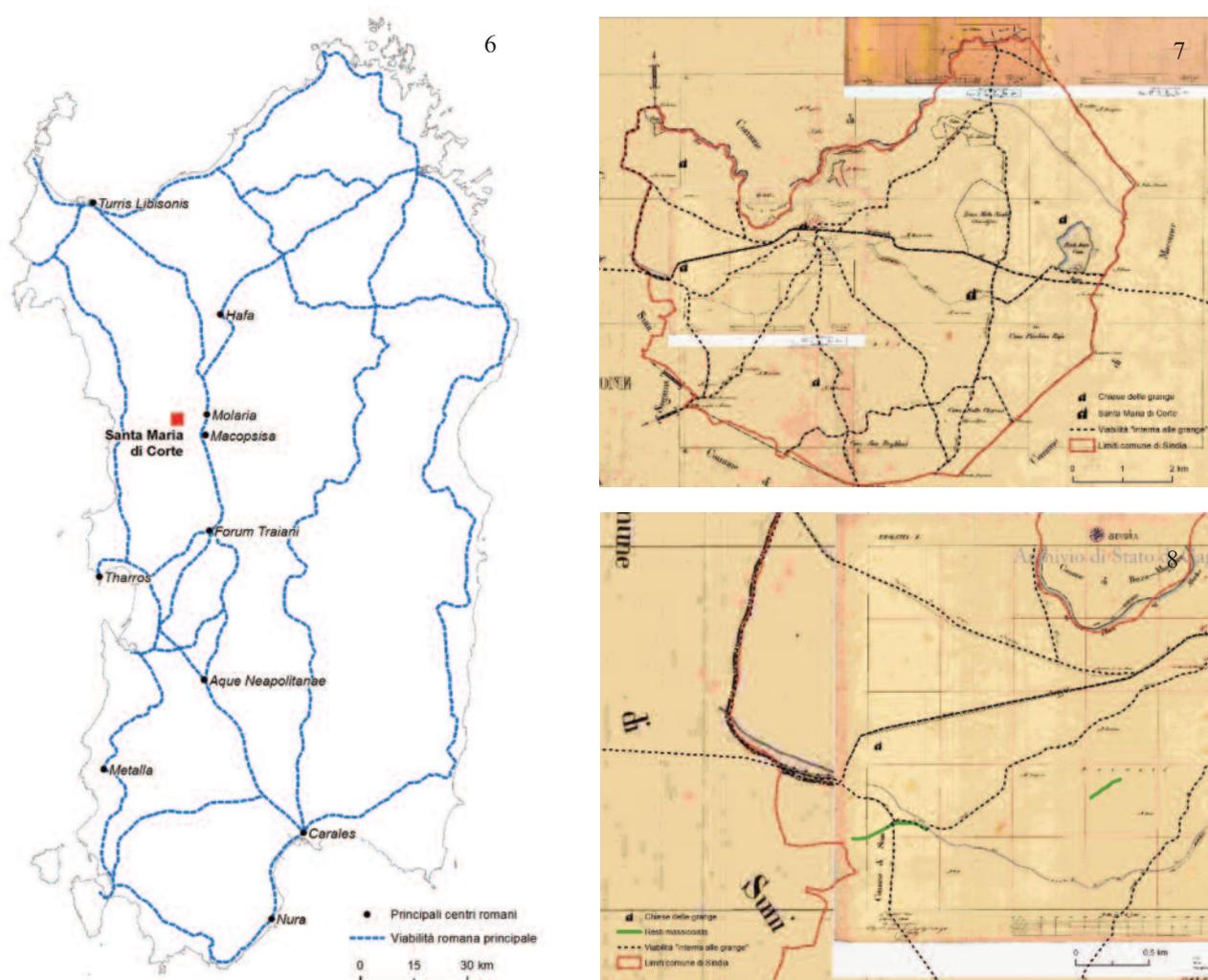


Figure 6-8 - Rappresentazione della viabilità romana principale (fonte: Mastino, 2005) (fig. 6); ricostruzione del sistema di comunicazione interno alle grange (fig. 7); indicazione dei resti della massicciata (fonte: Lai, 2018), di cui rimane traccia nella carta de Candia (fig. 8).

5. Dall'organizzazione territoriale alla caratterizzazione del paesaggio

L'insediamento cistercense descritto si configura come una realtà complessa sotto il profilo territoriale e paesaggistico, estremamente dinamica sul piano socioeconomico e fortemente caratterizzata dalla presenza monastica, capace di integrarsi nella realtà locale e di realizzare un sistema in grado di inserire quest'area all'interno dei più ampi circuiti commerciali del tempo.

Una realtà che, in questa fase della ricerca, è stata indagata non solo attraverso la reinterpretazione delle informazioni di carattere storico in chiave geografica, ma anche grazie al supporto dei sistemi informativi geografici, i quali hanno supportato l'indagine cartografica permettendo di analizzare alcuni dei segni che questo sistema ha impresso sul terreno, caricandolo di significati culturali da



Figura 9 - Resti dell'edificio abbaziale di Santa Maria di Corte, per cui è ancora riconoscibile l'assetto planimetrico originario.

interpretare in senso paesaggistico. Un primo elemento leggibile, che peraltro contribuisce a conferire a quest'area un carattere identitario fortemente connotato dalla fede, è costituito dalla presenza di edifici di culto (da non interpretare come semplici chiese campestri), alcuni ancora perfettamente conservati, i quali presentano in modo evidente le peculiarità dello stile architettonico tipico dei cistercensi¹⁴ e rispondono perfettamente alle loro esigenze di organizzazione territoriale. Oltre San Pietro di Sindia e San Lorenzo di Silanus, perfettamente conservate, dell'edificio di Santa Maria di Corte rimane in alzato solamente parte del transetto (Figura 9), mentre i resti della rimanente struttura, che ne testimoniano l'imponenza e

l'importanza, è stata messa in luce durante campagne di scavo condotte negli anni Sessanta (Vecciu, 2018). Degli altri, *Murimessi*, *Furrighesu* e *Santa Barbara*, si rinvengono solo i ruderi.

Un'osservazione a parte merita la grangia di Silanus, la quale risulta decentrata rispetto alle altre e non sembra rispondere alla filosofia sottesa all'organizzazione del territorio. In realtà è proprio il territorio a fornire una risposta a questa apparente "anomalia". La grangia di San Lorenzo, infatti, sebbene distante dall'abbazia¹⁵, risultava funzionale al fabbisogno dell'intero sistema per la coltivazione di una cava di materiale legante necessario alle costruzioni (Figura 10).

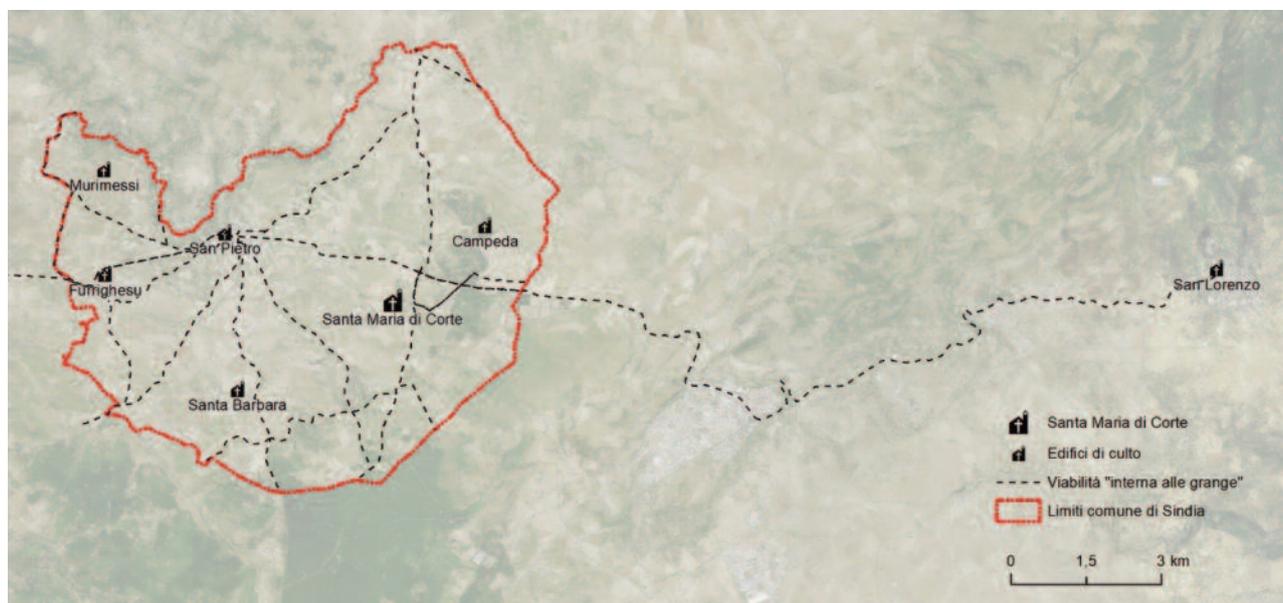


Figura 10 - Rappresentazione degli edifici di culto interni alle grange, in cui si evidenzia l'apparente "anomalia" localizzativa di San Lorenzo di Silanus (a destra).

¹⁴ Per reazione al lusso ed alla ricchezza di *Chuny*, i Cistercensi stabilirono norme tese a riportare le strutture e l'aspetto delle chiese che l'Ordine avrebbe eretto entro lo spirito ed il carattere rigoroso della riforma. Così, coerentemente con le direttive della *Charta caritatis*, a Sindia ogni modulazione formale si stilizza e si minimalizza.

¹⁵ Prendendo come riferimento gli edifici di culto, si osserva che essi hanno una distanza approssimativa fra loro di tre chilometri; la grangia di San Lorenzo dista invece circa sedici chilometri dall'abbazia di Santa Maria di Corte e tredici dalla grangia di Campeda.

Di sicuro, quella operata dai cistercensi è stata un'imponente e innovativa attività agraria capace di modificare il paesaggio in maniera consistente, la cui azione, in molti casi, – sia che si tratti di strutture ancora oggi integre e ben conservate, oppure di resti ma dal significato e dalle dimensioni inequivocabili, come appunto l'abbazia – rimane ancora ben impressa sul territorio conferendogli quel carattere iconico di sacralità fortemente identitario che lo definisce in maniera univoca. In altri casi queste strutture, unitamente ai resti dell'organizzazione agraria (delimitazioni, canalizzazioni, viabilità interna, ecc.), che possono essere ancora rinvenute sotto forma di semplici tracce, hanno comunque contribuito a modellare il paesaggio così come è giunto fino a noi.

In sintesi, un'azione umana che ha sortito numerosi effetti sul territorio indagato e che da lì ha avuto origine per lasciare la sua impronta in numerose aree dell'isola, con evidenti ripercussioni sul paesaggio, non solo per la sua riorganizzazione in senso agricolo, ma soprattutto per lo stretto rapporto tra l'abbazia e i centri religiosi minori che caratterizzavano le grange. Un sistema territoriale originale e complesso, in fondo, che, oltre ad evidenziare il livello di innovazione agricola posseduta dai monaci, ha rivestito in senso religioso un'area presumibilmente poco abitata, recuperandola ai percorsi mistici, tipici di una fede allora determinante come fatto sociale e culturale. Un territorio, e un paesaggio, che già da allora si è differenziato rispetto alle aree rimaste intonse e destinate alla tradizionale vita dei villaggi di una Sardegna ancora agricolo-pastorale, in cui la ricostruzione dell'antico assetto denota chiaramente la forte presenza degli edifici di culto, tra principale e satelliti, posti ai vertici di un'organizzazione la quale, in quanto a strutture, domina quello spazio modellato funzionalmente proprio per sopperire i bisogni della fede e della religiosità. Un intreccio che ha connotato fortemente un'area della Sardegna, la cui influenza non passa inosservata ancora oggi, nonostante di quell'antica strutturazione solo pochi elementi e ruderi siano oggi ancora reperibili. Ma, più che la presenza dell'edificio intonso, così come è stato eretto, sicuramente dall'incombente maestosa sul paesaggio tanto da dominarlo fisicamente ed emotivamente, è forse la presenza proprio dei soli resti a caricare di misticismo lo spazio dominato dalla sua "veduta" creando negli *insider*, ma anche negli *outsider* che hanno la possibilità di addentrarvi, un alone emozionale che non può non richiamare l'emotività oggi tanto apprezzata nelle nuove forme di turismo. Non può sfuggire, dunque, osservando la rappresentazione con la ricostruzione dell'antico sistema delle grange, l'influenza del sistema religioso nella caratterizzazione di quello spazio, connotando nettamente il paesaggio dal punto di vista culturale e religioso.

6. Conclusioni: una possibile reinterpretazione cartografica

Analizzare il contesto di Santa Maria di Corte ha significato ricostruirne le tracce evolutive collocandole direttamente nello spazio, esaminando e valutando i rapporti di relazione tra ipotesi e realtà, delineando quei processi impressi dalla storia sugli ambienti naturali sino a definire quel proscenio che oggi conosciamo e percepiamo come *summa*, ovvero il paesaggio, con il suo carico inscindibile di valori identitari che lo caratterizzano in maniera univoca (Scanu, Podda, 2014). Ciò soprattutto, come si è visto, quando il fenomeno cistercense passante per *Cabuabbas* assume proporzioni e dimensioni notevoli, che vanno ben al di là delle impronte impresse nell'agro di Sindia. Non si può non ricordare, infatti, come, a partire da questa abbazia, è la Sardegna intera a contare un numero non indifferente di monasteri e chiese, grazie a cui, presumibilmente, si possono registrare analoghe modificazioni territoriali e altrettante caratterizzazioni "sacrali" del paesaggio¹⁶. Ad esse è plausibile attribuire il merito di aver esercitato un'azione decisiva nell'organizzazione e nella trasformazione agricola e culturale del territorio, nel contesto tipicamente contadino e pastorale non solo della Planargia, ma, verosimilmente, dell'intera Sardegna dei Giudicati (Masia, 1982), che non può non essere oggetto di un'attenta e strutturata analisi. Sulla base di tali considerazioni, è stato possibile ipotizzare un'organizzazione della vita e del lavoro strutturata gerarchicamente su livelli differenti. Secondo tale "modello", dei siti secondari (le grange) nascevano attorno a quello centrale

¹⁶ Nella fattispecie, il monastero di Santa Maria Salvada *extra muros* e Santa Maria di Caraneta di Bosa (OR), Santa Maria di Coros e Santa Maria di Paulis a Ittiri (SS), Santa Maria Clara in agro di Pirri (CA), i monasteri di Ardarello nel territorio di Sassari, Santa Maria di Talia in Olmedo e Santa Maria di Valverde nel territorio di Alghero (SS).

(il sito abbaziale) per garantire, in primo luogo, un rapporto di collaborazione fra loro e fra questi con il sito centrale¹⁷; in secondo luogo per assicurare una relativa autonomia ad ogni sito per le capacità produttive e/o le caratteristiche del territorio, in rapporto alle *villæ* contermini¹⁸. L'abbazia assumeva, quindi, un ruolo centrale non solo sul piano sociale, visto che i monaci-chierici si spostavano per garantire l'animazione della vita religiosa delle comunità semi-stanziali delle aziende e delle *villas* circoscriventi, ma soprattutto su quello economico, poiché in questa sede veniva fatto confluire il *surplus* della produzione, necessario ad assicurare la sussistenza dei monaci che vi risiedevano e da commercializzare¹⁹.

A conclusione della presente ricerca, da intendere come studio preliminare di tipo essenzialmente metodologico, si è cercato di comprendere come il territorio poteva essere organizzato spazialmente, a partire proprio dalla relazione gerarchica tra i centri religiosi, e osservare come tale strutturazione determinasse una precisa influenza con lo spazio. Un'analisi che, oltre all'esame e all'aggiornamento delle fonti letterarie, ha previsto la ricognizione e l'analisi di quanto residua al suolo, definendone una verosimile resa cartografica, volta ad ipotizzare le pertinenze e le influenze sul paesaggio di tale complesso "organismo di civiltà".

Un supporto indispensabile è stato fornito dalla cartografia storica che, com'è noto, per quanto concerne la scala di dettaglio necessaria in una indagine di questo tipo, è riferibile al solo rilievo De Candia, laddove si possono riconoscere le tracce della viabilità allora in uso (e oggi in parte scomparsa), utile per risalire a quella che poteva essere stata una primordiale rete viaria di servizio alle grange. Tale viabilità, infatti, potrebbe considerarsi prosecuzione nel tempo di antichi assetti, sconvolti e scomparsi (almeno in parte), per le esigenze della "modernità". Nelle stesse mappe, peraltro, come si può osservare nelle *Figure 11-14*, è stato possibile individuare la presenza dei mulini, di cui si hanno notizie storiche precise, e alcuni importanti riferimenti toponomastici che denotano l'area con chiari riferimenti alle attività che vi si svolgevano (ad es. *Riu Sos Molinos*). Un aspetto, quest'ultimo, che, in un'analisi volta alla ricostruzione storica, assume una rilevanza notevole per la sua capacità di fornire risposte riguardanti gli aspetti ambientali ed economici del passato, il quale, per essere efficace, richiede un approfondimento particolare a livello di microtoponomastica. L'apposizione del nome a un luogo rappresenta, infatti, la manifestazione dell'appropriazione dello spazio da parte di un gruppo (Vallega, 2004) e per questo, nella riscoperta dei legami del passato, l'analisi toponomastica può contribuire a delineare taluni stadi evolutivi del territorio e dei suoi valori identitari, da cui possono derivare percorsi di valorizzazione delle espressioni culturali originarie (Podda, 2016).

Poco o nulla è invece dato da osservare, cartograficamente, dell'antico sistema infrastrutturale utile all'approvvigionamento idrico e all'irrigazione dei campi.

Tale gerarchizzazione è stata riportata sulla carta assegnando gli spazi di competenza a un fulcro ipotetico rappresentato dai centri religiosi (abbazia e chiese), veri elementi di riferimento tuttora rinvenibili sul terreno. Si è quindi tentato di assegnare, ad ognuno di questi, un'area, pari a circa 300 ettari, seguendo una delimitazione geometrica di forma circolare (*Figura 11*) o ottagonale (*Figura 12*) – interpretando idealmente le note sfere di competenza delle località centrali di Christaller – quindi quadrangolare (*Figura 13*), ricavando così degli ipotetici spazi di pertinenza che si rifanno a quanto attestato dalle fonti. Successivamente, l'analisi delle diverse cartografie, delle foto aeree e le verifiche sul campo, hanno favorito una delimitazione delle possibili aree di competenza monastica a tratti funzionale con le caratteristiche morfologiche dell'area, con il sistema idrografico e con la

¹⁷ Di tale organizzazione farebbe fede appunto la presenza, nell'agro di Sindia, a distanze quasi regolari, di piccole chiese, nelle quali, verosimilmente, si raccoglievano i fedeli delle grange e delle comunità limitrofe.

¹⁸ Dovendo essere autosufficienti, la presenza dei conversi, nativi del luogo, diventava necessaria, così come fondamentali erano le caratteristiche del territorio e le risorse, come le acque sorgive, in relazione alle attività da svolgere.

¹⁹ Un aspetto, questo, che non ha mai suscitato un grande interesse per la ricerca e lo stesso Masia, nel 1982, rilevava che per quanto riguarda lo studio delle abbazie cistercensi, finora l'attenzione degli studiosi si è preferibilmente orientata verso le strutture edilizie monastiche, ma scarso appare l'interesse verso le loro dipendenze e centri di lavoro, quali appunto sono state le grange.

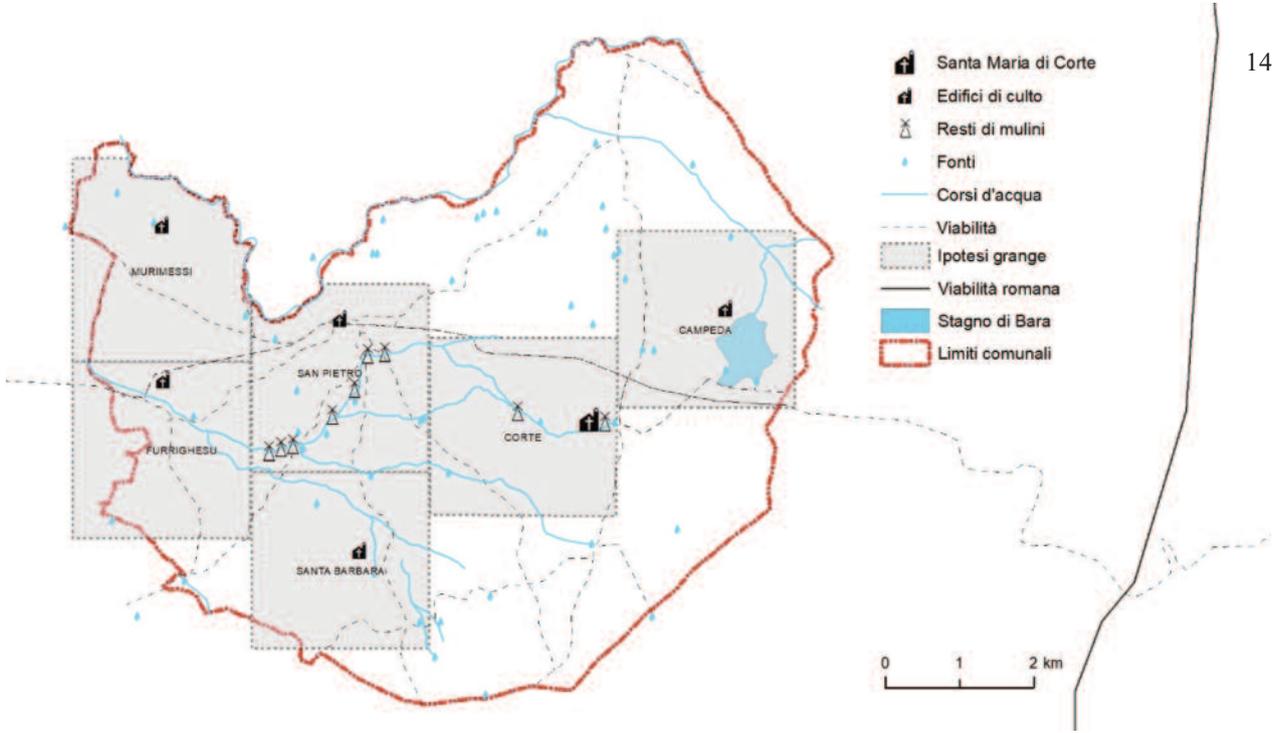
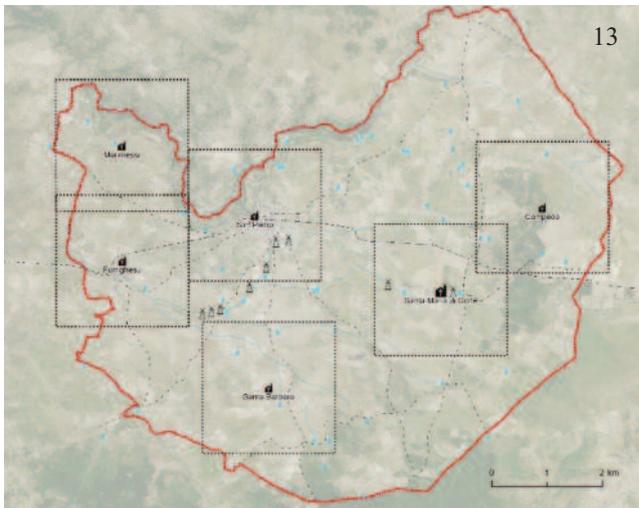
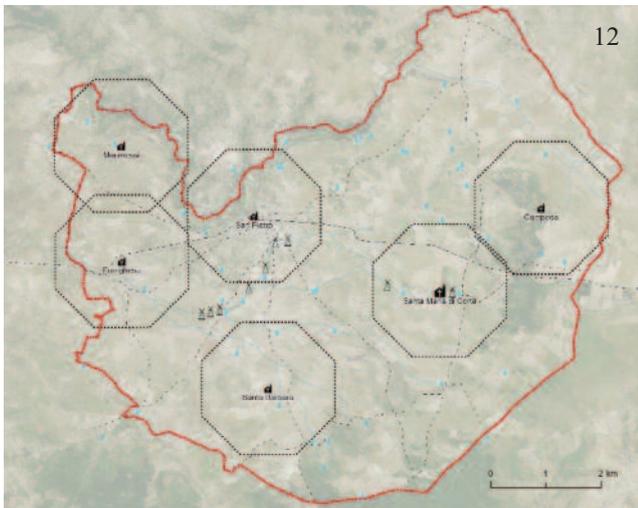
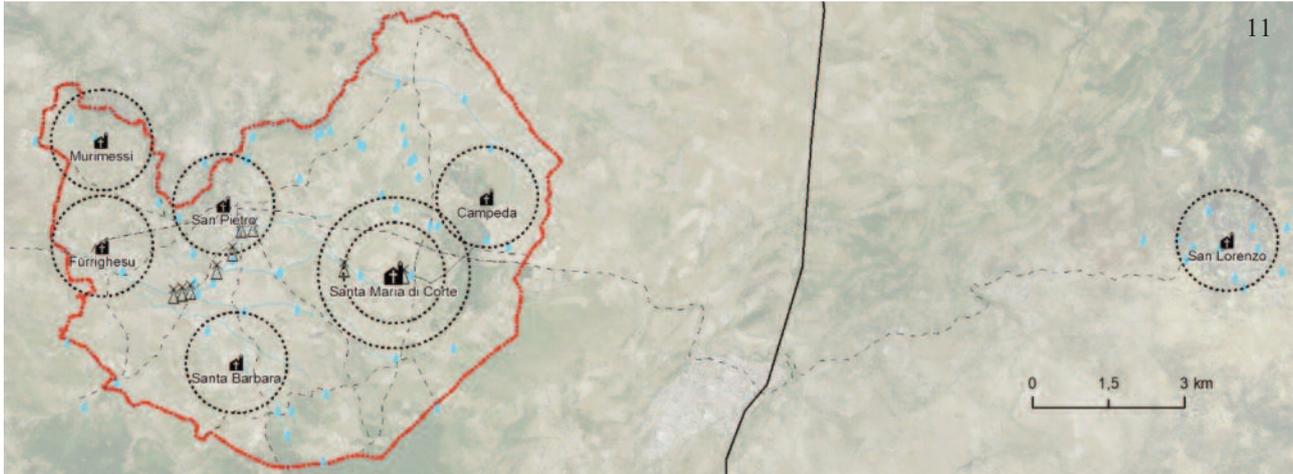


Figure 11-14 - Schematizzazione delle varie fasi di ricostruzione dell'area di pertinenza delle grange: ipotesi di "centro geografico" (Figura 11); tentativo di regolarizzazione geometrica che mantiene la centralità geografica (Figure 12-13); ipotesi più verosimile di definizione delle grange anche sulla base della morfologia del terreno (Figura 14).

viabilità, che ne condizionavano con ogni probabilità la strutturazione (*Figura 14*). La gerarchizzazione ipotizzata si può meglio osservare grazie alla ricostruzione cartografica, da cui emerge come l'abbazia occupi un'area centrale (anche se non geometrica), mentre le grange (rimarcate dalla presenza delle chiesette) si collochino “a corona”. Una delineazione suggestiva, evidentemente, lungi dall'avanzare certezze delimitative in senso fisico, che intende contribuire ad individuare quello spazio in cui le “atmosfera religiose” di un lontano passato, rilevante per il territorio ed interessante geograficamente, siano ancora ben presenti, richiamate dalla fede, e ricordate fisicamente dai centri di culto. Grazie all'impiego della cartografia è stato possibile individuare e riconoscere le relazioni e le interazioni tra storia e realtà, in un territorio che presenta un'omogeneità (seppure non fisiografica) immateriale, come contiguità, assetto, dislocazione e “appartenenza amministrativa” la quale, se si esclude la grangia di Silanus che aveva una precisa finalità ed era relazionalmente collegata al sistema di Santa Maria di Corte (*Figure 10-11*), ricade quasi interamente nel comune di Sindia. Già fonti antiche, infatti (ad esempio il *Condaghe di San Nicola di Trullas*), inducono ad inferire tale configurazione, poiché a nord e ad est insisteva il Priorato camaldolese di San Nicola di Trullas, a sud quello di San Pietro di Scano, mentre ad ovest la Mensa vescovile di Bosa. Una partizione “amministrativa” resa evidente solo grazie al rilievo De Candia, ma che verosimilmente, per motivazioni legate alla gestione delle terre intorno ai villaggi, esisteva anche nel passato e potrebbe avere influito nell'organizzazione cistercense di cui si discute. Sta di fatto che il tentativo di ricostruzione cartografica effettuato sulla base di indizi e intuizioni, messe in evidenza dal disegno delle carte (*Figure 11-14*), richiama inequivocabilmente il rapporto tra territorio e centri religiosi, paesaggio e fede, vocazioni e culto, tracciando un ipotetico quadro dominato da “atmosfera emozionali”, come quelle prodotte dalla visibilità di quello che ancora resta.

Riferimenti bibliografici

- Andreotti G. (1996), *Paesaggi culturali. Teoria e casi di studio*, Edizioni Unicopli, Milano
- Angius V. (1849-1856), *Dizionario geografico storico-statistico-commerciale degli Stati di S.M. il Re di Sardegna*, Torino
- Besta E. (1906), *Liber Iudicum Turritanorum*, Palermo
- Biasutti R. (1962), *Il paesaggio terrestre*, UTET, Torino
- Brandis P. (1979), “I fattori geografici della distribuzione dei nuraghi nella Sardegna nordoccidentale”, *Atti della XXII riunione scientifica dell'Istituto Italiano di preistoria e protostoria nella Sardegna centro-settentrionale*, Stamperia Editoriale Parenti, Firenze, 1-67
- Brigaglia M. (1995) (a cura di), Della Marmora A., *Viaggio in Sardegna*, Archivio Fotografico Sardo, Nuoro
- Campus F.G.R. (2018), “La struttura della frontiera. Castelli e monasteri”, in Mastino A. (a cura di), *Sindia. Un territorio, una storia*, Carlo Delfino Editore, Sassari, 169-181
- Casalis G. (1833), *Dizionario geografico storico-statistico-commerciale degli Stati di S.M. il Re di Sardegna*, Cassone Marzorati Vercellotti Tipografi, Torino
- Casula A. (1990), “Testimonianze dell'architettura cistercense nella Sardegna settentrionale”, in Spiga G. (a cura di), *I Cistercensi in Sardegna. Aspetti e problemi di un Ordine monastico benedettino nella Sardegna medioevale*, Amm.ne Provinciale di Nuoro - Cooperativa Grafica Nuorese, Nuoro, 224-226
- Dai Prà E., (a cura di), (2014), *Approcci geo-storici e governo del territorio*, Franco Angeli, Milano
- Delogu R. (1948), “Architetture cistercensi della Sardegna”, in *Studi Sardi VIII* (1948), 104-113
- Ginesu S. (2018), “Il paesaggio di Sindia. La complessità geologica del recente in un territorio antico come quello della Sardegna”, in Mastino A. (a cura di), *Sindia. Un territorio, una storia*, Carlo Delfino Editore, Sassari, 31-51
- Lai L. (2018), “Il ponte Òinu tra Sindia, Pozzomaggiore e Semestene. Note preliminari”, in Mastino A. (a cura di), *Sindia. Un territorio, una storia*, Carlo Delfino Editore, Sassari, 118-127
- Lekai L.J. (1989), *I Cistercensi. Ideali e realtà*, Certosa di Pavia

- Manno G. 1840, *Storia della Sardegna*, vol. I, Tipografia Elvetica, Torino
- Marinelli O. (1922), *Italia. Atlante dei tipi geografici*, IGM, Firenze
- Masia G. (1982), *L'Abbazia di Cabuabbas di Sindia (1149) e il suo influsso spirituale e sociale nei secoli XII e XIII*, Tipografia Artigiana Sassarese, Sassari
- Mastino A. (2018), *Sindia. Un territorio, una storia*, Carlo Delfino Editore, Sassari
- Mastino A. (2005), *Storia della Sardegna antica*, Il Maestrale, Nuoro, 333-392
- Norberg Schulz C. (1979), *Genius Loci. Paesaggio, ambiente, architettura*, Mondadori Electa, Milano
- Podda C. (2016), "Processi cartografici per la conservazione e valorizzazione della toponomastica sarda", in Scanu G. (a cura di), *Conoscere per rappresentare. Temi di cartografia e approcci metodologici*, Pàtron Editore, Bologna, 263-275
- Pricoco (1995), (a cura di), *La Regola di San Benedetto e le regole dei Padri*, Mondadori, Milano
- Romani V. (2008), *Il paesaggio. Percorsi di studio*, Franco Angeli, Milano
- Romani V. (1994), *Il paesaggio. Teoria e pianificazione*, Franco Angeli, Milano
- Rombai L. (2002), *Geografia storica dell'Italia. Ambienti, territori, paesaggi*, Le Monnier, Firenze
- Scanu G. (2015), "Tecniche cartografiche e valutazione dei paesaggi", in *Asita*, 719-7130
- Scanu G. (2009), "Cartografia, geografia, nuove politiche di gestione dei paesaggi", in Carta M, Spagnoli L (a cura di), *La ricerca e le istituzioni tra interpretazione e valorizzazione della documentazione cartografica*, Gangemi, Roma, 21-37
- Scanu G., Podda C. (2016), "Cartografia e pianificazione del paesaggio", in *Asita*, 911-924
- Scanu G., Podda C. (2014), "Gestione del territorio, cartografia storica, paesaggi del passato", in Dai Prà E. (a cura di), *Approcci geo-storici e governo del territorio*, Franco Angeli, Milano, 501-512
- Secchi P. (2018), *Santa Maria di Corte di Sindia - NU (sec. XII). Analisi del sito abbaziale*, tesi del Corso di Laurea Magistrale in Archeologia, Università degli Studi di Sassari, inedita
- Sechi Nuvole M., Vidal Casellas D., (a cura di), (2017), *Sistema integrato del paesaggio tra antropizzazione, geo-economia, ambiente e sviluppo*, Documenta Universitaria, Girona
- Sestini A. (1963), "Il paesaggio", in *Conosci l'Italia*, TCI, Milano
- Soddu A., De Santis S. (2009), "Signorie monastiche nella Sardegna medievale. Il priorato camaldolese di S. Nicola di Trullas", in *Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Sassari* I, 353-378.
- Spano G. (1864), "Sindia, e Santa Maria di Corte, ovvero di Cabu Abbas", in *Bullettino Archeologico Sardo* X, 43-47
- Turri E. (1998), *Il paesaggio come teatro. Dal territorio vissuto al territorio rappresentato*, Marsilio editori, Venezia
- Vallega A. (2008), *Indicatori per il paesaggio*, Franco Angeli, Milano
- Vallega A. (2004), *Le grammatiche della geografia*, Pàtron, Bologna
- Vecciu A. (2018), "L'abbazia di Cabuabbas e l'organizzazione territoriale. Fioritura e decadenza della prima fondazione cistercense in Sardegna: spunti per un'indagine sull'evoluzione delle signorie monastiche nella società giudiciale", in Mastino A. (a cura di), *Sindia. Un territorio, una storia*, Carlo Delfino Editore, Sassari, 182-192
- Zanetti G. (1976), "I Cistercensi in Sardegna. Le abbazie di S. Maria di Corte, di Paulis e di Coros", in *Archivio Storico Sardo* di Sassari, 15-17

Modellazione 3D dei ghiacciai in Trentino da immagini aeree del 1954 per analisi temporali

Daniela Poli ^(a), Christian Casarotto ^(b), Markus Strudl ^(a), Erik Bollmann ^(a),
Kjersti Moe ^(a), Klaus Legat ^(a)

^(a) Vermessung AVT-ZT-GmbH, Imst, Austria d.poli@terra-messflug.at,

^(b) MUSE, Trento, christian.casarotto@muse.it

Introduzione

Le immagini aeree storiche rappresentano la più antica fonte di informazione uniforme e completa sui ghiacciai (Bolch et al., 2010). Come dimostrano diversi studi in tutto il mondo, le immagini aeree storiche hanno un grande valore per il monitoraggio di un ghiacciaio, e spesso forniscono il dato di riferimento per la valutazione dei cambiamenti di area, lunghezza e massa. Il problema principale per l'estrazione di informazioni metriche 2D/3D risiede nella qualità delle immagini stesse. In effetti, i primi voli militari fotogrammetrici non erano ottimizzati per il rilevamento dei ghiacciai, ma per luoghi popolati o infrastrutture strategiche, e le camere analogiche non avevano il potenziale per catturare un forte riflesso della luce sul ghiaccio né la bassa tessitura della neve tipica delle aree ghiacciate. Il gruppo di glaciologia del Museo delle Scienze di Trento (MUSE) si occupa, tra le varie attività, del monitoraggio dei ghiacciai in Trentino, attualmente 146, per una superficie complessiva di circa 32 kmq (2015). Il gruppo aveva a disposizione circa 300 fotogrammi acquisiti tra agosto e ottobre del 1954 dall'Aeronautica Americana su tutta la Provincia di Trento, e ha incaricato la ditta AVT / Terra Messflug di elaborare le immagini per estrarre non solo l'ortofoto di tutta la Provincia, ma anche un modello digitale della superficie (DSM) dei ghiacciai presenti. In questo contesto l'articolo discute il potenziale delle immagini aeree per l'estrazione di informazioni 3D sui ghiacciai e si concentra sulla valutazione della loro qualità, con particolare attenzione a come la loro copertura, accuratezza radiometrica e geometrica, stato di conservazione e ricoprimento, possano influenzare il flusso di lavoro.

Analisi immagini

I primi voli di immagini aeree in tutta Europa iniziarono intorno all'inizio del XX secolo. Nelle prime missioni fotogrammetriche aeree la stabilità e la velocità dell'otturatore erano un problema, ma verso la fine della Prima guerra mondiale Sherman M. Fairchild sviluppò una macchina fotografica con l'otturatore situato all'interno dell'obiettivo. Questo design migliorò significativamente la qualità delle immagini e diventò lo standard per i sistemi di camere aeree dei successivi 50 anni. Le circa 300 immagini aeree utilizzate in questo lavoro sulla Provincia di Trento furono acquisite durante diverse

missioni aeree tra agosto e ottobre 1954 con tre telecamere analogiche Fairchild KF7660 con dimensioni 23 cm x 23 cm e lunghezze focali 153,16 mm, 153,89 mm e 153,34 mm rispettivamente (Figura 1a). Sui fotogrammi è stato possibile recuperare la data e l'ora del volo, il tipo di obiettivo e l'altitudine approssimativa (Figura 1b).

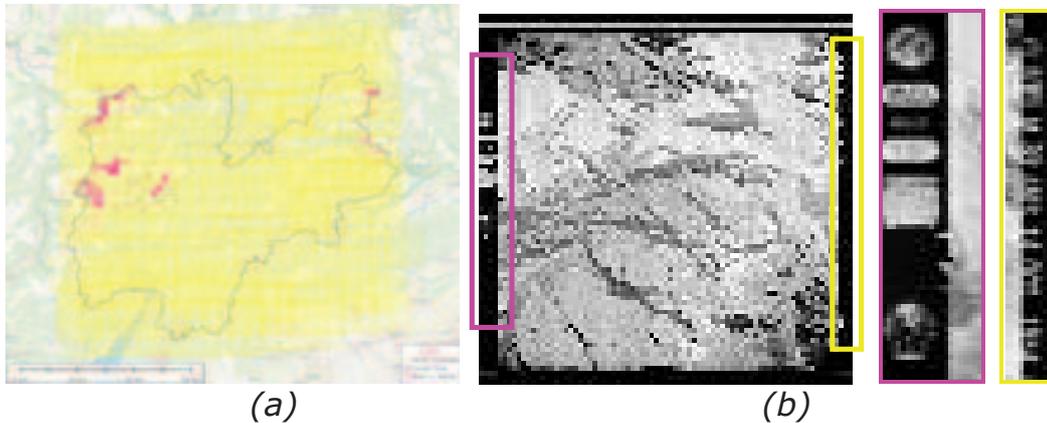


Figura 1. (a). Copertura della Provincia di Trento con i voli del 1954 e in viola i perimetri dei ghiacciai rilevati nel 2015. (b) Esempio di fotogramma su ghiacciaio e zoom sul bordo con informazioni riguardo la camera e il volo.

Le scansioni dei fotogrammi sono state fornite dall'Istituto Geografico Militare di Firenze (Italia) e prodotte a 2400 dpi, presumibilmente dalla stampa cartacea. Dalla quota di volo e le quote nella Provincia di Trento (150 - 3500 m), si stima che il GSD medio delle immagini digitali sia di circa 0,58 m e la scala media del volo di circa 1: 55000. L'analisi della qualità dell'immagine è stata condotta tenendo conto dei seguenti aspetti:

- copertura. La Provincia, e in particolare i ghiacciai, sono completamente coperti dalle immagini aeree. I voli sono stati eseguiti in direzione est-ovest, con una sovrapposizione di circa il 60% tra le immagini e del 30% tra le strisciate. La copertura è adatta per la produzione di ortofoto in zone pianeggianti, collinari e montane;
- visibilità. Data la natura militare del volo, alcune aree strategiche distribuite in tutta la Provincia, come fabbriche, caserme militari e così via, sono state mascherate nei fotogrammi originali, con una matita nera o simile (Figura 2a). Le aree dei ghiacciai non sono interessate ad alcuna cancellazione;
- ∞ conservazione. La qualità di conservazione dei fotogrammi prima della scansione è piuttosto scarsa. Graffi, tagli e segni di colla sono presenti nella maggior parte delle immagini (Figura 2a);
- scansione. Per preservare al massimo la qualità dei voli analogici, i film dovrebbero essere scansionati con scanner fotogrammetrici, con una risoluzione di scansione nota in μm . Per le immagini utilizzate in questo lavoro, la risoluzione di scansione è espressa in dpi, il che presuppone che la scansione sia stata eseguita con scanner non fotogrammetrici, con conseguente perdita della qualità. Inoltre sono presenti errori meccanici, evidenti sotto forma di linee mancanti di pixel o disallineamenti (Figura 2c).



Figura 2. Esempi di (a) elementi mascherati (b) graffi e (c) problemi di scansione nelle immagini aeree del 1954.

