

Il nuovo strato Edificato da tecniche “deep learning” come fonte per l’aggiornamento del Database Topografico e per il monitoraggio del consumo di suolo

Stefano Olivucci ^(a), Marco Nerieri ^(b),
Gabriella Ruggieri^(c), Maria Romani^(d)
Simone Ceresini ^(e), Giuseppe Gentili^(f)

- (a) Regione Emilia-Romagna, Via dei Mille 21,
Bologna, stefano.olivucci@regione.emilia-romagna.it
- (b) Regione Emilia-Romagna, Via Aldo Moro, 30,
Bologna, marco.nerieri@regione.emilia-romagna.it
- (c) Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma 2012, Via Aldo Moro, 64,
Bologna, gabriella.ruggieri@regione.emilia-romagna.it
- (d) Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma 2012, Via Aldo Moro, 64,
Bologna, maria.romani@regione.emilia-romagna.it
- (e) CGR Spa Compagnia Generale Riprese Aeree, Via Cremonese 35/A,
Parma, simone.ceresini@cgrspa.com
- (f) CGR Spa Compagnia Generale Riprese Aeree, Via Cremonese 35/A,
Parma, giuseppe.gentili@cgrspa.com

Riassunto

La Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con l’Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma 2012, nell’ambito del miglioramento della propria cartografia di base ha acquisito una nuova fornitura di dati cartografici digitali costituita da Ortofoto ad alta risoluzione, DSM ad alta risoluzione e rappresentazione poligonale dell’Edificato, derivati dalle medesime riprese aeree. Lo strato poligonale dell’Edificato è stato restituito tramite tecniche di riconoscimento basate su metodologie “deep learning” con supervisione e filtratura di falsi positivi e negativi, integrazione ed ulteriore perfezionamento da parte di operatori specializzati. Per le caratteristiche di qualità, omogeneità posizionale e temporale, i nuovi dati hanno una molteplice valenza:

- ∞ quale riferimento cartografico iniziale per il monitoraggio delle aree trasformate in attuazione dei piani urbanistici e per il calcolo del consumo del suolo;
- ∞ quale fonte e supporto per la gestione degli interventi per la ricostruzione dal sisma del 2012;
- ∞ quale fonte di qualità posizionale e temporale nota ed omogenea per l’aggiornamento del database geo-topografico regionale, in particolare per ciò che riguarda i temi dell’edificato.

Ortofoto, DSM e poligoni edificato sono inoltre resi disponibili a tutti i soggetti che operano sul territorio, sia agli EE. LL. sia, tramite servizi web, a professionisti e imprese, in modo da costituire un nuovo riferimento cartografico condiviso alle grandi scale.

L’articolo vuole quindi fare il punto sull’esperienza dell’Emilia-Romagna in particolare riguardo all’acquisizione di dati ottenuti con nuove tecnologie, ormai disponibili sul mercato.

Introduzione

La Regione Emilia-Romagna, fin dalla sua costituzione, prevede la formazione di una cartografia regionale (L.R. 24/1975) quale supporto generale delle funzioni della pubblica amministrazione ad in particolare alle di raccolta e gestione dei dati di supporto alle funzioni di programmazione e pianificazione territoriale, come indicato negli articoli relativi agli strumenti cartografici delle diverse Leggi regionali urbanistiche (LR 20/2000 Art. 27, LR 24/2017 Art. 57).

La cartografia regionale di base attuale è di fatto costituita da una serie di prodotti cartografici digitali correlati tra loro per la rappresentazione del territorio alle grandi scale, condivisa e resa disponibile sia agli EE.LL. che a tutti i soggetti che sul territorio regionale operano. Le componenti principali sono: Rete geodetica, Immagini georeferenziate (ortofoto), Database Topografico Regionale, Database Uso del Suolo di dettaglio. A queste componenti si aggiungono le basi dati catastali, per il tramite del progetto interregionale SigmaTer nonché il tema dei dati di tipo storico.

