



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Slow Food Italia



2015
International
Year of Soils

CONVEGNO

RECUPERIAMO TERRENO



**ATTI
SESSIONE POSTER - VOL. I**

Milano, 6 maggio 2015



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

CONVEGNO

RECUPERIAMO TERRENO

ATTI
SESSIONE POSTER - VOL. I

Milano, 6 maggio 2015

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per suo conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Gli articoli esprimono le opinioni degli autori e non impegnano in nessun modo l'ISPRA. L'ISPRA non è responsabile per le dichiarazioni e le opinioni espresse negli articoli pubblicati.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Atti 2015

ISBN: 978-88-448-0710-8

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Sonia Poponessi

Foto di copertina: Paolo Orlandi e Franco Iozzoli

Coordinamento tipografico

ISPRA - Daria Mazzella

Amministrazione

ISPRA - Olimpia Girolamo

Distribuzione

ISPRA - Michelina Porcarelli

A cura di:

Michele Munafò (ISPRA), Lorenzo Sallustio (*Natural Resources & Environmental Planning Lab.*, UniMol), Stefano Salvi (INGV- Forum SiP) e Marco Marchetti (*Natural Resources & Environmental Planning Lab.*, UniMol).

Comitato Scientifico:

Andrea Arcidiacono (INU-CRCS), Francesca Assennato (ISPRA), Filiberto Altobelli (INEA), Dario Bellingeri (ARPA Lombardia), Paolo Berdini (Forum SiP), Lorenzo Ciccarese (ISPRA), Sergio Conti (UniTO & Soc. Geografica Ital.), Alessandra Ferrara (ISTAT), Daria Ferrari (Forum SiP), Fiorenzo Fumanti (ISPRA), Davide Geneletti (UniTrento), Paolo Giandon (ARPAV), Francesca Giordano (ISPRA), Giuseppe Gisotti (SIGEA), Anna Luise (ISPRA), Silvia Macchi (UniRoma1), Marco Marchetti (UniMol), Michele Munafò (ISPRA), Paolo Pileri (PoliMI-CRCS), Livio Rossi (SIN-AGEA), Roberto Rudari (Fond. CIMA), Luca Salvati (CRA), Stefano Salvi (INGV-Forum SiP), Riccardo Santolini (SIEP-UNIURB), Fabio Terribile (UniNA), Alessandro Trigila (ISPRA).

Progetto grafico, impaginazione e assistenza editoriale:

Margherita Palmieri (CURSA – Consorzio Universitario per la Ricerca Socioeconomica e per l'Ambiente);
Nicola Riitano (Dipartimento di Architettura e Progetto – Sapienza, Università di Roma).

Indice

Introduzione , di <i>M. Munafò, L. Sallustio, S. Salvi e M. Marchetti</i>	pag.	7
Parte Prima		
Il monitoraggio quali-quantitativo del consumo di suolo		
Integrazione tra sistemi innovativi di rilevamento e piattaforme GIS per il monitoraggio della città diffusa , di <i>M. Campi, L. Colombo, E. M. Farella e I. G. Palomba</i>	»	13
Il consumo di suolo agricolo-forestale nel decennio 2005-2015 monitorato con gli strumenti dell’Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC) , di <i>E. Pompei, L. Canini, P. Gasparini e M. Rizzo</i>	»	17
Basi dati a confronto per il monitoraggio del consumo di suolo: il contributo delle nuove tecnologie , di <i>L. Di Prinzio, D. Gariboldi, D. Longato, D. Maragno, R. Pasi, S. Picchio e E. Vedovo</i>	»	28
L’utilizzo del suolo nel rapporto di competitività delle aree urbane italiane , di <i>E. Eynard e G. Melis</i>	»	41
Valutazione delle qualità e delle funzionalità dei suoli dalla banca dati pedologica regionale , di <i>L. Gardin, L. Bottai e U. Sassoli</i>	»	50
Interazioni tra impatto, uso del suolo, biodiversità e unità pedologiche , di <i>P.M. Bianco e C. Jacomini</i>	»	62
L’importanza dei suoli urbani , di <i>M. Di Leginio, F. Fumanti, M. Paolanti e R. Napoli</i>	»	73