Nell'area coperta dai ghiacciai, che ha la massima priorità nel progetto, alcuni ulteriori difetti nelle immagini influenzano significativamente l'estrazione dei prodotti 3D e richiedono alcuni commenti:

- saturazione. I voli sono stati eseguiti in condizioni meteorologiche ottimali per acquisizioni su obiettivi militari e aree popolate, quindi con cielo sereno e alta inclinazione del sole. Su un'area coperta da ghiaccio o neve fresca, queste condizioni causano un forte riflesso della luce nei fotogrammi, con conseguenti effetti di saturazione nelle immagini scansionate (Figura 1b). L'effetto a volte è limitato ad alcuni pixel, ma in alcune aree, come il ghiacciaio dell'Adamello, esso riguarda gran parte dei ghiacciai;
- contrasto e ombre scure. Le montagne della provincia di Trento, in particolare nell'area delle Dolomiti, sono caratterizzate da pareti scoscese, quasi verticali, e gole profonde, che causano ombre. A causa della bassa qualità dei film disponibili all'epoca e della gamma dinamica limitata delle immagini, le ombre appaiono spesso come aree nere omogenee. Di conseguenza, l'identificazione (e la misurazione) di qualsiasi dettaglio è pressoché impossibile.

Orientamento delle immagini e ortorettifica

A causa della mancanza dei certificati di calibrazione, l'orientamento interno è stato stimato manualmente, misurando le marche fiduciali in ogni immagine aerea. Alcune incertezze non quantificabili in modo accurato sono dovute al fatto che le misure delle marche fiduciali sono state eseguite sulle immagini scansionate con uno scanner non fotogrammetrico e non è noto il grado di restringimento della pellicola. Nonostante queste incertezze, l'analisi delle posizioni calcolate delle marche fiduciali e delle corrispondenti deviazioni standard mostra un andamento accettabile. Per le due strisciate consecutive sui ghiacciai mostrate in Figura 3, la posizione stimata delle marche fiduciali oscilla intorno a $10,55 \mu\text{m}$, mentre il valore teorico è di $10,58 \mu\text{m}$. La deviazione standard (linea rossa) oscilla tra $20 \mu\text{m}$ e $70 \mu\text{m}$ (tra $3 \mu\text{m}$ e $130 \mu\text{m}$ se si considerano tutte le immagini). Nel caso ideale di orientamento interno sui fotogrammi originali con certificato di calibrazione noto, la deviazione standard è inferiore a $10 \mu\text{m}$. L'andamento della deviazione standard indica che l'errore non è sistematico nelle immagini. Tutti gli errori dall'orientamento interno sono stati trasferiti nella triangolazione aerea.



	X	Y	Z
Traslazioni	5,76m	6,91m	6,11m
Rotazioni	0,053°	0,041°	0,013°
Punti a terra	2,35m	2,58m	6,94m
GCPs	1,55m	1,23m	1,58m
RMSE			
GCPs	1,49m	1,18m	1,41m

Figura 3. Andamento della posizione stimata (blu) e deviazione standard del 1954 (rosso) dei punti fiduciali per le strisciate 11 e 12.

La triangolazione aerea del blocco di volo è stata condotta nel software Match-AT Inpho. A causa delle posizioni imprecise dei centri di presa e delle differenze tra le strisciate, in parte a causa dei diversi giorni di volo, non è stato possibile orientare il blocco nel suo insieme, ma ogni striscia è stata orientata separatamente e collegata manualmente a quelle adiacenti. Successivamente sono stati misurati diversi punti di appoggio, disponibili da precedenti progetti realizzati nel 2015 nella stessa area di progetto, dalle mappe dell'IGM e da un geodatabase pubblico della Provincia, in cui i punti fiduciali sono mappati e accompagnati da metadati dettagliati. Le principali difficoltà erano dovute alla bassa accuratezza delle mappe storiche IGM, con evidenti errori relativi tra mappe adiacenti, e alla bassa qualità delle immagini aeree dal 1954, che rendeva incerta l'identificazione dei punti. I risultati della triangolazione aerea, riassunti nella Tabella 1, riflettono le significative incertezze previste dall'orientamento interno e dalla qualità dei fotogrammi.

L'ortofoto è stata generata con una griglia di 1 m su tutta la Provincia di Trento, utilizzando il DTM disponibile da un volo Lidar eseguito nella Provincia nel 2006. La digitalizzazione dei perimetri dei ghiacciai ha permesso una prima stima delle variazioni delle superfici dal 1850 al 2015 (Figura 4).

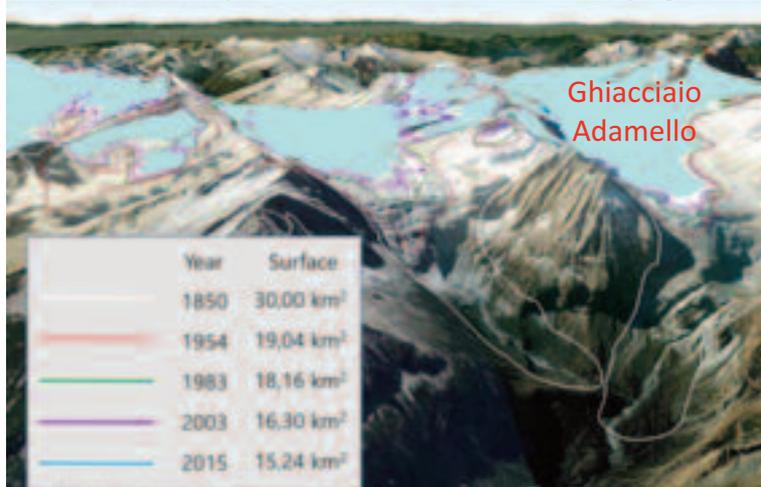


Figura 4. Analisi temporale della variazione dei perimetri dei ghiacciai e confronto tra gli anni 1850, 1954, 1983, 2003 e 2015 sul ghiacciaio dell'Adamello.

Modellazione 3D

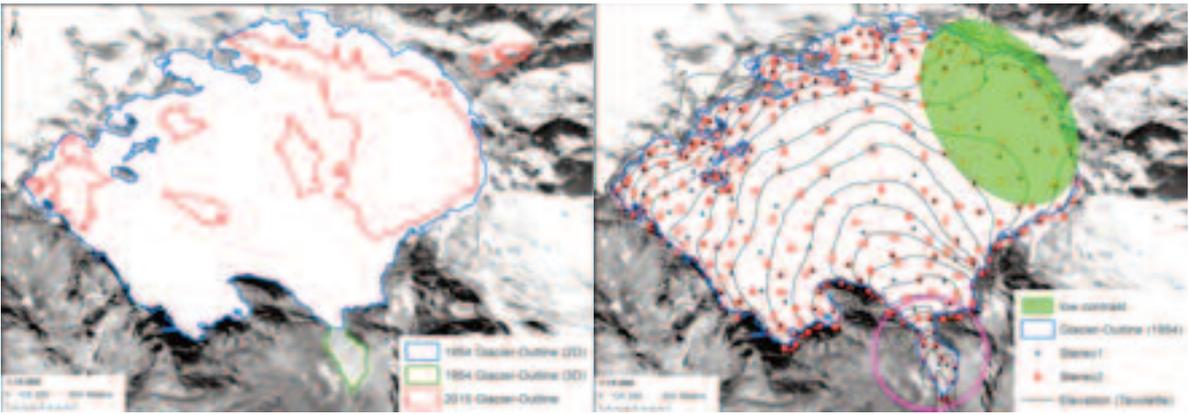
Per la modellazione 3D dei ghiacciai e la generazione del modello digitale del terreno (DTM), possono essere utilizzate diverse tecniche. Il metodo tradizionale si basa sulla misura stereoscopica manuale da parte di un operatore di punti di massa e *breaklines*, seguendo la morfologia del terreno. Le misure 3D vengono quindi interpolate e regolarizzate in una griglia raster. Maggiore è la densità delle misure, migliore è l'accuratezza del DTM. Il metodo è costoso in termini di tempo e risorse e necessita un hardware speciale per la restituzione e un operatore esperto, soprattutto nel caso di superfici difficili come i ghiacciai. Esso fornisce i risultati più accurati, se i punti omologhi sono ben riconoscibili in entrambe le immagini stereo. Il *dense image matching*, basato sulla modellazione in automatico di superfici grazie all'autocorrelazione tra le immagini, ha fornito ottimi risultati sui ghiacciai del Trentino a partire da un volo fotogrammetrico nel 2015 e in altri progetti sui ghiacciai realizzati da AVT (Legat et al., 2016); esso ha il grande vantaggio di avere un elevato grado di automazione e generare nuvole di punti molto dense e DTM con griglia fino alla risoluzione geometrica delle immagini, ma richiede un'elevata sovrapposizione tra le immagini stesse e può mostrare limiti nel caso di superfici omogenee.

Per valutare le singole metodologie, è stato eseguito un test sul ghiacciaio del Careser. Il ghiacciaio si trova nel gruppo Ortles-Cevedale ed è stato classificato come uno dei ghiacciai di riferimento italiani dal World Glacier Monitoring Service per la più lunga serie di dati disponibili sul bilancio di massa (dal 1967 ad oggi). Come operazione preliminare, è stato digitalizzato il perimetro del ghiacciaio utilizzando come base l'ortofoto del 1954 prodotta. In generale la digitalizzazione dei contorni dei ghiacciai in 2D nelle ortofoto produce risultati attendibili solo nel caso in cui il ghiaccio sia confinato direttamente sul substrato roccioso solido, ma mostra limiti in caso di scarsa qualità dell'immagine dell'ortofoto (ad es. errori nelle immagini, basso contrasto), di presenza di detriti o neve fresca lungo i contorni del ghiacciaio o in zone molto ombreggiate (ad esempio vicino a ripide pareti rivolte a nord). Nel caso del Careser la lingua del ghiacciaio era stata erroneamente interpretata come un lago nella digitalizzazione 2D. Pertanto il perimetro 2D è stato controllato da un operatore in stereo e corretto con nuove misure 3D (Figura 5(a)). Per la modellazione della superficie, è stato inizialmente testato il *dense image matching* sulle immagini del 1954, ma i risultati sono stati insoddisfacenti: l'identificazione automatica di punti omologhi era quasi impossibile nelle zone in ombra, e altrove a causa della presenza di rumore, graffi, saturazione e i difetti riportati sopra. Questi risultati sono stati confermati da test eseguiti su altri ghiacciai dove le immagini del 1954 presentavano una qualità generalmente migliore. Si è quindi concluso che la bassa qualità e la limitata sovrapposizione delle immagini non consentono la modellazione automatica della superficie sui ghiacciai trentini a partire dai voli del 1954 disponibili. Per valutare la possibilità di estrarre il DTM manualmente, sono stati confrontati i DTM ottenuti da due sessioni distinte di restituzione stereo. In Figura 5(b) sono rappresentati i punti di massa restituiti nella prima (Stereo1, blu) e seconda (Stereo2, rosso) sessione. Come mostrato in Figura 7(a) in generale i due DTM presentano differenze poco significative (i valori in bianco, giallo e azzurro sono

inferiori a 5 m), con una media di 3,65 m, con deviazione standard di 7,10 m. Nella parte Est sono visibili notevoli differenze, dovute alla difficile identificazione dei punti omologhi perché non ben visibili in una o entrambe le immagini. Questa parte del ghiacciaio è infatti caratterizzata da una superficie molto omogenea, con colori chiari, piccole variazioni superficiali e una copertura nevosa pronunciata, tale da rendere incerto anche il rilievo manuale dei punti omologhi. Il metodo stereoscopico ha fornito risultati migliori nelle aree a quote più basse del ghiacciaio, dove il terreno è eterogeneo e possono essere identificati e restituiti in stereo un maggior numero di elementi. In questi casi il metodo stereoscopico può essere considerato un metodo affidabile per l'estrazione di informazioni 3D puntuali, ed è particolarmente utile in aree con bassa tessitura in cui il *dense image matching* non può essere impiegato. Come ulteriore verifica, è stato considerato il DTM ottenuto dalla digitalizzazione di una mappa topografica storica a scala 1:25.000 della serie *tavolette*, generata da un volo aereo effettuato nel 1959 (Figura 5b). Questo DTM non è affidabile in prossimità dell'area indicata dal cerchio di colore magenta nella Figura 5b, poiché le curve di livello non riportavano l'informazione della quota. Il confronto tra il DTM dalla tavoletta e il DTM ottenuto dalle misure stereo (Figura 6a) conferma i risultati discussi in precedenza. Il test sul ghiacciaio del Careser ha mostrato che non può essere scelta un'unica metodologia di modellazione 3D per tutti i ghiacciai dell'area del progetto. Tenendo conto dei limiti di ciascuna tecnica dovuta alla qualità dei dati e alla disponibilità delle mappe, i 128 ghiacciai sono stati analizzati singolarmente e per ognuno è stata selezionata la miglior tecnica per modellarli in 3D. Dove la qualità delle immagini non consentiva misure stereo sufficientemente dense, il DTM è stato estratto dalla digitalizzazione delle linee di contorno nelle tavolette ottenute dai voli aerei del 1954 e del 1959, al fine di fornire comunque le informazioni 3D su questi ghiacciai e rispondere alla richiesta degli esperti di glaciologia di avere una copertura 3D completa.

Analisi temporale

I DTM del ghiacciaio del Careser estratti dalle immagini del 1954 e dalle tavolette sono stati confrontati con il DSM ottenuto dal volo aereo eseguito nel 2015, calcolando le differenze di altezza (il più recente meno il più antico) e analizzando la distribuzione dei valori in funzione della qualità dei dati di origine e della geomorfologia locale (Figura 6b). In generale si osserva una differenza sistematica negativa intorno ai 40-50 m con picchi negativi superiori a 100m, in aree dove la modellazione 3D era ritenuta affidabile. In generale l'andamento del cambiamento e i valori delle differenze di quota sono in linea con le previsioni stimate dal gruppo di glaciologia del MUSE. Infatti il bilancio di massa determinato con il metodo glaciologico dal 1967 al 2015 ha restituito una perdita cumulata di 58 m di ghiaccio distribuiti sull'intero ghiacciaio. Questo valore è coerente con le variazioni di 46 m ottenute dalla differenza tra il DTM del 2015 e i valori del 1954 discussi in questo lavoro. L'analisi temporale ha incluso anche l'analisi dei profili delle differenze di quota lungo transetti di interesse, disegnati dalla cima (A) alla base (B) dei ghiacciai.



(a) (b)

Figura 5. Estrazione di informazioni 3D dal ghiacciaio del Careser. (a) Perimetro del ghiacciaio nel 1954 misurato in 2D (blu), con correzioni in 3D (verde) e nel 2015 (rosso). (b) Punti di massa resituiti in due diverse sessioni di lavoro (rosso e blu), e curve di livello digitalizzate da mappe tavoletta (marrone).

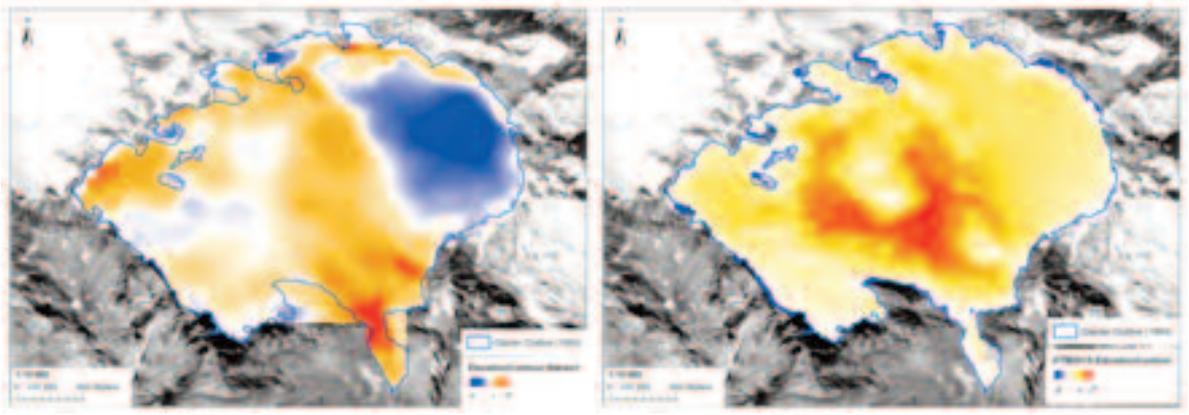
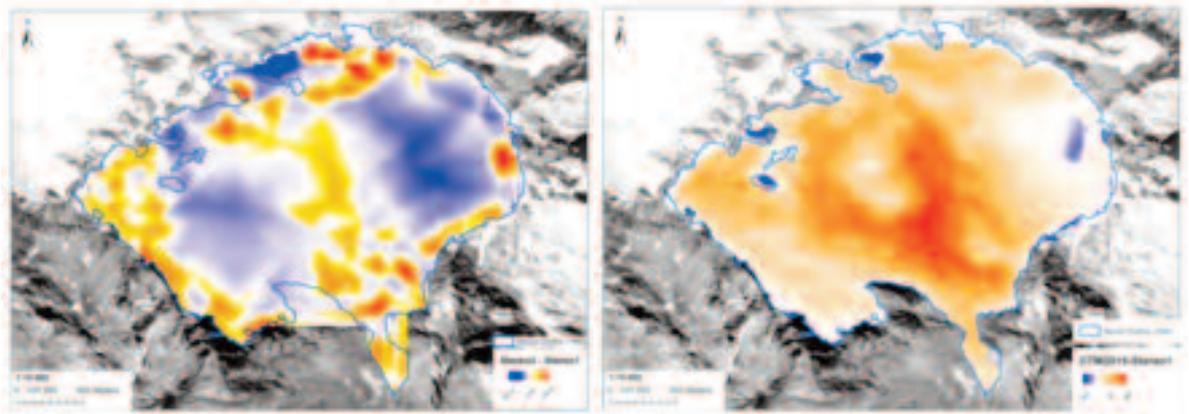


Figura 6. Analisi 3D sul ghiacciaio del Careser. (a) Differenza tra il DTM ottenuto dalla tavoletta e il DTM Stereo1 del 1954. (b) Differenza di quota tra il DTM del 2015 e il DTM ottenuto dalla tavoletta.



(a) (b)

Figura 7. Analisi 3D sul ghiacciaio del Careser. (a) Differenza tra i DTM Stereo2 e Stereo1 del 1954. (b) Differenza di quota tra il DTM del 2015 e il DTM Stereo1 del 1954.

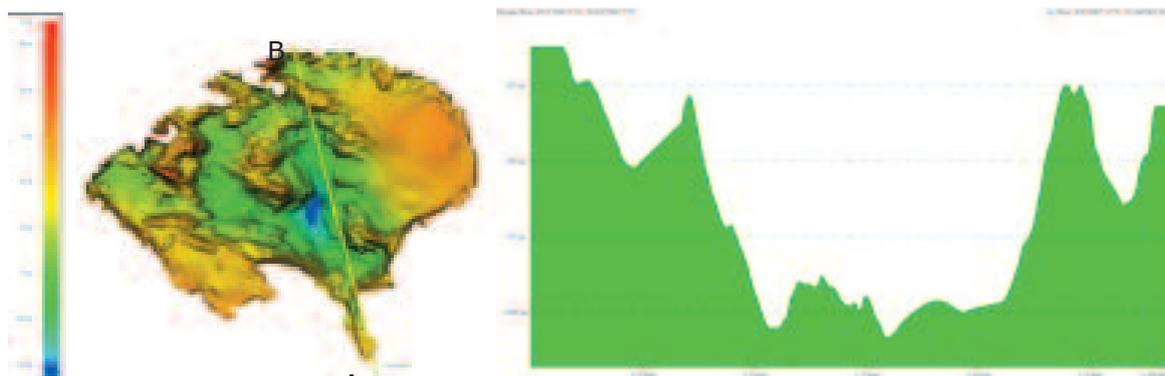


Figura 8. Profilo delle differenze di quote tra il DTM del 1954 e il DTM nel 2015 lungo il segmento indicato in giallo.

Conclusioni

Lo scopo del lavoro era di indagare la possibilità di estrarre informazioni 3D e modelli digitali della superficie sui ghiacciai della Provincia di Trento a partire dalle immagini aeree storiche acquisite nel 1954 dall'Aeronautica americana. L'analisi ha evidenziato come la bassa qualità dei fotogrammi, in particolare la presenza di graffi, zone saturate e altre zone omogenee, abbia influenzato il flusso di lavoro fotogrammetrico in termini di precisione raggiunta nelle fasi di orientamento interno ed esterno delle immagini, pur permettendo di generare un ortofoto di 1 m su tutta la Provincia di Trento, compresi i ghiacciai. I problemi relativi alla qualità dell'immagine e al basso ricoprimento hanno avuto effetti più critici nella modellazione 3D della superficie dei ghiacciai. In effetti, l'uso di *dense image matching* non ha dato risultati affidabili, sebbene la stessa metodologia avesse prodotto risultati molto accurati sugli stessi ghiacciai con immagini acquisite da camere aeree moderne e su altri ghiacciai con voli aerei dello stesso periodo storico. La presenza di aree sature o con bassa tessitura, ha compromesso anche la possibilità di modellare i ghiacciai manualmente con il metodo stereoscopico in alcune regioni. I risultati ottenuti sul ghiacciaio del Careser sono stati discussi criticamente, concludendo che in aree con una qualità dell'immagine accettabile è possibile ricavare l'informazione 3D in modo affidabile e utilizzare i dati per indagini geodetiche, come le variazioni della quota del ghiacciaio nel tempo, e per il confronto con i bilanci determinati con il metodo glaciologico.

Riferimenti bibliografici

Bolch, T., Pieczonka, T., Benn, D.I. (2010). Longest time series of glacier mass changes in the Himalaya based on stereo imagery. *The Cryosphere Discuss.*, 4, 2593–2613.

Legat, K., Moe, K., Poli, D., Bollmann, E. (2016). Exploring the potential of aerial photogrammetry for 3D modelling of high-alpine environments. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2016*, XL-3/W4, 97-106.

Confronto fra fotogrammetria aerea e terrestre per la mappatura 3D di un fronte di frana

Ettore Potente ^(a), Cosimo Cagnazzo ^(a)
Alessandro Deodati ^(b) Giuseppe Mastronuzzi ^(a)

^(a) Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari,
via Orabona, 4 - Bari, e-mail: etttore.potente@uniba.it

^(b) Niteko S.r.l., via degli Ulivi 7/A - Montemesola (TA),
e-mail: alessandro.deodati@niteko.com

Introduzione

Il 25 gennaio 2019, nel comune lucano di Pomarico (MT) ha avuto luogo un movimento franoso che ha interessato i depositi sabbiosi del versante occidentale del centro storico del paese, mettendo a nudo la struttura portante di corso Vittorio Emanuele. Il fenomeno è proseguito nei successivi giorni fino a causare, nel pomeriggio del 29 gennaio 2019, il collasso del piano stradale ed il crollo totale o parziale di alcuni edifici del centro abitato, che erano stati preventivamente evacuati. Sono stati effettuati 35 sgomberi per un totale di 58 persone evacuate. La frana ha un fronte di circa 110 metri e l'accumulo di materiale si estende verso valle fino ad oltre 500 metri di distanza.

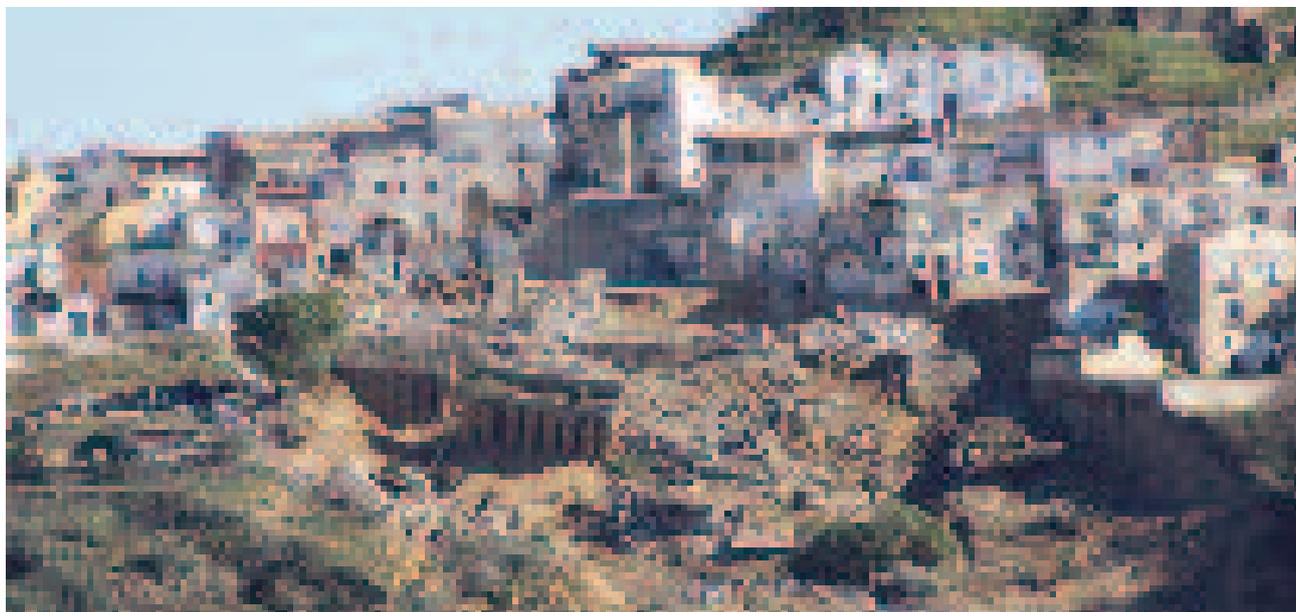


Figura 1 – Vista del fronte di frana di Pomarico (MT) due giorni dopo l'evento franoso. Son visibili i detriti derivanti dai crolli degli edifici e del piano stradale.

Mappare le aree affette da eventi parossistici (come frane, terremoti, alluvioni) usando l'approccio tradizionale è parte della procedura standard di questo genere di studi, tuttavia ci sono casi frequenti in cui la procedura tradizionale

incontra delle difficoltà dovute a diversi fattori: le dimensioni della frana (spesso troppo grande per essere monitorata accuratamente); il punto di osservazione (spesso non adatto ad osservare tutta l'area interessata con lo stesso dettaglio); la forte influenza di fattori a terra (folta vegetazione, processi erosivi, attività antropiche). Per questi motivi, un'acquisizione in remoto ed un punto di vista d'insieme su un'area ampia e potenzialmente pericolosa può garantire sia la sicurezza degli operatori che un risultato più completo ed accurato.

Il *remote sensing* offre molti vantaggi in situazioni di emergenza in aree ampie, nelle quali inizialmente le immagini in alta risoluzione da satellite sono molto utili per individuare rapidamente quali sono le strutture maggiormente danneggiate. Per un rilievo completo e più dettagliato delle strutture e delle infrastrutture, utile per la successiva fase di ricostruzione, la fotogrammetria da UAV (*unmanned aerial vehicle*) è la più indicata (Xu et al. 2014) e risulta molto efficace anche quando si tratta di monitorare aree in frana (Turner et al., 2015). La fotogrammetria è un modo efficace per ottenere dati in ambiente urbano ad ampia scala. Le tecniche fotogrammetriche usano immagini 2D per creare modelli tridimensionali. Le immagini terrestri sono quelle più facilmente collezionabili, e sebbene queste contengano molte informazioni sugli oggetti presenti al suolo, sulla vegetazione e grande dettaglio sulle facciate degli edifici, mancano delle informazioni sui tetti degli edifici e gli ostacoli ne limitano la profondità, che rende difficile la ricostruzione di aree troppo estese. L'algoritmo *Structure from Motion* (SfM), introdotto nella Computer Vision a metà degli anni '90, permette l'estrazione automatica della geometria della scena, della posizione della camera, dei parametri dell'orientazione interna ed esterna, effettuando un *bundle adjustment* iterativo (Triggs et al. 2000) su una sequenza di immagini (approccio multi-immagine). I principi del workflow dello SfM sono stati descritti da (Snavely et al. 2008; Snavely 2011), e (Westoby et al. 2012). In tempi recenti sono state sviluppate soluzioni open source come MicMac (Rupnik et al., 2017; Remondino et al., 2012) che rendono il processamento dei dati accessibile a tutti a basso costo.

Materiali e metodi

Nel comune di Pomarico è stata predisposta una campagna fotogrammetrica aerea e terrestre, con l'obiettivo primario di mappare il fronte di frana e gli edifici a ridosso di esso.

Sono stati eseguiti diversi voli test con UAV con diverse configurazioni per raggiungere una mappa ad alta risoluzione dell'area di studio attraverso la produzione di ortofoto con risoluzione spaziale sub-decimetrica. La mappatura è stata effettuata con voli a quote diverse per ottimizzare i piani di volo sull'area di interesse. In seguito, con l'utilizzo di un drone DJI Inspire 2 equipaggiato con DJI Zenmuse x5s da 20 MP, sono stati effettuati quattro voli a bassa quota (20 m e 25 m), per acquisire immagini ad alta risoluzione: un volo nadirale e tre con camera inclinata (45°) per migliorare le informazioni sull'altezza degli oggetti nella scena, ottenendo in tutto 590 immagini.

Parallelamente sono state ottenute immagini terrestri ad alta risoluzione, acquisite in remoto con l'ausilio di un UTV (*unmanned terrestrial vehicle*) appositamente progettato ed equipaggiato con una camera Sony Alpha6000L

con risoluzione 24.3 MP. Più in dettaglio, l'area di interesse è stata suddivisa in 4 segmenti percorribili lungo i quali sono state collezionate 820 foto. È il caso di sottolineare che fotografare gli edifici a distanza ravvicinata, sia per esigenze di dettaglio che per esigui spazi di manovra disponibili, ha reso impossibile acquisire informazioni sugli edifici più alti, perché la vista di una buona percentuale delle facciate degli stessi era ostacolata dalla presenza di balconi. Inoltre il setting specifico della camera utilizzata era stato pensato per scattare foto ad una distanza di 3 metri, quindi con un FOV (*field of view*) di 3,9 m x 2,5 m. Ciò può causare difficoltà nel matching delle immagini, poiché in un range così limitato possono mancare, nelle immagini, quei dettagli che rendono possibile il riconoscimento e l'accoppiamento delle immagini contigue, specie in caso di superfici molto regolari.

Dopo il controllo di qualità, le immagini sono state pre-elaborate, per ottimizzare la gamma cromatica, e successivamente processate con la tecnica SfM attraverso l'utilizzo della suite software modulare open source MicMac (*Multi-Images Correspondances Méthodes Automatiques de Corrélation*) all'interno della quale è stata condotta l'operazione di georeferenziazione.

Risultati

È stata ottenuta l'ortofoto aggiornata dell'area interessata dai crolli ed il modello 3D del fronte di frana. Sono stati ottenuti i singoli modelli 3D ad alta risoluzione degli edifici danneggiati, con la ricostruzione delle geometrie degli accumuli di materiale derivante dai crolli degli stessi e la distribuzione generale dei detriti sulla porzione superiore del versante interessato dal movimento franoso.



Figura 2 – Dettagli dei prodotti ottenuti. In alto a sinistra: dettaglio del modello 3D degli edifici che insistono sul fronte di frana; in basso a sinistra: dettaglio della nuvola densa di punti degli edifici; a destra: dettaglio dell'ortofoto.

È stato fatto un confronto fra modelli elaborati con dataset aerei e modelli elaborati con dataset terrestri. È stata misurata la lunghezza di 11 oggetti di dimensioni metriche e la lunghezza di 11 oggetti di dimensioni decimetriche all'interno dei modelli 3D ottenuti da fotogrammetria aerea (LA) e terrestre

(LT). Queste lunghezze sono state confrontate con le dimensioni degli oggetti misurate del mondo reale (LR), al fine di ottenere un confronto sull'accuratezza ed affidabilità del dato, come illustrato nelle tabelle.

ID oggetto	LT lunghezza misurata da UTV	LA lunghezza misurata da UAV	LR lunghezza nel mondo reale	LR-LT	LR-LA
ΘM01	2,34 m	2,22 m	2,08 m	0,26 m	0,14 m
ΘM02	2,14 m	2,02 m	2,02 m	0,12 m	0 m
ΘM03	3,11 m	3,04 m	3 m	0,11 m	0,04 m
ΘM04	1,78 m	1,86 m	1,8 m	0,02 m	0,06 m
ΘM05	6,62 m	6,69 m	6,62 m	0 m	0,07 m
ΘM06	2,02 m	2,07 m	1,97 m	0,05 m	0,1 m
ΘM07	1,49 m	1,46 m	1,47 m	0,02 m	0,01 m
ΘM08	4,67 m	4,65 m	4,6 m	0,07 m	0,05 m
ΘM09	1,13 m	1,16 m	1,1 m	0,03 m	0,06 m
ΘM10	1,93 m	2 m	1,98 m	0,05 m	0,02 m
ΘM11	4,77 m	4,7 m	4,75 m	0,02 m	0,05 m
RMS				0,068 m	0,054 m

Figura 3 – Tabella con misure calcolate e reali degli oggetti metrici

ID oggetto	LT lunghezza misurata da UTV	LA lunghezza misurata da UAV	LR lunghezza nel mondo reale	LR-LT	LR-LA
ΘD01	0,46 m	0,41 m	0,43 m	0,03 m	0,02 m
ΘD02	0,49 m	0,46 m	0,44 m	0,05 m	0,02 m
ΘD03	0,66 m	0,64 m	0,47 m	0,19 m	0,17 m
ΘD04	0,37 m	0,33 m	0,36 m	0,01 m	0,03 m
ΘD05	0,32 m	0,31 m	0,3 m	0,02 m	0,01 m
ΘD06	0,13 m	0,2 m	0,1 m	0,03 m	0,1 m
ΘD07	0,27 m	0,17 m	0,21 m	0,06 m	0,04 m
ΘD08	0,4 m	0,44 m	0,42 m	0,02 m	0,02 m
ΘD09	0,24 m	0,26 m	0,2 m	0,04 m	0,06 m
ΘD10	0,22 m	0,23 m	0,17 m	0,05 m	0,06 m
ΘD11	0,28 m	0,3 m	0,28 m	0 m	0,02 m
RMS				0,045	0,05

Figura 4 – Tabella con misure calcolate e reali degli oggetti decimetrici

Conclusioni

All'interno dello scenario di un fronte di frana nel comune di Pomarico, sono stati utilizzati un UAV ed un UTV, equipaggiati con fotocamere per collezionare immagini ad alta risoluzione, operando 4 voli con il drone e percorrendo quattro segmenti con il rover terrestre. Le immagini aeree e terrestri sono state processate indipendentemente con la tecnica Structure-from-Motion, secondo un workflow interamente open source, ed hanno restituito prodotti 2D (ortofoto) e 3D (modelli del fronte di frana, modelli degli edifici danneggiati). È stato operato un confronto di precisione fra fotogrammetria aerea e terrestre, misurando dimensioni di oggetti nel mondo reale e confrontandole con quelle misurate sui modelli ottenuti da UAV ed UTV.

In entrambi i casi è stata ottenuta una precisione sub-decimetrica, soddisfacente in relazione agli scopi, alle tecnologie ed alle metodologie utilizzate, che configura la possibilità di operare totalmente in remoto in scenari ad alto rischio, senza esporre vite umane a rischio di perdita. Se da un lato l'uso ormai comune di UAV in operazioni di mappatura risulta molto speditivo ed economico, dall'altro patisce la mancanza di dati terrestri che fungano da supporto e da integrazione. Le acquisizioni terrestri da UTV, d'altro

canto, sono limitate dal FOV della camera utilizzata e condizionate dai fattori a terra in termini di altezza e profondità di visuale, pertanto necessitano di essere integrate con immagini aeree. Queste possibilità non escludono la necessità di una pianificazione ad-hoc delle acquisizioni, in base all'estensione e configurazione dello scenario in cui ci si trova ad operare, nonché dell'accuratezza richiesta. Ciò implica di volta in volta l'applicazione di metodologie diverse, che dovranno essere in ogni caso guidate dalla necessità di ottimizzare i tempi minimizzando il numero ed i costi delle acquisizioni, senza inficiare l'accuratezza del dato rilevato.

Si ricorda infine che il presente lavoro si colloca nell'ambito di un progetto di ricerca industriale in itinere, in collaborazione fra l'Università degli Studi di Bari, Niteko S.r.l e l'Università di Mainz, che mira ad utilizzare le nuove tecnologie per sviluppare metodologie a basso costo in grado di offrire un contributo alla mappatura 3D del paesaggio naturale ed antropico.

Bibliografia

- Rupnik et al. (2017), "MicMac - a free, open-source solution for photogrammetry", Open Geospatial Data, Software and Standard
- Turner et al. (2015), "Time series analysis of landslide dynamics using an unmanned aerial vehicle (UAV)", Remote Sens, 7, 1736-1757
- Xu et al. (2014), "Development of an UAS for post-earthquake disaster surveying and its application in Ms 7.0 Lushan Earthquake, Sichuan, China", Comput Geosci 68:22-30
- Remondino et al. (2012), "Low-cost and open-source solutions for automated image orientation - a critical overview" Progress in Cultural Heritage Preservation, Lecture Notes in Computer Science, 7616, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 40-54
- Westoby MJ et al. (2012), "Structure-from-motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology 179:300-314
- Snavely N. (2011), "Scene reconstruction and visualization from internet photo collections: a survey", IPSJ Trans Comput Vis Appl 3:44-66
- Snavely N. et al. (2008), "Modeling the world from internet photo collections", Int J Comput Vis 80:189-210
- Triggs B. et al. (2000), "Bundle adjustment - a modern synthesis", Lecture Notes in Computer Science, pp. 298-372

Uso dell'informazione geografica per la quantificazione della walkability sul centro storico della città di Pavia

Marica Teresa Rocca ^(a), Serena Maria Teresa Torchio ^(a),
Marica Franzini ^(a), Vittorio Casella ^(a)

^(a) DICAR - Università degli Studi di Pavia, via Ferrata 3, 27100 Pavia -
 [\(maricateresa.rocca01, serenamariater.torchio01\)@universitadipavia.it](mailto:(maricateresa.rocca01, serenamariater.torchio01)@universitadipavia.it),
 [\(marica.franzini, vittorio.casella\)@unipv.it](mailto:(marica.franzini, vittorio.casella)@unipv.it)

Introduzione

L'invecchiamento della popolazione è un fenomeno che, a livello mondiale, riguarda tutte le società. Per rispondere a questo problema le città devono diventare sempre più a misura di anziano, ad esempio migliorando la mobilità pedonale. È stato quindi introdotto il tema della *walkability*, cioè della camminabilità, intesa come la facilità con cui un pedone può raggiungere le destinazioni di maggior interesse, ad esempio negozi essenziali, farmacie, parchi e fermate dell'autobus.

Inoltre, si è recentemente affermato il concetto di *smart city*, che coinvolge diversi aspetti: l'efficienza energetica, la connettività dati, la mobilità. Una possibile definizione di *smart city* è la "città che si conosce", intendendo con questa espressione che per governarne i molteplici aspetti bisogna essere in grado di misurarli. Si parla di questo caso di *urban data analytics*.

Il presente articolo descrive un procedimento per caratterizzare la *walkability* che costituisce a tutti gli effetti un metodo di *urban data analytics*. Vengono valutate le principali qualità che caratterizzano i percorsi urbani pedonali. La metodologia presentata, determina, per ogni numero civico, la distanza dalle principali destinazioni tenendo in considerazione le diverse tipologie di marciapiede. La sperimentazione già condotta l'anno scorso su una porzione di un quartiere della Città di Pavia, viene quest'anno estesa ed arricchita all'intero centro storico.

Metodo

Il concetto di camminabilità consente di studiare quanto l'ambiente urbano è in grado di favorire lo spostamento pedonale migliorando conseguentemente la vita dei cittadini in termini psicofisici. Un buon punteggio di camminabilità incrementa le possibilità che un individuo raggiunga la meta di interesse a piedi promuovendo in questo modo uno stile di vita più sano. Inoltre l'analisi della *walkability* può diventare un interessante strumento a supporto della pianificazione urbanistica per la progettazione e la realizzazione di città più *smart*.

La camminabilità di una città è un concetto che può essere quantificato utilizzando tre componenti: il numero di destinazioni di interesse/opportunità urbane raggiungibili a piedi, la loro distanza e la qualità dei percorsi pedonali verso queste destinazioni (Blečić et al., 2015). L'utilizzo di queste informazioni permette di attribuire un punteggio di camminabilità ad ogni luogo della città considerato come possibile punto di origine dei cammini.

In termini operativi occorre rappresentare la rete viaria della città sotto forma di un grafo composto da un insieme di segmenti e nodi.

I segmenti rappresentano i tratti di percorso pedonale aventi caratteristiche simili. Nell'analisi ad ogni segmento sono stati associati alcuni indici descrittivi che sintetizzano la qualità in termini fisici: presenza e larghezza del marciapiede (maggiore o minore di 1 m), tipologia di pavimentazione, tipologia di attraversamento pedonale (con zebre o senza), presenza di panchine o zone ombreggiate, esistenza di scivoli o di gradini. Questa classificazione permette di dare un peso diverso al percorso elaborato tenendo in considerazione non solo la lunghezza ma anche la difficoltà di percorrenza nel caso di persona anziana o con limitate capacità motorie.

I nodi rappresentano i punti di origine o di destinazione dei percorsi analizzati. Vengono considerati punti di origine i numeri civici delle abitazioni mentre i nodi di destinazione sono i punti di interesse ritenuti importanti come i negozi di alimentari, le farmacie o parafarmacie, le fermate dei bus, ecc. I nodi hanno infine una terza funzione in quanto vengono utilizzati per raccordare i punti di discontinuità ossia i punti in cui i camminamenti presentano caratteristiche diverse (origine degli attraversamenti pedonali, cambiamento della tipologia della pavimentazione, ecc.).

La base per la creazione del database descritto è stata la cartografia vettoriale di Pavia che contiene, tra le altre, informazioni relative alla localizzazione dei numeri civici degli edifici, residenziali o commerciali. La caratterizzazione dei camminamenti e l'identificazione delle destinazioni d'interesse è avvenuta tramite l'utilizzo di *Google Street View* e sopralluoghi diretti. Questa fase preliminare di preparazione dei dati è stata condotta utilizzando il software opensource QGIS.

Un esempio del database creato è riportato in Figura 1 in cui sono evidenziati sia i segmenti che i nodi. Osservando l'immagine si può notare che i camminamenti pedonali sono stati colorati in verde mentre gli attraversamenti stradali in rosso. I nodi vengono qui rappresentati con la loro categorizzazione fondamentale: punto nero, punto di origine del percorso, corrispondente ai civici residenziali; punto giallo, corrispondente ai punti d'interesse finali (negozi alimentari, farmacie, chiese, ecc.).