Nell'ambito delle azioni di monitoraggio e gestione del territorio previste, viene individuato come anno di riferimento iniziale, denominato t_0 , l'anno 2018, anno immediatamente successivo alla promulgazione della LR 24/2017 e anno iniziale previsto per il monitoraggio delle aree trasformate di cui alla DGR 376/2018 "Modalità operative e contenuti informativi per il monitoraggio delle trasformazioni realizzate in attuazione del piano urbanistico comunale". In tale delibera citata si individuano il database Uso del Suolo, come lo strumento di riferimento per la verifica delle realizzazioni per attuazione diretta, ed il Database Topografico Regionale come supporto cartografico ed informativo per la rappresentazione delle aree trasformate.

L'Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma-2012 è impegnata a monitorare gli interventi della ricostruzione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio nonché ad implementare la base informativa degli edifici di nuova costruzione (che in taluni casi hanno cambiato sedime) da fornire agli Enti Locali per ottimizzare la conoscenza del tessuto edilizio esistente a seguito dell'evento sismico e degli interventi realizzati per le future attività di programmazione e pianificazione del territorio.

Obiettivi

L'obiettivo che la Regione ed Agenzia si sono posti, è quello di provvedere ad una serie di azioni per il miglioramento della qualità in termini di aggiornamento, copertura territoriale, accuratezza geo-topografica, accuratezza e completezza degli aspetti tematici e delle informazioni contenute, delle diverse componenti della cartografia di base allo scopo di rendere disponibili in tempi brevi gli adeguati supporti cartografici ed informativi alle attività della Regione Emilia-Romagna, delle Agenzie, degli EE.LL. regionali, degli altri soggetti pubblici e privati che operano sul territorio.

Nell'ambito dell'analisi dell'utilizzo applicativo delle diverse tipologie di dati contenuti nel Database Topografico Regionale, emerge inoltre che il tema dell'Edificato assume rilevanza prioritaria nelle attività di monitoraggio delle trasformazioni e del consumo di suolo, nella gestione di una Anagrafe Comunale degli Immobili così come a supporto del Sistema Integrato

dell'Edilizia dell'Emilia-Romagna, ed è inoltre supporto fondamentale a diverse altre funzioni di gestione del territorio, quali la valutazione degli inquinamenti elettromagnetico ed acustico, per le quali conoscere la consistenza volumetrica degli edifici e un dato fondamentale.

Si è ritenuto quindi opportuno porre una particolare attenzione ad individuare le azioni più opportune da svolgere ai fini degli obiettivi citati con una particolare priorità verso il tema dell'Edificato.

Nel corso degli ultimi anni, si sono affacciate al mercato della produzione dei dati digitali, tecniche che, basandosi su algoritmi di interpretazione di immagini telerilevate, consentono di individuare e riconoscere particolari tipologie oggetti e di definirne con accuratezze crescenti le rappresentazioni vettoriali. Queste tecniche sfruttano algoritmi sviluppati nell'ambito dell'ampia disciplina dell'intelligenza artificiale ed in particolare di quella specializzazione delle reti neurali e delle tecniche di autoapprendimento (machine learning), consente di disporre di metodologie di produzione che, dopo un adeguato periodo di apprendimento, restituiscono di fatto dati cartografici digitali da fotointerpretazione, con accuratezza congruente con prodotti cartografici alle scale 1:10.000 / 1:5.000, con tempistiche ristrette e con grado di affidabilità che ne fanno un prodotto di mercato che Regione ed Agenzia hanno preso in considerazione per la realizzazione di un nuovo strato che rappresenta sostanzialmente il tema dell'edificato.

Pertanto, in riferimento alle componenti della cartografia di base sopracitata e al loro sviluppo qualitativo, sono stati acquisiti dalla società CGR di Parma, attraverso opportuna procedura di gara, una serie di tre prodotti cartografici, riferiti all'anno 2018, per l'intera estensione territoriale (pari a 22.450,98 km²), derivati con metodologie manuali, automatiche o semiautomatiche dalle medesime riprese aeree, tali da garantire caratteristiche omogenee di qualità posizionale, temporale e tematica:

- **ORTOFOTO2018** (nel seguito ORTOFOTO)
Ortofoto bande RGB + NIR;
- **DSM2018** (nel seguito DSM)
Digital Surface Model ad alta definizione (DSM);
- **EDIFICATO2018** (nel seguito EDIFICATO)
Strato poligonale georeferenziato di rappresentazione del tema edificato con associate informazioni di quota a terra e quota in gronda.