Il suolo e il suo consumo: un nuovo approccio per pianificare e gestire una risorsa preziosa e fragile nel rispetto dei suoi servizi ecosistemici , di <i>A. Basile, A. Bonfante, C. De Michele, A. D'Antonio, P. Manna e F. Terribile</i>	pag.	80
Analisi esplorativa del potenziale delle fotografie georeferenziate condivise pubblicamente per il monitoraggio dei cambiamenti in aree urbane , di <i>F. Lupia, J. Estima e M. Painho</i>	»	83
Monitoraggio del <i>land cover index</i> e valutazione multidimensionale delle trasformazioni insediative potenziali , di <i>V. Sannicandro e C.M. Torre</i>	»	94
Sviluppo di uno strumento innovativo per la valutazione del consumo di suolo a scala nazionale , di <i>G. Langella, A. Basile, S. Giannecchini, M. Munafò e F. Terribile</i>	»	106
Infrastrutture di trasporto: regole e progetti per risparmiare traffico, consumo di suolo e migliorare l'accessibilità urbana , di <i>A. Donati</i>	»	115
Il consumo di suolo come perdita di superficie infiltrabile e di valore produttivo nel Veneto , di <i>I. Vinci, S. Obber, F. Ragazzi, P. Giandon, F. Pocaterra e P. Zamarchi</i>	»	126
Metodologia per il monitoraggio del consumo di suolo in Emilia Romagna , di <i>G. Guaragno, E. Malossi e Gruppo di lavoro RER</i>	»	138
Inventari d'uso e copertura del suolo per il monitoraggio del consumo di suolo in Italia , di <i>N. Riitano, L. Sallustio, M. Munafò, e M. Marchetti</i>	»	152
Rete di monitoraggio a scala locale del consumo di suolo: il caso di studio del Comune di Bari , di <i>V. La Ghezza, L. Congedo, M. Munafò, E. Barbone, F. Lacarbonara, V.M. Perrino, B. Radicchio e M. Blonda</i>	»	166
Consumo di suolo, consumo di suoli in Abruzzo , di <i>M. Paolanti, M. Munafò, F. Fumanti</i> , di <i>M. Di Leginio, I. Chiuchiarelli e S. Santucci</i>	»	173
Uso del suolo e servizi ecosistemici: primi risultati di uno studio pilota sulle aree verdi nel Comune di Imola , di <i>G. Falsone, I. Diti, P. Tassinari, T. La Malfa, P. Guidi e D. Torreggiani</i>	»	186

Parte Seconda

Il consumo di suolo ed i suoi molteplici impatti: dal dissesto idrogeologico, al cambiamento climatico e sicurezza alimentare

L'agricoltura urbana come strumento innovativo di contrasto al consumo di suolo , di <i>D. Iacopini</i>	pag.	194
Sistemi agroforestali per un nuovo uso del suolo ad alta valenza produttiva ed ecologica , di <i>P. Paris, A. Pisanelli, A. Massacci, D. Marandola, A. Rosati e F. Camilli</i>	»	199
Neoruralità e pratiche connesse , di <i>C. Zamponi</i>	»	204
Paesaggi infrastrutturali. Strategie di rigenerazione urbana per una città adattiva , di <i>S. Massaro e G. De Francesco</i>	»	207
Il suolo nella pianificazione del territorio per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici , di <i>L. Di Marco</i>	»	219
Analisi del ruolo dei vigneti sulla stabilità di versante in un'area soggetta a frane superficiali , di <i>C. Meisina, M. Bordoni, M.G. Persichillo, A. Vercesi, G.B. Bischetti, E. Chiaradia, C. Bassanelli, C. Vergani, R. Valentino, M. Bittelli e S. Chersich</i>	»	232
Progettare l'adattamento per Venezia Città Metropolitana: la sperimentazione nel progetto "Seap Alps" , di <i>D. Maragno, G. Lucertini, F. Musco, F. Magni e S. Verones</i>	»	240
Effetti dell'urbanizzazione sulla risposta idrologica del bacino del torrente Seveso a Milano , di <i>G. Ravazzani, A. Ceppi, G. Lombardi e M. Mancini</i>	»	251
Effetti dell'impermeabilizzazione dei suoli sulle dinamiche idrologiche nel bacino del fiume Elsa in Toscana , di <i>M. Napoli, S. Cecchi e S. Orlandini</i>	»	257
Il consumo di suolo tra politiche ambientali e politiche economiche: un'analisi dell'impatto dei Programmi di Sviluppo Rurale nelle aree protette della Regione Lazio , di <i>M. C. Natalia, D. Marino e M. Palmieri</i>	»	261