In Figura 2 e 3 sono riportati due frammenti delle tabelle degli attributi associate alla struttura creata. In Figura 2 è mostrata la tabella per i segmenti dove in particolare sono riportati: ID segmento, ID della strada di appartenenza, la tipologia (con: connessione, crowoz: attraversamento senza strisce pedonali), la larghezza camminamento pedonale (A: maggiore di 1 m, D: assenza di marciapiede), tipologia (AS: asfalto), presenza di gradini, lato della strada, indicazioni zona pedonale, presenza di panchine e ombreggiature.

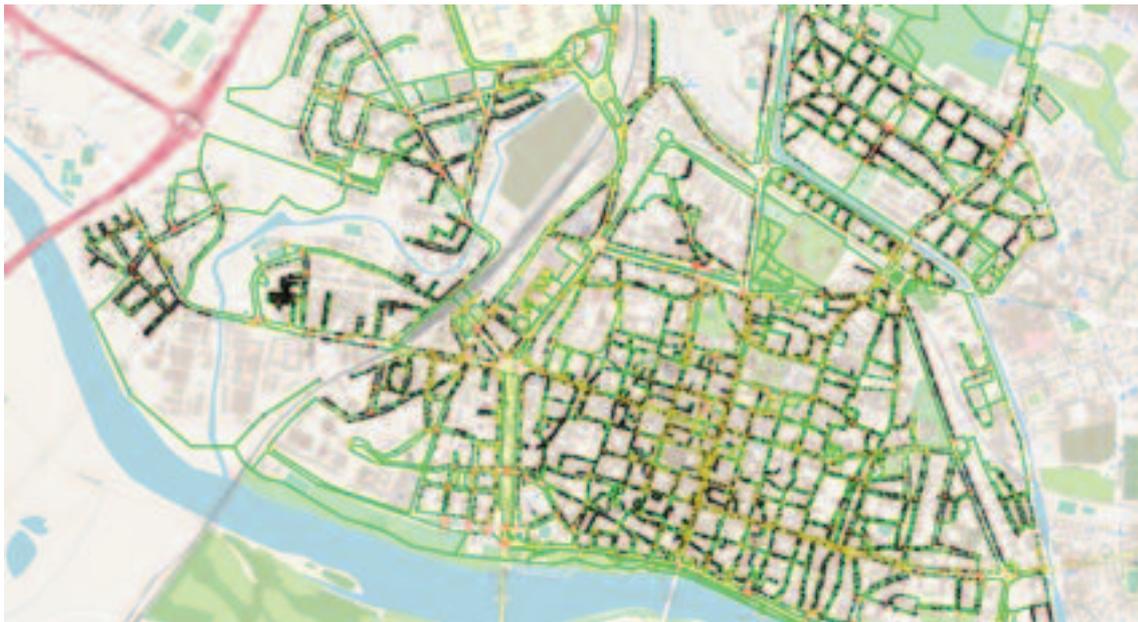


Figura 1. Il database topografico creato sulla città di Pavia.

	object_ID	street_ID	type	width	flooring	step	side	pede_zone	bench	shadow
13	16	297 con	D	AS	AS	0 B	N	N	N	N
14	17	297 con	D	AS	AS	0 B	N	N	N	N
15	18	297 con	D	AS	AS	0 B	N	N	N	N
16	19	297 con	D	AS	AS	0 B	N	N	N	N
17	20	297 con	D	AS	AS	0 B	N	N	N	N
18	21	0 crowd		AS	AS	0	N			N
19	22	1851 con	A	AS	AS	0 A	N	N	N	N
20	23	1056 con	A	AS	AS	0 A	N	N	N	N
21	24	1056 con	A	AS	AS	0 A	N	N	N	N
22	25	1056 con	A	AS	AS	0 A	N	N	N	N

Figura 2. La tabella degli attributi associata ai segmenti.

	object_ID	name	street_run	street_ID	street_p	ID_CIV	type1	type2	type3
2824	il go		6 900			1	3767 TA	food_shop	food_shop
2825	Mori		36 288			1	14396 TA	food_shop	restaurant
2826	Riviera		47 1530			1	15538 TA	food_shop	restaurant
2827	Albate		41 288			1	14638 TA	food_shop	restaurant
2828	nuova perenna		22 900			1	3842 TA	food_shop	restaurant
2829	rosengarten		19 1035			1	3739 TA	food_shop	restaurant
2830	visorante		111 1530			1	6964 TA	food_shop	restaurant
2831	peccati di gola		67 288			1	14629 TA	food_shop	restaurant
2832	city cafe		4 900			1	3771 TA	food_shop	restaurant
2833	nuova perenna		22 900			1	3862 TA	food_shop	restaurant

Figura 3. La tabella degli attributi associata ai nodi.

Analogamente la Figura 3 mostra la tabella dei i nodi; in particolare sono riportati: eventuale nome che caratterizza il punto, l’ID e il numero della strada di pertinenza, il numero civico e la tipologia (abitazione o punti di interesse) con successive specificazioni (alimentari, farmacia, ecc.).

Risultati

Una volta costruito il database topografico avente le caratteristiche descritte nel paragrafo precedente, si è proceduto all’analisi dei dati raccolti tramite l’utilizzo di numerose funzionalità implementate in ambiente Matlab.

Anzitutto sui segmenti e i nodi importati sono state condotte alcune verifiche di consistenza in modo da assicurarsi che i dati non presentassero anomalie come ad esempio nodi doppi (ossia punti ripetuti) o camminamenti aperti (ossia segmenti adiacenti che non hanno punti in comune). Una volta analizzata la struttura dei dati si è provveduto a controllare la correttezza dei dati importati. In Figura 4 è mostrata con una struttura a grafo la correttezza dei segmenti e dei nodi importati con particolare riferimento alla classificazione dei punti d'interesse. La distribuzione spaziale privilegia sicuramente il centro storico rispetto alle aree periferiche al momento considerate.



Figura 4. Grafo dei segmenti e dei nodi importati in Matlab. In evidenza i punti di interesse classificati: fermate del bus, farmacie, alimentari, chiese, banche e supermercati.

In Figura 5 è mostrata invece un'analisi sui camminamenti. Nello studio sono state in particolare catalogate 4 tipologie di marciapiedi:

- ∞ A - marciapiedi aventi larghezza superiore al metro;
- ∞ B - marciapiedi aventi larghezza inferiore al metro;
- ∞ C - marciapiedi aventi larghezza superiore al metro ma inutilizzabili da persone con eventuale disabilità a causa della presenza di ostruzioni;
- ∞ D - assenza di marciapiedi.

Da questa classificazione è possibile derivare, conoscendo la lunghezza totale dei camminamenti mappati, le percentuali di ogni categoria e la loro distribuzione. Si può vedere ad esempio che circa 1/3 dei marciapiedi (colorati in ciano) risulta essere più stretto di un metro e questo avviene principalmente nel centro storico e in un quartiere abbastanza datato, Città Giardino, collocato a nord della città. Il 43% dei marciapiedi risulta facilmente accessibile (colore verde) ed un ulteriore 4% (colore rosso) potrebbe essere reso accessibile rimuovendo gli ostacoli. Infine, quasi 1/4 dei possibili camminamenti pedonali risulta privo di marciapiede.



Figura 5. Grafo dei segmenti e dei nodi importati in Matlab. In evidenza i punti di interesse classificati: fermate del bus, farmacie, alimentari, chiese, banche e supermercati.

E' possibile calcolare a questo punto qual è la distanza che una persona residente in un edificio deve compiere a piedi per raggiungere il più vicino punti di interesse come ad esempio la fermata dell'autobus. A titolo esemplificativo vengono mostrati i risultati ottenuti per supermercati e farmacie.

La Figura 6 mostra in particolare le distanze rispetto al supermercato più prossimo. Ogni edificio residenziale viene individuato con un punto localizzato in

funzione della posizione del numero civico. I punti vengono quindi colorati in funzione della distanza con una scala cromatica che parte dal blu (distanze minime) al rosso (distanze massime). Osservando le immagini è evidente come il centro storico e le zone residenziali a nord abbiano dei supermercati nelle vicinanze; la distanza da percorrere a piedi in questo caso è inferiore ai 500-600 m. Esistono tuttavia alcune zone in cui le distanze sono nettamente superiori fino a raggiungere 1.5 km.

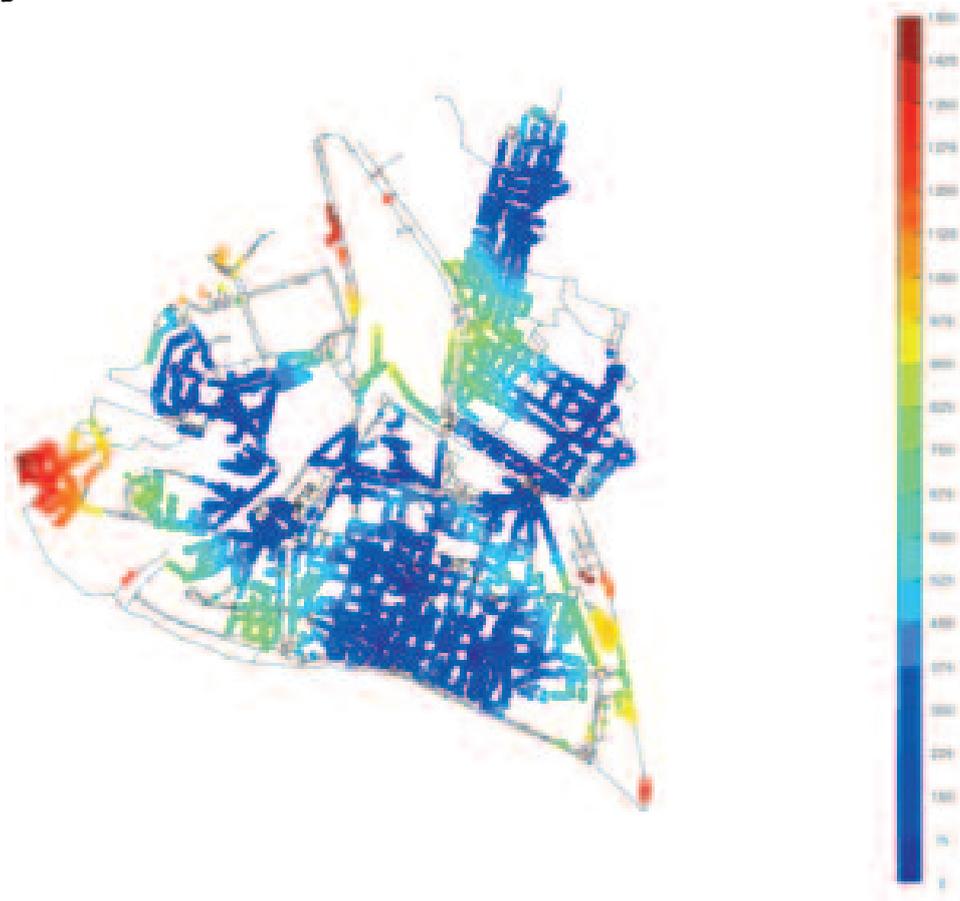


Figura 6. Distanza tra ogni civico residenziale rispetto al supermercato più prossimo.

In Figura 7 è mostrata un'analisi simile per le farmacie. Anche in questo caso il centro storico e le zone residenziali sono ovviamente privilegiate mentre alcune zone periferiche risentono dell'assenza di questo servizio.

E' infine possibile fare un'immagine di sintesi, Figura 8, tenendo in considerazione tutti i punti d'interesse. Ai punti riferiti alle abitazioni è stato associato un valore ricavato dalla somma delle distanze dai singoli target. In questo caso la visualizzazione grafica è estremamente esemplificativa per comprendere l'analisi sulla camminabilità. Il centro storico è sicuramente l'area più favorevole per risiedere: i punti di interesse si trovano tutti in prossimità. Spostandosi verso le aree periferiche è, invece, visibile come la situazione diventi progressivamente più sfavorevole anche se le direttrici principali presentano valori positivi.

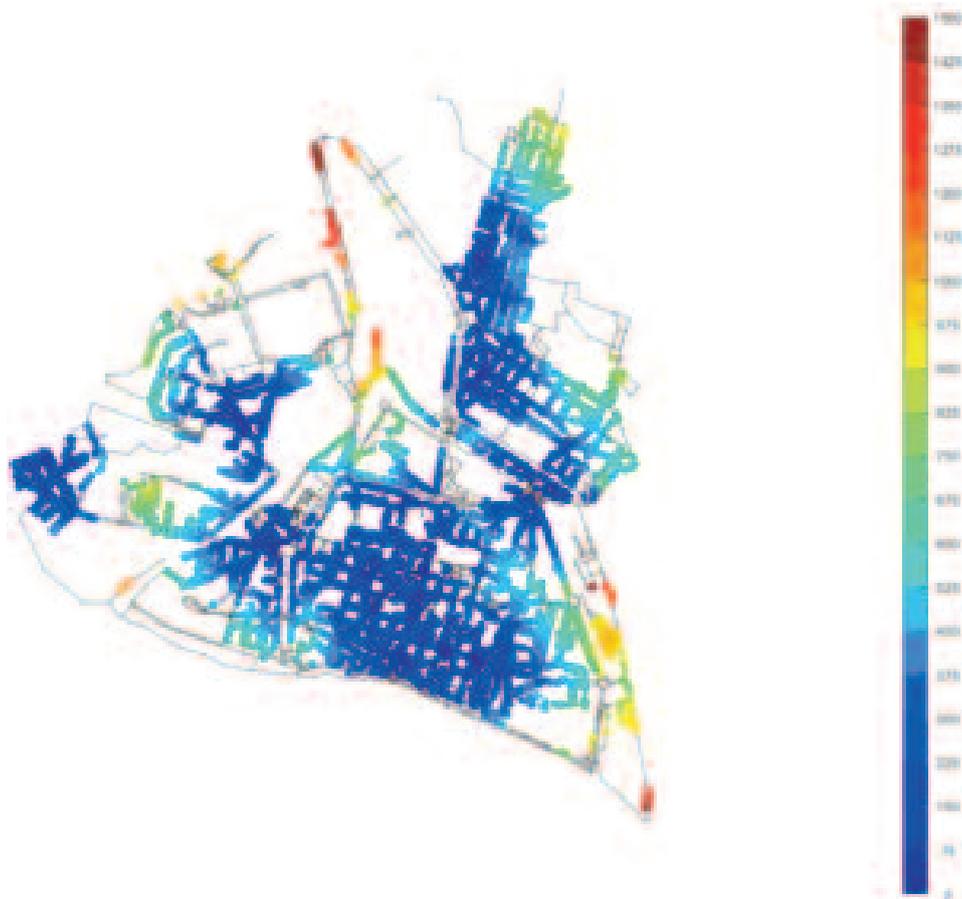


Figura 7. Distanza tra ogni civico residenziale rispetto alla farmacia più prossima.

Conclusioni

L'articolo presenta un esempio di analisi di camminabilità sulla città di Pavia. Per effettuare lo studio è stato costruito un database topografico partendo dalla carta tecnica comunale ed editando specifiche caratteristiche necessarie per l'applicazione. Sono in particolare stati costruiti due insiemi di informazioni denominati segmenti e nodi contenenti dati relativi alle caratteristiche dei camminamenti pedonali e alle tipologie di punti d'interesse.

Il database così costruito è stato importato in Matlab ed analizzato. E' emerso che, seppur il centro storico presenti una situazione favorevole grazie alla presenza di numerosi negozi e servizi, esso mostra significative criticità per la percorribilità dei marciapiedi da parte di persone con difficoltà motorie. Alcune aree periferiche, seppure residenziali, mostrano invece una limitata accessibilità ai servizi utili.

L'analisi non si ritiene ancora completa per due motivi: il database deve ancora essere esteso all'intera città e alcune delle informazioni in esso contenute (ombreggiatura, attraversamenti stradali con o senza strisce, ecc.) non sono ancora state completamente implementate all'interno dei codici Matlab creati.

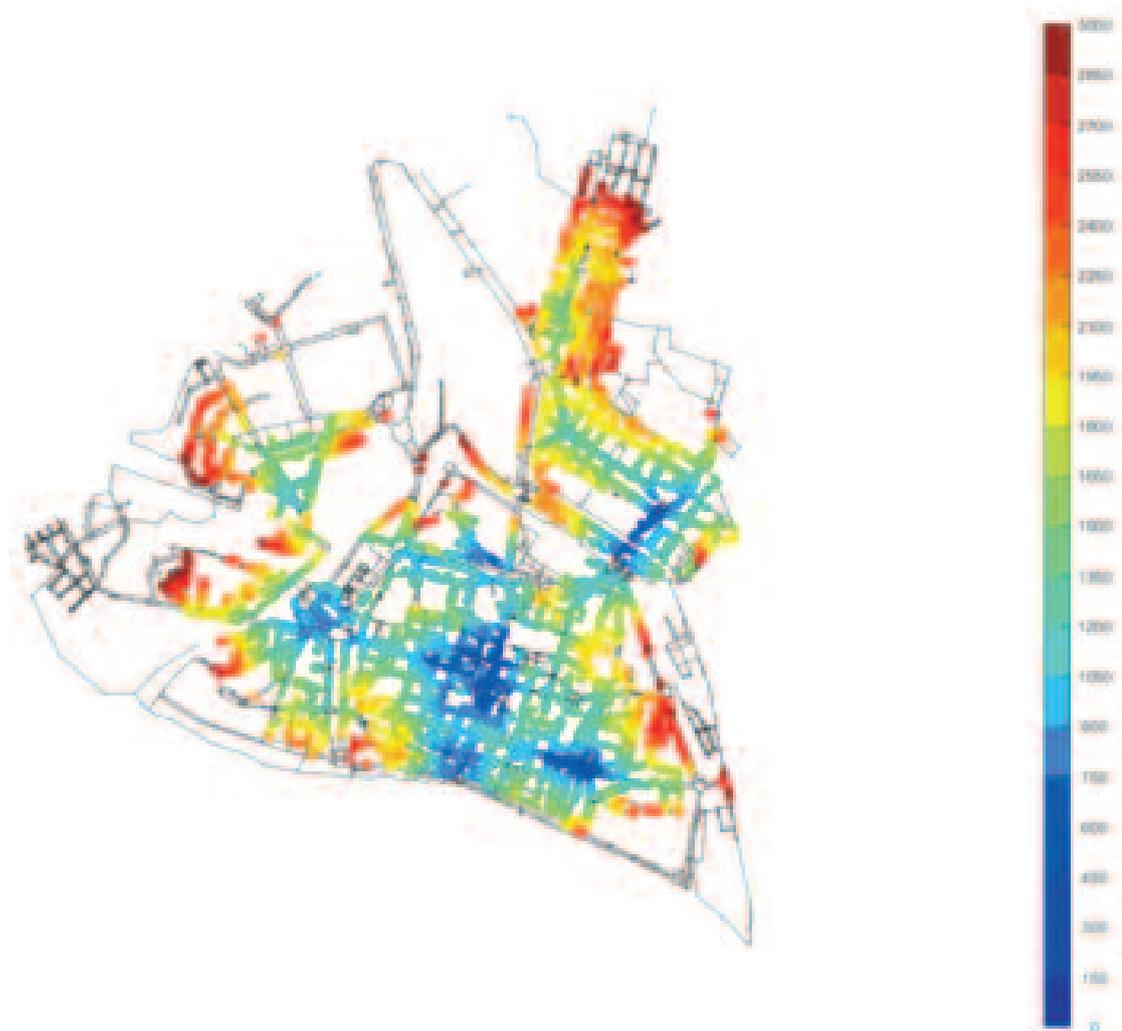


Figura 8. Distanza complessiva tra ogni civico residenziale rispetto ai punti di interesse classificati.

Riferimenti bibliografici

Blečić, I., Cecchini, A., Fancello, G., Talu, V., & Trunfio, G. A. (2015). Camminabilità e capacità urbane: valutazione e supporto alla decisione e alla pianificazione urbanistica. *Territorio Italia*, 1

Dinamiche insediative nella Piana Campana. Valenze storico-ricostruttive della cartografia.

Maria Ronza (a)

(a) Università degli Studi di Napoli "Federico II", via Nuova Marina 33, mronza@unina.it

1. Introduzione

In contesti territoriali caratterizzati da intensi fenomeni di urbanizzazione, l'analisi diacronica delle fonti cartografiche consente non solo di individuare le diverse fasi di trasformazione del tessuto insediativo e delle connotazioni paesistico-ambientali, ma anche di restituire individualità e identità a quei centri che, fino agli anni Cinquanta ben riconoscibili nel paesaggio, oggi sono parte di un unico organismo urbano.

Nella Piana Campana l'inserimento di funzioni industriali, il potenziamento della rete infrastrutturale e la prossimità alla metropoli partenopea hanno costituito - a partire dagli anni Sessanta - i principali fattori di attrattività in grado di sostenere un costante incremento demografico. In tali contesti, fortemente segnati dalla sostanziale carenza di un disegno urbanistico organico e dalla frammentazione degli interventi pianificatori, la cartografia può esplicitare quelle valenze storico-ricostruttive che le sono proprie (Dai Prà, 2010).

Per individuare un modello di *governance* che si proponga l'ambizioso obiettivo di restituire qualità ad un ambiente urbano compromesso, l'analisi delle immagini satellitari acquisite attraverso *Google Satellite* non è sufficiente a far emergere quegli elementi portanti della struttura territoriale su cui ridefinire un nuovo progetto di riqualificazione e valorizzazione.

Questi, al contrario, vanno individuati attraverso l'analisi delle carte rilevate e incise dal Real Ufficio Topografico di Napoli tra la fine del Settecento e la seconda metà dell'Ottocento ad una scala d'insieme che consente un inquadramento territoriale della Piana Campana (*Atlante Geografico del Regno di Napoli* di G.A. Rizzi Zannoni, 1782-1812) e ad una scala di maggior dettaglio che permette di leggere le peculiari connotazioni dei centri (*Carta Topografica ed Idrografica dei Contorni di Napoli*, 1817-1819).

I rilievi topografici dell'Istituto Geografico Militare effettuati nel periodo immediatamente successivo all'Unità d'Italia assicurano una sostanziale e significativa continuità nella lettura dei processi insediativi che hanno contraddistinto la Piana Campana. La *Carta Topografica delle Province Meridionali* (1862-1876) e la prima edizione della *Gran Carta d'Italia*, progetto avviato nel 1875 e protrattosi fino agli inizi del Novecento, sono documenti geocartografici di fondamentale importanza in quanto rappresentano il territorio in una fase di transizione non solo politico-amministrativa ma anche socio-economica (Cantile, 2007). L'edizione successiva, realizzata con rilievi aerofotogrammetrici negli anni Cinquanta, ci restituisce una rappresentazione della Piana Campana ancora non stravolta dalle dinamiche di una crescita

insediativa, industriale ed infrastrutturale poco rispettosa delle valenze ambientali, delle risorse culturali e dell'identità dei luoghi.

Attraverso un'indagine accurata e diacronica di tali documenti geocartografici, è stata realizzata una cartografia di sintesi in grado di evidenziare le principali fasi dell'espansione insediativa. L'organismo urbano unitario che continua a dilagare nella Piana Campana è, in realtà, un sistema complesso in cui sono inseriti centri diversi per vicende storico-geografiche e ruoli funzionali.

2. Fonti cartografiche e dinamiche insediative

La Piana Campana costituisce un'unità geografica ben definita, un'ampia depressione colmata da depositi piroclastici e alluvionali che hanno decretato la fertilità dei suoli e la produttività agricola. Questa, infatti, è delimitata dai complessi vulcanici del Monte Somma-Vesuvio, del Roccamonfina, dei Campi Flegrei nonché da alcuni rilievi del Preappennino Campano (M.te Massico, M.ti Trebulani, M.ti Tifatini, M.ti del Partenio). Si tratta di un territorio profondamente modificato dall'azione antropica; ne è un esempio significativo la complessa opera di regimazione delle acque che, dal Seicento fino alla seconda metà del Novecento, ha interessato sezioni diverse della Piana. Dall'analisi delle fonti cartografiche è evidente un progressivo ridursi delle aree interessate da acquitrini a seguito della rettificazione di alcuni corsi d'acqua (in particolare, il fiume Clanio) che divagavano nella zone più depresse della Piana (Cantile, 1994).

Tuttavia, tali trasformazioni del sistema ambientale sono avvenute in tempi dilatati e hanno interessato - di volta in volta - settori specifici della Piana Campana. Al contrario, le trasformazioni del tessuto insediativo si sono verificate in tempi ristretti, destrutturando gerarchie funzionali e strutture socio-economiche, equilibri progressi e ruoli consolidati.

A partire dalla fine degli anni Cinquanta il Piano Straordinario per il Mezzogiorno ha individuato proprio in questo contesto aree destinate allo sviluppo industriale che ancora oggi, nonostante il processo di delocalizzazione in atto, mostrano una notevole vitalità nel panorama del Mezzogiorno d'Italia. Nello stesso periodo, l'apertura dell'autostrada A1 nel tratto di collegamento tra Roma e Napoli ha contribuito a migliorare l'accessibilità della Piana Campana e a valorizzarne la posizione strategica tra i principali poli urbani dell'Italia centro-meridionale.

Se l'attrattività legata all'acquisizione di nuove funzioni nell'ambito del secondario e del terziario ha costituito il principale motore della crescita insediativa fino alla fine degli anni Settanta, negli ultimi decenni l'incremento demografico è da collegarsi anche al processo di deconcentrazione demografica che ha interessato Napoli e l'area metropolitana. La facilità di collegamenti tra la città partenopea e alcuni centri della Piana Campana, un patrimonio immobiliare più moderno e accessibile, una dotazione di servizi alle famiglie in grado di soddisfare le principali esigenze della popolazione sono tra le cause di un progressivo scollamento tra luoghi di lavoro e luoghi di residenza.



Figura 1 – I centri della Piana Campana tra Capua e Caserta in uno stralcio della Carta Topografica ed Idrografica dei Dintorni di Napoli, foglio n.2 (Nucleo Bibliotecario di Geografia, Università degli Studi di Napoli "Federico II")

Pur sinteticamente descritte, sono queste ragioni che hanno spinto ad un'analisi diacronica delle fonti cartografiche dalla fine del Settecento ad oggi e al loro inserimento in un Sistema Informativo Territoriale (Mauro, 2010). La presenza di elementi persistenti sul territorio - in particolare strutture religiose di varia natura (chiese, conventi), intersezioni tra storici assi di connessione tra i centri, resti archeologici o complessi architettonici di rilievo - ha consentito

una georeferenziazione agevole della cartografia storica su quella IGM, permettendo di individuare una serie corposa e ben distribuita di *Ground Control Point* con una riduzione accettabile dell'RMSE (*Root Mean Square Error*).

Considerata la complessità e l'estensione dell'area oggetto d'indagine, in questa prima fase l'attenzione si è concentrata su quella sezione della Piana Campana a nord del canale dei Regi Lagni, delimitata in direzione nord-ovest sud-est dal vulcano spento del Roccamonfina e dal sistema collinare pre-appenninico. Essa rientra nel foglio n. 10 dell'*Atlante Geografico del Regno di Napoli* di G.A. Rizzi Zannoni, inciso da Giuseppe Guerra e realizzato tra il 1782 ed il 1812 in 35 fogli. La parte della Piana a sud del canale dei Regi Lagni con i centri di Aversa, Acerra e Nola è rappresentata nel noto foglio n. 14 che comprende anche la città di Napoli, la Penisola Sorrentina e le Isole del Golfo partenopeo. Nel foglio n. 10 sono, invece, riportati i centri di Capua, Caserta e Maddaloni. La scala utilizzata, corrispondente ad 1:114.545 (Valerio, 1993), consente una visione d'insieme degli insediamenti e della loro localizzazione in relazione alla morfologia del territorio, al sistema viario e alla rete delle canalizzazioni presente alla fine del Settecento.

Va, tuttavia, sottolineato che - a partire dagli inizi dell'Ottocento - la Piana Campana è stata oggetto di accurati rilievi topografici per le relazioni di carattere economico con la città di Napoli nonché per la peculiare posizione geografica nei confronti della capitale borbonica. L'esigenza di conoscenza e di controllo di un territorio strategico per il Regno delle Due Sicilie emerge con chiarezza dalla *Carta Topografica ed Idrografica dei Contorni di Napoli*; si tratta, infatti, di un'incisione ad una scala 1:25.000 voluta da Ferdinando I, realizzata in 15 tavole tra il 1817 e il 1819 dall'Ufficio Topografico di Napoli. È un documento cartografico di grande rilievo per l'accuratezza con cui è stata condotta la levata. La scala utilizzata e il livello di dettaglio con cui è rappresentato il sistema insediativo consentono un confronto con la cartografia dell'Istituto Geografico Militare del periodo post-unitario, in particolare con la *Carta Topografica d'Italia* in scala 1:25.000. Per quest'ultimo progetto cartografico i rilievi dell'area analizzata risalgono al 1907 e al 1909, anche se furono effettuate ricognizioni parziali nel 1919 o nel 1936 per inserire infrastrutture ed elementi rilevanti realizzati sul territorio.

Come già anticipato, è stata utilizzata anche la *Carta Topografica delle Province Meridionali* in scala 1:50.000 che, approvata dal Parlamento italiano nel 1862, fu completata nel 1876 (Rombai, 2018). Si possono chiaramente intuire quali fossero le ragioni che spinsero il Regno d'Italia ad un'opera cartografica di così grande rilievo, antecedente alla stessa approvazione del progetto relativo alla *Gran Carta d'Italia* (1875). Conoscere l'intero Mezzogiorno ad una scala di maggior dettaglio rispetto a quanto prodotto dal Reale Ufficio Topografico avrebbe consentito di esercitare un'azione di governo e di controllo del territorio nonché di repressione del brigantaggio e di altri fenomeni sovversivi.

A differenza della cartografia pre-unitaria, fornita dal Nucleo Bibliotecario di Geografia in formato cartaceo e acquisita in digitale, i fogli della *Carta Topografica delle Province Meridionali* sono stati acquistati da "Mapire", portale di cartografia storica che collabora con alcuni archivi europei e consente di

scaricare cartografia non georeferenziata in formato digitale con un'ottima risoluzione grafica.

Per quanto concerne i fogli dell'IGM relativi alle diverse edizioni della *Carta Topografica d'Italia*, questi sono stati in parte forniti dalla cartoteca del Nucleo Bibliotecario di Geografia e poi acquisiti in formato digitale, in parte acquistati dal sito dell'IGM in modalità georeferenziata (foglio 172, foglio 173 della serie 100V) come base per la corretta georeferenziazione delle altre fonti cartografiche pre-unitarie e post-unitarie. Di particolare interesse è il foglio in scala 1:100.000 datato 1943 e realizzato dal *War Office (Geographical Section, General Staff)* nell'ambito delle forze alleate per le operazioni militari in Italia. La scala grafica, infatti, riporta le misure in metri e in *yards*.

Le carte topografiche dell'IGM con rilievi aerofotogrammetrici effettuati tra il 1947 e il 1957 restituiscono l'immagine di un territorio modificatosi rispetto alla fine dell'Ottocento ma ancora riconoscibile e non stravolto nei suoi caratteri identitari. Nella serie 50 della *Carta Topografica d'Italia* (foglio n. 430 e foglio n. 431), con ricognizioni effettuate rispettivamente nel 1987 e nel 1983, emerge con chiarezza il ruolo degli assi di connessione. Sono questi, rappresentati in arancione quasi a sottolinearne il ruolo a scala nazionale nel processo di urbanizzazione e industrializzazione, a sostenere e orientare la crescita del tessuto insediativo. Residenze, capannoni industriali e commerciali si localizzano ai margini di tali assi, avviando un processo che porterà alla fusione tra i centri di questa sezione della Piana Campana in un unico organismo urbano.

È quanto restituiscono le immagini di *Google Satellite*: un sistema urbano indistinto che ha inglobato le singole realtà insediative e si diffonde in forme sfrangiate nel paesaggio agrario circostante. In tal senso, il progetto *Corine Land Cover* - promosso a scala europea - può contribuire a comprendere le principali differenziazioni nel tessuto urbanistico e nelle destinazioni d'uso del suolo nel 1990 e nel 2018. Sono state, pertanto, selezionate alcune classi ritenute particolarmente significative, tra cui "zone residenziali a tessuto urbano continuo", "zone residenziali a tessuto urbano discontinuo", "aree commerciali, industriali e dei servizi pubblici o privati", "reti infrastrutturali, ferroviarie e altre infrastrutture", "aree verdi urbane", "aree sportive e ricreative".

È stata realizzata una carta di sintesi (fig. 2) con l'obiettivo di far emergere le principali fasi dello sviluppo insediativo, identificate nel 1876 (*Carta Topografica delle Province Meridionali*), nel 1954 (*Carta Topografica d'Italia*), nel 1990 e nel 2018 (*Corine Land Cover*). Per le prime due fonti è stata effettuata, dopo opportuna georeferenziazione, una digitalizzazione di elementi poligonali che ricalcano l'estensione dei centri e dei nuclei rappresentati; nelle classificazioni *Corine Land Cover* sono state unite le classi selezionate in precedenza per dar luogo ad un poligono unitario e continuo. È stata poi effettuata un'operazione di *overlay* tra i quattro strati, utilizzando tonalità di grigio sempre più chiare per identificare la progressiva espansione edilizia. Al contrario, il tessuto insediativo storico (1876) è ben identificabile in nero e corrisponde ai centri che sono stati punti di riferimento per l'organizzazione territoriale fino al secondo dopoguerra.

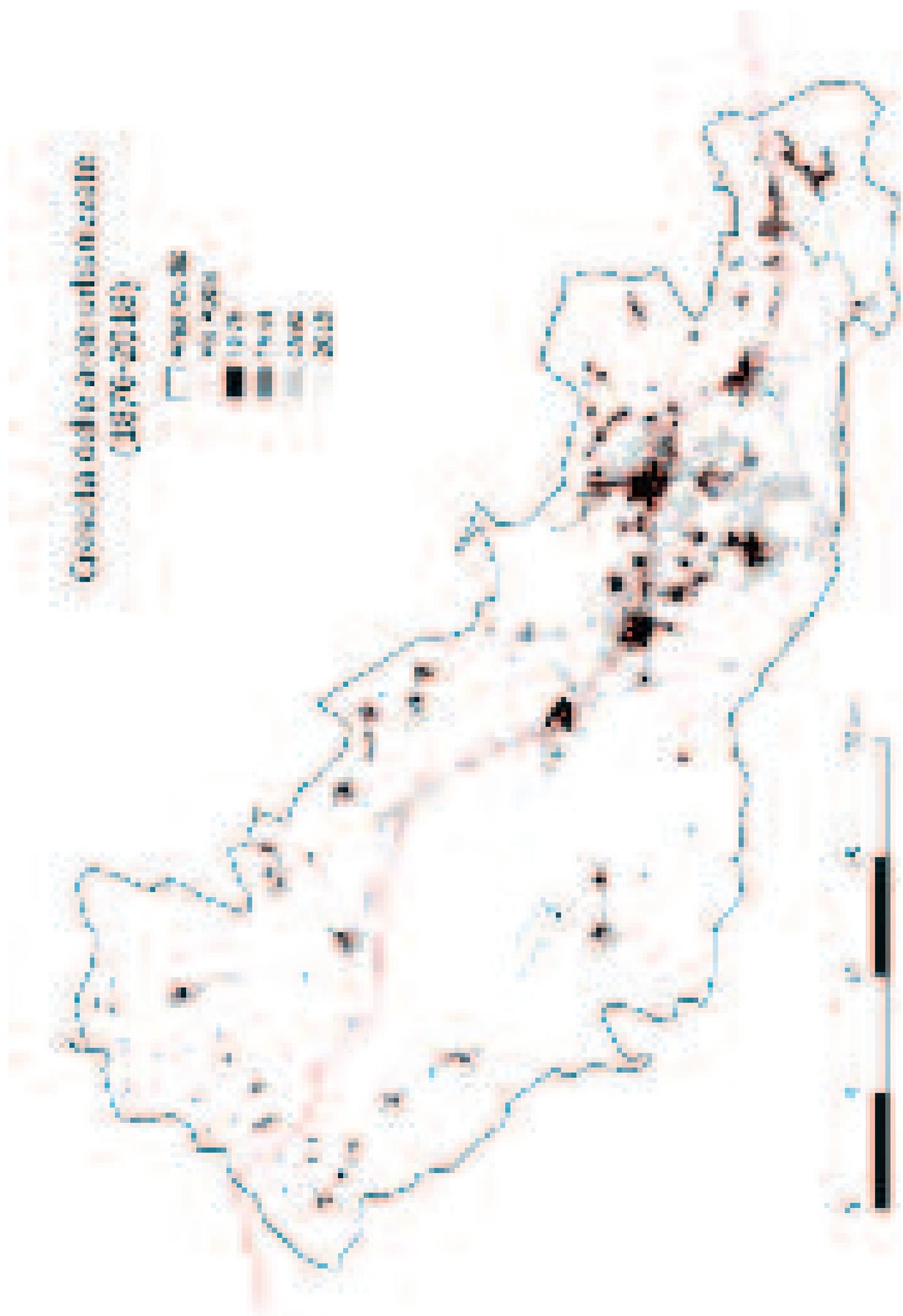


Figura 2 – Espansione del tessuto insediativo nei comuni della Piana Campana a nord del canale dei Regi Lagni (Elaborazione dell'autore su fonti cartografiche IGM e CLC)

Al di là del singolo prodotto cartografico, va sottolineato come il patrimonio informativo contenuto in ciascuna fonte geocartografica - una volta che questa sia stata inserita in ambiente GIS, georiferita mediante *Ground Control Point* (GCP) e rapportata ad uno stesso sistema di riferimento (SR) - diventi parte integrante di un *corpus* di conoscenze sul territorio in grado di orientare processi decisionali e partecipativi.

3. La cartografia per la progettualità territoriale

Nella Piana Campana l'emergere di una nuova realtà urbana necessita di strumenti di gestione territoriale in grado di assicurare una distribuzione più equa dei servizi in relazione alla distribuzione della popolazione e alle relative tendenze localizzative. Non soltanto funzioni di carattere sociale ed economico ma anche funzioni di carattere culturale e ricreativo sono essenziali per innalzare la qualità urbana di un'area segnata da fenomeni di degrado ambientale. Negli ultimi anni, anche a seguito dell'attenzione mediatica sulla cosiddetta "Terra dei Fuochi", l'esigenza di un nuovo modello di *governance* che prescindendo da logiche particolaristiche, riduca le criticità e promuova le potenzialità della Piana è fortemente sentito da amministratori e comunità locali. Sarebbe, tuttavia, riduttivo considerare il sistema insediativo della Piana Campana come un organismo omogeneo; al contrario, è il prodotto di una complessa conurbazione di città medie e piccole, di centri e nuclei di matrice rurale, di antiche masserie, di quartieri residenziali, di zone industriali e commerciali, di aree archeologiche e beni culturali dal rilevante valore storico-architettonico.

In questa "città continua" (Rigillo, 2001), un groviglio di destinazioni funzionali e di unità urbanistiche strutturatosi lungo i principali assi di connessione, l'analisi della cartografia pre-unitaria e di quella prodotta dall'IGM può davvero costituire il *discrimen* tra una gestione frammentaria delle dinamiche territoriali e una gestione consapevole in una prospettiva sistemica.

Attraverso le tecnologie dell'informazione geografica l'analisi comparata delle fonti cartografiche si trasforma in analisi integrata; la georeferenziazione del patrimonio di dati consente di utilizzare in un'ottica applicativa ed operativa la cartografia storica, conferendo profondità spazio-temporale all'indagine relativa alla Piana Campana.

Ne emerge una struttura territoriale gerarchicamente organizzata dal punto di vista insediativo e ben identificabile dal punto di vista paesistico-ambientale, contraddistinta da una marcata individualità. La ricorsività di alcuni elementi li fa assurgere a veri e propri iconemi. Valutarne la persistenza nell'attuale assetto territoriale, individuare quelle risorse culturali e ambientali ancora inesprese significa promuovere la resilienza della Piana Campana nei confronti dei processi omologanti legati all'*urban sprawl* e al progressivo uniformarsi degli stili di vita.

In contesti segnati dalla velocità delle trasformazioni territoriali le informazioni di carattere storico-geografico - estrapolate dalle rappresentazioni cartografiche e processate secondo i metodi della geomatica - diventano la

piattaforma di conoscenze per una progettualità che non si contrapponga alle valenze pregresse, ma ne promuova la valorizzazione in una prospettiva innovativa (Scanu, 2010). L'acquisizione di informazioni sul territorio e sulle relative matrici accresce, inoltre, la consapevolezza dei cittadini nei confronti del proprio "spazio vissuto", rendendoli parte attiva nelle scelte ed alimentando i processi partecipativi. In tal senso, si rafforza l'utilità sociale dell'analisi cartografica che non si limita ad una ricostruzione fine a se stessa delle sedimentazioni culturali, ma assume un ruolo centrale nelle scelte di pianificazione e programmazione alle diverse scale dell'indagine territoriale.