I tre prodotti oggetto di fornitura che risultano quindi strettamente congruenti tra loro rappresentano una fonte per diverse attività ed applicazioni inerenti lo sviluppo della cartografia, l'analisi, la pianificazione e la gestione del territorio, il supporto a specifiche funzioni di cui sui gli EE. LL. sono titolari.

Caratteristiche dei prodotti acquisiti

I prodotti richiesti derivano tutti dalle medesime immagini aeree acquisite nel periodo maggio - ottobre 2018 fatto salvo una piccola integrazione a copertura

di alcune nuvole nell'aprile 2019. Questo garantisce una sostanziale congruenza temporale tra i prodotti ed anche la sostanziale congruenza dal punto di vista del contenuto informativo.

Il prodotto ORTOFOTO, presenta caratteristiche congruenti con le indicazioni allegare nel DPCM dell'11 novembre 2011 "Regole tecniche per la formazione, la documentazione e lo scambio di ortofoto digitali alla scala nominale 1:10.000" con Ground Sample Distance (GSD) medio di 30cm. Le immagini sono inquadrare in rdn2008 UTM Zona 32N (EPSG:7791) con accuratezza posizionale dichiarata rispetto i punti di controllo pari a RMSE $x/z = 1,2$ m con CE95 $x/y = 2,6$ m.

Tali caratteristiche sono ritenute sufficienti per considerare l'ortofoto, oltre che di utilizzo generale come componente dell'infrastruttura geografica, anche come principale riferimento per la verifica del DSM e dell'EDIFICATO.

Il prodotto DSM, generato tramite correlazione delle riprese aeree, presenta caratteristiche generali per applicazioni di tipo tematico congruente con le ortofoto. In particolare, la risoluzione spaziale è di 2 metri con un'accuratezza altimetrica definita tramite l'errore lineare in z $LE90z = \pm 1,5m$, consente applicazioni di tipo tematico e di associare un attributo altimetrico qualitativo alla rappresentazione di oggetti territoriali.

Il prodotto EDIFICATO rappresenta invece una innovazione dal punto di vista della metodologia utilizzata per la produzione, basata su tecniche automatiche con verifica da parte dell'operatore, che comporta una sostanziale omogeneità della restituzione della tipologia di oggetti interessati sull'intera estensione territoriale realizzata in tempi relativamente brevi ovvero inferiori all'anno. Inoltre, attraverso una correlazione con il DSM, ai poligoni sono associati gli attributi altimetrici di quota al piede e altezza stimata, che consentono una stima delle volumetrie dell'edificato.

Le caratteristiche di qualità planimetrica sono adeguate ad una rappresentazione alla scala 1:5000 e sufficienti per rendere le geometrie confrontabili con il database geo-topografico regionale e a costituirne fonte di miglioramento e aggiornamento:

- ∞ Accuratezza planimetrica CE95 x/y :
 - Tolleranza posizionale = $\pm 1,5m$ o inferiore;
 - Distanza orizzontale (lato) $\leq 1m$;
 - Spigoli;
- ∞ Limiti di acquisizione (rispettati al 95%):
 - Superficie $\geq 9m^2$;
 - Lato minimo $\geq 2m$;
- ∞ Edifici omessi rispetto al totale degli edifici rilevati inferiore al 5%;
- ∞ Edifici commessi rispetto al totale degli edifici inferiore a 5%.

La quotatura è effettuata tramite il prodotto DSM descritto sopra, attraverso un'analisi statistica che individua il valore di quota a terra e di quota in gronda,

come 50esimo percentile dei valori di quota dei punti che ricadono nel contorno e sul poligono edificato. L'accuratezza dichiarate per gli attributi altimetrici è la seguente:

$$\infty \text{ LE90 } z = \pm 2\text{m}; \text{ LE67 } z = \pm 0,5\text{m}.$$

Le caratteristiche, sia planimetriche che altimetriche, risultano di particolare valore se confrontate con le modalità di realizzazione e di aggiornamento del tema corrispondente del DBTR.