Basi dati a confronto per il monitoraggio del consumo di suolo: il contributo delle nuove tecnologie

di L. Di Prinzio^{}, D. Gariboldi^{**}, D. Longato^{*}, D. Maragno^{***}, R. Pasi^{***}, S. Picchio^{*} e E. Vedovo^{**}*

Riassunto

Una misurazione corretta del consumo di suolo si può ottenere solo attraverso lo studio puntuale del territorio e l'utilizzo di dati geografici. In Italia non esiste ancora un sistema rigoroso e istituzionale per il monitoraggio del fenomeno, ad eccezione dell'iniziativa di ISPRA realizzata attraverso l'analisi di fonti informative nazionali esistenti e del servizio di *land monitoring* di Copernicus/GMES.

L'articolo vuole portare all'attenzione della comunità scientifica il lavoro – peraltro ancora in itinere – di valutazione del consumo di suolo sull'intero contesto territoriale della Provincia di Venezia, basato sui dati acquisiti attraverso un rilievo aerofotogrammetrico ad altissima risoluzione realizzato nella primavera 2014. Per quanto la metodologia di valutazione sviluppata da tecnici della Provincia, Scuola di dottorato IUAV e Unisky srl non sia direttamente confrontabile con quella adottata da ISPRA, il contributo si propone di confrontare gli output ottenuti attraverso le due basi di dati al fine di determinare il potenziale incremento di accuratezza e dettaglio ricavabile dall'impiego di questa tecnologia, caratterizzata peraltro da costi di rilevamento contenuti.

Parole chiave: consumo di suolo, monitoraggio, nuove tecnologie, telerilevamento, Dense Image Matching.

^{*} Unisky srl – Dipartimento di Pianificazione e Progettazione in Ambienti Complessi, Università IUAV di Venezia, luigi.diprinzio@gmail.com, davide.longato@hotmail.it, stefano.picchio@unisky.it.

^{**} Provincia di Venezia, daniele.gariboldi@gmail.com, elisabetta.vedovo@provincia.venezia.it.

^{***} Dipartimento di Pianificazione e Progettazione in Ambienti Complessi, Università IUAV di Venezia, d.maragno@iuav.it, riccardo.pasi@gmail.com.

Summary

Correct measurements of soil sealing can only be achieved through the accurate study of the ground based on spatial geographic data. A systematic and institutional framework for monitoring this phenomenon still lacks in Italy. An exception is represented by the recent scientific initiative of ISPRA, realized employing existing national data sources and the Copernicus/GMES land monitoring service.

The paper highlights the potential contribution to soil sealing estimation of an in progress work, based on remote sensed data collected with very high spatial resolution on the entire extent of the Province of Venice through an aerial survey which took place in spring 2014. Even if the assessment methodology developed by technicians of the Province, IUAV PhD School and Unisky srl is not straight comparable to the methods used by ISPRA, the paper compares the outputs in order to determine the achievable improvement in accuracy and precision due to the use of this technology, which moreover stands out for its low purchasing cost.

Key words: soil sealing, monitoring, new technologies, remote sensing, Dense Image Matching.