Riferimenti bibliografici

Cantile A. (1994), *Dall'agro al comprensorio. Principali elementi della dinamica urbana e territoriale di Aversa e del suo antico agro*, supplemento al n.6 della rivista "L'Universo", Istituto Geografico Militare, Roma

Cantile A. (2007), "Sulla nascita della cartografia ufficiale italiana: gesuiti, scolopi, laici e militari tra le esigenze della polemologia, le occorrenze dell'amministrazione e le necessità della scienza", in Cantile A. (a cura di), *La cartografia in Italia: nuovi metodi e nuovi strumenti dal Settecento ad oggi*, Istituto Geografico Militare, Roma, 31-57

Dai Prà E. (2010), "Per un nuovo approccio applicativo all'ermeneutica cartografica", *Semestrare di Studi e Ricerche di Geografia*, XXII, 2: 11-16

Mauro G. (2010), "Distorsioni geometriche della cartografia storica: analisi di alcune cartografie realizzate tra il 1500 ed il 1700 relative al Golfo di Trieste", *Semestrare di studi e Ricerche di Geografia*, 138: 109-121

Rigillo A. (2001), "La città continua", in Rigillo A. (a cura di), *La città continua. Il sistema urbano da Capua a Maddaloni*, L'Aperia editore, Caserta, 25-30

Rombai L. (2018), "La cartografia italiana a curve di livello prima e dopo l'Unità", *Geotema*, 58: 80-87

Scanu G. (2010), "Cartografia storica e gestione del territorio", *Semestrare di Studi e Ricerche di Geografia*, XXII, 2: 17-20

Valerio V. (1993), *Società, uomini e istituzioni cartografiche nel Mezzogiorno d'Italia*, Istituto Geografico Militare, Roma

EO4GEO, un Progetto Erasmus+ nel contesto dell'Osservazione della Terra e delle Informazioni geospaziali

Giorgio Saio ^(a), Milva Carbonaro ^(b), Roderic Molina Perez ^(c),
Danny Vandenbroucke ^(d)

^(a) GISIG, via Piacenza 54, 16138 Genova, ITALY, +39 010 8355588, g.saio@gisig.it

^(b) GISIG, via Piacenza 54, 16138 Genova, ITALY, +39 010 8355588, m.carbonaro@gisig.it

^(c) GISIG, via Piacenza 54, 16138 Genova, ITALY, +39 010 8355588, r.molina@gisig.it

^(d) KU Leuven, R&D Division SADL, Celestijnenlaan 200 E, B-3001 Leuven, Belgium, +32 16 329731, danny.vandenbroucke@kuleuven.be

EO4GEO (www.eo4geo.eu) è un progetto del Programma Erasmus+ coordinato da GISIG, iniziato a gennaio 2018 con durata 4 anni.

Può contare su una rete di 26 partner, provenienti da 16 paesi europei, attivi nel settore pubblico, privato e accademico, alcuni facenti parte della rete 'Copernicus Academy'.

Il progresso tecnologico e la globalizzazione offrono molte opportunità di innovazione, *job creation* e crescita economica. Occorre però che le persone acquisiscano nuove conoscenze, competenze e abilità, per capire e contribuire al cambiamento.

EO4GEO ha quindi lo scopo di colmare il gap tra l'offerta e la domanda di istruzione e formazione nei settori dell'Osservazione della Terra e dell'Informazione Geografica (EO*GI), strettamente collegati alla "space economy", rafforzando gli strumenti, le conoscenze e le competenze erogate, nonché l'ecosistema Copernicus esistente, e promuovendo la diffusione e l'integrazione di dati e servizi geospaziali nelle applicazioni per gli utenti finali.

Il team è attualmente impegnato a promuovere l'applicazione di soluzioni innovative nel settore educativo e formativo, in modo multi e interdisciplinare, creando e mantenendo, partendo anche da studi precedenti, un corpus di conoscenze su base ontologica (*Body of Knowledge*) per il settore geospaziale, e contemplando scenari di collaborazione università-impresa attraverso casi di studio, laboratori, tirocini, nonché co-creazione di conoscenze, abilità e competenze.

Di particolare rilevanza è il lavoro attualmente in corso per identificare i profili professionali inerenti il settore EO*GI che dovrebbero essere considerati nei programmi di formazione per la forza lavoro futura. I profili professionali identificano le conoscenze, le abilità e le competenze richieste per l'adempimento dei compiti relativi a un determinato lavoro. È quindi importante identificare i compiti che gli occupati nel settore EO*GI devono

padroneggiare nel proprio lavoro e in che modo le tendenze socio-economiche potrebbero influenzare questi compiti.

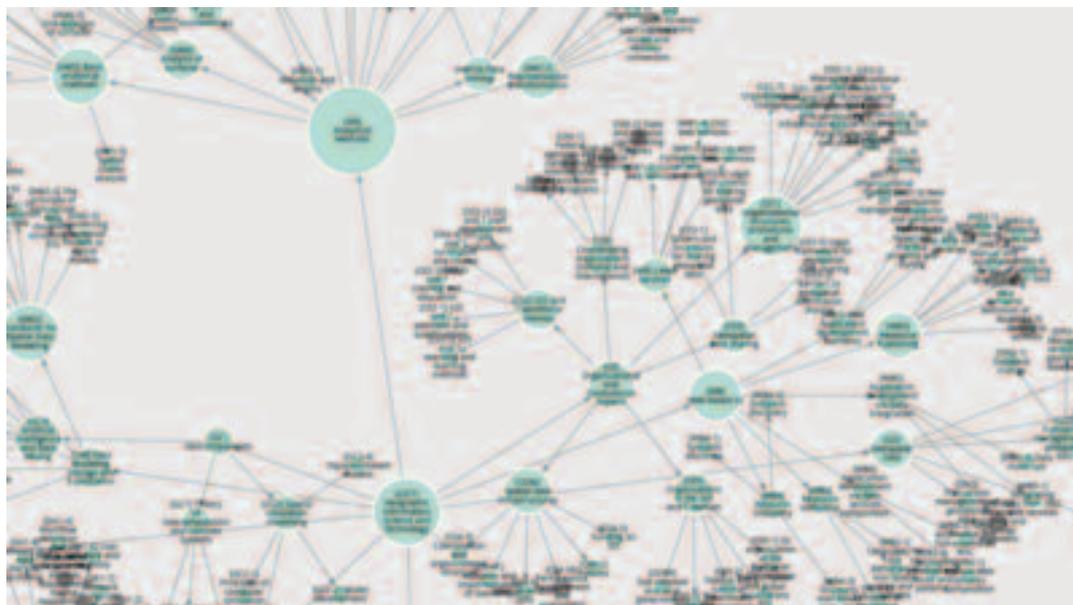


Figura 1 - I concetti del Body of Knowledge e le loro relazioni

I partner EO4GEO dell'industria e delle organizzazioni pubbliche stanno inoltre fornendo diagrammi che illustrano i principali processi aziendali da tenere in considerazione a questo scopo.

EO4GEO ha infatti scelto di applicare un metodo innovativo per derivare i curricula della forza lavoro di domani nel settore EO*GI: una forte considerazione delle esigenze del mercato attraverso la modellizzazione dei processi aziendali. I processi aziendali, inoltre, possono illustrare i passaggi da un'idea al prodotto finale per uno specifico caso d'uso e mostrare chi è coinvolto nel processo, qual è il flusso di comunicazione e in che modo le informazioni sono correlate per ottenere un risultato.

Tutto ciò condurrà alla progettazione e allo sviluppo di curricula formativi e di un portfolio di moduli, utilizzabili nel contesto del programma Copernicus e in altri programmi di rilevanza nazionale, europea e internazionale, che verranno testati attraverso azioni di formazione promosse per un set selezionato di scenari in tre sotto-settori: applicazioni integrate, *smart cities* e cambiamenti climatici.

DSM multi-temporali per la documentazione 3D delle trasformazioni urbane recenti: il caso dell'area ex-Textid a Torino

Giulia Sammartano ^(a,b), Emilio Abbate ^(a,b), Nannina Spanò ^(a,b)

^(a) LabG4CH. Dipartimento di Architettura e Design (DAD) - Politecnico di Torino Viale Mattioli 39, 10125 Torino (Italy)

^(b) Polito FULL | the Future Urban Legacy Lab, Toolbox coworking. Via Agostino da Montefeltro 2, 10125 Torino (Italy)

emilio.abbate@polito.it; giulia.sammartano@polito.it; antonia.spanò@polito.it

Abstract

La ricerca vuole proporre un'indagine sul patrimonio urbano e sulle sue attuali trasformazioni attraverso il beneficio dell'uso di dati geospaziali. Questo è particolarmente interessante quando gli studi riguardanti la morfologia, la pianificazione e la progettazione alla scala urbana sono calate sulle città storiche e stratificate e possono contribuire, all'identificazione, alla localizzazione e alla misura, rapida e accurata, delle trasformazioni (volumi demolizioni e nuove costruzioni, ecc ...). In questo ambito, il confronto e l'analisi di informazioni multi-temporali, multi-sorgente e multi-scala derivanti dalle infrastrutture di dati (Spatial Data Infrastructures, SDI) gestite dall'Amministrazione Comunale e Regionale (ortofotografie e DSM) sono un supporto cruciale per l'analisi diacronica: in questo modo è possibile confrontare nuovi scenari urbani (DSM attuali) con situazioni urbane passate (DSM storici). Questi ultimi possono essere generati a partire dalla digitalizzazione di grandi dataset di fotogrammi aerei storici e dal loro processing per *image-matching*. L'obiettivo è quello di valutare e valorizzare questa disponibilità d'archivio, per testarla a fianco a strumenti innovativi attualmente in uso dai servizi cartografici. La ricerca è stata condotta nell'ambito del laboratorio di ricerca FULL@Polito, che indaga le *legacies* urbane, la loro rigenerazione e il loro rapporto con la città contemporanea. Il focus è l'area del Parco Dora a Torino Nord, un tempo occupata dalle industrie siderurgiche che erano ivi attive fino al 1992 e oggetto di riqualificazione e riconversione post-industriale negli ultimi decenni.

Key words

change-detection, DSM, multi-scala, multi-temporale, fotogrammetria storica, SDI, LiDAR, ortofoto

Introduzione

Negli ultimi decenni, l'adozione di sistemi di dati geografici tramite l'approccio delle scienze geospaziali e dei GIS (Geospatial Information Science), non si rivolge esclusivamente all'aggiornamento della cartografia numerica contenuta nelle banche dati delle amministrazioni, con l'obiettivo di creare o aggiornare la modellazione degli oggetti urbani con sistemi sempre più accurati (Rottensteiner,

2014), ma supporta anche gli studi urbani per localizzare, quantificare e mettere in relazione la complessità dei fenomeni, e non solo la loro più tradizionale lettura e rappresentazione. Considerando il rapido modificarsi del costruito, le ricerche nei campi progettuali e pianificatori si orientano sempre di più verso lo studio morfologico con l'adozione di dati geo-spaziali, per spazializzare le trasformazioni legate alla società antropizzata e per monitorarne fenomeni e trasformazioni come: l'accessibilità, i trasporti, gli spazi verdi urbani, l'energia e le risorse, la morfologia del tessuto urbano, ecc... Gli approcci innovativi orientati alla simulazione urbana digitale rappresentano un valido supporto ai processi decisionali e trovano efficacia soprattutto nel fornire modelli 3D urbani accurati e aggiornati dal punto di vista geometrico e semantico, i cosiddetti 3D GIS, che integrano una modellazione basata su dati geo-spaziali 3D, come ad esempio i Modelli Digitale di Superficie (DSM) e i poligoni dell'edificato derivati dalla cartografia numerica. Un obiettivo ambizioso è quello di indagare sia la flessibilità dei prodotti cartografici tradizionali e digitali esistenti, ortofoto e DSM, e i database cartografici di enti pubblici e privati, così come di implementarli con dati geo-spaziali mediante un aggiornamento ad hoc con metodi innovativi della Geomatica. Infatti, grazie alle tecniche di rilevamento è possibile ragionare a scala più ampia sulla città e offrire strategie efficaci per il monitoraggio urbano. In questo quadro, la ricerca presentata è stata calata nell'area del Parco Dora di Torino, che è stato coinvolto negli ultimi decenni nella grande trasformazione di Spina 3, secondo il P.R.G. del 1993, e che per questo rappresenta un caso di studio ideale per la presente ricerca. L'area di circa 360.000 mq si è evoluta, dagli anni Novanta ad oggi, in un nuovo assetto residenziale/terziario. La ricerca vuole riflettere su una proposta di raccolta e analisi di dati urbani multi-scala e multi-temporali per la localizzazione delle micro- e macro-trasformazioni e per l'aggiornamento cartografico attraverso la documentazione su larga scala e multi-temporale tramite operazioni di change-detection (di seguito, CD).

Torino e le infrastrutture di dati disponibili

Le esigenze e le finalità alla base del monitoraggio della morfologia urbana che sono state qui affrontate riguardano Torino, città industriale del secolo scorso, che è stata caratterizzata dagli ultimi decenni da importanti trasformazioni derivanti dall'eredità industriale che la ha profondamente caratterizzata, impattando nella sua immagine di città tecnologica del futuro e attenta alla sua eredità culturale. Nell'area del Parco della Dora, l'ampio giardino attraversato da una passerella in acciaio è oggi un'area destinata a spazio pubblico polifunzionale adatto ad ospitare eventi e attività sportive: questa area deriva da un processo di trasformazione della città, iniziato nella prima metà dell'Ottocento ed ancora oggi in vigore, ed è l'eredità del recente passato insieme ai resti delle strutture industriali e i grandi pilastri preesistenti.

Negli anni 2000, da quando l'adozione delle infrastrutture di dati territoriali si è affermata a livello internazionale, e la Regione Piemonte e il Comune di Torino possono contare su un'infrastruttura di dati e servizi ricca, completa e avanzata dal punto di vista dell'armonizzazione dei sistemi di riferimento e della strutturazione dei modelli di dati secondo standard condivisi. Tra i principali sviluppi avvenuti: (1) l'adozione del modello di dati coerente con il modello Intesa GIS conforme alla norma ISO-TC 211 e successiva parziale strutturazione

secondo la norma INSPIRE per la cartografia numerica regionale; (2) l'avvio dagli anni 2000 di un ampio progetto di armonizzazione geometrica e sistemi di riferimento tra database cartografia catastale e carta tecnica comunale; (3) il volo aereo fotogrammetrico (2009-2011 con fotocamera Leica ASL) ed elaborazione di un'ortofoto regionale e DTM che ha poi permesso lo sviluppo di ricerche correlate quali il consumo del suolo e i rischi ambientali; (4) il rilascio dei geo-servizi dell'OGC, Web Map Service (WMS), che consente la visualizzazione simultanea con protocollo http dei geo-dati allocati in diversi server e distribuiti gratuitamente dal [geoportale](#).

L'indagine relativa al lotto ex-Teksid è iniziata quindi con un'ampia esplorazione preliminare per chiarire le potenzialità dei dati disponibili 2D e 2.5D, utili per la realizzazione di un'applicazione che permettesse di monitorare nel tempo i cambiamenti fisici dei luoghi a partire da ortofoto, DTM, frame storici e cartografie di diversa datazione, basate su DB geo-spaziali. Per questo sono stati presi in attenta considerazione le scale, le risoluzioni, le coperture, la datazione, i sistemi di riferimento e la disponibilità dei dati sull'area: le carte IGM storiche (1880-1882 la prima in Italia) con i dati geo-spaziali del BDT sovrapposti. Le immagini nella Figura 1 rappresentano tre diverse ortofoto d'epoca (1979, 1990, 2018) che forniscono la possibilità di confronto visivo in quadri temporali distinti.



Figura 1 – Dati spaziali dal Geoportale di Torino: ortofoto del 1979 e ortofoto del 2004

Dati geo-spaziali a supporto del monitoraggio di trasformazioni urbane: approcci di Change Detection (CD) per le analisi multi-temporali

Le questioni aperte derivanti dall'analisi multi-scala e multi-temporale del contesto urbano sono in primo luogo la risoluzione spaziale e la copertura dei dati disponibili, ovvero, quale risoluzione adottare al fine di rilevare e monitorare, anche nel caso di frame multi-temporali, i fenomeni di trasformazione urbana. Convenzionalmente, gli approcci più recenti del telerilevamento si basano essenzialmente su acquisizioni di dati *image-* e *range-based*: l'elaborazione dei dati viene condotta basandosi sull'analisi del contenuto radiometrico dei dati 2D/3D derivanti da immagini satellitari e dati aerei (LiDAR o fotogrammetrici) al fine di analizzare, segmentare e classificare immagini o DSM/DEM, ed estrarre gli oggetti urbani tramite processi automatizzati: principalmente edifici, vegetazione, terreno, ecc. Il tipo di dato da utilizzare è in gran parte dipendente dalla scala ricercata, dalle dimensioni spaziali/temporali e dalla disponibilità dei dati stessi. Se da un lato è ben noto che negli ultimi decenni, la tecnica di acquisizione più diffusa per la modellazione 3D a scala urbana risulta essere quella del LiDAR aereo (innumerevoli casi in letteratura hanno anche mostrato approcci sperimentali ad hoc, che richiedono algoritmi di filtraggio e ottimizzazione di DSM e classificazione delle nuvole di punti e dei derivanti oggetti antropici per particolari condizioni (Vosselman&Maas, 2010). Recentemente, anche il contributo dei Mobile Mapping

Systems (MMS) in ambito urbano montati su veicoli o dispositivi portatili, ha dimostrato che l'integrazione di tecniche di acquisizione più rapide con metodi *close-range* è utile all'aggiornamento della cartografia numerica e la ricostruzione 3D a scala urbana (Toschi et al., 2017).

In letteratura, le analisi di CD 2D sulle aree urbane sono generalmente basate come si è detto su immagini, utilizzando l'analisi dello spettro luminoso al fine di individuare e misurare fenomeni su larga scala. Nello specifico, questi approcci si presentano sotto forma di numerosi workflow integrati con lo scopo di estrarre informazioni in corrispondenza della variazione dei dati da due finestre temporali distinte e quindi poter misurare i cambiamenti nel corso degli anni, ad esempio per l'aggiornamento dei Geo-Database (GDB). La lettura di questi fenomeni avviene generalmente per calcoli di differenze *pixel-based*. I limiti che tipicamente influenzano l'analisi basata su immagini per la CD 2D risiedono nella grande variabilità dei valori radiometrici (finestre temporali stagionali), nella distorsione delle immagini (dati nadirali) e nella perdita effettiva della terza dimensione (solo le variazioni planimetriche possono essere considerate affidabili per fenomeni su larga scala). Per questo, nel caso studio presentato i dati di partenza sono stati scelti come DSM 3D multi-temporali per l'operazione di CD.

I metodi di CD 3D impiegano approcci di differenze di DSM e integrano nella *detection* dati di tipo LiDAR e/o fotogrammetrico; una panoramica dei metodi e dello stato dell'arte attuale si trova in (Qin et al., 2016) e si fa riferimento a Abbate et Al., 2018 per approfondimenti. Si può riassumere che il corretto approccio procedurale per eseguire una CD 3D dovrebbe prendere in considerazione diversi fattori: (1) Il dato iniziale, che ha caratteristiche intrinseche diverse sulla base ad esempio del sensore. L'eterogeneità di accuratezza e risoluzione comporta analisi con affidabilità differenti e quindi anche per le informazioni derivate. (2) I dati 3D derivati da algoritmi di *image-matching* (Remondino et al., 2014) possono presentare errori di eccessivo rumore e sono necessarie procedure di filtratura per la loro correzione. Qui infatti viene presentato un DSM derivato da un approccio di *image-matching* eseguito su immagini storiche. (3) I risultati della CD possono essere influenzati, come nel caso presentato, dalla difficoltà della co-registrazione dei dati, cioè il corretto allineamento dei DSM tra loro anche in parte legato a problemi di georeferenziazione non uniforme lungo i periodi considerati. (4) La morfologia dell'area, con occlusione dalla vegetazione o da tessuti urbani densi e storici, come in questo caso, condiziona l'accuratezza dei risultati perché influisce sulla ricostruzione 3D degli oggetti o eventuali errori e artefatti, sotto forma di pixel o punti riconosciuti ed estratti. (5) La selezione dell'algoritmo di esecuzione differenza è fondamentale e dipende dal dato iniziale. Sebbene sia disponibile anche un confronto geometrico-radiometrico integrato (Qin et al., 2016), in questo caso verrà eseguito un confronto geometrico in base alle differenze di valori. Il computo della differenza euclidea coinvolge effettivamente il dato 3D secondo le normali alle superfici ma è strettamente influenzato dalla co-registrazione dei dati. Invece, la differenza in altezza, qui impiegata, considera il confronto verticale tra i valori di Z del DSM ma soffre notevolmente di errori di rumore ai bordi degli oggetti della *detection*.

I metodi di *image-matching*, supportati da algoritmi avanzati in grado di elaborare DSM da nuvole di punti dense, permettono di sfruttare il potenziale delle immagini

degli archivi storici (Feurer&Vinatier, 2018). Una volta digitalizzati, possono essere utili per il calcolo di nuovi DSM relativi a epoche passate e confrontabili con lo stato attuale (Nocerino et al., 2012). I punti critici nell'impiego di immagini storiche digitalizzate riguardano ancora la digitalizzazione delle pellicole con scanner fotogrammetrico e la stima dei parametri originali di orientamento interno ed esterno della camera e soprattutto il posizionamento assoluto per confrontare con dati più recenti, e per rendere coerenti i DSM appartenenti ad epoche diverse secondo il principio di co-registrazione. La sfida più ambiziosa nel gestire tali dati risiede nell'eseguire un'analisi multi-temporale in grado di rilevare le trasformazioni (CD) nell'area test di Torino attraverso l'utilizzo di dataset multi-temporali. La preliminare individuazione, localizzazione e quantificazione attraverso un metodo sperimentale di rapida esecuzione, rileva macro-trasformazioni morfologiche a scala urbana, utili ad analisi urbane e studi di progettazione urbana. L'approccio presenta tuttavia criticità derivanti dalla diversità dei dati iniziali, in termini di accuratezza, risoluzione e da alcune incertezze sui risultati. Questi sono presi in considerazione per ulteriori miglioramenti metodologici.

DSM per il paesaggio urbano del passato a Torino: uso di immagini storiche tramite 3D dense-matching

La Regione Piemonte, CSI, conserva un ricco archivio di immagini e dati storici, parzialmente indagato in (Cassatella et al., 2015). Una sezione specifica interessa i voli fotogrammetrici sull'area urbana, la collina e l'area metropolitana con una disponibilità nel 1936, 1957, 1957, 1968, 1968, 1979, 1990, ecc... Il dataset selezionato, è il volo fotogrammetrico effettuato nel 1990 da Ali Toscane per Città di Torino per scopi di aggiornamento cartografico, con una camera aerea calibrata ZEISS RMK-A 15/23 e focale grandangolare di 153mm e pellicola 23x23 cm.

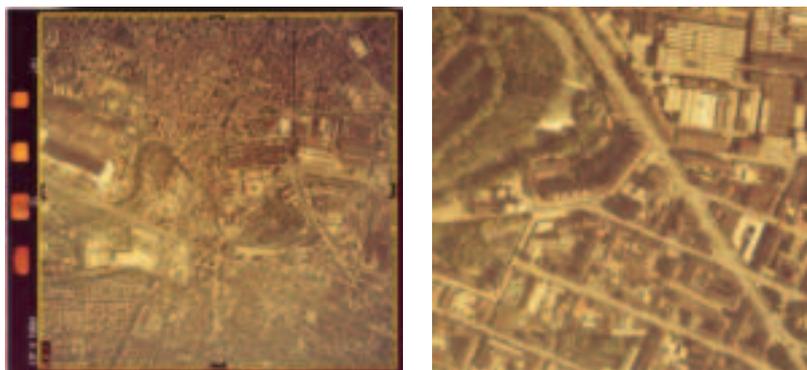


Figura 2 – Esempio di immagine aerea del volo del 1990 e uno zoom sulla zona della Dora

Il piano di volo ha previsto una quota di volo di circa 1800m per la produzione di cartografia in scala 1:10000, e suddiviso in 16 strisciate fotogrammetriche totali (20% trasversale, 60% longitudinale). I negativi sono stati digitalizzati a 800dpi con uno scanner non fotogrammetrico, e distribuite dal Comune di Torino in immagini di 7244x7244px (Figura 2).

Al fine di modellare il DSM datato al 1990 dell'aerea oggetto di studio, è stato selezionato un blocco di 40 fotogrammi ed è stato eseguito il calcolo dell'orientamento interno ed esterno della camera per *image-matching* e la densificazione: questo si chiamerà **DSM_{sfm}**. L'orientamento del blocco considerato è stato effettuato utilizzando un set di n°20 vertici plano-altimetrici

selezionati tra i vertici topografici di riferimento stabili e riconoscibili sulle immagini aeree, e usati come Ground Control Points (GCP) e Check Points CP. La limitata qualità radiometrica dei fotogrammi, oltre alla bassa sovrapposizione allora convenzionalmente adottata, ha restituito un RMSE su n°15 GCP di circa 0.36m e n°5 CP di 0.30m, con un conseguente DSM_{SfM} piuttosto impreciso, affetto da errori di rumore e grandi *outliers*, soprattutto in prossimità di aree di vegetazione e di blocchi di edifici stretti e alti, che ha richiesto una fase di filtro per ottimizzare tramite *downsampling* (*Convolutional filter; kernel size 6×6px*).

Change Detection multi-temporale nell'area ex-Teksid di Torino

Tra i dati DSM disponibili sono stati selezionati tre dataset relativi ad anni diversi per un'analisi multi-temporale efficace (Figura 3), e denominati come segue:

T1/1990) Il DSM_{SfM} nasce dalle immagini fotogrammetriche storiche del 1990 con un GSD=0.5m/px, come introdotto nel paragrafo precedente.

T2/2004) Il **DDEM** deriva da una procedura presentata in (Biason et al, 2004) per l'estrazione di una ortofoto accurata della città di Torino, ed è stato calcolato sulla base dell'allora cartografia numerica in scala 1:1000 della città di Torino, (poligoni con quota di elevazione al suolo e valore altezza). Il DDEM ha una risoluzione pari a di $20 \times 20 \text{ cm}^2$ per pixel, (adatto per ortofoto in scala 1:2000).

T3/2009) Il DSM_{LiDAR} è stato acquisito ed elaborato tra il 2008-2009 e poi distribuito dal Ministero Italiano MATTM secondo la direttiva INSPIRE. Le acquisizioni LiDAR aeree, a copertura nazionale, hanno lo scopo di rilevare e monitorare i corsi d'acqua a rischio idrogeologico, nell'ambito del "Piano straordinario di telerilevamento ambientale". Nello specifico, il DSM_{LiDAR} utilizzato è il DSM_{last} , con risoluzione al suolo pari a 1×1 . A causa della presenza di vegetazione, è stato necessario effettuare operazioni di filtratura sul DSM_{last} indagato.

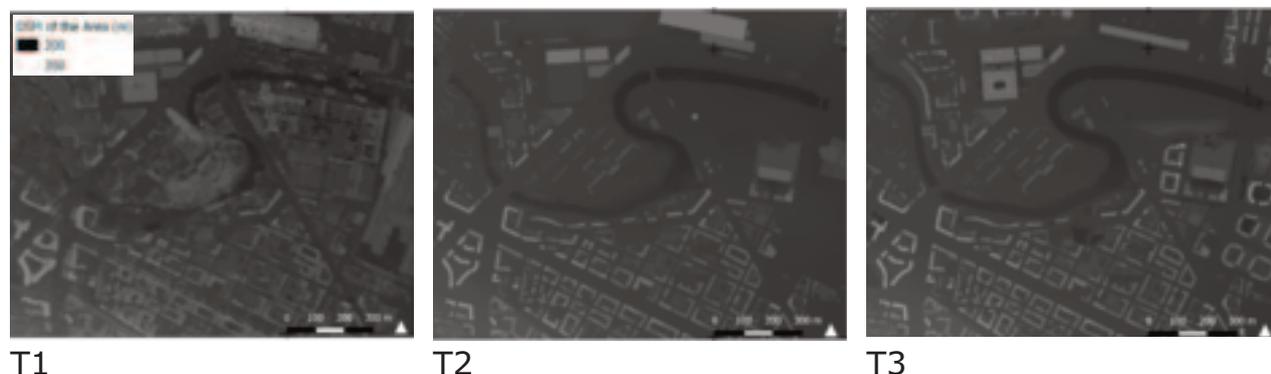


Figura 3. Visualizzazione a scala di grigio dei tre DSM considerati nell'approccio

Il processo di CD, insieme alle procedure di ottimizzazione e ricampionamento, è stato eseguito per sottrazione di pixel tramite algoritmi di differenza di raster implementati nell'interfaccia di SAGA GIS (QGIS 3.2). I prodotti derivati sono denominati Digital Surface Model *Difference* (DSM_D).

$DSMD_{T2-T1}$ è stato realizzato per rilevare e localizzare le differenze volumetriche tra il 1990 e il 2004. Parallelamente, $DSMD_{T3-T2}$ restituisce le differenze tra il 2004 e il 2009. In Figura 4a viene mostrata un'area campione di $DSMD_{T2-T1}$ e $DSMD_{T3-T2}$ lungo l'ansa del fiume Dora riguardante i complessi industriali. I DSMD risultanti sono stati ottimizzati con filtro morfologico, *square Kernel mode*, raggio di 2 celle, con metodo *erosion*. I valori di soglia nella classificazione e rappresentazione dei cambiamenti sono stati attentamente e criticamente considerati a causa del

problema alla base relativo della qualità e risoluzione dei dati iniziali del $DSMD_{SfM}$. Di conseguenza, sono state selezionate 5 classi per rappresentare il rilevamento e la classificazione delle differenze. Valori $<5m$, considerati sotto la soglia di affidabilità, non sono visualizzati (anche valori negativi, associati a sottrazione di volume, demolizione, non sono considerati nelle prime mappature, e così quelle informazioni relative alle modifiche medio-piccole come sopraelevazioni).

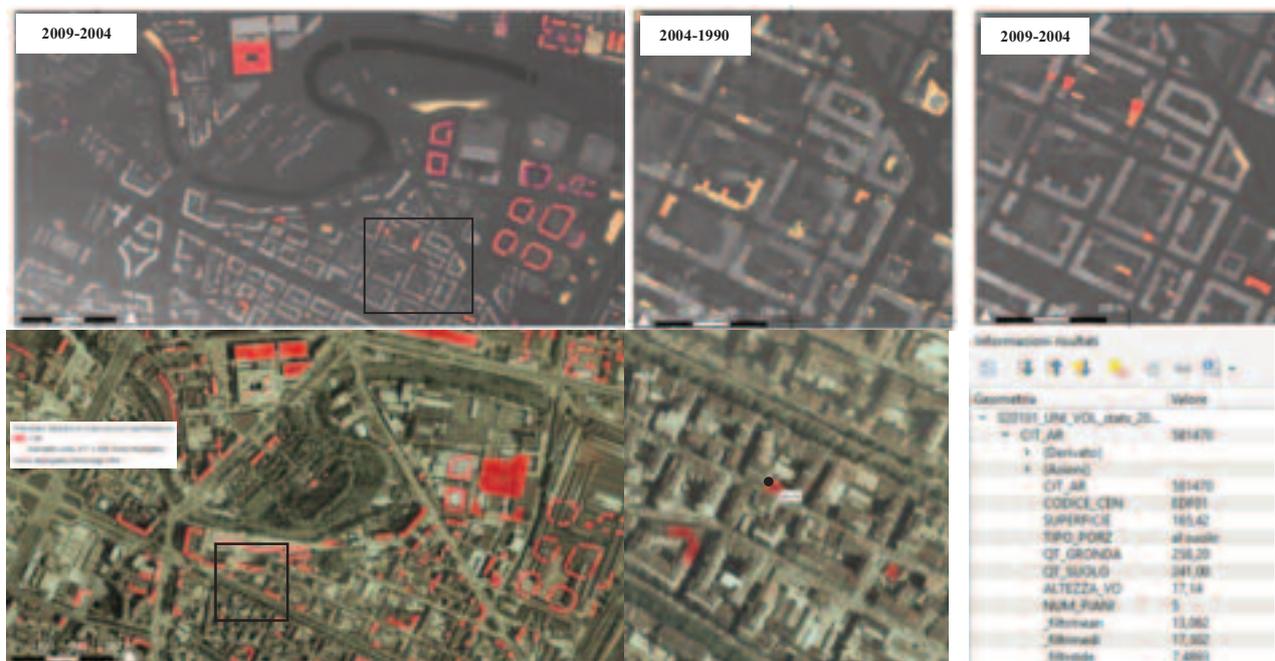


Figura 4. (a) Rappresentazione del risultato di $CD_{DSMD_{T3-T2}}$ e zoom di confronto con $DSMD_{T2-T1}$; (b) controllo dell'affidabilità tramite comparazione dell'informazione delle volumetrie da BDT

Un primo tentativo per verificare l'incertezza relativa alla componente 2.5D nella differenza dei DSM e valori derivati utili a localizzare e quantificare le variazioni, viene proposto di seguito. L'utilizzo delle geometrie delle entità volumetriche (*02010101_Unità Volumetrica* della BDT ufficiale della città di Torino) sono adottate per il loro attributo di "Altezza volume". Con il calcolo automatico dei valori derivanti dalle statistiche zonali per raster attraverso la topologia dell'impronta vettoriale (per esempio dal dataset $DSMD_{T3-T1}$), ogni poligono assume la media, mediana e deviazione standard di ogni pixel contenuto in $DSMD_{T3-T1}$. Quindi, l'attributo dai valori CD è associato all'attributo "Altezza volume" relativo ai poligoni vettoriali (Figura 4b). Sono assunti come positivi i poligoni con $media > 7m$, cioè quei poligoni che tra il 1990 e il 2009 hanno subito una modifica positiva dell'altezza del volume superiore a 7m. Le linee guida in vigore in Italia (Brovelli et al., 2009) per la valutazione dell'accuratezza della produzione di ortofoto e DTMs prevedono la strategia di determinare una rete di CP utilizzando tecniche di misura caratterizzate da una precisione pari ad un ordine di grandezza superiore al prodotto da valutare. Poiché il test per la localizzazione e quantificazione dei cambiamenti urbani, sono stati effettuati alcuni controlli a campione di cui sopra, e la figura 4b mostra come vi siano buone corrispondenze tra la media dei valori di altezza dei pixel del $DSMD_{T3-T1}$ e le altezze nell'attributo dei poligoni edifici.

Conclusioni e prospettive future

Grandi città come Torino possono contare oggi su una cospicua disponibilità di dati territoriali facilmente accessibili attraverso le SDI. È altrettanto vero che i fenomeni di trasformazione sono improvvisi ed è quindi estremamente necessaria una strategia di monitoraggio continuo del patrimonio costruito esistente e dei cambiamenti del paesaggio urbano per le finalità del governo del territorio. Questo lavoro ha dimostrato come la disponibilità di fotogrammi storici e quindi DSM storici, insieme a DSM attuali, possa consentire di ragionare sui fenomeni alla base delle trasformazioni in atto per pianificare strategie future. All'interno di queste si prevede che i dati derivati da sistemi rapidi e portatili di *mobile mapping*, che stanno assumendo una rilevanza significativa nel panorama dei sistemi terrestri, possano essere sempre più di grande impatto se indirizzati verso una standardizzazione dei dati 3D ottenibili, in modo che dopo una rapida acquisizione sia possibile convogliare gli aggiornamenti nei database spaziali della cartografia numerica a scala urbana in modo efficace e codificato.

Riferimenti bibliografici

- Abbate, E., Sammartano, G., & Spanò, A. (2019). Prospective upon multi-source urban scale data for 3D documentation and monitoring of urban legacies. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, 11–19
- Biasion, A.; Dequal, S.; Lingua, A. A new procedure for the automatic production of true orthophotos. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* **2004**, 35, 1682–1777.
- Brovelli, M.A.; Cina, A.; Crespi, M.; Lingua, A.; Manzano, A.; Garretti, L. Ortoimmagini E Modelli Altimetrici a Grande Scala-Linee Guida. *CISIS*, **2009**, 1–149.
- Cassatella, C.; Garnero, G.; Guerreschi, P.; Seardo, B. Recupero di riprese fotogrammetriche storiche per l'analisi e la pianificazione territoriale: il caso studio della Val Grande. Conferenza ASITA, **2015**, 237–244.
- Feurer, D.; Vinatier, F. Joining multi-epoch archival aerial images in a single SfM block allows 3-D change detection with almost exclusively image information. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2018**, 146, 495–506.
- Nocerino, E., Menna, F., and Remondino, F.: Multi-temporal analysis of landscapes and urban areas, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B4, **2012**, 85-90
- Qin, R.; Tian, J.; Reinartz, P. 3D change detection – Approaches and applications. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2016**, 122, 41–56.
- Rottensteiner, F.; Sohn, G.; Gerke, M.; Dirk, J.; Breitkopf, U.; Jung, J. *Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction*. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2014, 93, 256–271.
- Remondino, F.; Spera, M.G.; Nocerino, E.; Menna, F.; Nex, F. State of the art in high density image matching. *Photogramm. Rec.* **2014**, 29, 144–166.
- Qin, R.; Tian, J.; Reinartz, P. 3D change detection – Approaches and applications. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2016**, 122, 41–56.
- Vosselman, G.; Maas, H.-G. Airborne and terrestrial laser scanning; Whittles Publishing, **2010**; ISBN 9781904445876.

Dati remoti per il supporto alle strategie assicurative in agricoltura

Filippo Sarvia ^(a), Enrico Borgogno-Mondino ^(a)

^(a) DISAFA – Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, L.go P. Braccini 2, Grugliasco, TO, Italia, 0116705528, filippo.sarvia@unito.it

La variabilità del clima è uno dei maggiori rischi per gli agricoltori. Il modello gestionale agricolo attuale è difficilmente sostenibile nel lungo periodo, i cambiamenti climatici che si sono verificati negli ultimi anni hanno portato ad una temperatura media maggiore, alla distribuzione meno omogenea delle precipitazioni e a minori accumuli delle riserve idriche. L'impatto delle calamità naturali nel settore agricolo tra il 2005 e il 2015 viene stimato intorno ai 96 miliardi di dollari in colture danneggiate o perse. Il continuo aumento di questi fenomeni naturali suggerisce che le strategie assicurative debbano adeguarsi cercando di essere all'avanguardia e dinamiche. In questo lavoro viene presentato un prototipo di servizio basato su dati telerilevati finalizzato a supportare le compagnie assicurative con l'obiettivo di definire uno strumento operativo per calibrare oggettivamente i premi assicurativi annuali, tendendo alla riduzione dei costi così da incentivarne le richieste e attrarre potenziali clienti.

La metodologia è stata applicata inizialmente alla regione Piemonte e successivamente in un'area agricola situata nella provincia di Cuneo (Piemonte - NW Italia). A questo scopo sono state utilizzate entrambe le serie temporali di immagini MODIS MOD13Q1-v6 (per investigare la regione Piemonte) e COPERNICUS Sentinel-2 livello 2A (per investigare l'area agricola nella provincia di Cuneo).

I dati MODIS (GSD = 250 m) sono stati utilizzati per monitorare l'andamento dei cambiamenti climatici in corso su scala regionale, osservando le serie storiche NDVI Maximum Value Composite (MVC) che vanno dal 2000 al 2018 risultando una serie multi-temporale di 826 immagini cadenzate a 8 giorni (46 immagini/anno); sono state analizzate le principali classi agricole nell'area (classi CORINE Land Cover Livello 3). Il comportamento fenologico medio delle classi agricole è stato individuato e in un secondo momento monitorato attraverso il valore annuale di NDVI nel periodo analizzato. Questa analisi aveva lo scopo di individuare l'andamento dell'indice NDVI nel corso del tempo e di conseguenza calibrare un premio assicurativo medio annuale per l'intera serie temporale in modo tale che all'aumentare dell'indice NDVI nel tempo diminuisse il valore del premio rispetto al primo anno della serie storica (l'anno 2000). Il premio medio annuale quindi viene calcolato sulla base dell'indice NDVI tenendo sempre come riferimento l'anno 2000. Successivamente è stato effettuato un passaggio di scala per osservare i dettagli a livello di appezzamento.

I dati Sentinel-2 (S2) ad alta risoluzione (GSD = 10 m) sono stati utilizzati in modo diverso e cioè per identificare lo sviluppo fenologico colturale in relazione all'andamento NDVI durante l'annata agraria per mappare le differenze all'interno degli appezzamenti aventi una stessa coltura negli anni 2016 e 2017. Dal momento che nel 2016 era presente soltanto il satellite Sentinel-2A il numero di immagini utilizzabili risulta essere pari a 47 mentre nel 2017 pari a 66 comprensivo delle acquisizioni S2 A e B. Dal momento che il prodotto scaricato non era processato e filtrato sono stati necessari alcuni accorgimenti per ottenere un'immagine corretta. La prima operazione eseguita è stata quella di pulire il profilo dalla presenza di outlier attraverso la fase di filtraggio. In un secondo momento le immagini sono state interpolate con un intervallo di tempo di 5 giorni, nel tentativo di ottenere un set di dati continuo nel tempo riducendo al minimo i problemi relativi alla copertura nuvolosa. Il numero totale di immagini è quindi passato da 113 a 146. Una volta ottenuto lo stack annuale di indice, si è deciso di prendere l'annata agraria come riferimento, vale a dire l'anno di San Martino (con partenza 11 novembre). Attraverso i dati S2 sono state analizzate le colture di grano, mais, prato e loietto.

I dati S2 sono stati fondamentali sia per il riconoscimento delle anomalie all'interno dello stesso appezzamento e sia per osservare la stessa coltura coltivata su appezzamenti differenti per poter monitorare la crescita della stessa in ambienti differenti. L'equazione utilizzata per il calcolo delle anomalie si basa sul rapporto tra il valore NDVI medio annuale del singolo pixel e il valore NDVI medio annuo dell'intera classe.

Attraverso i dati S2 è stato possibile individuare un range assicurativo annuale per coltura avente come base il premio ottenuto precedentemente con le immagini MODIS (sconto annuo) e tarato successivamente in relazione alle anomalie colturali riscontrate.

L'adozione congiunta di entrambi i dati utilizzati ha dimostrato di essere in grado di: a) descrivere l'evoluzione temporale media delle prestazioni delle classi di macro-colture a medio termine (dataset MODIS); b) assegnare un determinato livello di rischio assicurativo a scala di singolo appezzamento sulla base delle prestazioni agronomiche delle colture (dataset S2). L'uso di questa tecnica ha quindi lo scopo di fornire uno strumento applicabile allo studio di vaste aree, consentendo al gestore dell'assicurazione o a qualsiasi legislatore di identificare le anomalie in campo, offrendo così un controllo o un servizio efficiente, economicamente competitivo e immediato. È da ricordare che l'utilizzo di questa tecnica non può e non deve prescindere da un accurato controllo di campo, da una precisa registrazione degli eventi cruciali e delle operazioni colturali, ma deve essere affiancato a queste per rendere la gestione, il monitoraggio e la coordinazione delle dinamiche agricole più semplici, sbrigative ma soprattutto efficaci.