Metodologia di realizzazione dei Poligoni EDIFICATO

Lo strato poligonale dell'edificato è derivato dall'analisi dei fotogrammi ortorettificati attraverso l'utilizzo combinato di tecniche di "feature extraction" tramite metodologie "deep learning", e di supervisione "umana" per il controllo e la correzione degli algoritmi.

Il "deep learning" rappresenta un sottodominio del "machine learning", ovvero quell'ambito dell'intelligenza artificiale che attraverso reti neurali (neural network) che simulano alcuni comportamenti del cervello umano e cercano di classificare le informazioni processate, permettendo al tempo stesso di ottenere un output e/o di modificare le informazioni orientando il comportamento della rete neurale stessa, così da consentire un autoapprendimento. Le tecniche "deep learning", basate su reti neurali multilivello (deep neural network), sviluppano e specializzano il concetto di classificazione e apprendimento, permettendo di riconoscere vere e proprie configurazioni nei dati (pattern) attraverso l'elaborazione di una grande quantità di elementi noti come base di apprendimento. Attraverso la esposizione a un numero molto elevato di casistiche, il sistema si specializza nella interpretazione di un particolare dataset e nella sua classificazione generando un output statisticamente corretto rispetto agli elementi utilizzati per l'apprendimento.

Un sistema di "feature extraction" di oggetti cartografici basato su tecniche di "deep learning" (apprendimento profondo) segue quindi un approccio tecnologico che è fondamentalmente diverso dalle attuali tecniche di restituzione. Grazie alla capacità di analizzare enormi volumi di dati relativi a immagini digitali e a ricercarne "pattern", è possibile addestrare il sistema a riconoscere i modelli di determinati oggetti territoriali. Con l'aiuto di opportuni "dati di addestramento" il sistema impara quindi a distinguere tra "classi" di oggetti cartografici presenti nelle immagini sottoposte all'analisi e a restituirne una rappresentazione.

Nello caso specifico della derivazione dello strato poligonale dell'edificato da immagini aeree, CGR impiega un sistema pre-addestrato con un "training dataset" formato da numerose ortofoto e milioni di edifici già disponibili. Questo pre-addestramento è stato svolto da una precedente collaborazione della CGR con alcuni Partners Europei ed è tale per cui diventa possibile riconoscere oggetti relativi all'edificato di cui estrarre successivamente il contorno (footprint). L'insieme dei dati di addestramento è integrato con campioni di edifici estratti dalle ortofoto 2018 in modo da affinare i livelli di

confidenza del classificatore. Le iterazioni degli algoritmi di riconoscimento sono intervallate da attività di controllo di qualità effettuate da operatori esperti allo scopo di individuare falsi positivi (commissioni) e falsi negativi (omissioni).

Un nuovo step di addestramento viene effettuato includendo il campione degli edifici omessi. Il processo è ulteriormente iterato finché la percentuale del numero di edifici omessi rispetto al totale degli edifici rilevati è inferiore al 5% e la percentuale del numero di edifici commessi rispetto al totale degli edifici rilevati è inferiore al 5%.