1. Introduzione

In Italia – come in altri paesi europei – è crescente la preoccupazione per il fenomeno del consumo di suolo, ovvero la trasformazione di superfici naturali e agricole dovuta all'urbanizzazione e all'infrastrutturazione del territorio. La problematica, che si accompagna al dilagare del fenomeno dell'*urban sprawl*, pone una serie di questioni connesse alla riduzione di superfici idonee alla produzione agricola, alla perdita di biodiversità e qualità paesaggistica, alla destrutturazione della forma urbana e dei suoi valori, alla generazione di inquinamento atmosferico, alla perdita dei servizi ecosistemici connessi ai cicli biogeochimici e idrogeologici che nel suolo hanno sede (CRCS, 2012; Commissione Europea, 2012; Gibelli, Salzano, 2006; Indovina, 2005; ISPRA, 2013,2014). La Commissione europea – da tempo impegnata a favorire un uso più sostenibile di questa matrice ambientale – con la Strategia tematica per la protezione del suolo del 2006 ha sottolineato la necessità di porre in essere buone pratiche per mitigare gli effetti negativi dell'impermeabilizzazione sulle funzioni del suolo. Questo obiettivo generale è stato poi ulteriormente esplicitato nel 2011 con la Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse, nella quale si propone che – entro il 2020 – le politiche dell'UE tengano conto delle loro conseguenze sull'uso dei suoli, con il traguardo di un incremento dell'occupazione netta di terreno pari a zero da raggiungere entro il 2050. Nel nostro Paese la questione è approdata – da un paio d'anni – in Parlamento: dopo il disegno di legge promosso dal Ministro M. Catania nel 2012, si sono succeduti innumerevoli testi e proposte, che non hanno finora prodotto un articolato normativo condiviso pronto alla promulgazione. A monte sta però l'annosa questione della mancanza di una metodologia e di un set di indicatori

che costituiscano la base condivisa per lo studio del fenomeno e, di conseguenza, per l'impostazione di adeguate politiche di contenimento. La recente pubblicazione di ISPRA, che per la prima volta su tutto il territorio nazionale integra i dati già disponibili attraverso la definizione di una metodologia di analisi e quantificazione, rappresenta un importante passo in questa direzione. Il paper, incentrato sul tema delle metriche e delle metodologie per il monitoraggio e la valutazione del consumo di suolo, parte dall'analisi della situazione italiana e della metodologia ISPRA (cfr par. 2) per descrivere poi la metodologia utilizzata per analizzare il consumo di suolo in Provincia di Venezia¹, che impiega una base dati ad altissima risoluzione (15 cm/pixel) acquisita con un rilievo aerofotogrammetrico dedicato (cfr par. 3). Nel quarto paragrafo, seppur il lavoro analitico portato avanti in Provincia di Venezia non sia ancora giunto al termine, si accenna un confronto tra le due basi dati, sottolineando differenze, pregi e opportunità d'integrazione; tali opportunità vengono infine riprese e sviluppate nel paragrafo conclusivo.

2. Il monitoraggio del consumo di suolo in Italia

2.1. La mancanza di un quadro condiviso

Per monitorare una qualunque variabile ambientale occorre prima definirla e accordarsi sulle metodologie di misurazione e rilevamento da adottare.

Il fenomeno del consumo di suolo non fa eccezione ed in proposito non esistono riferimenti normativi: basti pensare all'inadeguata definizione di "suolo" contenuta nel Testo Unico dell'Ambiente². Nel *paper* si farà dunque riferimento alla definizione di consumo di suolo recentemente fornita da ISPRA, ovvero quel «(...) fenomeno associato alla perdita di una risorsa ambientale dovuta all'occupazione di superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale» (ISPRA, 2014). Tale definizione è peraltro in linea con quella utilizzata a livello europeo per il complementare concetto di *soil sealing*, l'impermeabilizzazione del suolo dovuta ad una copertura permanente del terreno con materiale artificiale (Commissione Europea, 2012).

Una misurazione corretta del consumo di suolo si può ottenere solo attraverso lo studio puntuale del territorio e l'utilizzo di dati geografici. In Italia non esiste però un sistema aggiornato di raccolta dati e, anche laddove regioni ed enti locali vi provvedano autonomamente, il rilevamento e l'interpretazione dei dati di uso del suolo pone enormi problemi per la mancanza di una codifica che consenta

¹ Oltre agli autori, collaborano al progetto i dott. Lucia Ferdigoni e Massimo Pizzato della Provincia di Venezia.