Implementazione di un applicativo su piattaforma open source QGIS per l'analisi delle caratteristiche energetiche degli edifici del Friuli Venezia Giulia

Michele Savron¹, Raffaella Cefalo¹, Marco Manzan², Agostino Tommasi³, Angela Sanchini⁴

¹GeoSNav Lab, DIA, Università di Trieste, via A. Valerio 6/2, 34127 Trieste

²DIA, Università di Trieste, via A. Valerio 6/2, 34127 Trieste

³ARPA Fvg, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

⁴Insiel S.p.A, Trieste

Introduzione

Il progetto ha riguardato la creazione di un database geo-referenziato e di un applicativo su piattaforma GIS (Geographic Information System), utilizzando il software open-source Quantum GIS, finalizzati all'analisi ed alla visualizzazione di alcuni parametri strategici per il consumo e la produzione di energia sul territorio regionale. Lo studio, sviluppato durante un'esperienza di tirocinio svolta presso Insiel SpA con la collaborazione ed il supporto dell'Ufficio che si occupa del Servizio Energia, è nato dall'idea di implementare i valori contenuti nell'analisi del PER (Piano Energetico Regionale) con uno studio dei dati depositati all'interno del catasto APE (Attestati di Prestazione Energetica). Specificatamente sono stati individuati i parametri fondamentali che descrivono l'utilizzo dell'energia sul territorio regionale e che sono presenti nell'APE. Successivamente essi sono stati geo-referenziati e sono state individuate le correlazioni spaziali al fine di evidenziare lo stato di fatto dal punto di vista della prestazione energetica degli edifici, dotati di APE, nella Regione FVG.

Scopi del lavoro e metodologia utilizzata

Per raggiungere tale obiettivo è stata raccolta una notevole quantità di dati ottenuta da diverse interrogazioni ai database (db) regionali. Esse riguardano gli aspetti che accomunano l'analisi esposta nel PER e quelli ricavabili dal catasto: tali set di dati sono stati parallelamente importati nell'applicativo QGIS. L'applicativo costruito consente la possibilità di interrogare un singolo punto o una zona più estesa, ricavandone tutti i relativi dati e/o parametri ad esso riferiti, sotto forma di tabella numerica oppure di carta tematica. Con il db georiferito è possibile confrontare diverse aree geografiche della regione per poi analizzare più strati informativi sovrapposti valutando le correlazioni fra diversi parametri di studio. La metodologia implementata ha consentito di passare da una serie di dati non direttamente correlabili tra di loro ad un database organizzato, interrogabile anche in base alla posizione geografica.

In Fig.1 è presentato un esempio dell'elaborazione dei dati analizzati rispettivamente nel PER e nel catasto APE. Gli indicatori estratti dal catasto APE rappresentano parametri energetici che derivano da un esame, condotto da professionisti abilitati, che calcolano secondo le norme nazionali la classe energetica della singola unità immobiliare facente parte di un edificio.

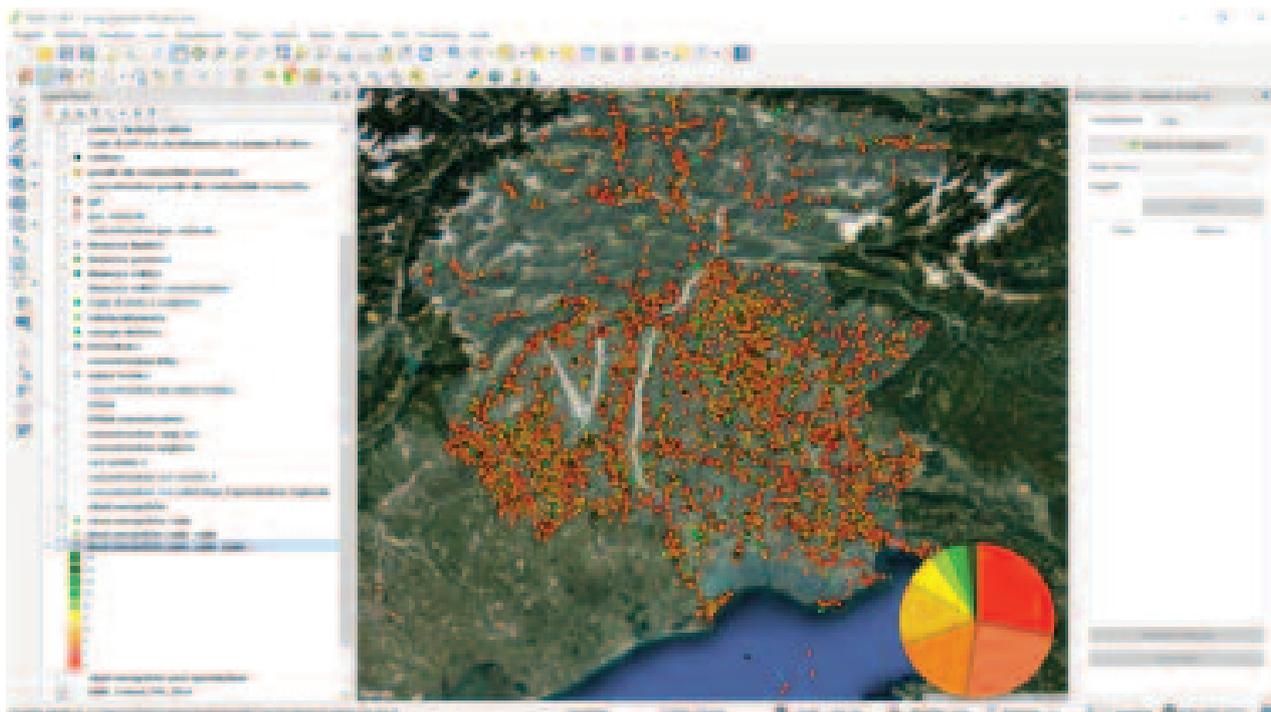


Figura 1 – mappa degli APE ed un grafico a torta rappresentativo della distribuzione delle classi energetiche in fvg

Risultati conseguiti

Sono stati realizzati un db georeferenziato e un applicativo su piattaforma GIS open-source che hanno consentito di rivedere e catalogare i parametri in diversi strati informativi e di studiarli in modo autonomo o con la sovrapposizione degli stessi. Pur considerando la differenza di provenienza dei dati raccolti, si può notare una certa affinità negli stessi per quanto riguarda le macro aree della regione.

Il prodotto ottenuto risulta essere un ottimo ausilio all'attività di gestione strategica dell'energia sul territorio del FVG. Tale applicativo potrebbe essere implementato per lo studio di altre tematiche come la vulnerabilità sismica degli edifici, vista la recente adozione della certificazione sismica, fino a costituire la base per la redazione di un fascicolo del fabbricato in grado di collegare l'operatività nelle macro analisi dei sistemi GIS alla progettazione dettagliata derivata da una progettazione BIM (Building Information Model).

Riferimenti bibliografici

Michele Savron (2018) Tesi di Laurea in Sistemi Informativi Geografici: Implementazione di un applicativo su piattaforma open source QGIS per l'analisi delle caratteristiche energetiche degli edifici del Friuli Venezia Giulia, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile Università degli studi di Trieste anno 2018-2019;

Piano Energetico Regionale della Regione Friuli Venezia Giulia , www.regione.fvg.it;

Manuale operativo Redazione APE, <http://www.insiel.it/cms/soluzioni-e-servizi/EnergiaFVG-APE/FAQ.htm>.

Emergency, Evacuation and Escape - APP(E3App): Un sistema di Indoor Navigation per contesti emergenziali in strutture complesse

Monica Sebillo ^(a) Michele Grimaldi ^(b), Pietro Battistoni ^(c),
Simone Mancini ^(d), Maria De Carlini ^(e)

^(a) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), msebillo@unisa.it,

^(b) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), migrimaldi@unisa.it

^(c) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), pbattistoni@unisa.it

^(d) Eurisco Consulting, Viale degli Artisti, 9 Torre del Greco (NA)
simone.mancini@euriscoconsulting.com

^(e) Eurisco Consulting, Viale degli Artisti, 9 Torre del Greco (NA)
maria.decarlini@euriscoconsulting.com

Abstract

Il presente contributo sintetizza i contenuti del progetto finanziato nell'ambito del Fondo FESR POR CAMPANIA: Innovazione e trasferimento tecnologico: sostegno alle imprese campane nella realizzazione di studi di fattibilità (Fase 1) e progetti (Fase 2) coerenti con la RIS3 – BURC n. 36 del 21/05/2018. Esso ha come obiettivo fornire servizi di real time warning, alert e indoor navigation in condizioni di emergenza ed in fase di training in attuazione del Piano di Emergenza ed Evacuazione (PEE), allo scopo di incrementare lo standard di sicurezza delle strutture complesse e di conseguenza, la sicurezza per gli utenti. Il progetto propone la realizzazione di una multiplatforma per l'erogazione di servizi location based e di navigation per diverse tipologie di utenti e fruitori di infrastrutture di trasporto marittimo e terrestre, tramite l'interazione con oggetti intelligenti. In particolare, il progetto intende fornire un sistema di indoor location e mobility, accessibile con dispositivi multiplatforma (WebApp, App, Progressive Web App) anche da parte di utenti finali per l'addestramento ad una situazione di crisi, in attuazione del PEE. La fase di sperimentazione prevede l'utilizzo del sistema all'interno di una struttura navale, rappresentativa del massimo grado di complessità delle strutture.

Introduzione

I processi di evacuazione in contesti emergenziali di strutture complesse come stazioni, aeroporti, centri commerciali, stadi e navi, presentano notevoli criticità. In particolare i sistemi navali risultano essere la massima espressione di tali strutture. Infatti le navi si caratterizzano per avere spazi complessi

caratterizzati da ostacoli, deviazioni, luoghi confinati che, in condizione di reale emergenza, rendono l'evacuazione problematica per diversi ordini di motivi come:

- difficoltà nel raggiungere i punti di raccolta da parte dei passeggeri durante l'emergenza;
- difficoltà nell'effettuare le procedure di evacuazione da bordo in sicurezza;
- Gestione di grandi flussi e numeri di persone da parte di un esiguo numero di persone di equipaggio.

Un PEE, in generale, viene progettato sulla base di scenari incidentali valutati credibili e che si immagina evolvano secondo determinate sequenze.

Tuttavia una strategia d'esodo troppo definita può rivelarsi poco flessibile se non addirittura controproducente nella realtà. D'altra parte, è evidente che la possibilità di contenere al massimo le conseguenze di un dato incidente è tanto maggiore quanto minore è il grado di improvvisazione da fronteggiare all'atto dell'emergenza.

Le principali cause dei problemi occorsi durante le manovre di abbandono nave possono essere ricondotte alla mancanza di addestramento e scarsa conoscenza della nave da parte dei passeggeri. Anche in condizioni ordinarie orientarsi a bordo non è immediato ed il «gigantismo» delle navi da crociera non agevola i neo imbarcati. Emerge la necessità di effettuare addestramento ed indottrinamento dei passeggeri.

Il progetto propone per superare le criticità sopra evidenziate, la realizzazione di una multiplatforma per l'erogazione di servizi location based e di navigation per diverse tipologie di utenti e fruitori di infrastrutture di trasporto marittimo e terrestre, tramite l'interazione con oggetti intelligenti.

In particolare, il progetto ha i seguenti obiettivi:

- fornire servizi di real time warning, alert e indoor navigation in condizioni di emergenza ed in fase di training (attuazione del PEE – Piano di Emergenza ed Evacuazione) allo scopo di incrementare lo standard di sicurezza di strutture complesse come infrastrutture di trasporto marittimo e terrestre e, di conseguenza, la sicurezza per gli utenti;
- mettere a disposizione di utenti esperti e/o decisori uno strumento di situational awareness che permette di migliorare la percezione degli elementi nell'ambiente, la comprensione della situazione e la proiezione dello stato futuro attraverso il monitoraggio e il tracciamento dei dati di mobilità indoor, nello specifico valutare le azioni da intraprendere in relazione al monitoraggio dei flussi in condizioni di emergenza, di training e ordinarie.

Metodologia

L'obiettivo principale è quello della salvaguardia dell'incolumità delle persone che potrebbero rimanere coinvolte dall'emergenza.

I tempi di sfollamento devono ovviamente essere inferiori al tempo che L'EVENTO impiega per esplicare i suoi effetti dannosi.

Sono identificabili quattro diverse circostanze e quattro tipologie di evacuazione a seconda del momento in cui si verifica l'emergenza e la durata dell'allontanamento delle persone indicate nella figura 1.

Ogni evacuazione a sua volta può essere di tipo: *Orizzontale* cioè avvenire nello stesso piano/livello, *Verticale* cioè comportare uno spostamento su piani/livelli diversi o all'esterno dell'edificio.

Momento dell'evacuazione	Durata breve	Durata lunga
Prima dell'evento	1 – di tipo preventivo	2 – di tipo protettivo
Dopo l'evento	3 – soccorso d'urgenza	4 – in funzione del tempo necessario al recupero dell'agibilità

Figura 1 – tipologie di evacuazione

La metodologia alla base del progetto si articola in due macrofasi:

- Individuazione della condizione limite di emergenza per strutture complesse;
- Costruzione di una multiplatforma per l'erogazione di servizi location based e di navigation.

La prima, tiene conto dell'influenza dei parametri strutturali che condizionano l'evacuazione, mentre la seconda, dei parametri comportamentali funzione essi stessi dei primi.

L'osservazione di alcuni eventi infatti, ha dimostrato che il comportamento delle persone durante un'evacuazione è influenzato da un notevole numero di parametri, quali, ad esempio il grado di conoscenza del luogo da cui si deve uscire, le caratteristiche dell'edificio, ma anche altri parametri meno immediati (Hadas, 2010). È stato osservato, per esempio, che uomini e donne non si comportano nello stesso modo durante un'emergenza.

Macrofase 1

Le caratteristiche della struttura, intese soprattutto come caratteristiche di progetto (larghezza e numero di uscite, di scale, ecc.) e dei sistemi di allertamento e segnalamento delle vie di fuga, condizionano il grado di dettaglio e le modalità con cui viene redatto un PPE, determinando notevoli ripercussioni sulla sua efficacia. L'ipotesi, attesa la complessità della struttura in esame, è quella di mutuare l'analisi della condizione limite di emergenza (CLE) definita per un sistema urbano per la gestione del rischio sismico ad una struttura complessa (Bramerini, 2014). LA CLE è intesa come quella condizione per cui, a seguito di un evento sismico, l'insediamento urbano nel suo complesso subisce danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione di quasi tutte le funzioni urbane presenti, compresa la residenza. L'insediamento

urbano conserva comunque la funzionalità della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza e la loro connessione ed accessibilità rispetto al contesto territoriale. In questo modo si identificano i percorsi e luoghi di raccolta oltre agli elementi fragili della struttura navale che possono incidere sulle procedure di gestione dell'emergenza.

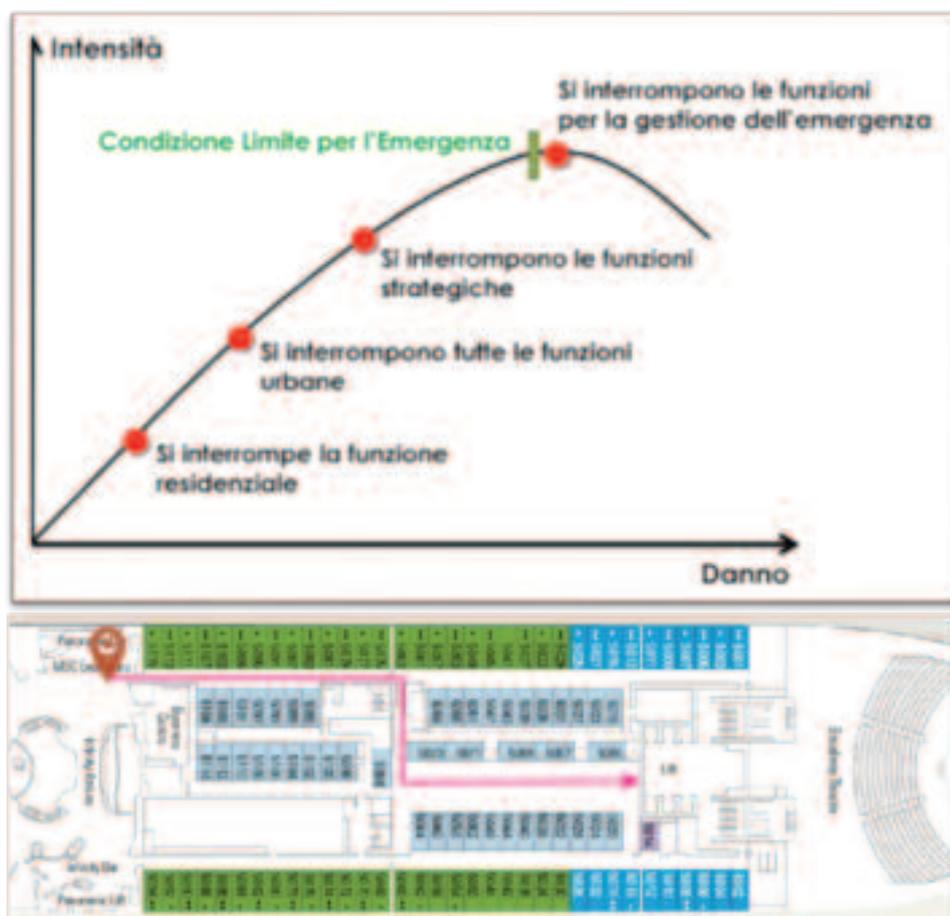


Figura 2 – condizione limite di emergenza per la struttura navale

Macrofase 2

Premessa a tale macrofase è che il grado d'informazione e di familiarità degli occupanti è un fattore che condiziona in modo sensibile il tempo di evacuazione e le modalità comportamentali in caso di emergenza. Inoltre la condizione del singolo occupante è da considerarsi una variabile importante poiché una persona sola o in gruppo, un frequentatore abituale o un semplice visitatore hanno comportamenti diversi di fronte ad un'emergenza.

Nello specifico tale macrofase consiste nello sviluppo di una piattaforma che a partire dalla definizione della condizione limite di emergenza della struttura complessa, mette a disposizione degli utenti finali un insieme di servizi basati sulla posizione inglobati in un sistema di indoor location e mobility, accessibili con dispositivi multiplatforma (WebApp, App, Progressive Web App).

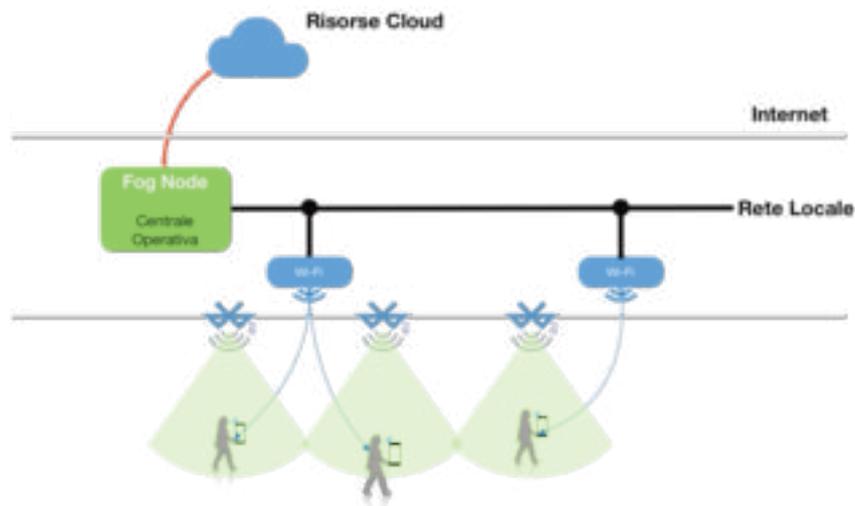


Figura 3 – Architettura della Piattaforma

La soluzione rappresentata in Figura 3 si basa su tecniche di localizzazione di prossimità e processi distribuiti [3, 4]. Una serie di radiofari (Beacons) con protocollo Bluetooth Low Energy (BLE), posizionati opportunamente, potranno essere rilevati da un'applicazione mobile. Tale applicazione, conoscendo la posizione del Beacon, riesce a determinare la propria, inviandola al centro operativo remoto ed utilizzandola localmente per il calcolo del percorso migliore. La connessione remota è stabilita tramite Rete Locale Wireless (Wi-Fi), la quale comunque non è indispensabile per il supporto alla navigazione. Quest'ultima caratteristica è fondamentale quando si considera che in caso d'incidente e conseguente evacuazione, la connettività locale non può essere garantita. Qualora, invece, la connessione Wi-Fi fosse presente, la raccolta remota delle posizioni di tutti i dispositivi utilizzati dai passeggeri durante l'evacuazione, consentirebbe alla centrale operativa il monitoraggio completo dell'evacuazione e anche la modifica dinamica, in tempo reale, delle vie di fuga.

Discussione e Conclusioni

La fase di sperimentazione prevede l'utilizzo del sistema all'interno di una struttura navale, rappresentativa del massimo grado di complessità delle strutture.

Tale fase si rende necessaria attese le criticità che possono influenzare l'esito del lavoro. Basti pensare che la presenza di strutture in acciaio (materiale ferromagnetico), la presenza in spazi ristretti di apparecchiature elettromagnetiche o la presenza di spazi molto ampi come la sala ristoro, può determinare dei constraints tali da «peculiarizzare» il problema dell'indoor navigation.

La sperimentazione avverrà su due tipologie di strutture navali, una di piccole dimensione ed una per crociere. In questo modo si cercherà di prevedere soluzioni alle criticità su indicate.

Riferimenti bibliografici

Hadas Y et.al (2010) " Network Design Model with Evacuation Constraints" in Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ, November 2010.

Bramerini F et.al. (2014) "Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano Versione 1.0, Protezione Civile, Roma.

Battistoni P., Sebillo M. Vitiello G. (2019) "Experimenting with a Fog-computing Architecture for Indoor Navigation,"Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), Rome, Italy, 2019, pp. 161-165.

doi: 10.1109/FMEC.2019.8795307

Battistoni P., Sebillo M. Vitiello G. (2019) "Computation offloading with MQTT protocol on a Fog-Mist Computing Framework" The 12th International Conference on Internet and Distributed Computing Systems, Naples, Italy, 2019. In Stampa.

L'Osservatorio sul Fenomeno della Violenza sulle Donne (OFVD). Fare Crime Mapping in Regione Campania

Monica Sebillo ^(a) Michele Grimaldi ^(b), Giuliana Vitiello ^(c),
Antonio De Piano ^(d), Vincenzo Bevilacqua ^(e)

^(a) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), msebillo@unisa.it,

^(b) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), migrimaldi@unisa.it

^(c) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), gvitiello@unisa.it

^(d) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), a.depiano@studenti.unisa.it

^(e) Università di Salerno, Via Giovanni Paolo II Fisciano (SA), v.bevilacqua@studenti.unisa.it

Introduzione

La violenza sulle donne è un fenomeno molto diffuso. In Italia riguarda quasi un terzo della popolazione femminile, ma le denunce sono troppo poche. Oltre a riempire ogni giorno le pagine di cronaca nera, la violenza sulle donne è un fenomeno ampio e complesso, drammaticamente diffuso ancora a ogni latitudine. Lo affermano i numeri raccolti da diversi organismi nazionali e internazionali, che tracciano una tendenza chiara, in Italia come all'estero. Secondo l'ultimo rapporto Istat sulla violenza sulle donne (pubblicato nel 2016), il 31,5% delle italiane di età compresa tra i 16 e i 70 anni ha subito una qualche forma di violenza fisica o sessuale nel corso della propria vita. Stiamo parlando di 6 milioni e 788mila donne, che dichiarano di essere state sottoposte, almeno una volta nella vita, a maltrattamenti fisici o abusi sessuali. Il 16,1% delle donne italiane, secondo lo stesso rapporto, è stato invece vittima di *stalking*, spesso da parte di un ex partner. Le conseguenze di queste violenze a breve e lungo termine non si limitano alle lesioni patite, ma anche a stati di depressione, dipendenza da sostanze stupefacenti, alcol e suicidi. Quanto ai *femminicidi*, ovvero gli omicidi di donne ammazzate, dal 2006 al 2016 sono stati registrati in Italia 1.740 casi, dei quali il 67,6% ad opera del partner e il 26,5% per mano di un ex compagno. Negli ultimi anni, sempre secondo l'Istat, si è registrato un lieve ma costante calo del fenomeno: nel 2016, in particolare, le vittime di *femminicidio* sono state 116, contro le 128 dell'anno precedente (meno 3,3 per cento su base annua). Tali statistiche, rendono necessario l'uso di uno strumento che consenta di monitorare il fenomeno.

Attualmente non esiste nessuno strumento per la digitalizzazione delle informazioni relative al fenomeno della violenza sulle donne. Tali dati vengono trascritti manualmente con un forte dispendio di risorse a scapito dell'accuratezza dell'informazione.

Obiettivo

Il sistema OFVD proposto, oggetto di una convenzione tra il dipartimento di Informatica dell'Università di Salerno e la Regione Campania, ha come scopo

principale quello di realizzare il monitoraggio del fenomeno della violenza sulle donne in regione Campania.

Si intende realizzare un sistema software di alta qualità, al fine di poter essere utilizzato e mantenuto senza troppe difficoltà. Esso consente la digitalizzazione guidata delle informazioni grazie ad un'interfaccia user-friendly che rende l'interazione dell'utente con il sistema facile ed immediata.

Risultati attesi

La messa a regime del sistema consentirà un più efficace utilizzo del *percorso rosa*, ovvero del codice di pronto soccorso che si attiva quando una donna arriva in Pronto Soccorso e rivela di aver subito una violenza o mostra segni indiretti di questa violenza.

Inoltre l'archiviazione in uno *spatial geodatabase* consente di spazializzare il fenomeno ed indagare, secondo un *crime mapping approach*, l'occorrenza spaziale del fenomeno e la correlazione a fattori ambientali e di contesto, per poter supportare idonee azioni di prevenzione.

Earth Observation e dati Sentinel per il monitoraggio dello sviluppo urbano nella Regione del Veneto

Andrea Semenzato ^(a), Silvano De Zorzi ^(a), *Umberto Trivelloni ^(a), Carlo Masetto ^(a), Alberto Grava ^(a), Fiorella Coco ^(a)

^(a) Regione del Veneto, U.O. Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia, Calle Priuli, Cannaregio 99 - 30121 Venezia,

*umberto.trivelloni@regione.veneto.it, tel. 0412792483, cell. 3476499785.

1. Introduzione

Tra i principali strumenti utilizzati per la mappatura ed il monitoraggio dell'ambiente urbano per la pianificazione del territorio, il telerilevamento rappresenta un metodo efficace per l'estrazione automatica (o semi-automatica) di dati riferiti alla copertura del suolo. In questo lavoro, affrontando in particolare alcune vaste aree campione all'interno della Regione del Veneto, si sono analizzati i dati telerilevati provenienti dalle missioni Sentinel 1 e 2 per estrarre la percentuale di area urbanizzata rispetto a quella non urbanizzata, comprensiva quindi della superficie occupata da edificato ed infrastrutture (*urban footprint*).

2. Sentinel-2

Tra i vari approcci utilizzati per estrarre l'*urban footprint* da immagini ottiche del Sentinel-2 vi sono:

- l'*Object-Based Image Analysis* (OBIA), che sfrutta algoritmi di *machine learning* per il riconoscimento automatico di "forme" e "aggregati" di pixel (piuttosto che considerare esclusivamente le loro caratteristiche spettrali);
- l'utilizzo di indici spettrali specifici per la mappatura di aree urbanizzate, tra cui NDBI (*Normalized-Difference Built-up Index*) ottenuto sfruttando le bande dell'infrarosso (NIR e SWIR), BUI (*Built-up Index*), ottenuto sfruttando l'indice di vegetazione NDVI;
- l'utilizzo di algoritmi di *machine learning* per la classificazione supervisionata delle immagini, tra cui il *Maximum Likelihood*, eseguiti in seguito alla digitalizzazione di *training sites* (ROIs), preventivamente classificate.

Tuttavia i risultati ottenuti evidenziano alcune problematiche comuni riscontrate nelle immagini ottiche del Sentinel-2 legate soprattutto alla limitata risoluzione spettrale e spaziale di queste ultime per elaborazioni di questo tipo; ad esempio si verifica un'errata classificazione di suolo nudo non vegetato come territorio urbanizzato. In particolare la classificazione è stata confrontata con la Carta di Copertura del Suolo (CCS) della Regione del Veneto, opportunamente pre-processata: i risultati dalle immagini Sentinel-2 mostrano valori di *urban footprint* che si discostano del 10% rispetto a quelli ottenuti dalla CCS nella stessa area di studio, dunque non si possono ritenere positivi.

3. Sentinel-1

Successivamente, si sono testate le immagini derivate dal Radar ad Apertura Sintetica (SAR) del Sentinel-1. Il segnale di ritorno di questo strumento (*backscattered*) risulta particolarmente intenso per le superfici urbanizzate, che per via delle loro strutture verticali e regolari agiscono come *corner reflector*, producendo riflessioni multiple. Oltre a ciò, considerando più immagini SAR, è possibile derivare immagini di coerenza interferometrica (InSAR) in grado di enfatizzare quelle aree caratterizzate da una costante intensità ed alta coerenza di fase del segnale, cioè quelle meno condizionate da variazioni di forma delle strutture, variazioni stagionali, fisiche e ambientali in generale, nonché le aree urbanizzate per l'appunto. Inoltre, considerando una serie temporale di immagini più ampia, è possibile migliorarne ulteriormente l'accuratezza.

Applicando quindi algoritmi di classificazione supervisionata (*Maximum Likelihood* e *Random Forest*) alle serie multi-temporali di immagini di coerenza, utilizzando le stesse ROI utilizzate in precedenza per il Sentinel-2, si ottengono accuratissime sorprendentemente maggiori rispetto alle immagini ottiche, con valori superiori all'85% in *overall accuracy* e soprattutto scarti inferiori al 2% per i valori di *urban footprint* ottenuti rispetto alla CCS.

Si sono ripetute, quindi, le stesse analisi su varie aree test nelle province di Venezia, Padova e Verona, a scale comunali e regionali, considerando anche aree montane, ed ottenendo gli stessi risultati di accuratezza.

Infine, sulle stesse aree test si è tentato un approccio completamente automatico, tramite l'utilizzo dell'algoritmo di classificazione non supervisionata *K-means*, dimostratosi in grado di distinguere automaticamente (senza dover digitalizzare alcuna ROI) le aree urbanizzate, come detto caratterizzate da un segnale radar ben distinto. I risultati offrono accuratissime talvolta superiori al 90%, con scarti inferiori anche all'1% in termini di *urban footprint* rispetto ai valori della CCS.

4. Conclusioni e future work

I risultati ottenuti in questo progetto dimostrano un'efficace affidabilità dei sistemi satellitari nella mappatura e nel monitoraggio dell'ambiente urbano. Inoltre, lo sviluppo tecnologico di tali strumenti, in grado di produrre un costante aumento della disponibilità di dati ed un incremento delle risoluzioni geometriche e spettrali, contribuirà a fornire dei prodotti sempre più accurati, derivati da dati disponibili gratuitamente, con copertura globale ed infine ottenibili tramite procedure completamente automatiche (o semi-automatiche). Di conseguenza, inserendosi nel contesto di Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (in particolare all'interno del Goal 11 - Città e Comunità Sostenibili), l'identificazione di un indicatore come l'*urban footprint* fornisce un importante supporto per la comprensione della distribuzione spaziale e dello sviluppo nel tempo delle aree urbane. Questi elementi sono essenziali per una adeguata gestione delle risorse e sono in grado di fornire un efficace supporto ai processi decisionali, in favore di una pianificazione territoriale sostenibile.

Modello dinamico per lo smart waste urbano: l'esperienza di Delft

Alessandro Seravalli ^(a), Ines de Palma ^(a)

^(a) GeoSmart Lab/Sis.Ter srl, Via Emilia 69 Imola (BO), 05423611550, sister@sis-ter.it

Abstract

Ad oggi, i livelli di produzione di rifiuti solidi urbani sono aumentati significativamente in conseguenza di urbanizzazione, crescita demografica e cambiamenti di stili di vita. La pratica di "gestione del rifiuto" (*Waste Management*) assume, quindi, un ruolo cruciale. Entro tale panorama si contestualizza il lavoro di ricerca nell'ambito del progetto SCIFI (*Smart Cities Innovation Framework Implementation*) che ha coinvolto quattro città dell'area: Mechelen (B), Bruges (B), Delft (NL) e Saint-Quentin (F) e ha previsto l'elaborazione e la validazione di un DSS (*Decisional Support System*) per i rifiuti da cestini di arredo urbano nella città olandese di Delft.

La città, nella sua complessità, è sempre più viva e generatrice di informazioni attraverso le innumerevoli applicazioni e servizi che quotidianamente, in ogni istante, acquisiscono dati e li elaborano in maniera più o meno complessa per erogare servizi. L'insieme di queste informazioni è spesso sottoutilizzata e generano rumore, ovvero informazioni inutili. L'inutilità è spesso data dall'incapacità di trattare informazioni eterogenee portandole ad una sintesi globale. Attraverso la costruzione di un elemento aggregatore quale il *grid*, già sperimentato in più occasioni relativamente a diverse analisi di fenomeni urbani tra i quali l'obsolescenza urbana per la città di Bologna (Seravalli, 2018) o lo studio sulle città effettive per la Regione Emilia Romagna (Seravalli, 2018), il progetto ha cercato di costruire un sistema dinamico che possa fornire indicazione/consiglio sulla frequenza media di svuotamento nella settimana dei cestini distribuiti nella città di Delft.

Finalità e Metodologia

L'obiettivo del progetto è identificare quali aree sono potenzialmente più soggette ad un utilizzo intensivo dei cestini di raccolta distribuiti nella città in base sia alla concentrazione demografica che alle caratteristiche morfologiche e di utilizzo della città di Delft. L'adozione del grigliato come struttura a cui riferire le diverse informazioni e come copertura di monitoraggio deriva dalla necessità di garantire un approccio omogeneo, strutturato e scalabile. La città può essere vista come un organismo complesso costituito da fenomeni, relazioni, eventi, economie, flussi, relazioni, tutte fra loro interconnesse. L'abbinamento di sequenze di elaborazioni tramite operatori elementari generano quella che Tomlin nel 1992 definì la Map Algebra (Seravalli, 2011). L'adozione del grigliato Eurostat del kmq costituisce una maglia regolare utile ai fini della rappresentazione geostatistica: le celle hanno la stessa dimensione

e possono essere facilmente paragonate fra loro, le griglie sono stabili nel tempo, i dati all'interno delle griglie si integrano facilmente, la griglia stessa può essere suddivisa in sottounità o in sovraunità a prescindere dalle suddivisioni gerarchiche delle unità amministrative.

Su questa struttura virtuale che ricorda la logica del reticolo geografico è stata portata avanti l'acquisizione e la georeferenziazione dei dati reperibili on-line e forniti dai partners olandesi al fine di implementare una serie di coperture relative agli spazi verdi, alla nettezza urbana, ai servizi, del tessuto edilizio e in generale alla fruizione dello spazio urbano della città di Delft.

I dati selezionati sono stati elaborati in indicatori normalizzati su scala 1:100 riferibili a tre macro categorie di indicatori (Turismo, Edifici o Aree ad uso pubblico, Grado di eterogeneità urbana) associati ad una griglia basata sul sottomodulo Eurostat avente per base un quadrato 500 m x 500 m. A questi indicatori è stato assegnato un peso e una relazione algebrica positiva o negativa in funzione dell'impatto ottenendo l'indicatore sintetico finale.

In base al metodo di analisi descritto, una volta calcolata la sommatoria, è stato possibile rappresentare con una cartografia tematica l'indice potenziale di stress dei punti di raccolta perfezionati anche grazie alla distribuzione dei sensori e quindi alla definizione di campionamenti certi di rilevazione che hanno permesso di ottimizzare il modello. Il primo output grafico consiste in una cartografia tematizzata con una apposita gradazione che indica le zone della città con maggiori criticità, quelle stabili e quelle "virtuose".

Dati e Indicatori

I dati utilizzati sono molteplici e resi disponibili dalla municipalità della città (ad es., posizionamento cestini, demografia, attività, spazi verdi o di aggregazione, ecc.) o da essi da noi derivati (tessuto edilizio, mix funzionale, segmentazione della rete viaria) o comunicati dagli *stakeholders* (ad es., attività di raccolta e abitudini lavorative). Attraverso la correlazione di queste informazioni a dati di natura demografica e statistica è stato possibile condurre un'analisi multilivello ed elaborare la matrice di sintesi volta all'individuazione delle aree di maggiore stress della città di Delft

Nel dettaglio, secondo la classificazione adottata l'analisi ha riguardato:

1. Turismo, comprende gli attrattori turistici (musei, monumenti, ecc.) eventi, strutture ricettive e continuità delle attività commerciali.
2. Edifici o aree ad uso pubblico, comprende i luoghi con funzione pubblica indoor e outdoor come parchi, sport, scuole, edifici pubblici (*meeting function*) fermate bus e tram, panchine, tavoli da picnic. I luoghi pubblici sono analizzati in funzione della popolazione presente nell'intorno.
3. Grado di eterogeneità urbana, comprende due analisi: *mix* funzionale delle funzioni urbane e scorrimento viario e ciclabile. Per quanto riguarda la prima si intende indagare la composizione delle funzioni strutturali della città, identificate in commerciale, residenziale e terziario (uffici); un *mix* equilibrato delle componenti comporta una fruizione differente della città rispetto ad aree meno eterogenee. Per quanto riguarda invece l'analisi dello scorrimento viario e ciclabile, lo scopo è quello di

evidenziare quei luoghi dove sussiste una maggiore interruzione del movimento e quindi una più probabile concentrazione di persone.

Adottando un opportuno sistema di pesatura e di sommatoria di impatti, è stato possibile ottenere un indicatore finale sintetico. Esso è rappresentato in una cartografia tematica (grigliato statico). L'attività di monitoraggio *real time* con sensori *smart waste* invece, ha previsto uno schema di 15 cestini campione per la validazione e l'avviamento dell'attività di ottimizzazione raccolta e controllo in tempo reale. Il grigliato quindi si è evoluto in un sistema dinamico e rimodulabile, da un lato si è ottenuta una cartografia tematica con gradazione delle zone critiche, stabili o virtuose; dall'altro un grigliato dinamico utilizzabile dalla governance della città per identificare situazioni di stress rispetto ai rifiuti; si tratta quindi di un cruscotto (Dashboard) di gestione con tool di ottimizzazione percorsi di raccolta, interfacciamento con notifiche da cittadini e previsioni. Quest'ultimo è una soluzione potenzialmente replicabile e integrabile anche in altri contesti.

A tal fine per individuare le celle con caratteristiche simili a quelle monitorate e quindi assegnare i valori dei sensori. è stato implementato un margine di scostamento massimo e assegnati i valori dei sensori delle celle monitorate a quelle che più si avvicinano alle caratteristiche descritte consentendo di verificare più condizioni, in cui tutte le condizioni devono essere vere o false e costituendo un rapporto tra indicatore delle celle e il valore della cella campionata.

SE(E(Una condizione è vera; Un'altra condizione è vera); Valore se Vero;
Valore se Falso)

Con valori

Opzione 1 SE(E(AE3<=1,05;AE3>=0,95);"1";"0") quindi con la tolleranza di +/- 0,05

Opzione 2 SE(E(AE3<=1,1;AE3>=0,9);"1";"0") quindi con la tolleranza di +/- 0,1

Le celle al cui interno non sono presenti cestini non sono state prese in considerazione nell'elaborazione, mentre si è presa in considerazione una tolleranza di +/-10% per l'omogeneizzazione delle celle congrue.

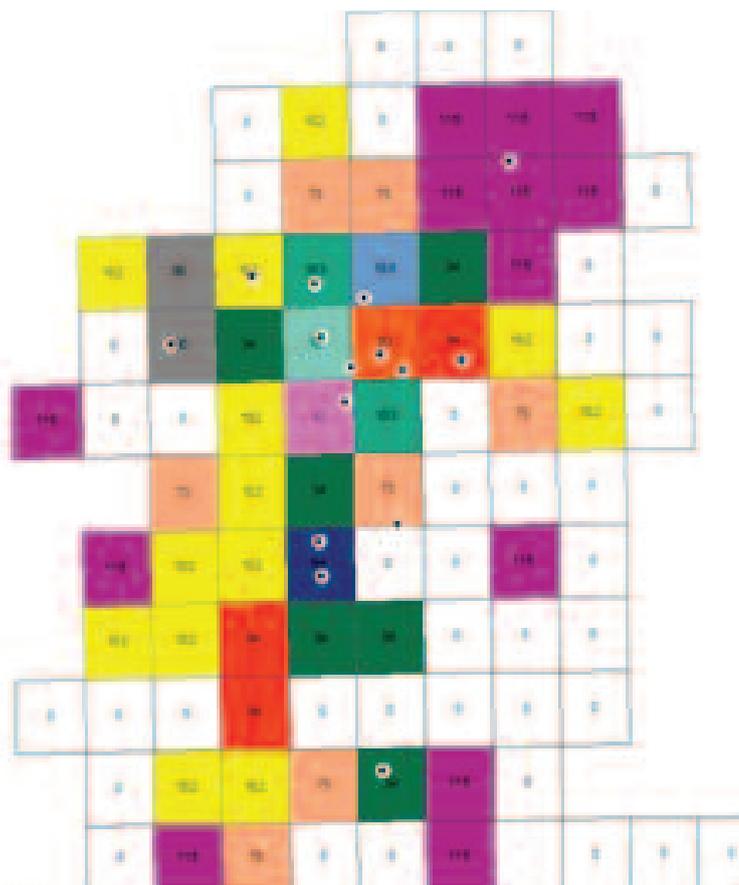


Figura 1 Simulazione celle omogenee (numero cella valore di riferimento) tolleranza $\pm 10\%$ su indicatore complessivo

Per capire se lo svuotamento è coerente con il massimo ingombro sono state individuate le seguenti variabili:

- Frequenza dello svuotamento che coincide con la massima distanza rilevata dal sensore [Fs] e con il livello più basso del filling level [FI]
- Valore medio di massimo ingombro precedente allo svuotamento [Mi]. Tale valore è assunto come variabile di stato del modello ed è variabile nel tempo
- L'arco temporale di riferimento iniziale per la configurazione del modello è il mese, valutare poi se riferirsi alla settimana o al giorno. [t]

Ottenuti i valori medi dei sensori per le due tipologie dei cestini si sono analizzate le celle interessate dalla presenza dei sensori gestendo alcune casistiche di affinamento (ad esempio casi di più sensori monitorati nella stessa cella) attraverso il monitoraggio e l'assunzione del valore più critico.