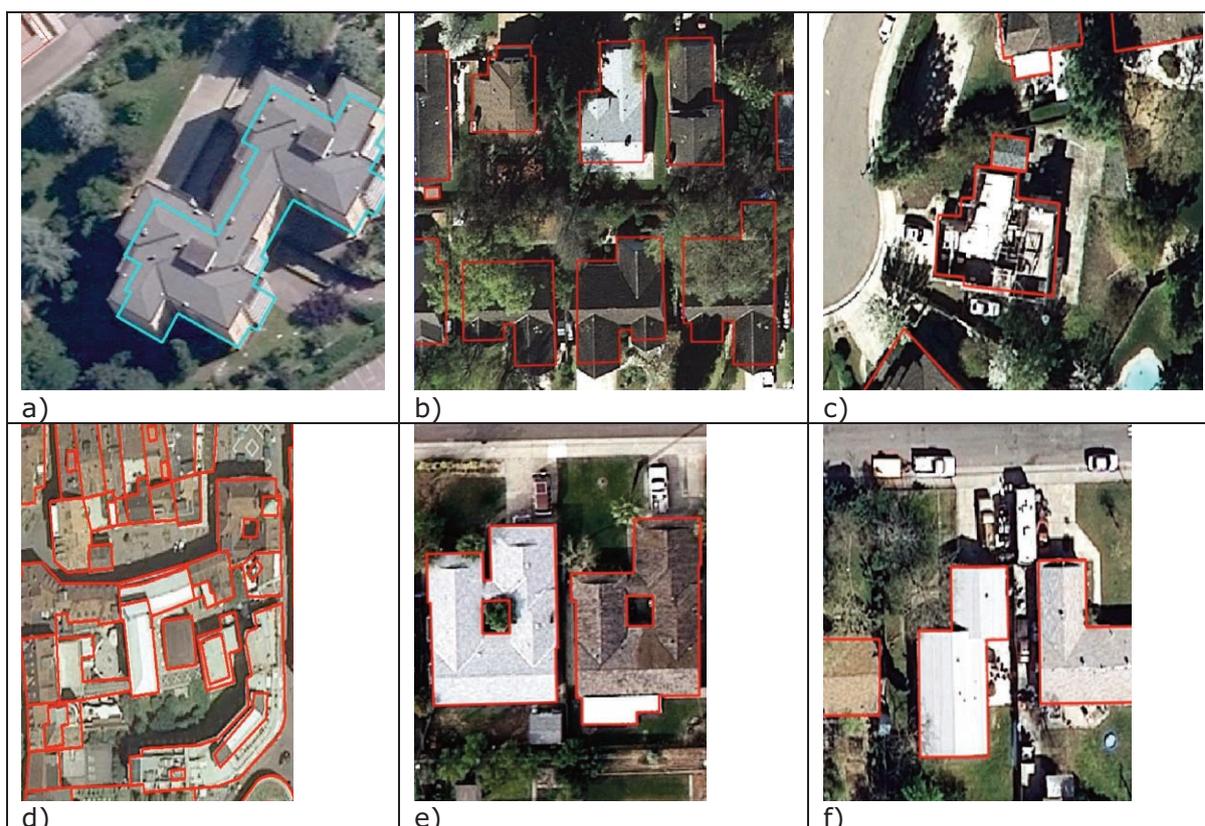


Figura 1 – Riconoscimento edificio ed individuazione dei perimetri.

Il risultato è un'entità poligonale che copre la base dell'edificio con una tolleranza di $\pm 1.5\text{m}$ (fig.1.a). Se l'edificio è parzialmente coperto da vegetazione sovrastante il tetto o da ombre riportate, la forma corretta è ricostruita sulla base della forma tipica di un edificio a partire da casistiche comuni: il contorno ha linee parallele, una forma simmetrica, ecc. (fig.1.b).

Il sistema restituisce anche gli edifici in costruzione (fig.1.c). Gli edifici contigui sono restituiti come singole entità poligonali sulla base di elementi visuali, come colore del tetto, ombre, ecc. (fig.1.d). I cavedi sono correttamente inseriti nella geometria degli edifici rilevati (fig.1.e). I veicoli da trasporto di grosse dimensioni sono riconosciuti ed esclusi dal processo di classificazione (fig.1.f).

Aggiornamento del Database geo-topografico e potenzialità di utilizzo

La serie di prodotti sopradescritti rappresenta un supporto informativo di particolare rilevanza in diversi contesti sia come utilizzo diretto sia come fonte per la restituzione cartografica e l'aggiornamento delle basi geo-topografiche.

Particolare rilevanza assume nell'ambito del miglioramento generale e dell'aggiornamento del database geo-topografico dove la nuova ortoimmagine di tipo cartografico georiferita ed inquadrata nel sistema RDN2008 rappresenta "de facto" un nuovo piano cartografico omogeneo in RDB2008 rispetto all'attuale. L'infrastruttura geografica regionale, si basa su di un piano cartografico che deriva dalla rasterizzazione e georeferenziazione dei campi cartografici della CTR 1:5000 analogica sviluppata tra gli anni '70 e '80. A causa delle metodologie di realizzazione e inquadramento delle singole CTR, della loro scansione e delle modalità con cui sono state georeferenziate nel sistema Gauss-Boaga (Fusi Ovest ed Est), persistono delle disomogeneità nell'inquadramento che si evidenziano nella trasformazione verso RDN2008.