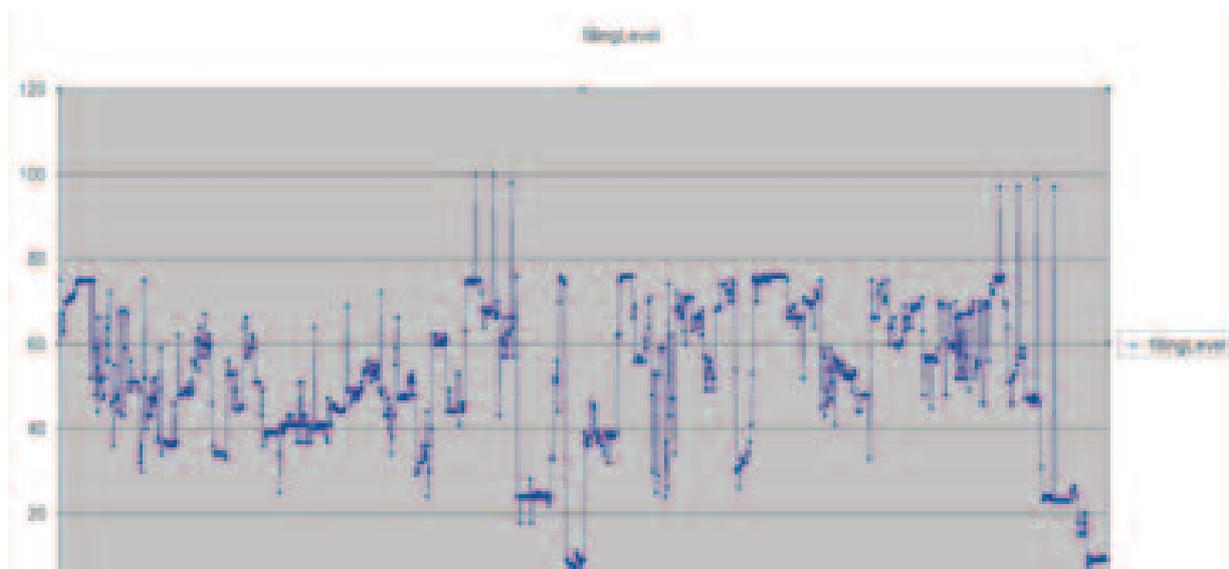


Figura 2 Comparazione periodo 16.05 – 13.06 due sensori nella stessa cella n. 64

Fattore incrementale e Dashboard

Nel caso di eventi nel periodo dell'anno, localizzati nella città, sono stati previsti fattori moltiplicatori in funzione dell'area e dell'evento come $1+V/V_{totale}$ (visitatore zona mese/ visitatori totali). Che per mese e per zona equivalgono a

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1104	1,00	1,10	1,00	1,12	1,03	1,04	1,00	1,20	1,16	1,01	1,00	1,20
1402	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1103	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2805	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2807	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2804	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02
1102	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Figura 3 Esempio calcolo fattore incrementale eventi

Le celle intermedie non associate assumeranno un valore mediano fra i valori delle celle confinanti, oppure a monte è fissato per essere un fattore di riduzione proporzionale alle mediane dei valori confinanti.

Questo modello è stato implementato in un cruscotto (Dashboard) di gestione con tool di ottimizzazione dei percorsi di raccolta, interfacciamento con le notifiche dei cittadini e previsioni riguardanti il posizionamento delle dotazioni; soluzione potenzialmente replicabile e facilmente integrabile in altri contesti grazie allo sviluppo della soluzione che conta sulla potente struttura di data modelling della piattaforma di sviluppo *open source* FIWARE.

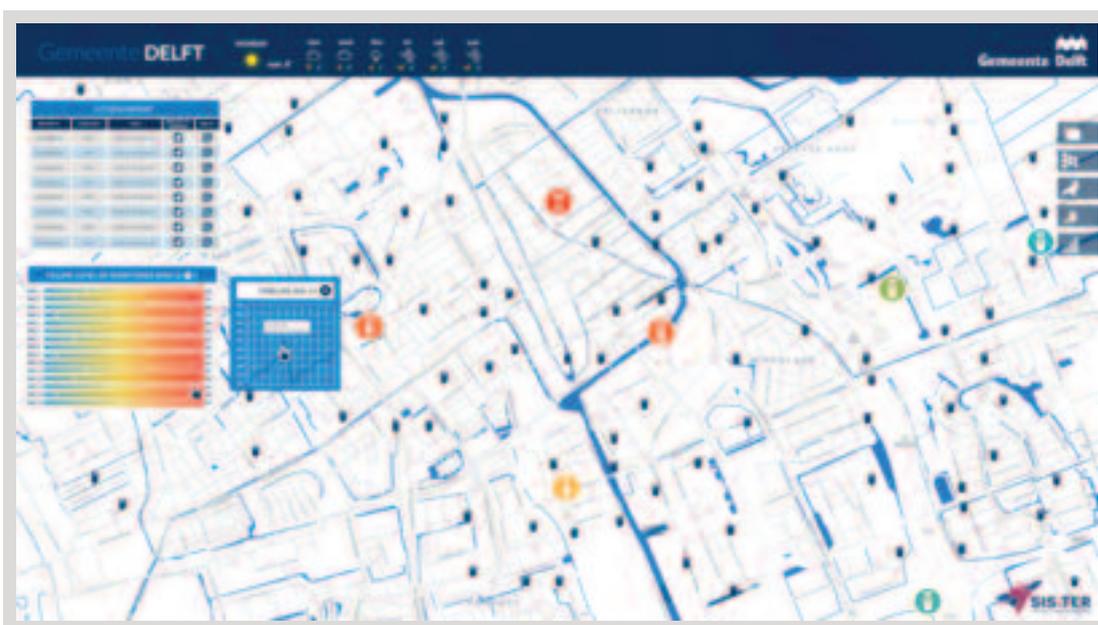


Figura 4 Dashboard finale

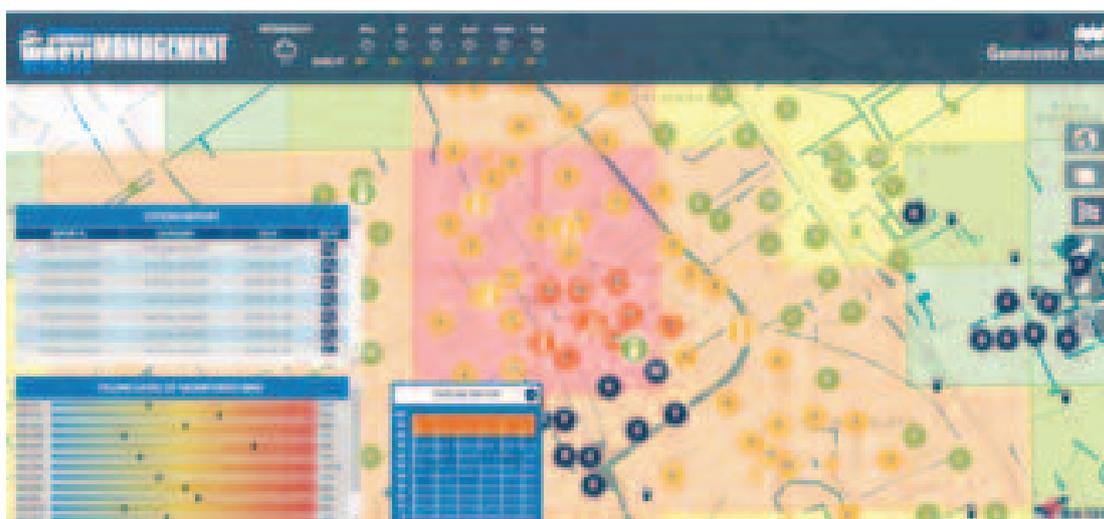


Figura 5 Dashboard finale vista con grigliato e clusterizzazione cestini

Riferimenti bibliografici

Seravalli A. (2018), "Taxonomic model for visualization and monitoring of actual liquid cities", *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, atti 10th International Conference of Innovation in Urban and Regional Planning INPUT, in pubblicazione

Seravalli A. (2018) "Urban Data per monitorare l'obsolescenza urbana – turismo e commercio nei centri storici", in *Rapporto sulle città il governo debole delle economie urbane*, Edizioni Urban@it Working Papers 2/2018

Seravalli A. (2018), "Strumento a supporto delle decisioni per la governance dell'obsolescenza urbana" in, *Atti della XX Conferenza Nazionale SIU 2017. Urbanistica e/è azione pubblica. La responsabilità della proposta*, Planum Publisher, Roma-Milano, 946-955

Seravalli A. (2011), *GIS Teorie e Applicazioni*, La Mandragora Edizioni, Imola

Stable

STructural stABiLity risk assEssment

Matteo Serpetti, Alessio Di Iorio (a)

(a) ALMA SISTEMI s.r.l, Via della tenuta del Cavaliere n.1, Building "B" 2nd Floor, 00012 GUIDONIA, Roma, Tel. +39 0774 016871, Fax: +39 0774 1920603, Mobile: +39 339 7814760, +39 335 6317013, Mail: mse@alma-sistemi.com , adi@alma-sistemi.com

All'interno del progetto STABLE (*STructural stABiLity risk assEssment*, 2018-2022), finanziato dalla Commissione Europea nella cornice *Horizon2020*, MSCA (*Marie Sklodowska Curie Actions*) RISE (*Research and Innovation Staff Exchange*) (*grant agreement* n. 823966), è in corso di sviluppo la progettazione di una piattaforma digitale, che combina modelli di stabilità strutturale, strumenti di simulazione per la valutazione del danno, telerilevamento avanzato e tecnologie di monitoraggio *in situ*.

Nel progetto verrà stilato un programma che permetterà di coordinare le diverse competenze esistenti e gli sforzi di ricerca dei vari *partners* partecipanti in modo sinergico, con un piano di collaborazioni e scambi di personale per offrire un trasferimento completo di conoscenze e formazione per i ricercatori nell'area specifica.

Per il progetto STABLE sono stati scelti alcuni casi esempio emblematici individuati in territorio italiano ma anche in Grecia e a Cipro. In Italia è stato proposto il centro storico della città di Rieti (RI), interessato dal recente sciame sismico che ha interessato l'intero centro della penisola. Come caso greco sono stati scelti il centro di *Nafplion* (Peloponneso) e il sito di *Lavrion* (Attica), mentre a Cipro una zona circoscritta del centro di *Strovolos* presso Nicosia.

Il tutto verrà integrato da dati interferometrici raccolti da immagini satellitari SAR atti a monitorare ed a verificare i modelli strutturali dei singoli edifici, degli agglomerati urbani o dei centri storici e creare così una carta di deformazione delle strutture. Ma allo stesso tempo, tali dati, saranno utili per la creazione di modelli di deformazione del terreno, i quali sono fondamentali, coadiuvati da dati di carattere geologico raccolti con ricognizioni ed indagini sul campo, a comporre modelli geologici e geotecnici molto precisi.

Per ottenere carte di deformazione sismica del terreno si integreranno vari dati di "scenario sismico" che hanno permesso di giungere allo ad uno studio di microzonazione e di spettri di risposta del suolo. Questo passaggio è fondamentale per una più precisa carta di deformazione delle strutture che può permettere di produrre carte della vulnerabilità strutturale e carte dei danni.

Tutto il materiale prodotto e acquisito confluirà in un database e in una piattaforma GIS allo scopo di poter tradurre la mole dei dati raccolti (carte catastali, DEM, carte di vulnerabilità, ecc...) in una carta del rischio sismico, utile a salvaguardare il nostro patrimonio culturale situato su aree a grande rischio sismico.

Per rendere i risultati consultabili, la divulgazione sarà affidata ad una piattaforma WEBGIS, a riviste scientifiche ed a specifici eventi di settore.

L'introduzione della costellazione Galileo nelle reti GNSS: quali vantaggi?

Gian Bartolomeo Siletto ^(a), Piera Belotti ^(b), Monica Segré ^(b),
Marzio Pipino ^(c), Mattia De Agostino ^(c)

^(a) Regione Piemonte, Direzione Ambiente, Governo e Tutela del territorio -
Settore Sistema Informativo Territoriale Ambientale, Corso Bolzano 44, Torino,
gianbartolomeo.siletto@regione.piemonte.it

^(b) Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio e Protezione Civile, Struttura Sistema
Informativo Territoriale Integrato, Piazza Città di Lombardia 1, Milano,
(piera_belotti, monica_segre)@regione.lombardia.it

^(c) CSI-Piemonte, Corso Unione Sovietica 216, Torino,
(marzio.pipino, mattia.deagostino)@csi.it

Il sistema satellitare Galileo: architettura e stato dell'arte

Galileo è il sistema satellitare di navigazione globale (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) europeo, sviluppato per fornire la posizione, la navigazione e informazioni sul tempo agli utenti di tutto il mondo. A differenza di altri sistemi GNSS, Galileo è gestito da un ente civile, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), ed è stato progettato in risposta alle esigenze delle diverse comunità di utenti.

Il segmento satellitare di Galileo prevede l'utilizzo di 30 satelliti (24 operativi e 6 ricambi), in orbita ad oltre 23.000 chilometri di altitudine. I satelliti saranno distribuiti in modo uniforme su tre piani orbitali, e impiegheranno circa 14 ore per orbitare intorno alla Terra. Attualmente, dei 30 satelliti previsti, sono già stati lanciati 26 satelliti, di cui 22 già utilizzabili per il posizionamento. I lanci continueranno fino al raggiungimento della piena operatività, prevista entro la fine del 2020.

I quattro servizi previsti per il sistema Galileo (Open Service, High Accuracy Service, Public Regulated Service, Search and Rescue) offriranno diversi livelli di accuratezza, robustezza, autenticazione e sicurezza, su tre diverse bande di frequenza (denominate E1, E5 ed E6), parzialmente sovrapposte a quelle degli altri sistemi GNSS.

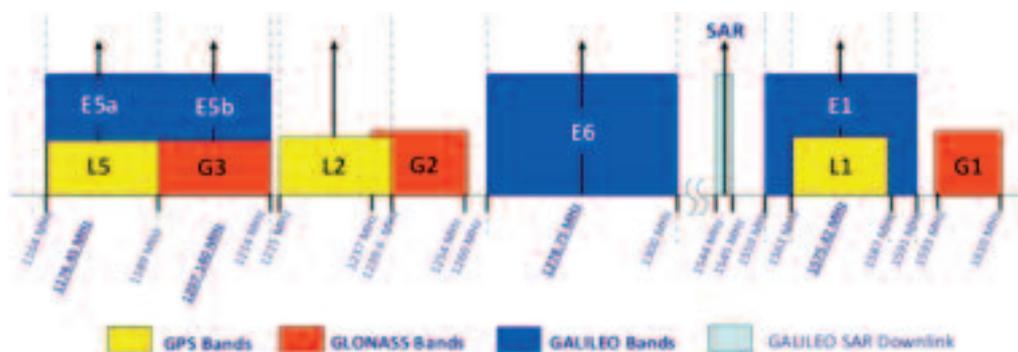


Figura 1 – Bande di frequenza impiegate dal sistema Galileo e dagli altri sistemi GNSS (fonte: <https://gssc.esa.int/navipedia/>)

L'avvio, a fine 2016, dei *Galileo Initial Services* ha decretato l'avvio della fornitura dei servizi di posizionamento, navigazione e di tempo agli utenti, in qualsiasi parte del mondo essi si trovino. Al momento, i servizi attivi sono l'Open Service (OS) e il Search and Rescue (SAR), che consentono di raggiungere precisioni ed accuratezze superiori rispetto a quelle ottenibili con gli altri sistemi GNSS.

I primi report prodotti dall'Agenzia Spaziale Europea sulle prestazioni del servizio pubblico destinato all'utenza (l'Open Service) hanno fornito una prima indagine sulle prestazioni attese dal sistema, mostrando di fatto la conferma dei valori di accuratezza attesi. Per quanto concerne infatti l'accuratezza media (al 95%), sono stati rilevati valori inferiori a 2 metri in planimetria e ai 5 metri in altimetria, considerando un ricevitore doppia frequenza ed abilitando solo la costellazione Galileo (ESA, 2019).

Dispositivi abilitati a Galileo

In seguito al già citato avvio dei *Galileo Initial Services*, i produttori di *chipset* e ricevitori GNSS e gli sviluppatori di applicazioni hanno potuto iniziare a sfruttare i segnali di Galileo. Dopo la diffusione di dispositivi ad alta precisione, già da tempo predisposti e abilitati alla costellazione europea, anche i dispositivi destinati al mercato di massa (compresi smartphone e sistemi di navigazione) hanno iniziato ad integrare Galileo. Attualmente, la maggior parte dei *chipset* e dei ricevitori abilitati al GNSS europeo può essere trovata nei settori *automotive*, *mass-market*, nell'agricoltura di precisione e ovviamente nel rilevamento topografico e geodetico.

Per tenere aggiornati gli utenti con informazioni dettagliate su tutti i prodotti compatibili con Galileo, la GSA ha lanciato il sito internet www.useGalileo.eu. Da questo sito web, gli utenti possono navigare con facilità nell'elenco aggiornato di prodotti e dispositivi attualmente disponibili abilitati a Galileo e cercare i dispositivi per segmento di mercato.

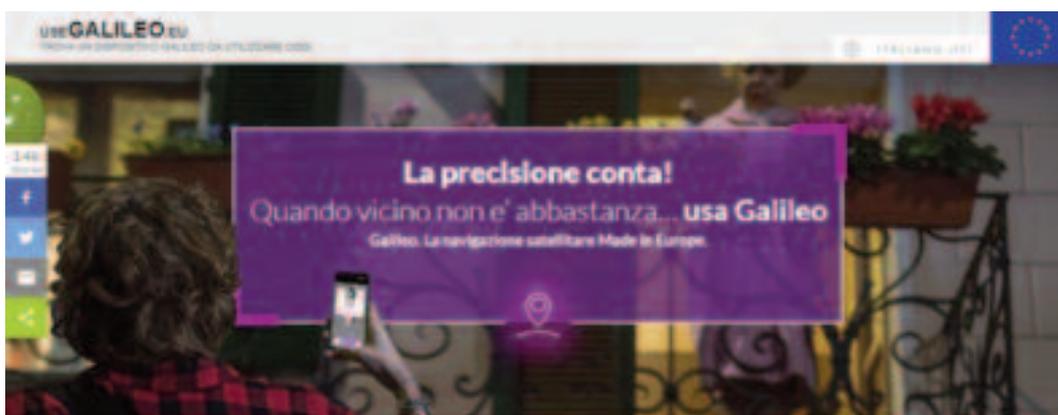


Figura 2 - Schermata di avvio del sito www.useGalileo.eu

Ad esempio, prendendo come riferimento il mercato degli strumenti GNSS per il rilievo topografico e geodetico del territorio, ad oggi vi sono 214 modelli di ricevitori GNSS ad alta precisione già pronti a ricevere ed utilizzare i servizi di

Galileo, mentre vi sono già 77 modelli utilizzabili come stazioni permanenti Galileo all'interno delle reti GNSS¹.

A conferma di quanto detto in precedenza, nel mercato dei Location Based Services, 184 smartphone sono in grado di decodificare il segnale di Galileo, fornendo all'utente una posizione più affidabile e robusta². Oltre che per i vantaggi sopra illustrati, è presumibile attendersi un aumento dell'interesse per il mercato degli LBS ed in generale per il posizionamento GNSS da dispositivo mobile, alla luce anche della possibilità, offerta nell'ultima versione del sistema operativo Google Android, di utilizzare i dati grezzi GNSS per il posizionamento, by-passando gli algoritmi interni del chipset e permettendo quindi l'implementazione di algoritmi e di servizi per il miglioramento della posizione dell'utente anche in questo settore di mercato (attualmente, 48 modelli di smartphone/tablet consentono l'accesso ai dati grezzi GNSS³).

Reti GNSS e servizi abilitati a Galileo

Le reti GNSS internazionali IGS e EUREF EPN, utilizzate per definire e monitorare i sistemi di riferimento internazionale ed europeo, sono ormai costituite per la maggior parte da stazioni permanenti in grado di tracciare ed utilizzare il segnale proveniente dalla costellazione Galileo.

Per quanto riguarda i servizi di miglioramento della precisione, ad oggi sul sito www.useGalileo.eu sono presenti 37 servizi su scala mondiale in grado di fornire le correzioni differenziali anche per Galileo. Si tratta per lo più di reti GNSS di ditte commerciali, che erogano i loro servizi di *augmentation* su scala europea o mondiale. Da questo elenco sono tuttavia escluse moltissime realtà nazionali e regionali, che già sono in grado di erogare i propri servizi anche per la costellazione europea.



Figura 3 - Stazioni della rete IGS che materializzano il sistema ITRS a livello mondiale. In verde, le stazioni abilitate a Galileo (314 stazioni, il 65% del totale)

1 <https://www.usegalileo.eu/IT/inner.html#data=surveying>, dato riferito a Ottobre 2019

2 <https://www.usegalileo.eu/IT/inner.html#data=smartphone>, dato riferito a Ottobre 2019

3 <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>, dato riferito a Giugno 2019



Figura 4 - Stazioni della rete EUREF EPN che materializzano il sistema ETRS a livello europeo. In verde, le stazioni abilitate a Galileo (230 stazioni, il 68% del totale)

Adeguamento della rete SPIN GNSS a Galileo

L'adeguamento del Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS di Regione Piemonte e Regione Lombardia (SPIN GNSS) al sistema Galileo si è articolato in una serie di attività di aggiornamento sia della componente software sia della componente hardware, a cui hanno fatto seguito una serie di test per verificare la qualità del servizio erogato.

La soluzione per la gestione della Rete Interregionale di Stazioni Permanenti GNSS attualmente in esercizio utilizza il pacchetto software GNSS Spider di Leica Geosystems. L'adeguamento del servizio alla nuova costellazione europea ha pertanto comportato dapprima l'aggiornamento all'ultima versione disponibile del software e di tutti i ricevitori GNSS già predisposti a Galileo. L'operazione di aggiornamento dei ricevitori a Galileo si completerà entro la fine del 2020 con la sostituzione degli ultimi apparati non predisposti al tracciamento della costellazione europea.

Terminate queste operazioni, sono stati configurati gli opportuni prodotti di rete che contenessero, oltre alle correzioni differenziali relative ai satelliti GPS e GLONASS, anche quelle della costellazione Galileo. Questi prodotti sono stati predisposti su tutte le modalità di correzione NRTK supportate dal software GNSS Spider per Galileo, ovvero in modalità Virtual Reference Station (VRS), Individualized Master-Auxiliary Corrections (iMAX) e dalla stazione reale più vicina all'utente (Nearest). I prodotti sono stati configurati in maniera da essere erogati in maniera analoga ai prodotti esistenti, avvalendosi dunque del protocollo NTRIP e del più recente formato di trasmissione RTCM in grado di supportare le correzioni multi-costellazione (RTCM 3 MSM5).

Completate le attività di aggiornamento, configurazione e verifica del sistema, oltre che delle attività di verifica della qualità del posizionamento GNSS integrato con il sistema Europeo (descritte nel capitolo seguente), i prodotti di

correzione differenziale sono stati resi disponibili a tutti gli utenti iscritti al servizio. Tale operazione è stata completata in data 15 Aprile 2019, a seguito dell'attivazione di tre nuovi *mountpoint* all'interno del server NTRIP. L'elenco completo dei servizi disponibili all'utenza, con evidenziati i nuovi prodotti che includono Galileo, è riportato nella successiva Tabella 1.

L'attivazione dei servizi Galileo è stata comunicata agli utenti attraverso i canali ufficiali di diffusione, ovvero attraverso la pubblicazione di apposite news sul sito internet della rete (www.spingnss.it) e sul Geoportale di Regione Piemonte (www.geoportale.piemonte.it).

Tabella 1 – Elenco dei servizi disponibili per tutti gli utenti, con evidenziati in grassetto i prodotti che includono le correzioni per Galileo

Mountpoint	Formato di trasmissione	Costellazioni
RTK_MAC/MAX_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_VRS_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_VRS_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
RTK_VRS_CMV	CMV	GPS+GLO
RTK_VRS_CMV+	CMV+	GPS+GLO
RTK_NRT_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
RTK_NRT_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_iMAX_RTCM3	RTCM 3.x	GPS+GLO
RTK_FKP_RTCM2	RTCM 2.3	GPS+GLO
GAL_VRS_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL
GAL_iMAX_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL
GAL_NRT_MSM5	RTCM 3 (MSM5)	GPS+GLO+GAL

Sperimentazione del servizio SPIN GNSS con Galileo

Con l'obiettivo di valutare la qualità dei prodotti erogati, ed in particolare dei benefici connessi con l'introduzione delle correzioni differenziali di Galileo, sono stati eseguiti alcuni test in campo avvalendosi di strumentazione GNSS da campo, anch'essa opportunamente aggiornata. Con l'obiettivo di poter disporre di test che fossero il più possibile completi, sono state eseguite alcune misurazioni seguendo le modalità operative più diffuse da parte dell'utenza professionale della rete (rilievo NRTK, stazionamento sul punto per 5 secondi):

- ∞ utilizzando diversi prodotti di rete e al variare dei satelliti tracciati: sono stati utilizzati diversi prodotti di rete, in maniera tale da sfruttare le differenti metodologie di correzione differenziale (VRS, iMAX, Nearest) e le combinazioni di costellazioni disponibili (GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo);
- ∞ in diversi ambienti di misurazione: i test sono stati effettuati sia in ambiente ottimale, con condizioni di cielo aperto e assenza di ostacoli, sia in ambienti più disturbati dove i benefici di utilizzare più costellazioni e segnali più puliti dovrebbero risultare maggiori (ambiente urbano, con presenza di ostacoli di tipo naturale o antropico).

In maniera da verificare l'effettiva qualità delle correzioni differenziali, si è scelto di effettuare le misure in un sito che fosse sufficientemente distante dalle stazioni permanenti reali della rete, e che consentisse di avere a disposizione ambienti dalla rumorosità variabile. Per questo motivo, i test sono stati condotti nell'intorno della città di Vercelli, situata a 20 km dalla stazione permanente più vicina (Novara), e al centro di una maglia di stazioni distanti in media 30/35 km. All'interno della città, sono stati scelti come punti di misura i vertici di raffittimento della rete geodetica comunale, rimisurata nel 2012 dal CSI-Piemonte ed inquadrata nel sistema ETRF2000/RDN. In particolare, sono stati individuati 7 punti caratterizzati da differenti ambienti di misurazione, ed in cui fosse possibile eseguire una serie di test operativi finalizzati a verificare la qualità delle correzioni differenziali erogate.

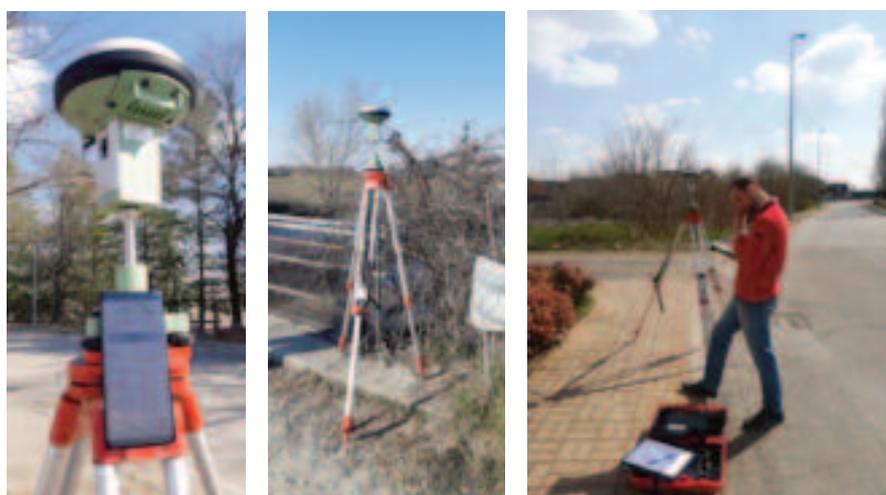


Figura 5 - Esecuzione della campagna di misura con strumentazione GNSS professionale

Su ciascun punto, il ricevitore GNSS è stato montato su un treppiede di tipo geodetico, e sono state eseguite misurazioni con le seguenti configurazioni:

- ∞ correzioni di rete VRS GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni di rete VRS GPS+GLONASS+Galileo;
- ∞ correzioni di rete iMAX GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni di rete iMAX GPS+GLONASS+Galileo;
- ∞ correzioni dalla stazione più vicina (NOVR) GPS+GLONASS;
- ∞ correzioni dalla stazione più vicina (NOVR) GPS+GLONASS+Galileo.

Per ciascuna configurazione, sono state eseguite due differenti misure, inizializzando per ciascuna misura la soluzione ad ambiguità fissata. Per ciascuna misura sono state registrate le seguenti variabili:

- ∞ tempo trascorso prima del fissaggio dell'ambiguità (TTFF, in secondi);
- ∞ satelliti GPS, GLONASS e Galileo tracciati prima della connessione al servizio;
- ∞ satelliti GPS, GLONASS e Galileo tracciati durante la connessione al servizio;
- ∞ indici DOP orizzontali, verticali e globali (HDOP, VDOP, TDOP, GDOP).

Le successive Tabella 2 e Tabella 3 sintetizzano i risultati ottenuti rispettivamente considerando i punti caratterizzati da scenari indisturbati e da scenari di tipo urbano.

Tabella 2 - Sintesi dei risultati ottenuti in ambiente indisturbato

Vertice	Correzione	TIPO	SV	HDOP	Errore 2D [cm]	Errore 3D [cm]
A16	VRS	G+R	10.5	0.8	0.9	3.3
	VRS	G+R+E	16	0.7	0.7	1.7
	iMAX	G+R	11	0.8	0.6	2.0
	iMAX	G+R+E	15.5	0.8	0.7	2.4
	Nearest	G+R	14	0.6	1.1	1.4
	Nearest	G+R+E	20	0.6	0.6	1.4
V28	VRS	G+R	14	0.7	0.6	2.5
	VRS	G+R+E	14	0.7	0.8	3.3
	iMAX	G+R	14	0.7	0.6	4.2
	iMAX	G+R+E	15	0.7	1.2	3.1
	Nearest	G+R	15	0.7	1.0	2.8
	Nearest	G+R+E	20.5	0.6	0.8	2.8

Tabella 3 - Sintesi dei risultati ottenuti in ambiente disturbato

Vertice	Correzione	TIPO	SV	HDOP	Errore 2D [cm]	Errore 3D [cm]
V07 (presenza di alberi vicino al sito di misura)	VRS	G+R	11	1.2	1.1	4.3
	VRS	G+R+E	14.5	1.0	0.9	5.4
	iMAX	G+R	12.5	0.8	1.0	5.0
	iMAX	G+R+E	16	0.7	0.9	5.0
	Nearest	G+R	14	0.7	1.9	6.2
	Nearest	G+R+E	18.5	0.6	2.3	5.0
V18 (zona edificata, presenza di traffico e potenziali cycle-slip)	VRS	G+R	13	0.8	1.6	3.6
	VRS	G+R+E	17	0.7	2.6	4.6
	iMAX	G+R	14	0.7	3.2	5.2
	iMAX	G+R+E	17.5	0.7	2.6	3.5
	Nearest	G+R	14	0.7	3.0	4.2
	Nearest	G+R+E	18.5	0.7	2.8	3.5
V19 (presenza di alberi con fogliame sopra al sito di misura)	VRS	G+R	14	0.8	2.2	3.2
	VRS	G+R+E	17	0.7	2.3	3.7
	iMAX	G+R	14	0.7	1.7	5.9
	iMAX	G+R+E	16	0.7	1.4	3.1
	Nearest	G+R	13	0.8	1.8	6.8
	Nearest	G+R+E	17	0.7	3.0	3.5

L'analisi dei risultati riportati nelle tabelle permette di trarre alcune interessanti conclusioni relative alla qualità del posizionamento GNSS con e senza l'apporto dei satelliti della costellazione Galileo.

In particolare, i risultati riportati in Tabella 2 e relativi al posizionamento in ambiente non disturbato (aperta campagna, assenza o limitata presenza di ostacoli all'orizzonte) mostrano come l'utilizzo di Galileo fornisca un beneficio soprattutto nel caso del posizionamento tridimensionale: si veda, ad esempio, il miglioramento ottenuto con la correzione VRS nel punto A16 (da 3.3 cm a 1.7 cm), o quello della correzione iMAX nel punto V28 (da 4.2 cm a 3.1 cm). Il posizionamento planimetrico non sembra invece essere particolarmente influenzato dall'introduzione delle correzioni di Galileo, anche in virtù del fatto che i valori di errore rilevati, quasi sempre sub-centimetrici o al più centimetrici, sono già da considerarsi come ottimali per un posizionamento di tipo NRTK.

Una maggiore incidenza dei benefici legati all'introduzione della costellazione Galileo è possibile osservarla invece nel caso di misure in ambienti disturbati. In questo caso, sono stati scelti a titolo di esempio i tre vertici maggiormente caratterizzati da disturbi al posizionamento GNSS (alberi con fogliame anche sopra al punto di misura, presenza di edifici o passaggio di veicoli che potessero disturbare la misura). L'analisi degli errori planimetrici e tridimensionali riportati in Tabella 3 mostra innanzitutto, come era lecito attendersi, un peggioramento della qualità del posizionamento GNSS, che passa da valori sub-centimetrici in planimetria a valori in alcuni casi pari o superiori ai 2/3 cm (e da 2/3 cm a 4/5 cm in altimetria). In questo caso, un primo beneficio legato all'introduzione delle correzioni differenziali per il sistema satellitare europeo è visibile anche solo osservando i risultati ottenuti con le correzioni dalla stazione permanente più vicina (circa 20 km). Il posizionamento tridimensionale in questo caso passa da un valore medio sui tre punti di 5.7 cm nel caso di configurazione GPS+GLONASS (con circa 14 satelliti in vista) ad un valore medio di 4 cm nel caso in cui si considerino anche i satelliti Galileo (con il numero di satelliti in vista che sale a circa 18).

Un ulteriore beneficio si può notare anche osservando le correzioni ad area di tipo iMAX: in due casi infatti l'errore tridimensionale sul punto scende da circa 6 cm fino a circa 3 cm, se si considerano anche le correzioni dei satelliti europei.

In conclusione, i primi test condotti mostrano come l'utilizzo anche del sistema di posizionamento europeo Galileo costituisca un vantaggio soprattutto negli ambienti disturbati, ovvero laddove il crescente numero di satelliti in vista (in media, 4/5 satelliti in più rispetto alla configurazione GPS+GLONASS) risulta maggiormente importante per irrobustire la qualità della soluzione finale, soprattutto dal punto di vista del posizionamento tridimensionale.

Bibliografia

ESA (2019), European GNSS (Galileo) Initial Services - Open Service. Quarterly performance report, April - June 2019. Disponibile qui (agg. Ottobre 2019): <https://www.gsc-europa.eu/electronic-library/galileo-service-performance-reports>

I GIS per rilevare i fenomeni urbani: analisi di accessibilità e centralità delle aree metropolitane

Maria Somma

Università Federico II di Napoli, Via Forno Vecchio, 3467630493 -mals.somma@gmail.com

Abstract

Il presente contributo presenta i risultati raggiunti durante un lavoro di ricerca presso il Centro interdipartimentale di ricerca Laboratorio di Urbanistica e di Pianificazione del Territorio "Raffaele d'Ambrosio" (LUPT) relativo allo studio della rete stradale dell'area metropolitana in ambiente GIS con *tool di network analysis* per individuare il sistema delle centralità secondo un'organizzazione gerarchica e secondo specializzazioni di tipo funzionale, rientrante nel progetto "Consumo di suolo e pianificazione della Città metropolitana di Napoli". A tal riguardo, è stato ricostruito il sistema della rete stradale dell'area metropolitana di Napoli per determinare un nuovo network dataset che fosse privo di errori di sovrapposizione di doppi nodi ed archi, ossia riconoscesse gli incroci reali, i sottopassi e sovrappassi, i cavalcavia.

Introduzione

Negli ultimi anni la ricerca nella pianificazione urbanistica si è sempre di più concentrata sullo studio dei fenomeni urbani, rispetto alla disponibilità di dati forniti dalle odierne amministrazioni. Sovente, si è ravvisata la necessità di interpretare il fenomeno urbano attraverso lo studio e la comprensione della forma e delle sue componenti, che compongono la struttura complessa della città; verificando anche se la rapidità con cui essa si modifica va di pari passo con l'aggiornamento delle banche dati. La novità rivoluzionaria dei nostri tempi non è il cambiamento, ma la rapidità con cui questo avviene. I problemi cambiano con le persone; e tanto più in fretta esse mutano, altrettanto rapidamente si modificano i problemi. È in tal senso che la città è considerata come un vero e proprio organismo vivente, che va oltre la semplice sommatoria anagrafica dei suoi cittadini. In quest'ottica occorrono, strumenti di supporto alle decisioni, che siano in grado di gestire e aggiornare un'enorme quantità di dati ed elaborare una serie di informazioni utili per i processi di pianificazione territoriale, analizzando ogni strato del territorio, al fine di determinare uno sviluppo che non punti solo alla quantità, ma anche alla qualità. Pertanto, utilizzando una recente toolbox di analisi urbana, la "*Urban Network Analysis toolbox - UNA*" (Sevtsuk A., 2010) è possibile relazionare le proprietà spaziali della città ad alcuni dati forniti dall'Istat, confrontando il cambiamento morfologico del territorio attraverso il peso che le infrastrutture hanno sul sistema insediativo. Questo strumento consente di gestire un'enorme quantità di dati, elaborando una serie di informazioni che possono definirsi utili per i processi di pianificazione territoriale, fungendo da supporto alle decisioni. In particolare, restituisce il grado di centralità e accessibilità di un edificio o di un nodo della rete che va a costituire l'assetto del territorio.

Le analisi di rete

I concetti di analisi di rete sono stati utilizzati per la progettazione e la pianificazione delle città per diversi decenni. Fino a poco tempo fa erano comuni solo in applicazioni altamente specializzate: problemi di pianificazione delle catastrofi, di localizzazione delle strutture critiche e di progettazione di infrastrutture di trasporto relative a fattori di spostamento-costo. Gli sforzi per applicare le analisi di rete alla progettazione di edifici, spazi pubblici e quartieri urbani risalgono agli anni '60, ma solo negli ultimi dieci anni, gli strumenti e i dati necessari per il loro uso sono stati resi disponibili ad architetti e progettisti. La maggior parte del lavoro nell'analisi delle reti urbane si è basata su metodi originariamente sviluppati per i network sociali. Tuttavia, ci sono importanti adeguamenti nell'applicare i metodi di analisi dei network sociali allo spazio urbano. In questi network, ad esempio, le connessioni tra gli elementi di rete sono descritte in modo topologico ed ha poca importanza la geometria e la geografia delle relazioni. Gli studiosi dell'ambiente costruito, d'altra parte, sono interessati a precise relazioni geografiche di una rete spaziale, in cui, distanze, angoli e tempi di percorrenza sono fondamentali per descrivere le adiacenze e le distanze tra i luoghi. In secondo luogo, mentre nei social network la ponderazione degli elementi di rete era rara, risulta fondamentale negli studi sulla rete spaziale. Ad esempio, una strada fiancheggiata da piccole case unifamiliari ha un effetto diverso su un quartiere rispetto ad una strada che si trova a ridosso di grattacieli. Anche per la densità abitativa e per gli indici di occupazione può risultare un differente indice di centralità. Queste particolarità hanno portato i ricercatori a personalizzare sia la rappresentazione delle reti urbane, sia le metriche su di esse. Questo studio intende personalizzare la ricerca puntando sulla struttura delle strade ed escludendo a priori l'analisi fatta per edifici. Inoltre, la teoria dei grafi tra i pianificatori e le sue diverse applicazioni spaziali è stata adottata per l'analisi dei trasporti e successivamente anche per l'analisi e la rappresentazione dei piani. Gli studiosi Hillier e Hanson hanno scelto di rappresentare le strade non come linee centrali, ma come linee assiali definite come linee più lunghe e più corte che possono essere disegnate tra gli spazi di un'area di studio. A differenza delle tipiche applicazioni della teoria dei grafi, i ricercatori della *Space Syntax* hanno adottato una rappresentazione a doppio grafo, in cui le strade vengono rappresentate come nodi e le loro intersezioni come bordi. La doppia rappresentazione introduce anche un altro problema per la *Space Syntax*; in quanto le strade che sono rappresentate come nodi si riducono in punti senza una precisa dimensione ed eliminano in modo efficace la distanza metrica dall'analisi. I ricercatori di tale metodo affrontano questo problema attraverso un grafo topologico misurando il tempo che si impiega per spostarsi da una linea all'altra e quindi, conteggiando le linee attraversate (cioè i gradi di separazione) come una metrica di prossimità. A questo, si aggiungono diversi altri approcci di analisi delle reti stradali, come ad esempio il metodo MCA. Ciò premesso, si è cercato di strutturare lo studio, utilizzando il metodo UNA, considerando come variabili fondamentali la densità di popolazione e di occupazione per individuare il grado di accessibilità di un territorio in funzione alle infrastrutture di trasporto su gomma.

La toolbox Urban Network Analysis

Lo strumento di analisi UNA nasce con lo scopo di studiare le relazioni sociali nel contesto urbano per comprendere il funzionamento delle nostre città individuando la distribuzione spaziale delle centralità rispetto ai sistemi stradali, necessari per lo studio dell'intera forma del sistema urbano metropolitano. Inoltre, include una serie di funzionalità che completano i precedenti modelli attraverso un nuovo quadro rappresentativo composto da nuovi indici di rete che rendono la misurazione della centralità della rete accessibile a un vasto pubblico. Questo strumento è rivolto ad architetti, urbanisti, geografi e agli analisti spaziali che sono interessati a studiare le configurazioni spaziali della città ed i loro processi sociali, economici ed ambientali connessi. Il Plug-in, rappresenta astrattamente la realtà fisica dell'ambiente urbano come una combinazione di tre elementi: i collegamenti che rappresentano i percorsi lungo i quali possono verificarsi viaggi; i nodi o le intersezioni in cui i percorsi si incrociano formando uno spazio pubblico; gli edifici o gli elementi poligonali e puntuali che rappresentano i punti di destinazione finali in cui il movimento delle persone, delle merci e delle informazioni inizia o finisce. Inoltre, è organizzato in due differenti strumenti: *centrality* – che basa la sua applicazione su metodi matematici attribuendo ad ogni nodo della rete una scala di importanza permettendo di effettuare cinque diversi tipi di analisi (*Reach*, *Gravity*, *Betweenness*, *Closeness* e *Straightness*) - e *redundancy* che individua il percorso più breve da un punto A di partenza ad un punto B di arrivo della rete prendendo come parametri di valutazione alcuni criteri scelti a priori e trascurando la lunghezza dell'arco della rete e i tempi necessari a percorrerli. Le misure di centralità della rete sono indici capaci di captare una serie di interessanti fenomeni urbani. La toolbox UNA introduce una rappresentazione ponderata di elementi di rete spaziale. Ogni strada ottiene una serie di attributi che la collegano al territorio e alle caratteristiche proprie della struttura urbana. Gli attributi possono catturare tutte le proprietà misurabili delle strutture che li circondano: velocità; mix di insediamento; numero di residenti o posti di lavoro. Le misure di centralità della rete sono metodi matematici utili a quantificare l'importanza di ciascun nodo in un grafo. Le metriche di centralità si concentrano principalmente sulla centralità di ciascun elemento grafico rispetto agli elementi circostanti e sono analoghe alle misure di accessibilità spaziale applicate alla rete piuttosto che allo spazio euclideo. La toolbox può essere utilizzata per calcolare cinque diversi tipi di metriche di centralità su reti spaziali:

1. *Reach*: rappresenta la portata di un nodo ed è tarata per misurare l'accesso a qualsiasi destinazione (intersezioni, edifici o altri nodi) all'interno di un luogo dato. L'utilizzo dei pesi consente di calcolare quanti attributi (residenti, posti di lavoro...) possono essere raggiunti all'interno di un dato raggio di rete, e quindi valuta il gradiente di accessibilità all'interno di un determinato raggio di ricerca:

$$Reach^r[i] = \sum_{j \in -\{i\}; d[i,j] \leq r} W[j] \quad [1]$$

2. *Gravity*: misura il peso che hanno le infrastrutture nel determinare una forma urbana. Basata sull'intuizione che un centro quanto più è popoloso, più è centrale. La gravità è direttamente proporzionale alla massa ed

inversamente proporzionale alla distanza, più ci si allontana dall'intersezione meno essa gravita:

$$Gravity^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i,j] \leq r} \frac{W[j]}{e^{\beta \cdot d[i,j]}} \quad [2]$$

3. **Betweenness**: descrive la posizione di centralità di un nodo se si trova tra molti altri. Definito come la trazione di percorsi più brevi tra coppie di altri nodi della rete che passano per quel nodo:

$$Betweenness^r[i] = \sum_{j,k \in G - \{i\}; d[i,k] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}} \cdot W[j] \quad [3]$$

4. **Closeness**: misura la media delle distanze di un nodo rispetto agli altri nodi vicini ai centri abitati entro una determinata distanza, al fine di ottenere una misura della rapidità di raggiungimento degli stessi, stimando i percorsi più brevi (*Sabiadussi, 1966*):

$$Closeness^r[i] = \frac{1}{\sum_{j,k \in G - \{i\}; d[i,k] \leq r} (d[i,j]) \cdot W[j]} \quad [4]$$

5. **Straightness**: illustra quali località sono più vicine a tutte le altre posizioni lavorando sulla morfologia:

$$Straightness^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i,k] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]} \cdot W[j] \quad [5]$$

Le applicazioni per la misurazione della rete offerte negli strumenti sono in rapida crescita rispetto alla disponibilità di dati geo spaziali e miglioramenti nella potenza del calcolo. Tali misure, consentono di indagare l'interazione tra la forma urbana e i modelli di attività. Concentrandosi sugli effetti della forma urbana, dei modelli di utilizzo del territorio o di una loro combinazione, ogni attributo di una città può essere misurato indipendentemente e intuitivamente secondo i vincoli della geometria urbana. La ponderazione delle metriche di centralità focalizza l'analisi esclusivamente sulla geometria bidimensionale e tridimensionale della forma urbana. I risultati sono, in questo caso, interamente determinati dalla configurazione spaziale dell'ambiente costruito e possono essere modificati solo se i nodi, le strade o le intersezioni dell'ambiente vengono alterati. L'utilizzo del toolbox rispetto agli indici di centralità (UNA) è strutturato in circa 6 fasi di calcolo, che possono variare a seconda del risultato che si vuole ottenere. La fase generale di calcolo prevede la costruzione di una matrice di adiacenza tra tutti i nodi della rete di input del grafo che rappresenta le relazioni e le distanze che si hanno tra i nodi. A questa fa seguito la costruzione del grafo stradale della rete del territorio metropolitano composto di archi e nodi, ossia i suoi confini ed i suoi incroci in particolare la rete principale, secondaria e locale che oltre a fungere da collegamento intercomunale, va a conformare la struttura del territorio. Vi è poi l'aggiornamento della tabella attributi con campi numerici relativi ai limiti di velocità ed al tempo di percorrenza in ore e minuti calcolati in funzione della velocità ammesse sui diversi tratti stradali (130 km/h per le autostrade, 110km/h e 80km/h per le strade provinciali e statali, 50 km/h per le locali). Tutto ciò rappresenta la base per la creazione di un nuovo *network dataset*, che risulterà fondamentale per lo sviluppo delle nuove centralità. Ciò

che differenzia questo strumento dai precedenti sulle analisi di rete, è l'introduzione di un terzo elemento come parametro di valutazione, ossia gli edifici. Poiché, da precedenti analisi era emerso che a scala metropolitana non risultava esaustivo utilizzare quest'ultimi in quanto carenti di informazioni, si è deciso di utilizzare i dati del 15° Censimento della Popolazione elaborati dall'Istat per l'anno 2011 per descrivere e valutare la struttura insediativa della città metropolitana di Napoli attraverso la densità, orientando le analisi del grado di accessibilità e centralità della rete infrastrutturale viaria, sul peso che tali variabili hanno apportato nel tempo. Le classi funzionali sono state stabilite a seguito di valutazione che tengono conto di studi e prassi consolidate e dalla soglia di abitanti per ettaro, definita come densità ottimale degli insediamenti da provvedimenti sia nazionali che regionali. Inoltre, c'è da precisare che per restituire il grado di accessibilità e di vicinanza del territorio metropolitano, sono stati utilizzati solo due dei 5 indici di centralità ossia l'indice di *Gravity* e di *Betweenness*.

Le applicazioni sul territorio: l'indice di Gravity e Betweenness

Secondo le leggi fisiche, la gravità è una forza di attrazione che esiste fra due qualsiasi masse, corpi o particelle e per cambiare la velocità o la direzione del moto di un oggetto è necessaria una forza (Newton, 1642); rappresenta il grado di centralità di ciascun nodo rispetto agli altri nodi della rete che costituiscono l'inverso della distanza cumulativa necessaria per raggiungere da un punto tutti gli altri punti della rete utilizzando il percorso più breve. Invece, l'accessibilità di un nodo della rete è inversamente proporzionale alla distanza tra i punti e inversamente proporzionale alla capacità attrattiva del nodo determinata da un peso ad esso assegnato in funzione di parametri urbanistici quali la destinazione d'uso, la densità demografica, la presenza di attività commerciali. Nel caso della città Metropolitana di Napoli, ogni nodo è stato pesato in funzione alla popolazione residente al 2011, ipotizzando che ciascun nodo serve la popolazione nella sezione censuaria in cui si è localizzato. La prima considerazione è stata quella di verificare se dove vi erano i centri abitativi più popolosi vi era anche maggiore concentrazione di infrastrutture, e quindi il grafo stradale risultava più fitto così facendo considerando questo fattore, è stata calcolata la centralità attraverso la creazione una matrice in cui la popolazione rappresentava uno dei pesi incidenti sulle infrastrutture. Il risultato ottenuto (*Fig.1*) determina un tessuto nuovo composto da centralità in gran parte del territorio napoletano, nelle zone del Giuglianese che si connettono con il territorio Aversano e in alcune località dei comuni Vesuviani. Partendo da centralità di piccole dimensioni, man mano che ci si avvicina ai territori urbani, e quindi il tessuto infrastrutturale si infittisce, queste aumentano considerevolmente, e ciò si constata anche dal fatto che le dimensioni delle centralità si vanno ad ingrandire. Nello specifico sono state considerate alcune zone differenti: la prima è quella afferente ai comuni di San Sebastiano al Vesuvio, Pollena Trocchia, Massa di Somma e Cercola in cui le centralità sono dovute ad una fitta concentrazione di infrastruttura di diversa tipologia e alla densità di popolazione. Infatti, si è dimostrato che molte delle centralità analizzate risultano coincidere proprio con quelle aree maggiormente popolate; la seconda afferisce a Napoli nord ed in particolare viene analizzato il comune di

Sant'Antimo. Anche in questo caso, l'area risulta essere abbastanza centrale, in quanto oltre al peso che può dare la popolazione, anche qui, la presenza di infrastrutture, non solo locali, va a determinarle.

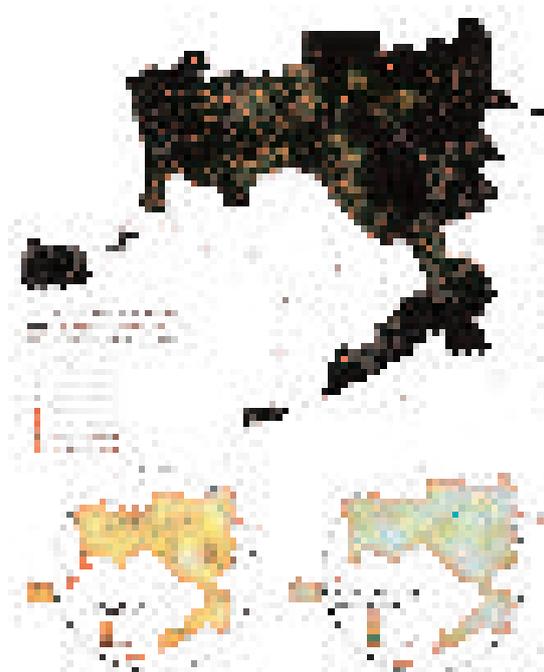


Figura 1- Centralità di Gravity

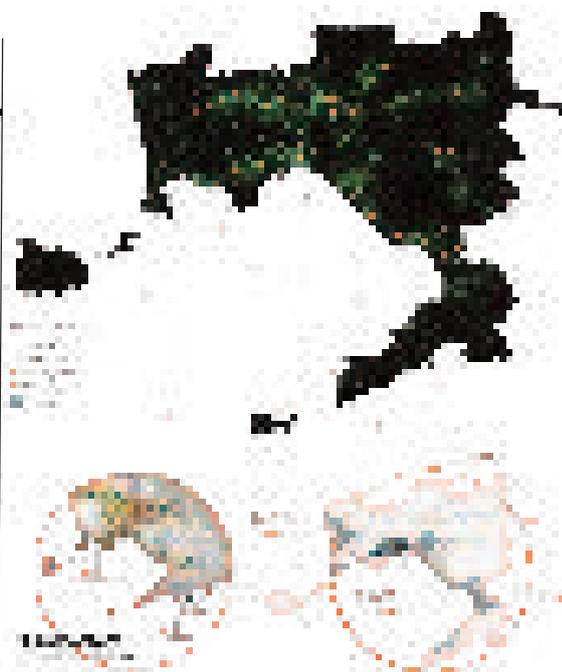


Figura 2 - Centralità di Betweenness

Relativamente al fenomeno di diffusione delle città non si era mai affrontata la questione di studiare la forma di una città attraverso tecnologie all'avanguardia che portassero a considerare alcuni fenomeni per la determinazione della forma della città. Lo studio sulle centralità di vicinanza (*Fig.2*) - *Betweenness* - è l'emblema assoluto di ricerca sulla forma di una città, prendendo in considerazione il peso che possono avere le infrastrutture sul territorio. Stima il potenziale dei passanti in diversi punti della rete considerando alcuni indici rispetto alle strade. In figura si evincono differenti tipi di centralità determinate anche dalla lunghezza degli archi e quindi, a differenti tessuti urbani corrispondono differenti tipologie di centralità. Le centralità risultano concentrarsi nel comune napoletano, in particolare nei punti di accesso a Napoli, lungo la costa del Vesuvio, dove si forma un vero e proprio anello circolare che abbraccia tutto il Monte Vesuvio, ed altre determinate da nodi che risultano essere adiacenti tra di loro nell'area flegrea e nella penisola sorrentina. In questo caso l'incidenza è di minor peso. È caratteristico l'asse nell'area nord di Napoli che va da Giugliano in Campania fino a Tufino in cui la fitta rete di strade determina maggiori centralità determinando un fenomeno di continuità, riscontrato anche da Luigi Piccinato in uno schema di assetto comprensoriale dove proponeva la costruzione di un insieme di insediamenti residenziali e produttivi organizzati in un sistema policentrico disposto lungo un nuovo asse viario di collegamento tra il Litorale Domizio e Nola. Questa trama è data dalla forte espansione urbana che ha preso sempre più piede negli anni. Nell'area napoletana si formano centralità compatte con indici differenti, determinate anche dal tessuto a scacchiera che va a determinare archi di infrastruttura di pochi metri, che conseguentemente vanno a creare una fitta rete di nodi. Nello

specifico si creano diverse centralità dovute sia al tessuto che al tipo di infrastruttura presente: di dispersione in cui convergono i territori della Penisola Sorrentina (la morfologia del territorio determina un tessuto urbanizzato a macchia ad olio), i comuni Flegrei e vesuviani, notando quasi una rottura con il tessuto urbano napoletano ed una continuità con i territori che da Castellammare portano alla Penisola Sorrentina; a corona circolare che abbraccia il Vesuvio alle sue pendici e che fa da diramazione verso i centri abitativi; compatta riferita al comune napoletano e continua relativa allo sviluppo del tessuto urbano dall'entroterra giugliese fino al nolano.

Conclusioni

Alla luce delle diverse analisi svolte, i risultati che emergono, potrebbero rappresentare il fondamento per altri utilizzi pratici nella pianificazione urbana e territoriale. Nonostante l'estrema frammentazione del grafo, aggiornata e migliorata, le centralità non germogliano in modo sparso, ma formano percorsi ed aree leggibili, ordinati in una distribuzione spaziale gerarchica. I percorsi e le aree di livello simile di centralità emergono nel complesso sistema urbano secondo alcune regole interne che variano da indice ad indice, dando luogo ad una gerarchia multifattoriale di città. I luoghi urbani che sono centrali in termini di vicinanza possono essere non centrali in termini di accessibilità, e così via. Insomma, ci sono diversi modi per dire che un luogo nella città è centrale rispetto ad un altro. Inoltre, la geografia delle centralità che emerge per un determinato indice calcolato a livello globale (cioè che riferisce ogni nodo per tutti gli altri nodi nel sistema) si differenzia in genere, da quello calcolato, per lo stesso indice, alla scala locale (ogni nodo è collegato ad un sottoinsieme di nodi situati all'interno di una certa distanza "d" da esso). Ciò significa che, un posto può essere diverso sia per i differenti tipi di centralità, che per le diverse dimensioni spaziali. Se si analizza una sola località, senza rapportarla alle altre, i risultati cambiano, in quanto si analizzano e prendono in considerazione solo alcuni fattori (diversi tipi di strade) che daranno gradienti di centralità rapportati a tali fattori, e quindi differenti rispetto a quando si considera un intero territorio a scala metropolitana. Non tutte le strutture della città sono complesse allo stesso modo e nella stessa misura. Si notano differenze anche per quelle pianificate ed auto-organizzate. Le prime mostrano una geometria precisa per le loro strade, le quali risultano regolarmente distanziate ed orientate in modo da riconoscere forme di geometria euclidea come triangoli, rettangoli o pentagoni. Per quelle auto-organizzate (tessuti urbani cresciuti gradualmente e spontaneamente attraverso la storia) difficilmente si può riconoscere un solo centro ben preciso, ma il più delle volte se ne trovano di differenti. Ogni modello ha in sé una caratteristica, tale da renderlo uno strumento utile per la gestione delle centralità in sistemi spaziali reali e a tutte le scale, aiutando i responsabili decisionali in modo diretto ed efficiente ad avere un'assistenza scientifica che basa lo studio dei processi di pianificazione o progettazione architettonica e urbana sulle centralità. Lo stesso approccio viene sperimentato anche in settori più specifici di pianificazione e gestione dei trasporti: come possiamo migliorare le prestazioni di un sistema di trasporto pubblico aggiungendo solo una certa quantità di linee e fermate? Può essere un progetto di estensione del sistema di trasporto proposto a dare le giuste risposte alle esigenze di una comunità?

L'applicazione dell'analisi UNA a questioni di pianificazione dei trasporti e quindi anche della città, è una delle principali direzioni di sviluppo per l'attuale ricerca. Gli strumenti UNA sono adatte all'analisi della rete spaziale in quanto possono rappresentare sia la geometria che la topologia nelle reti di input, usando la distanza metrica (per esempio tester) o la distanza topologica (per esempio giri) come fattori di impedenza nell'analisi; differentemente dagli strumenti dei software precedenti che operano con due elementi di rete (nodi e spigoli), gli strumenti UNA includono un terzo tipo di elementi di rete – edifici o strade utilizzati come unità di analisi spaziale per tutte le misure. Due edifici limitrofi sugli stessi segmenti di strada possono quindi ottenere risultati di accessibilità differenti; consentono di ponderare gli edifici o le strade in base alle loro caratteristiche particolari – più voluminosi, più popolati, o altrimenti strade più importanti possono essere specificate per avere un effetto proporzionalmente più forte sugli esiti, ottenendo risultati più precisi e affidabili a una qualsiasi delle misure specificate.

Riferimenti bibliografici

- Batty M. (2014), *The new science of cities*, The MIT Press Cambridge
- Batty M. (2007), "Model Cities", in *The Town Planning Review*, 78: 125-151
- Batty M. (2008), "The Size, Scale, and Shape of Cities", in *Science, New Series*, 319: 769-771
- Batty M. (2002), A decade of GIS: what next?, in *Environment and Planning B: Planning and Design 2002*, 29: 157-158
- Batty M., Xie Y. (1995), "Morphology from imagery: detecting and measuring the density of urban land use" in *Environment and Planning A*, 27: 759-780
- Keith C. (2014), "Why simulate cities?" in *GeoJournal, Special Issue on GIS & Built Environment*, 79: 129-136
- Hillier B., Hanson J. (1984), *The social logic of space*, Cambridge University Press
- Porta S., Latora V., Latora L., Wang F., Rueda S., Strano E., Scellato S., Cardillo A., Belli E., Cárdenas F., Cormenzana B. (2011), "Street Centrality and the Location of Economic Activities in Barcelona", in *Urban Studies* 1-18
- Porta S., Crucitti P., Latora V. (2008), "Multiple centrality assessment in Parma: a network analysis of paths and open spaces", in *Urban Design International*, 13: 41-50
- Porta S., Crucitti P., Latora V. (2005), "The network analysis of urban streets: A dual approach", in *Physica A* 369: 853-866
- Sevtsuk A., Kalvo R., Ekmekci O. (2016), "Pedestrian accessibility in grid layouts: the role of block, plot and street dimensions", in *Urban Morphology*, 20(2): 89-106
- Sevtsuk A., Mekonnen M. (2012); "Urban network analysis: A new toolbox for ArcGIS", in *Revue internationale de géomatique*, 2: 287-305
- Sevtsuk A., Ratti C. (2010) "Does Urban Mobility Have a Daily Routine? Learning from the Aggregate Data of Mobile Networks", in *Journal of Urban Technology*, 17(1): 41-60
- Sevtsuk A. (2010), "Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA"

***Proof of concept* di un web GIS per il coinvolgimento dei cittadini nella pianificazione del territorio**

Andrea Spasiano ^(a), Umberto Bartoccini ^(a), Fernando Nardi ^(a), Alessio M. Braccini ^(b)

^(a) Università per Stranieri di Perugia, Piazza Fortebraccio 4, 06123 Perugia, andrea.spasiano@unistrapg.it; umberto.bartoccini@unistrapg.it; fernando.nardi@unistrapg.it

^(b) Università della Tuscia, Via Santa Maria in Gradi 4, 01100 Viterbo, abbraccini@unitus.it

Introduzione

La tutela e la valorizzazione del paesaggio e la gestione sostenibile dei sistemi urbani si basano generalmente sulla ricognizione di aree rese omogenee da peculiari caratteristiche naturalistico-ambientali e storico-culturale, da specifici usi del suolo e da fattori di rischio idrogeologico. Queste condizioni sintetizzano la complessità e la diversità delle interrelazioni uomo-ambiente-società all'interno di unità areali, relative ai processi antropici e naturali nel corso del tempo. Questi principi sono applicati nei differenti livelli di pianificazione territoriale, adottati su diverse scale sia amministrative e geografiche (come nel caso dei piani territoriali e paesaggistici regionali o dei piani regolatori di livello comunale o metropolitano), sia settoriale (come nel caso dei piani di assetto idrogeologico).

Le attività di pianificazione e le politiche territoriali sono tecnicamente supportate dai Sistemi Informativi Geografici (meglio noti con l'acronimo inglese di *GIS*), in qualità di interfacce grafiche dei sistemi di supporto alle decisioni (*Decision Support Systems – DSS*) per la definizione di scenari evolutivi e l'analisi dei potenziali impatti del *management* territoriale. Strumenti *GIS* sono integrati nei *DSS* allo scopo di raccogliere, elaborare, produrre e visualizzare dati e informazioni geospaziali sugli elementi e le dinamiche fisico-naturali e antropiche. Di conseguenza, la definizione di aree vincolate a livello giuridico sono applicate per il governo e la gestione delle trasformazioni socio-economiche e a tutela delle aree protette e di particolare interesse storico-culturale.

Se, da un lato, gli ecosistemi naturali e urbani devono essere studiati e analizzati secondo una prospettiva olistica in relazione ai fattori di rischio e degrado e alle caratteristiche del paesaggio in un quadro univoco; dall'altro si riscontra come i modelli di dati impiegati nelle attività pianificatorie siano prodotti e diffusi per mezzo di dataset geospaziali eterogenei e interfacce *web GIS* rigide e separate. In altri termini, i differenti piani regionali di gestione urbana e paesaggistica riflettono rigidità strutturali che ostacolano analisi geospaziali su larga scala, a causa delle differenze tecniche e operative nella raccolta e nella produzione di dati geospaziali adottate dai singoli Enti preposti alle attività di pianificazione (Spasiano e Nardi, 2019).

Oggigiorno, dati geospaziali sono largamente disponibili su piattaforme *web* istituzionali, a sostegno di un nuovo paradigma di governo territoriale in cui i

differenti modelli di dati sulla pianificazione territoriale e i *DSS* possono lavorare in sinergia per una tutela e gestione del paesaggio e dei sistemi urbani più efficienti così come per una comunicazione più trasparente e una maggiore interazione fra Enti pubblici e comunità locali nei processi decisionali.

A questo proposito, strumenti di telerilevamento e dispositivi mobili personali (come *tablet* o *smart phone*) – rafforzati dall’uso costante e continuo dei *social network* – stanno offrendo nuove possibilità di interazione e scambio di informazioni (Campagna et al., 2012; Albuquerque et al., 2015; Assumpção et al., 2018). Di conseguenza, la cartografia sta evolvendo da soluzioni statiche e di gestione *offline* verso l’osservazione dinamica e in tempo reale dei fenomeni, integrando sistemi di immagini satellitari, droni e *web cam*. In questo contesto, i *decision-maker* e gli utenti finali (ad esempio, i cittadini) non si limitano semplicemente a ricevere informazioni, ma hanno la possibilità di partecipare ed essere attivamente coinvolti nei processi di governo e gestione del territorio sia come “sensori umani” (Goodchild, 2007) che come produttori di dati e informazioni rilevanti (Lisjak et al., 2017; Assumpção et al., 2018).

Questo lavoro intende, dunque, proporre e testare un nuovo modello di dati geospaziali finalizzato, in primo luogo, a raccogliere ed elaborare le informazioni eterogenee relative ai differenti piani regionali in vigore (piani regionali, piani di assetto idrogeologico-PAI) e di omogeneizzare i dati all’interno di un *framework* univoco. Tale *framework* univoco risponde all’esigenza di rendere i cittadini consapevoli dei sistemi ambientali e territoriali in cui interagiscono, tramite una conoscenza dei dati al netto delle complessità tecnico-strutturali dell’informazione geospaziale. Poi, intende teorizzare e concettualizzare le potenzialità dell’integrazione e del coinvolgimento delle comunità online all’interno di una piattaforma *web GIS* a supporto delle decisioni e delle politiche territoriali secondo un approccio *bottom-up* allo scopo di:

- ∞ Costruire scenari di pianificazione urbana condivisi e concertati;
- ∞ Analizzare gli impatti delle decisioni strategiche tramite *feedback* e monitoraggio dei contenuti forniti dagli utenti.

Dati e strumenti

Il *DSS* qui presentato si basa sull’implementazione di un modello di dati *GIS* teso alla raccolta, all’omogeneizzazione e alla visualizzazione di layer tematici, descrittivi delle caratteristiche fondamentali del paesaggio e dei sistemi urbani. Per omogeneizzazione si intende una procedura di elaborazione dati tesa a creare categorie di *layer* geospaziali caratterizzate da scale spaziali, risoluzioni grafiche e attributi tabellari univoci. Essa si articola nelle seguenti fasi:

1. Raccolta e verifica dei dati vettoriali reperiti dalle piattaforme regionali;
2. Attribuzione di campi e informazioni tabellari univoche (v. tabella 1);
3. Suddivisione dei dati in categorie descrittive generali (v. tabella 2);
4. Produzione di *layer* geospaziali, tramite funzioni di *merge* dei dati (v. figura 1).

Campo attributo	Descrizione
FID	ID univoco di ogni singola feature

Nome_file	Nome originario del file
Layer	Strato informativo di riferimento
Nome	Toponimo o riferimento geografico

Tabella 1 – Elenco campi tabellari univoci

Layer	Descrizione
Acqua – coste marine	Territori costieri (300m dalla battigia)
Acqua – Fiumi, laghi	Fiumi, torrenti, corsi d’acqua, zone a rischio idrogeologico
Verde – Aree protette	Parchi e riserve naturali, zone umide
Verde – Foreste e boschi	Territori coperti da foreste e boschi
Archeologia	Zone d’interesse archeologico
Aree d’interesse pubblico	Immobili ed aree di notevole interesse pubblico

Tabella 2 – Modello di dati geospaziali semplificati ed omogeneizzati

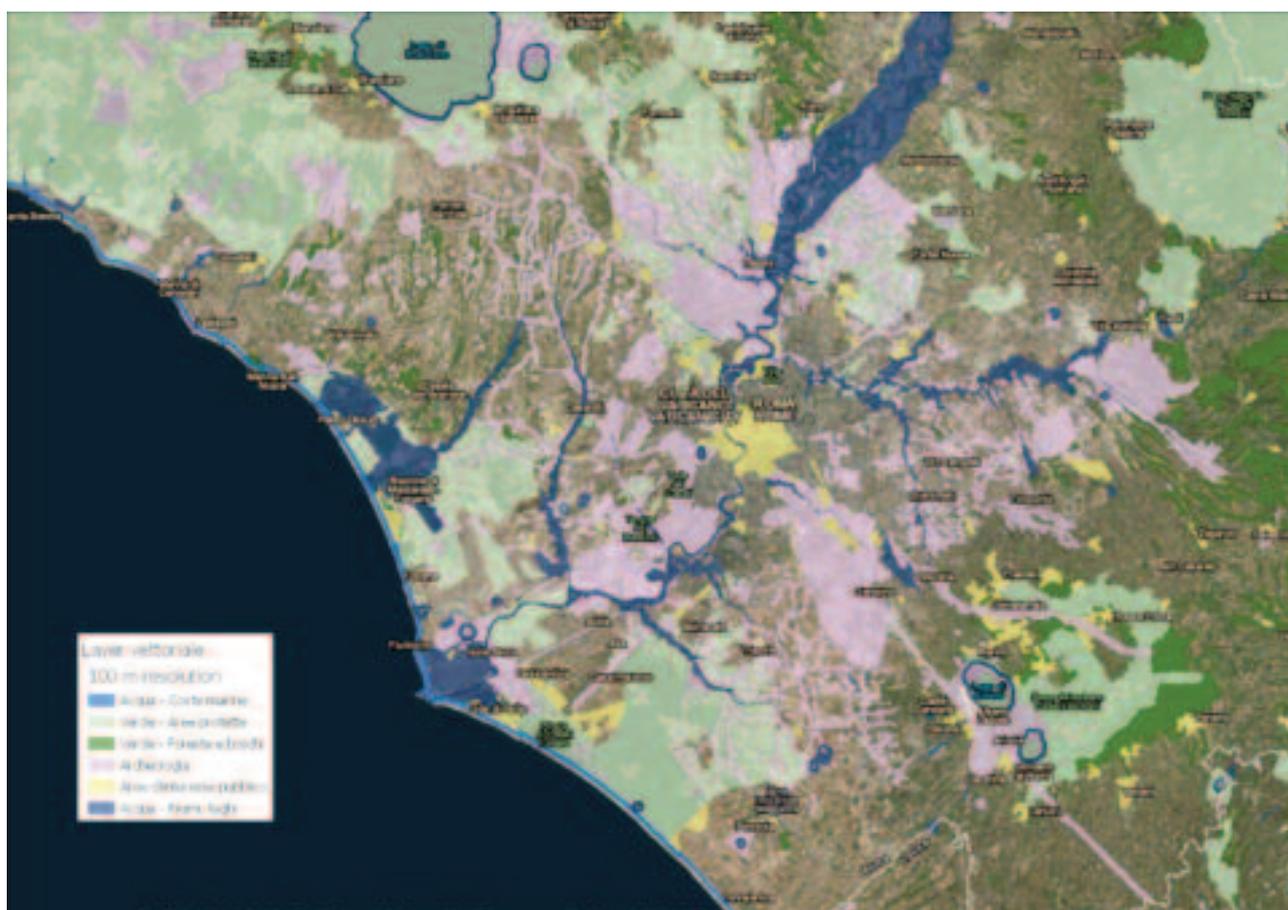


Figura 1 – Le 6 categorie di strati informativi visualizzati in mappa

I dati forniti dai *social network* svolgono un ruolo aggiuntivo, teso all’interrogazione e all’estrazione di informazioni rilevanti e pertinenti tramite l’analisi di contenuti provvisti di *geo-tag*, su comportamenti umani, interazioni uomo-ambiente e *feedback* degli utenti.

La piattaforma *ESRI ArcGIS* fornisce gli strumenti necessari per l'architettura e lo sviluppo del *webGIS-DSS*. Nello specifico, il software *ArcGIS PRO* viene impiegato per il processamento dei dati, mentre *ArcGIS Online* offre l'ambiente *cloud* per lo *storage* dei dati e lo sviluppo di interfacce grafiche per mezzo di *dashboard* di visualizzazione e interrogazione dati e infografiche di sintesi. La rappresentazione cartografica dei dati avviene in modo dinamico e interattivo tramite strumenti di *query* ed esportazione dei dati.

Concettualizzazione di un *web GIS-DSS* integrato

Un *web GIS* è una piattaforma di visualizzazione dei dati geospaziali accessibile per mezzo di un *web browser*, di un server di *hosting* dei dati, di un *IP* pubblico. Esso fornisce agli utenti di internet funzioni per comprendere, visualizzare e interrogare elementi, fenomeni e processi territoriali sotto forma di attributi grafici e numerici dotati di riferimenti geospaziali. Una *dashboard*, invece, rappresenta l'interfaccia di visualizzazione dati per mezzo di mappe dinamiche, interne ad un *web GIS*. Il modello concettuale (v. figura 2) intende realizzare un'interfaccia grafica che integri i dati delle pianificazioni regionali con contenuti forniti da utenti *online*, noti anche come *user-generated content (UGC)*. Quest'ultimi possono fornire informazioni mirate e complementari ai decisori e ai pianificatori in aggiunta ai dati autoritativi a sostegno delle attività di governo e gestione del territorio in termini di luoghi d'interesse, patrimonio culturale e naturale a rischio, usi del suolo e trasformazioni in atto. Una serie di informazioni aggiuntive che può far luce su aspetti specifici del paesaggio e degli spazi urbani, secondo una prospettiva *bottom-up* che colloca le comunità locali al centro del *decision-making*.

In questo senso, le *dashboard* di visualizzazione dati costituiscono lo strumento appropriato per mettere in relazione dati ufficiali – prodotti nell'ambito delle pianificazioni strategiche del territorio – con le informazioni fornite dagli utenti. Queste ultime possono far luce sulla percezione dei luoghi da parte dei cittadini e fornire *feedback* utili sull'orientamento e sugli effetti delle politiche territoriali.

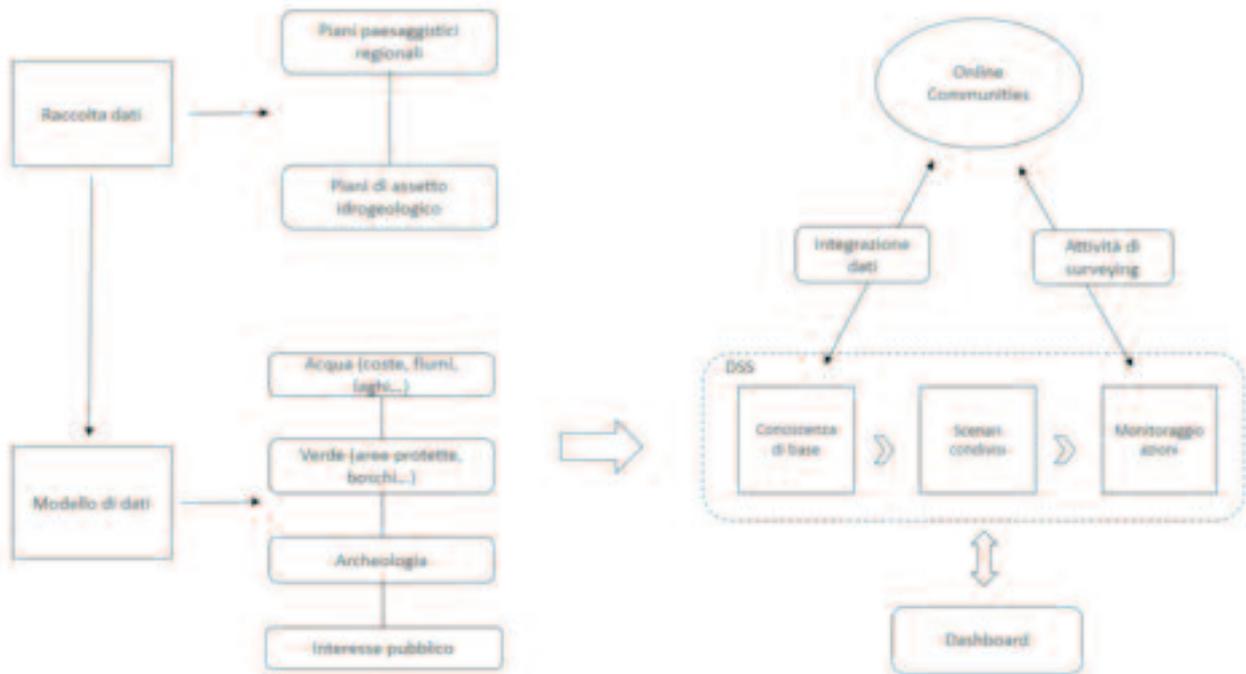


Figura 2 – Modello concettuale del web GIS-DSS per il coinvolgimento dei cittadini

Il ruolo dei cittadini – organizzati all’interno di comunità *online* – può dunque risultare decisivo nella comprensione delle dinamiche evolutive del territorio. Lo scopo di questo modello concettuale è quello di favorire la realizzazione di uno strumento di supporto alle decisioni inclusivo e che metta in connessione differenti tipi di utenza (cittadini non esperti, *decision maker*, *stakeholder*) fornendo a ciascuno gli stessi strumenti di informazione geospaziale all’interno di una piattaforma condivisa di scambio dati e informazioni. La condivisione e l’integrazione di dati all’interno di un *web GIS-DSS* univoco risponde all’esigenza di coniugare le esigenze dei residenti con le caratteristiche ambientali, paesaggistiche e morfologiche degli spazi urbani in cui vivono e interagiscono. Lo sviluppo di un *web GIS-DSS* per il coinvolgimento dei cittadini nei processi di pianificazione e gestione territoriale prevede l’integrazione di moduli per la raccolta dei contenuti degli utenti attraverso due potenziali applicazioni:

- ∞ Sviluppo di piattaforme di *surveying online*, promossi tramite *social network*, per la raccolta di informazioni georiferite su base volontaria e mirata;
- ∞ Raccolta passiva di informazioni attraverso l’acquisizione di contenuti *social* anonimi tramite funzioni di *Application Programming Interface (API)*.

Un caso di studio: Roma

Il modello di dati illustrato in precedenza è stato testato su un caso di studio riguardante le aree sottoposte a vincolo paesaggistico e idrogeologico nell’ambito del Piano Territoriale Paesaggistico Regionale del Lazio. Allo stato attuale del lavoro, le fasi e gli elementi del modello concettuale teso al coinvolgimento delle comunità online con i modelli di pianificazione regionale

sono visualizzati tramite *layout GIS*, *dashboard* e infografiche connesse con il *web GIS*. Una visualizzazione a campione degli *UGC* viene fornita per descrivere l'implementazione dei dati forniti da utenti online nell'ambito del dominio di studio (v. figura 3).

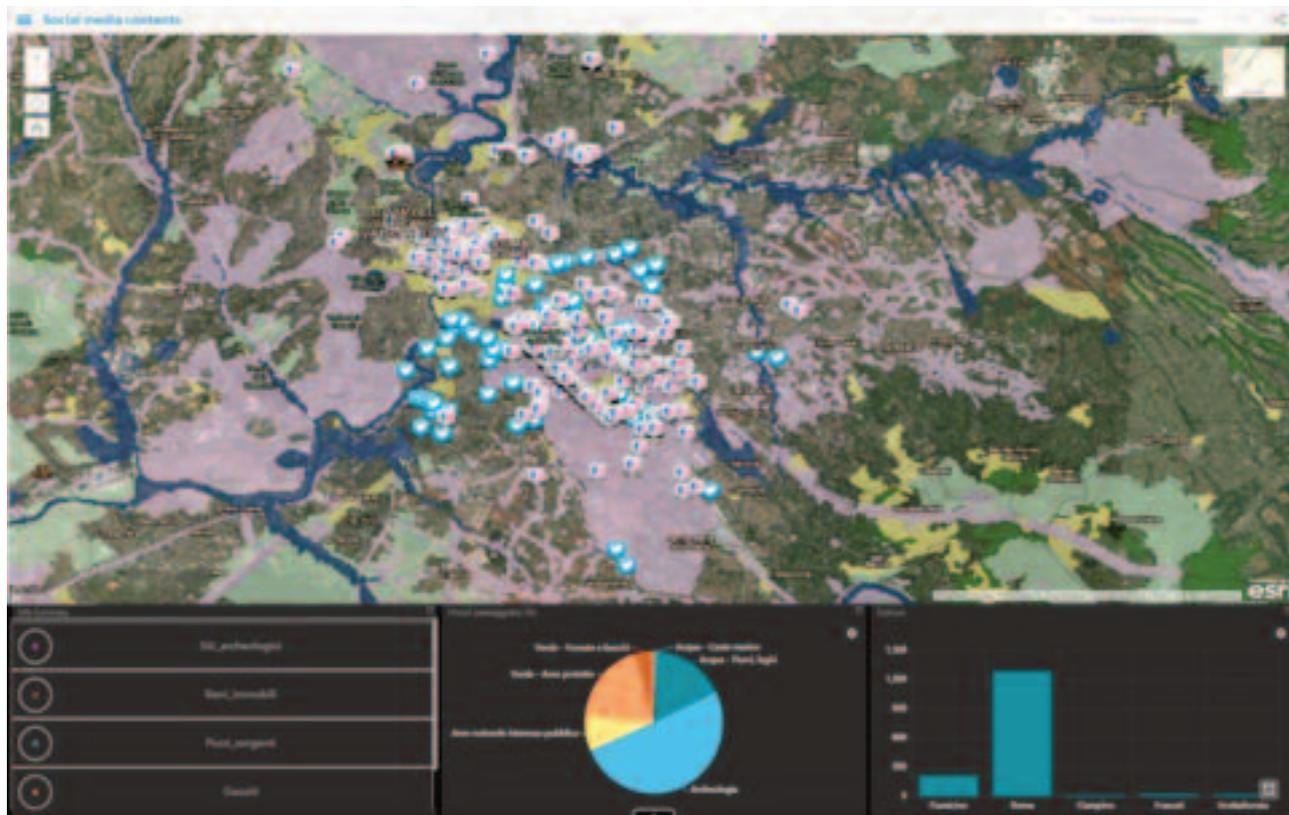


Figura 3 – Visualizzazione del web GIS-DSS con interfaccia di dati dinamici

La *dashboard* qui illustrata fornisce ai decisori una conoscenza di base degli elementi e delle aree sottoposte a regime di tutela e delle aree a rischio che connotano il paesaggio urbano ed orientano le prospettive di sviluppo e trasformazione urbana. Il coinvolgimento dei cittadini – organizzati nell'ambito delle comunità *online* – segna l'evoluzione della *dashboard* a strumento di supporto alle decisioni a tutti gli effetti. Le funzioni conoscitive del modello di analisi sono così estese agli scenari e alle azioni intraprese per una pianificazione condivisa e concertata, tramite integrazione dei dati e metodi di *surveying*.

Un *test* a campione nella parte urbana dell'antica via Appia (zona sud-est di Roma) consente di spiegare meglio i concetti teorici finora esposti. L'area in questione ricade all'interno di zone vincolate per interesse archeologico, paesaggistico e per la presenza di aree verdi, nonostante la presenza di superfici artificiali e urbanizzate al suo interno che sembrano indicare usi del suolo contrastanti (v. figura 4). In un caso simile le informazioni fornite e condivise dai cittadini – tramite l'uso di *social media* e piattaforme *online* di scambio e condivisione dati – può risultare utile nell'orientamento e nel

supporto delle attività pianificatorie verso una mediazione fra le esigenze delle comunità locali e la necessità di tutelare il paesaggio e le risorse territoriali.