Disporre di poligoni edificato di buona qualità e una georeferenziazione omogenea consente di sviluppare un miglioramento ed aggiornamento della rappresentazione del tema dell'edificato andando a costituire uno scheletro su cui migliorare in generale la rappresentazione di tutti gli oggetti del DBTR.



Figura 2 – Confronto tra Poligoni EDIFICATO2018 e Edifici DBTR attuali.

Il riferimento temporale, anch'esso omogeneo riferito ad un periodo di tempo limitato, consente di disporre di un riferimento cartografico all'anno t_0 previsto per il monitoraggio del consumo di suolo urbano, dove per altro disporre dei poligoni EDIFICATO al 2018 consente di alimentare una prima analisi estesa su tutto il territorio in combinazione con i dati del Database uso del Suolo di dettaglio aggiornabile in tempi relativamente brevi sulla base del prodotto ORTOFOTO 2018.

L'Agenzia Regionale per la Ricostruzione Sisma-2012 si è dotata di strumenti di monitoraggio per lo svolgimento efficace delle attività di ricostruzione e

comunicazione (D.U.R.E.R, database unico della Ricostruzione della Regione Emilia-Romagna; Web-Gis MIRic, Web-GIS monitoraggio Interventi della ricostruzione; portale OPEN Ricostruzione) tra questi, il Web-Gis verrà arricchito dalla disponibilità in tempi ristretti della rappresentazione dell'edificato al 2018, permettendo di visualizzare le trasformazioni di pianificazione comunale in risposta alle necessità e criticità generate dal sisma, tra queste quella di garantire la continuità abitativa e della funzione pubblica.

Disporre inoltre del DSM e degli attributi quota al piede e altezza associata ai poligoni edificato, consente inoltre un supporto diretto a tutte le attività che prevedono l'impegno della componente altimetrica. Uno dei casi d'uso rilevanti presi in considerazione è il tema delle valutazioni delle sorgenti di campi elettromagnetici, in relazione agli edifici coinvolti e alla localizzazione delle sorgenti.

Conclusioni

Le nuove tecnologie di produzione di dati cartografici digitali basati su tecniche di "deep learning" consentono la creazione di dataset che, rispetto alle tradizionali modalità di interpretazione e restituzione, hanno il vantaggio di avere una buona qualità generale in termini di completezza, accuratezze posizionale e tematica, una sostanziale omogeneità all'interno dell'estensione regionale rispetto alla tipologia di territorio e una tempistica di realizzazione particolarmente ridotta, con corrispondenti costi contenuti, rispetto alla tradizionale restituzione da fotointerpretazione da parte di operatori specializzati.

Attraverso tali modalità di produzione è realizzata la fornitura di uno strato poligonale che rappresenta il tema dell'edificato congruente con le fonti: ortoimmagini e DSM, e consente di disporre di un "pacchetto" di dati cartografici digitali che costituiscono il nucleo di una cartografia di base essenziale nonché fonte per il miglioramento e l'aggiornamento delle basi dati-geo-topografiche regionali. I nuovi dataset forniscono l'opportunità di armonizzare i contenuti del Database Topografico Regionale al sistema di riferimento geodetico nazionale e di migliorare la qualità del tema edificato rendendola omogenea per l'intero territorio regionale.

Nell'ambito di applicazioni territoriali i nuovi dati assumono quindi una molteplice valenza, alcuni casi d'uso presi a riferimento sono: il monitoraggio delle trasformazioni urbanistiche; il supporto al calcolo del consumo ed impermeabilizzazione di suolo; le valutazioni e le analisi relative al tema delle sorgenti elettromagnetiche. Oltre che come supporto diretto al monitoraggio degli interventi di ricostruzione a seguito del sisma del 2012.

Si aggiunge inoltre che ORTOFOTO, DSM e EDIFICATO sono resi disponibili a tutti i soggetti che operano sul territorio, sia agli EE. LL. che tramite servizi web, ad altri soggetti tra cui professionisti e imprese, in modo da costituire un nuovo riferimento cartografico condiviso alle grandi scale.