Figura 4 - UGC a campione indicanti abitudini e comportamenti dei cittadini sul territorio

Discussione

L'impiego di strumenti *GIS-DSS* è ampiamente consolidato nell'ambito delle pianificazioni strategiche del territorio, degli spazi urbani e del paesaggio, così come la disponibilità di dati geospaziali all'interno delle piattaforme istituzionali di open data è sempre più crescente. L'ampia disponibilità di dati relativi ai piani di assetto territoriale rafforza la pratica sempre più diffusa di realizzare sistemi informativi utili a *stakeholder* e pianificatori così come per diffondere conoscenza ad un pubblico più vasto, formato spesso da cittadini non esperti. Le nuove tecnologie – di uso diffuso e comune – rendono tuttavia questi ultimi non solo fruitori di informazione geografica, ma anche potenziali produttori di dati, la cui analisi offre scenari innovativi di conoscenza e modelli organizzativi impostati sulla personalizzazione dei servizi e sull'orientamento delle politiche pubbliche in cui il cittadino può ricoprire un ruolo sempre più attivo.

Le potenzialità del coinvolgimento dei cittadini nell'ambito delle attività di pianificazione sono tuttora oggetto di studio. Questo contributo, del resto, si limita a concettualizzare un potenziale coinvolgimento, lasciando ancora aperti interrogativi circa le modalità di coinvolgimento e le motivazioni che possono spingere gli utenti a condividere dati e informazioni utili alle attività di pianificazione. Possibili limiti a questo campo d'indagine sono infatti rappresentati sulla definizione di comunità *online* atte a supportare le attività di pianificazione. Allo stato attuale, la pianificazione resta un'attività relegata alla sfera degli esperti, le cui procedure tecniche e applicative risultano lontane dai comuni cittadini. Questo contributo allora intende fornire dei primi spunti di

riflessione verso un approccio partecipativo e inclusivo dei cittadini nei processi e nelle dinamiche pianificatorie che riguardano la collettività e gli ambienti naturali e urbani in cui essa interagisce.

Riferimenti

Albuquerque J., Herfort B., Brenning A. e Zipf A. (2015), "A geographic approach for combining social media and authoritative data towards identifying useful information for disaster management", *International Journal of Geographical Information Science*, 29: 4

Assumpção T., Popescu I., Jonoski A. e Solomatine D. (2018), "Citizen observation contributing to flood modelling: opportunities and challenges", *Hydrology and Earth System Sciences*, 22

Campagna M., Floris R., Massa P., Girsheva A. e Ivanov K. (2012), "The role of Social Media Geographic Information (SMGI) in spatial planning", in Geertman S., Ferreira J., Goodspeed R. and Stillwell J. (a cura di), *Planning support systems and smart cities*, Springer, Cham, 41-60

Goodchild M.F. (2007), "Citizens as sensor: the world of volunteered geography", *GeoJournal*, 69

Lisjak J., Schade S. e Kotsev A. (2017), "Closing data gaps with Citizen Science? Findings from the Danube Region", *International Journal of Geo-Information*, 6: 277

Spasiano A. e Nardi F. (2019), "A GIS-based fuzzy analysis for mapping the touristic potential in Lazio Region (Italy)", *Journal of Research and Didactics in Geography*, 1: 8

Sviluppo di un web GIS per l'analisi delle risorse e delle funzioni del paesaggio in relazione a fattori di rischio idrogeologico e urbano tramite analisi multi-criterio

Andrea Spasiano ^(a), Fernando Nardi ^(a)

^(a) Università per Stranieri di Perugia, Piazza Fortebraccio 4, 06123 Perugia,
andrea.spasiano@unistrapg.it; fernando.nardi@unistrapg.it

Abstract esteso

Il paesaggio è al centro delle pianificazioni strategiche del territorio, orientando il *decision* e la *policy making* territoriale in materia di: sostenibilità ambientale; gestione dei rischi naturali; tutela e valorizzazione del patrimonio culturale; organizzazione di attività socio-economiche; usi e consumo di suolo; gestione dello *sprawl* urbano e di reti infrastrutturali; attività di riqualificazione ambientale e urbana. Monitorare e valutare i fattori di rischio e degrado del paesaggio diventa così fondamentale nell'adozione di una *governance* territoriale su differenti livelli di scala geografica e amministrativa. L'evoluzione delle tecnologie geospaziali – associata alla crescente disponibilità e diffusione degli open data impiegati nella redazione dei piani paesaggistici regionali e in quelli di assetto idrogeologico – apre a nuovi scenari di analisi geografiche per la gestione delle risorse ambientali e culturali del paesaggio. Questo lavoro – sviluppato nell'ambito di una ricerca in itinere del centro di ricerca WARREDOC dell'Università per Stranieri di Perugia – presenta una metodologia di analisi GIS multicriterio ancora in fase sperimentale - mirata ad orientare il *decision making* per la gestione del paesaggio in connessione con il rischio idrogeologico e degrado urbano.

Il substrato teorico che sorregge questo lavoro è rappresentato da riferimenti normativi e orientamenti programmatici forniti dalla Convenzione Europea del Paesaggio (2000), dal Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.lgs. 42/2004) e dalla Carta Nazionale del Paesaggio (2018) che sottolineano la centralità funzionale del paesaggio e delle risorse ambientali e culturali nell'ambito delle pianificazioni strategiche del territorio. In quest'ottica, il vincolo paesaggistico viene così inteso come strumento per orientare le trasformazioni del territorio tramite azioni pratiche volte alla valorizzazione dei servizi ecosistemici (Salata et al., 2016) che includono: manutenzione del suolo, riduzione dei rischi di stabilità idrogeologica, dei costi del degrado ambientale, attività didattiche, di accoglienza sociale, di produzione energetica e una molteplicità di imprenditorialità indotte (Poli, 2012). Emerge così una visione tesa a coniugare gli aspetti estetico-percettivi, socio-culturali e naturalistici degli usi del suolo con quelli legati ai fattori di rischio

idrogeologico, utili a comprendere i potenziali impatti dell'azione antropica sugli equilibri territoriali.

Dati e strumenti GIS supportano da tempo la redazione dei piani di governo e gestione territoriale – tra cui Piani Paesaggistici Regionali (PPR), Piani Territoriali Paesaggistici Regionali (PTPR), Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e Piani Regolatori Generali (PGR) di livello comunali – attraverso la digitalizzazione del patrimonio informativo territoriale. È in questo contesto che si realizzano le banche-dati relative alla composizione dei vincoli paesaggistici, dei beni ambientali e culturali (compresi quelli puntuali e lineari), delle reti infrastrutturali, delle aree a rischio. A livello amministrativo, l'utilizzo di tecnologie GIS si limita alla fase di ricognizione e mappatura degli elementi (areali, lineari, puntuali) oggetto di tutela. Le norme tecniche d'attuazione dei piani di assetto territoriale prevedono infatti la produzione di elaborati cartografici di piano, quale strumento di supporto per la conoscenza e la pianificazione del territorio. La settorializzazione e la suddivisione delle competenze amministrative in materia di pianificazione territoriale – associata alla molteplicità degli attori coinvolti – tuttavia implica differenze tecnico-strutturali nella redazione e nell'adozione dei piani. Differenze che trovano riscontro anche nella produzione, nella struttura tecnica e nella disponibilità dei relativi dati geospaziali attraverso piattaforme *web* GIS istituzionali (quali, ad esempio, i portali regionali). Tali criticità costituiscono, perciò, un ostacolo all'implementazioni di analisi spaziali e comparative su larga scala e non offrono una lettura univoca e integrata dei diversi piani di assetto territoriale adottati su differenti livelli di scala amministrativa.

Scopo di questo lavoro è dunque lo sviluppo di uno strumento di supporto alle decisioni strategiche (DSS) su base *web GIS* per una lettura integrata e dinamica dei diversi piani di assetto territoriale (PPR, PTPR, PAI) tramite una procedura di omogeneizzazione e standardizzazione dell'informazione geospaziale disponibile. Per omogeneizzazione si intende una procedura di elaborazione dei dati tesa ad unire informazioni diversamente strutturate all'interno di strati informativi univoci e descrittivi delle caratteristiche essenziali degli elementi e dei sistemi naturali, agro-forestali e storico-insediativi che connotano il paesaggio e le strutture territoriali. Il passaggio dal dato originario allo strato informativo univoco è essenziale per implementare analisi multicriterio, allo scopo di individuare e valutare le funzioni potenzialmente più efficienti che possono essere svolte dal suolo in materia di tutela e valorizzazione dei beni culturali e ambientali e di orientamento del *decision* e della *policy making* territoriale (Carver, 1991; Malczewski, 2006; Salata et al., 2016).

La procedura metodologica finalizzata alla definizione del modello di dati omogeneizzato è così articolata:

- ∞ Acquisizione dei dati open dai portali istituzionali;
- ∞ Omogeneizzazione dei dati e standardizzazione tramite individuazione di campi tabellari comuni e univoci;

- ∞ Unione dei dati in stati informativi univoci e rasterizzazione degli stessi in griglie pari a 100x100 m, che costituiscono unità areali d'analisi omogenee;
- ∞ Assegnazione di pesi e valori a ciascuno strato;
- ∞ Somma pesata degli strati.

L'ambito della Regione Lazio rappresenta un primo *test* a campione, tramite l'impiego di dati geografici relativi ai vincoli paesaggistici definiti ai sensi degli articoli 134 e 142 del D.lgs. 42/2004 nell'ambito del Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (2007) e alle aree a rischio nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico. Un ulteriore fonte di dati è costituita dal portale SINAnet dell'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA) da cui sono stati scaricati i dati del *Corine Land Cover* (2012) afferenti agli usi del suolo, relativamente alle superfici artificiali e le superfici agricole utilizzate.

Gli strati informativi univoci elaborati descrivono, così, le caratteristiche strutturali dei differenti piani di assetto territoriale (v. tabella 1), attraverso cui fornire una lettura integrata e dinamica su supporto cartografico digitale, sviluppato con soluzioni *web GIS*.

Vincoli paesaggistici e idrogeologici		
Layer	Descrizione	Fonte
Acqua – coste marine	Territori costieri (300m dalla battigia)	Open Data Lazio
Acqua – Fiumi, laghi	Fiumi, torrenti, corsi d'acqua, zone a rischio idrogeologico	Open Data Lazio
Verde – Aree protette	Parchi e riserve naturali, zone umide	Open Data Lazio
Verde – Foreste e boschi	Territori coperti da foreste e boschi	Open Data Lazio
Archeologia	Zone d'interesse archeologico	Open Data Lazio
Aree d'interesse pubblico	Immobili ed aree di notevole interesse pubblico	Open Data Lazio
Superfici agricole utilizzate		
Sistemi agro-forestali	Seminativi, colture permanenti, prati, zone agricole eterogenee	Corine Land Cover 2012/ISPRA-SINAnet
Superfici artificiali		
Aree degradate	Zone estrattive, cantieri, discariche, terreni artefatti e abbandonati	Corine Land Cover 2012/ISPRA-SINAnet

Tabella 1 – Elenco strati informativi univoci

L'assegnazione di pesi e valori a ciascuno strato è funzionale per l'implementazione di somme pesate, utili alla mappatura e alla valutazione delle potenziali funzioni territoriali nell'ambito delle attività di pianificazione e gestione territoriale. L'adozione di griglie di celle pari a 100x100 m è usato come parametro univoco per individuare concentrazioni o dispersioni di valori sull'intero territorio preso in esame.

L'ipotesi di partenza è quella di assegnare ad ogni strato un peso pari a 1, in quanto incide allo stesso modo nella definizione degli assetti paesaggistici e territoriale; la diversa assegnazione di valori (0, 1, 2) – come moltiplicatori del peso assegnato – indica la diversa funzionalità svolta da ogni singolo strato in ambito pianificatorio. Per tale ragione, si assegna un valore pari a 2 per i vincoli paesaggistici e idrogeologici, in qualità di unità areali sottoposti a particolari regimi di tutela per l'elevata concentrazione di risorse ambientali e culturali; valore pari a 1 per i sistemi agro-forestali, in cui si concentrano i servizi ecosistemici; valore nullo (0) per le superfici artificiali come cave e discariche o in stato di degrado e abbandono.

L'indicizzazione finale viene poi affidata ad un'analisi di tipo *fuzzy*, in modo da classificare i valori in un *range* compreso tra 0 (funzionalità nulla) a 1 (piena funzionalità). L'*output* finale dell'analisi offre così una mappatura dei valori sulla funzionalità del territorio in relazione ai vincoli paesaggistici e ai fattori di rischio e degrado, allo scopo di supportare i decisori e i pianificatori nelle loro scelte.

Il modello di analisi proposto presenta ancora limiti applicativi dovuti in primo luogo alla non completa disponibilità di dati su tutto il territorio nazionale. In secondo luogo, mancano criteri oggettivi e scientificamente appurati per la definizione di pesi e valori incidenti sugli elementi del paesaggio. Il lavoro tuttavia presenta caratteri di flessibilità e adattabilità su differenti contesti regionali, concettualizzando uno schema analitico in grado di supportare attività di pianificazione territoriale e delineare scenari di sviluppo impostati sulle funzionalità delle risorse ambientali e culturali.

Riferimenti

Carver S. (1991), "Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems", *International Journal of Geographical Information Systems*, 5: 3

Malczewski J. (2006), "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8

Poli D., "Introduzione. Regole e progetti per il paesaggio", in Poli D. (a cura di), *Regole e progetti per il paesaggio: verso il nuovo Piano Paesaggistico della Toscana*, Firenze University Press, Firenze, pp. XXVII-XXXIV

Salata S., Ronchi S. e Ghirardelli F. (2016), "I servizi ecosistemici a supporto della pianificazione paesaggistica", *Territorio*, 77: 8

Il ruolo della geomatica nell'analisi del "Greenness": risvolti sulla gestione della salute pubblica

Giulia Squillacioti ^(a), Samuele De Petris ^(b), Roberto Bono ^(a), Enrico Borgogno-Mondino ^(b)

^(a) Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche - Università degli Studi di Torino, Via Santena, 5 bis Torino, 011 670 5818, giulia.squillacioti@unito.it, roberto.bono@unito.it

^(b) Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali ed Alimentari- Università degli Studi di Torino, Largo P. Braccini 2, 0116705528, samuele.depetris@unito.it, enrico.borgogno@unito.it

1. Introduzione

Nel 2015 l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha stimato che circa il 54% della popolazione mondiale risiede in aree urbanizzate. Il contesto urbano sottopone l'uomo ad una moltitudine di stimoli potenzialmente dannosi per la salute, fra cui l'effetto isola di calore, l'inquinamento acustico e dell'aria. Data la complessità delle aree urbane, un approccio multidisciplinare è consigliabile al fine di definire come la configurazione delle città possa influenzare il benessere e la salute degli esseri umani. In particolare, la Ricerca scientifica degli ultimi anni si è concentrata sui possibili effetti che le aree verdi, soprattutto nei contesti urbani, possono esercitare sulla salute. Il "greenness", termine riferito alle aree verdi in ambito epidemiologico, è stato oggetto di recenti studi secondo i quali una maggiore "esposizione" al verde urbano favorirebbe il benessere fisico, mentale e sociale dei soggetti oggetto di studio. È stato ipotizzato che il greenness possa mitigare sia l'inquinamento dell'aria sia quello acustico nonché offrire maggiori opportunità ricreative, sociali e di promozione dell'attività fisica all'aperto. Alcuni autori hanno osservato che il greenness può influenzare lo stato generale di salute, la salute mentale, l'obesità, il peso alla nascita, il comportamento e la qualità della vita; tuttavia alcuni studi attestano risultati contrastanti, soprattutto in merito alla comparsa di allergie. La metrica più utilizzata e diffusa per la quantificazione del verde urbano negli studi epidemiologici è l'NDVI, ritenuto un indice di semplice fruizione soprattutto per i ricercatori di discipline lontane dalla geomatica. È noto però che quest'indice soffre la saturazione da parte della biomassa e il contributo del background specialmente in contesti misti. Per mitigare questi problemi, in questo studio, si è deciso di utilizzare anche l'indice SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). A tutt'oggi, non sono stati riportati contributi scientifici che approfondiscano l'utilizzo di altri indici per la quantificazione del greenness, né sono stati presi in considerazione gli effetti che le aree verdi possono avere su condizioni di suscettibilità, come condizioni pre-patologiche. A tal proposito lo scopo di questo studio è valutare se il greenness ha un ruolo nell'induzione di stress ossidativo, una condizione pre-patologica che, se

prolungata nel tempo, può condurre o essere causata da patologie future. Tale squilibrio può insorgere negli esseri viventi a seguito di stimoli in grado di incrementare la produzione di specie pro-ossidanti e/o di ridurre l'efficacia delle fisiologiche difese anti-ossidanti dell'organismo stesso. Un ulteriore obiettivo è capire se sia possibile attuare una migliore gestione delle aree verdi al fine di prevenire l'insorgenza di condizioni che, come lo stress ossidativo, possano implicare un rischio aggiuntivo per la salute.

2. Materiali e metodi

2.1. Area studio

La città di Torino è stata scelta come area studio per la forte presenza di aree verdi, 16 % della superficie e 24 m²/abitante di verde pro-capite attestandosi tra le città più verdi del pianeta. Le aree verdi hanno dimensioni medie di 3400 m². Sono presenti al 2019 più di 160000 alberi di cui 76000 costantemente monitorati. I generi più presenti nei viali alberati sono *Tilia*, *Aesculus*, *Celtis*, *Acer*, *Ulmus*, *Carpinus* con il genere *Platanus* che costituisce oltre il 30% del patrimonio arboreo della città.

2.2. Campione epidemiologico

Nel 2009 sono stati reclutati 205 soggetti di età compresa tra i 10 ed i 13 anni, residenti nel Comune di Torino, i quali hanno fornito il loro consenso informato scritto per partecipare ad uno studio condotto dal Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche dell'Università di Torino, previo parere favorevole del Comitato Bioetico di pertinenza. Ogni soggetto ha inoltre fornito un campione di urina, utilizzata per la quantificazione di un biomarker di stress ossidativo l'isoprostano (15-F2t-IsoP), riconosciuto ed affidabile. Inoltre, per mezzo di un questionario standardizzato, ogni individuo aderente allo studio ha fornito alcune informazioni fra cui l'indirizzo ed il Comune di residenza, la data di nascita, il peso, l'altezza e possibili altri dettagli relativi ad alcuni confondenti noti per la loro capacità di indurre stress ossidativo abitudine al fumo, alimentazione ecc.). La geolocalizzazione degli individui è stata imputata sulla base della loro residenza, desunta dal questionario di cui sopra, generando un layer puntiforme (P) a partire dalla mappa "Toponimi e numeri civici" della BDTRE (Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti) Piemonte con scala nominale 1:10000.

2.3. Dataset disponibile

Per questo lavoro si è utilizzata un'immagine multispettrale Landsat 5, ottenuta già calibrata in riflettanza al suolo (EarthExplorer, Livello 2A), del 5 luglio 2009. L'immagine fa riferimento al momento di massima espressione fenologica che per le nostre latitudini si attesta nel periodo di giugno-luglio e perciò si assume rappresentativa della vegetazione nell'anno considerato. La risoluzione geometrica delle immagini Landsat 5 (30 m) risulta compatibile con la dimensione media delle aree verdi nell'area di studio. Il sistema di riferimento è WGS84 UTM 32N. Per caratterizzare il verde verticale presente in

città è stato acquisito il database puntuale delle Alberate (ALB) redatto dal comune di Torino in formato vettoriale (shapefile, scala nominale 1:1000), aggiornato al 2019 e georiferito nel sistema WGS84 UTM 32N. La tabella di attributo di ALB contiene, per ogni albero censito, le seguenti informazioni: specie, diametro del fusto, altezza.

3. Elaborazioni

A partire dall'acquisizione multispettrale sono state generate le relative mappe di NDVI e di SAVI. Selezionando i soli pixel della scena con valori di NDVI superiori a 0.5 (considerati come rappresentativi di un'area significativamente vegetata) è stata generata la corrispondente maschera (NDVIm), utilizzata come base per l'analisi di prossimità condotta con il software SAG GIS vs.7.0 e per il mascheramento delle mappe di indice. Tale operazione ha permesso di generare una mappa raster (DIST) con passo di 30m, i cui pixel registrano la distanza euclidea orizzontale che li separa dall'elemento vegetato più vicino dedotto da NDVIm. Per qualificare l'ambiente circostante ai soggetti analizzati, rappresentati da 205 punti georiferiti, sono stati generati i corrispondenti buffer radiali, ammettendo una distanza di condizionamento di 300 m come suggerito da numerose sperimentazioni presenti in letteratura su tematiche analoghe. I buffer sono stati utilizzati per derivare le corrispondenti statistiche zonali: media e deviazione standard di SAVI; % di specie arboree rispetto al totale ricadente nel buffer (da ALB), estensione della copertura vegetale, distanza media della vegetazione più prossima. Sulla base dei valori ottenuti, sono state testate le correlazioni espresse con i valori di 15-F2t-IsoP.

4. Risultati attesi e possibili applicazioni

Il risultato atteso da questo studio è comprendere se e come la vegetazione urbana, alla quale sono virtualmente esposti gli adolescenti oggetto di questa indagine, possa avere un ruolo nell'induzione dello stress ossidativo determinandone un aumento oppure un decremento. La caratterizzazione della vegetazione aggiungerà un importante ed innovativo tassello per capire se alcune specie possano giocare un ruolo determinante rispetto ad altre. L'aspetto innovativo di entrambe le analisi, quantitativa e qualitativa, in relazione allo stress ossidativo attiene la valutazione di uno stato non patologico, ricadendo così nelle pratiche di prevenzione, determinanti soprattutto per una fascia della popolazione sensibile come gli adolescenti.

Reti Neurali Ricorsive applicate a sistemi di monitoraggio GNSS in tempo reale.

Luca Tavasci ^(a), Pasquale Cascarano ^(b), Luca Poluzzi ^(a),
Stefano Gandolfi ^(a)

^(a) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2, 40136, Bologna

^(b) Dipartimento di Matematica, Università di Bologna, Piazza di Porta San Donato, 5, 40126, Bologna

Introduzione

L'utilizzo di strumentazioni GNSS (Global Navigation Satellite Systems) vede un costante incremento per diverse ragioni: il generale abbassamento dei costi per l'hardware, lo sviluppo di sensori "low-cost" che hanno di fatto aperto una nuova fetta di mercato, l'incremento delle costellazioni satellitari disponibili, lo sviluppo di software di gestione sempre più intuitivi e di tecniche di rilievo più rapide ed efficienti. Nonostante le precisioni massime raggiungibili dai sistemi GNSS non siano variate significativamente nel corso degli ultimi anni, il fatto di poter ottenere risultati comunque di alto livello ad un costo e in tempi drasticamente inferiori rispetto al passato, ha incrementato il campo di applicazioni possibili per gli strumenti GNSS.

Il monitoraggio di strutture, in particolare, è un campo di applicazione che tipicamente richiede un'alta precisione, in termini di ripetibilità delle misure, dato che gli spostamenti potenzialmente critici sono in molti casi di ordine centimetrico o sub-centimetrico. Da questo punto di vista la tecnologia GNSS è sempre stata meno performante rispetto ad altre tecniche classiche non proprie della Geomatica quali estensimetri, inclinometri ecc. D'altro canto, altre tecniche geomatiche classiche, ad esempio basate su stazioni totali o livelli, sono certamente in grado di fornire le precisioni necessarie per il monitoraggio strutturale, se opportunamente utilizzate, tant'è che vengono adottate spesso proprio in fase di collaudo delle strutture. In questo caso, il limite nella diffusione su vasta scala di tali tecniche per il monitoraggio in continuo delle strutture è legato all'impossibilità di avere un dato di posizione aggiornato con elevata frequenza, a meno di ricorrere a stazioni totali motorizzate dai costi molto elevati.

Gli strumenti GNSS hanno invece la peculiarità di poter fornire osservabili acquisite ad alta frequenza, tipicamente quella di 1 Hz ma anche molto maggiori con gli strumenti più recenti. Sono stati inoltre sviluppati algoritmi e software che consentono il calcolo in tempo reale delle coordinate, per cui è possibile ricevere in un centro di controllo remoto la stima della posizione dei

punti oggetto di monitoraggio istante per istante, con un ritardo ridotto a pochi secondi, quindi assolutamente compatibile con applicazioni di allertamento precoce. Per questo motivo, unitamente alla diminuzione dei costi delle strumentazioni, è diventato di grande interesse lo studio di sistemi di monitoraggio basati su strumentazione GNSS. Si pensi infatti alla possibilità di installare un efficace numero di sensori su tutti i viadotti o le strutture sensibili presenti sul territorio, controllabili da remoto, ed in grado di fornire segnali di allarme in tempo quasi reale.

Come già accennato, il punto debole della tecnologia GNSS nell'ottica del monitoraggio strutturale è quello relativo alla ripetibilità delle coordinate che si ottengono, in particolare con algoritmi di calcolo in tempo reale. Questo aspetto è di fondamentale importanza, in quanto tanto più sono precise le coordinate ottenute dal sistema di misura tanto migliore sarà la possibilità riconoscere, con elevata affidabilità statistica, eventuali spostamenti dei punti monitorati anche se piccoli.

Per questo motivo già in passato ci si è occupati dello sviluppo di strategie che permettessero, attraverso il calcolo e l'applicazione di filtri sequenziali, di ridurre la dispersione delle serie temporali di coordinate misurate. In particolare, nel 2015 venne pubblicato un lavoro (1) svolto sul caso di studio della famosa torre Garisenda di Bologna, pericolosamente pendente e da tempo oggetto di monitoraggio con sensoristica di varia natura. Venne quindi appositamente installata una stazione permanente GNSS, di classe geodetica, sulla sommità della torre, e sviluppato un sistema di trasmissione in streaming delle osservabili, registrate alla frequenza di 1Hz, dal ricevitore ad un centro di calcolo remoto. Utilizzando poi il software di calcolo open source RTKLIB in modalità cinematica, vennero calcolate per ogni epoca di osservazione le baseline tra la stazione installata sulla torre (BOGA) ed una stazione permanente presente ad una distanza di circa un Km e mezzo.

Venne prima di tutto individuata, attraverso un'analisi di autocorrelazione, una ricorsività nella serie temporale delle baseline avente periodo in un giorno siderale (86164 sec.), coincidente con quello della costellazione GPS. Tale ricorsività risultò ben evidente a causa del forte effetto di multipath generato dalla vicina torre Asinelli, che sovrasta la Garisenda di svariate decine di metri, e che rende la qualità delle osservabili registrate dalla stazione di BOGA particolarmente sensibile alle variazioni nella disposizione geometrica dei satelliti. Al fine di stimare l'effetto ricorsivo sulle misure di baseline vennero calcolati, attraverso medie mobili opportunamente calibrate, dei modelli di variazione delle coordinate relativi a ciascun giorno siderale. Il modello di ciascun giorno venne poi utilizzato per predire la misura del giorno successivo, in modo che la misura effettivamente considerata per la valutazione degli spostamenti fosse la differenza tra la baseline dell'istante considerato e la predizione della stessa stimata sui dati del giorno precedente. In questo modo, venendo assorbita una buona parte della ricorsività presente nella serie temporale, si ottenne una significativa riduzione della dispersione, in termini di RMS, dei valori delle baseline. In particolare, i risultati migliori furono ottenuti applicando filtri calcolati considerando, per la stima del modello di predizione, non solo il giorno precedente bensì i 6 giorni precedenti. In questo modo si ottennero riduzioni tra l'RMS delle baseline misurate e l'RMS di quelle filtrate

nell'ordine del 20% circa, incrementando la sensibilità del monitoraggio a parità di dati osservati e senza perdere nulla in termini di tempo di latenza del sistema di allerta.

Negli ultimi anni, grazie alla diffusione dei Big Data e di risorse computazionali capaci di gestire grandi moli di dati (come le GPUs), sul fronte della matematica applicata si sta diffondendo sempre di più l'uso di algoritmi di Deep Learning. Tali algoritmi noti come Deep Neural Networks (DNNs) sono utilizzati per risolvere diversi problemi in Data Science, come ad esempio: riconoscimento di pattern, classificazione, regressione e rilevamento di anomalie. La classe dei DNNs comprende particolari algoritmi pensati per l'analisi di dati temporali, le Recurrent Neural Networks (RNNs). Le RNNs, a differenza delle classiche DNNs, sono in grado di gestire tipologie di dati riconducibili a serie temporali, in quanto ogni output dipende dal corrispondente input e, in una certa misura, dagli input precedenti. Questo rende le RNNs capaci di mettere in risalto le dipendenze temporali tipiche delle serie temporali. Le classiche RNNs hanno però messo in evidenza diversi problemi nella fase di apprendimento (2-3), utile per la stima dei parametri del modello, e per questo motivo sono state proposte alcune loro varianti come la Long Short Term Memory (LSTM) (4). Tale rete è caratterizzata da singole celle costituite a loro volta da tre strutture a "gabbia" ognuna delle quali svolge una precisa funzione. La struttura più importante è la struttura di "memoria" che permette di memorizzare le peculiarità di dati temporali racchiuse in un certo input al tempo t e metterle in risalto nell'output al tempo $t+1$, preservando in questo modo dipendenze temporali a lungo termine, caratteristica innovativa rispetto alla classiche DNNs e RNNs. La rete LSTM ha raggiunto risultati particolarmente buoni nel riconoscimento vocale (5), riconoscimento calligrafico (6) e recentemente nello sviluppo di un modello del traffico (7) e nella Navigazione Automatizzata dei veicoli (8). Per questi motivi si è deciso di implementare una variante della LSTM nel tentativo di modellare serie temporali GNSS e testarne l'utilizzo in un problema di monitoraggio strutturale. È stato quindi deciso di testare l'algoritmo LSTM sugli stessi dati raccolti dalla stazione GNSS presente sulla torre Garisenda e precedentemente utilizzati per lo sviluppo di filtri sequenziali. Scopo del test è stato quello di verificare se e quanto questi nuovi algoritmi possano contribuire a migliorare le performance di un sistema di preallerta in quasi tempo reale. In particolare, ancora una volta, è stata valutata la ripetibilità delle stime di baseline, in quanto strettamente correlata con la sensibilità del sistema nella affidabile determinazione di spostamenti anomali anche di piccola entità.

In questo caso, l'algoritmo LSTM è stato addestrato sulla base dei dati registrati nel giorno precedente a quello oggetto di analisi, ottenendo così una predizione sui valori di baseline stimati istante per istante. Tale predizione è stata poi sottratta al dato effettivamente calcolato per mezzo del software RTKLIB, ottenendo una serie di valori residui che rappresentano la nuova osservabile utilizzata per la valutazione di eventuali spostamenti anomali della struttura. Si precisa che, essendo il dato predetto stimato sulla base di una situazione in cui non si è verificato alcuno spostamento anomalo (supposto repentino, in quanto evidentemente queste strategie non si adattano al monitoraggio di spostamenti lenti, che d'altronde non sono di interesse per

sistemi di preallerta in tempo reale), nel caso in cui avvenisse uno rapido cedimento della struttura questo influenzerebbe comunque la serie dei valori residui rispetto al modello predetto. Inoltre, lo spostamento anomalo risulterebbe tanto più evidente quanto più grande rispetto al rumore della serie dei residui. Per questo, la riduzione della dispersione della serie dei residui rispetto alla dispersione dei valori delle baseline "grezze" stimate dal software GNSS può essere considerata come un parametro di miglioramento della sensibilità del sistema di monitoraggio nell'individuazione di spostamenti critici della struttura monitorata. Verranno quindi mostrati i risultati dell'applicazione di algoritmi di Deep Learning per il filtraggio delle serie temporali GNSS relative allo stesso caso di studio, torre Garisenda, già precedentemente analizzato. In questo caso, grazie ai nuovi e più sofisticati algoritmi, l'incremento di sensibilità del sistema di monitoraggio, in termini di riduzione dell'RMS dei dati misurati in condizioni ordinarie per la struttura, è dell'ordine di 60%. In Figura 1 si mostra, per uno dei giorni siderali analizzati, la serie temporale delle misure di baseline "grezze", stimate in modalità cinematica con RTKLIB (punti blu), la serie temporale dei residui filtrati tramite filtro sequenziale stimato con medie mobili (punti rossi), e la serie temporale dei dati filtrati con stime predette dall'algoritmo di machine-learning (punti verdi).

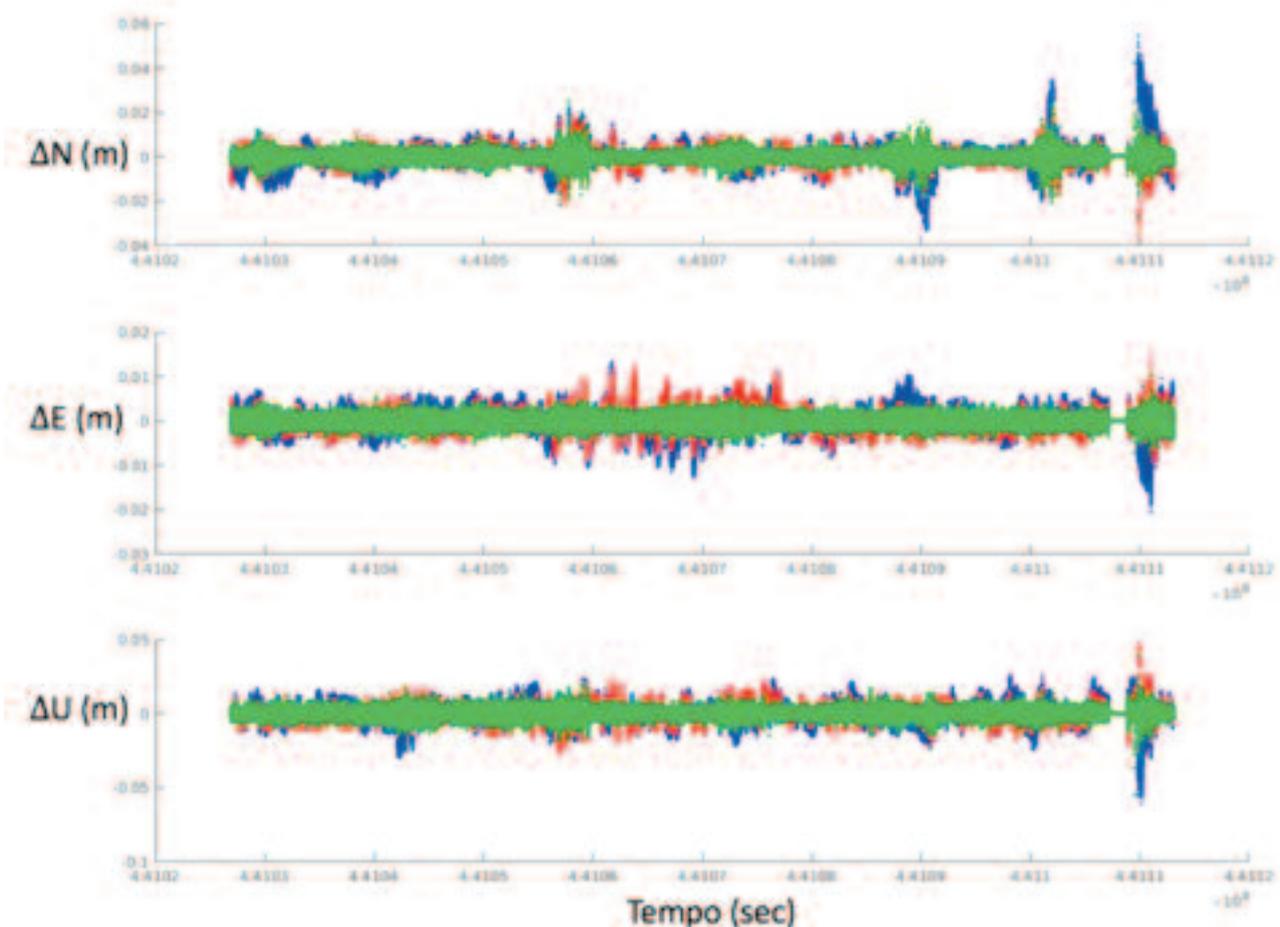


Figura 1 – Esempio di serie temporali misurate per la stazione BOGA, in condizioni ordinarie per la struttura (torre Garisenda), con 3 differenti strategie: baseline RTKLIB (blu), baseline filtrate con medie mobili (rosso), baseline filtrate con algoritmi LSTM (verde). L'immagine riporta un giorno di dati acquisiti alla frequenza di un Hz.

Come si può notare la dispersione dei dati filtrati con l'algoritmo oggetto di questo studio risultano di gran lunga meno dispersi rispetto a quelli delle altre serie temporali, permettendo quindi di evidenziare con ben maggiore efficacia un eventuale spostamento, che si manifesterebbe egualmente su tutte tre le serie di dati risultando però meno evidente per quelle maggiormente disperse.

Bibliografia

- 1) S. Gandolfi, L. Poluzzi, L. Tavasci, Structural Monitoring Using GNSS Technology and Sequential Filtering, in: FIG Work. Week 2015, Sofia (BG), 2015.
- 2) Y. Bengio, Patrice Simard, and Paolo Frasconi. Learning Long-Term dependencies with gradient descent is difficult. IEEE transactions on neural networks/ a publication of the IEEE Neural Networks Council, 5:157-66, February 1994.
- 3) Sepp Hochreiter. The vanishing gradient problem during learning recurrent neural nets and problem solutions. Int.J.Uncertain.Fuzziness.Knowl-Based Syst., 6(2):107-116, April 1998.
- 4) Sepp Hochreiter and Jurgen Schmidhuber. Long Short-Term Memory. Neural Computation, 9:1735-80, December 1997.
- 5) Alex Graves, Abdel-Rahman Mohamed, and Geoffrey Hinton. Speech Recognition with Deep Recurrent Neural Networks. ICASSP, IEEE International Conference of Acoustics, Speech and Singla Processing- Proceedings, 38, March 2013.
- 6) Alex Graves, Generating Sequences with Recurrent Neural Networks. ArXiv:1308.0850, August 2013.
- 7) Yuelei Xiao, and Yang Yin. Hybrid LSTM Neural Network for Short-Term Traffic Flow Prediction. Information, 10:105, March 2019.
- 8) Hee-Un Kim and Tae-Suk Bae. Deep Learning Based GNSS Network-Based Real-Time Kinematic Improvement for Autonomous Ground Vehicle Navigation. Journal of Sensors 2019:1-8, March 2019.

Analisi multitemporale di immagini satellitari per il monitoraggio di aree colpite da alluvione

Francesca Trevisiol (a), Pietro Mattivi (a), Gabriele Bitelli (a)

(a) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, francesca.trevisiol2@unibo.it, pietro.mattivi2@unibo.it, gabriele.bitelli@unibo.it

Introduzione

Le serie multitemporali di immagini telerilevate rappresentano uno strumento essenziale per il monitoraggio di fenomeni caratterizzati da stagionalità, come avviene ad esempio in agricoltura. Tale tipo di monitoraggio, esteso a intervalli temporali sempre più ampi, è reso possibile dalla grande disponibilità di immagini gratuite e moderni strumenti di calcolo.

In tale contesto si inserisce Google Earth Engine (GEE), piattaforma di analisi geospaziale basata su *cloud*, ideata per archiviare e processare grandi moli di dati (Gorelick et al., 2017). A partire dal 2010 GEE mette a disposizione degli utenti gratuitamente oltre 40 anni di immagini satellitari e altri *dataset* geospaziali come ad esempio modelli digitali del terreno, dati climatici, meteo e demografici (Mutanga and Kumar, 2019). Oltre a questo enorme *data warehouse*, GEE offre le capacità di calcolo di Google e gli algoritmi per l'elaborazione di tali dati. La relativa semplicità di questo strumento rende accessibile la nuova frontiera dell'analisi di Big Data telerilevati (Casu et al., 2017), che per essere elaborati richiederebbero altrimenti notevoli capacità di calcolo e spazio di archiviazione, traducibili in un'ingente spesa in hardware e software.

Tali caratteristiche rendono GEE una piattaforma che ha trovato recentemente applicazione in diversi ambiti: mappatura e monitoraggio della vegetazione, mappatura del land-cover/use e gestione delle catastrofi (Mutanga and Kumar, 2019). In particolare, GEE risulta uno strumento particolarmente adatto alle applicazioni in ambito agricolo su diversa scala, quali la stima del raccolto, la mappatura delle aree coltivate, la valutazione della vulnerabilità a malattie e parassiti.

Caso di studio

Il presente lavoro, sfruttando le potenzialità offerte da GEE, si propone di studiare l'evoluzione nel tempo della copertura di alcuni campi agricoli attraverso l'analisi di lunghe serie temporali di immagini satellitari. A questo scopo si è scelto di utilizzare i dati open disponibili nel catalogo GEE (Google, 2019) delle missioni satellitari Landsat, le quali offrono la più lunga e continua serie di dati di osservazione della superficie terrestre da satellite (Irons et al., 2012). Nello specifico l'analisi ha considerato le immagini acquisite dal sensore ETM di Landsat 5 tra il 1984 e il 2012 e dal sensore OLI di Landsat 8 dal 2013

ad oggi, opportunamente filtrate in base alla copertura nuvolosa sull'area di interesse.

Attraverso lo studio nel tempo della copertura dei campi è possibile individuare dei *pattern* ricorsivi dello sviluppo fenologico della vegetazione, permettendo di definire il tipo di coltura (primaverile-estiva o autunno-vernina) e, di conseguenza, l'individuazione di possibili comportamenti anomali.

Il caso di studio ha riguardato aree agricole presenti sul territorio della regione Emilia-Romagna per le quali sono disponibili dati storici indicanti il tipo di coltura e recentemente interessate da episodi alluvionali.

Conclusioni

Lo studio ha confermato le potenzialità della piattaforma Google Earth Engine per l'analisi multisensore di lunghe serie temporali di immagini satellitari con interessanti riscontri e possibili sviluppi in ambito agricolo. Tale lavoro rappresenta la fase preliminare per la messa a punto di una procedura standardizzabile per lo studio dell'andamento fenologico delle coltivazioni nel tempo, per il riconoscimento e la classificazione del tipo di coltura e infine per il monitoraggio dei danni causati da eventi estremi.

Riferimenti bibliografici

- Casu, F., Manunta, M., Agram, P.S., Crippen, R.E., (2017). "Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences". Remote Sensing of Environment. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.013>
- Google, (2019). Earth Engine Data Catalog [WWW Document]. URL <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., (2017). "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". Remote Sensing of Environment. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Irons, J.R., Dwyer, J.L., Barsi, J.A., (2012). "The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission". Remote Sensing of Environment 122, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Mutanga, O., Kumar, L., (2019). "Google Earth Engine Applications". Remote Sensing 11, 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>