² D.Lgs. 152/2006, art. 5, c. v-quater: «"suolo": lo strato più superficiale della crosta terrestre situato tra il substrato roccioso e la superficie. Il suolo è costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi. (...) l'accezione del termine comprende, oltre al suolo come precedentemente definito, anche il territorio, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali».

l'effettuazione di confronti coerenti. La Regione Veneto, ad esempio, attraverso la realizzazione della Banca Dati della Copertura del Suolo, così come il Centro di Ricerca sul Consumo di Suolo (CRCS) del Politecnico di Milano, hanno sviluppato studi e analisi sul tema che però, oltre ad essere limitati ai confini amministrativi delle due relative Regioni, si basano più sul concetto di uso del suolo piuttosto che su quello di consumo del suolo. Misurare e valutare il consumo del suolo, a causa della frammentazione delle fonti informative e delle competenze, presenta elementi di forte complessità. L'offerta di dati geografici pubblici (e non) è vasta, ma frammentata; profonde diversità si rilevano nelle classificazioni adottate, nei periodi di riferimento, nella copertura territoriale, negli strumenti e nelle caratteristiche tecniche utilizzate. Mancano infine efficaci dispositivi in grado di trasporre questi dati nella pratica del governo del territorio. Risulta dunque necessaria la sistematizzazione delle informazioni e delle conoscenze esistenti con metodologie condivise.

2.2. La metodologia proposta da ISPRA

Proprio grazie ad un approccio di questo genere, un primo quadro conoscitivo sul consumo di suolo nel Paese è oggi disponibile grazie ai dati della rete di monitoraggio del consumo di suolo, realizzata da ISPRA con la collaborazione delle Agenzie per la Protezione dell'Ambiente delle Regioni e delle Province autonome. Il consumo di suolo è stato valutato attraverso una metodologia composta essenzialmente da tre passaggi (ISPRA, 2014):

- la fotointerpretazione di circa 150.000 punti campionari distribuiti sull'intero territorio nazionale – organizzati in una rete stratificata a tre livelli (nazionale, regionale e comunale) – utilizzando la cartografia dell'IGM e le ortofoto risalenti a diverse epoche in possesso del MATTM, delle Regioni, di AGEA, dell'ESA o di altri servizi di rete;
- l'elaborazione di un indicatore sintetico con classificazione binaria, distinguendo tra “aree non consumate” (0) e “aree consumate” (1); il tasso di consumo di suolo è stato calcolato come percentuale della superficie consumata sul totale della superficie territoriale per anno;
- la preliminare verifica di corrispondenza e l'integrazione dei dati puntuali con le immagini satellitari realizzate nell'ambito del programma Copernicus per l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) – con risoluzione spaziale di 20 m – al fine di spazializzare il consumo di suolo e raggiungere una stima più accurata per il periodo 2006-2012.

La scelta di tale metodo è funzionale alla riduzione degli errori di stima derivanti dall'analisi delle tipologie di copertura del suolo che non consente di cogliere appieno il fenomeno dell'impermeabilizzazione, trasversale alle diverse classi. È infatti probabile incontrare sia suoli permeabili in ambito urbano (giardini, orti, aiuole, etc.) che suoli impermeabili nelle altre classi di copertura (edifici agricoli, strade, parcheggi, etc.), la cui estensione è spesso inferiore alla minima unità rilevabile dalla cartografia. Da qui è nata dunque l'esigenza di applicare una metodologia campionaria basata sulla fotointerpretazione di ortofoto e carte topografiche

storiche che, appartenendo a diverse epoche, sono capaci di restituire – almeno in parte – la dimensione diacronica del fenomeno (Munafò, 2010). Il metodo ISPRA prevede la verifica dello status di area “consumata”/“non consumata” attraverso una variabile dicotomica (0/1) mediante fotointerpretazione dei singoli punti di rilievo nelle varie epoche di indagine, distinguendo tra terreni permeabili ed impermeabili in corrispondenza dei punti in esame. Il sistema di classificazione utilizzato ha assegnato ciascun punto della rete di rilevamento all’una o all’altra classe sulla base del criterio illustrato nella successiva tabella.

Tab. 1 – Il sistema di classificazione utilizzato da ISPRA (ISPRA, 2014).

<i>Suolo consumato (1)</i>	<i>Suolo non consumato (0)</i>
Edifici/capannoni	Alberi/arbusti in aree urbane
Strade asfaltate	Alberi/arbusti in aree agricole
Strade sterrate	Alberi/arbusti in aree naturali
Parcheggi, piazzali e altre aree asfaltate o in terra battuta	Seminativi
Sede ferroviaria	Pascoli/prati
Aeroporti e porti	Corpi idrici
Aree e campi sportivi impermeabili	Alvei di fiumi
Serre permanenti	Zone umide
Campi fotovoltaici	Rocce/spiagge/dune
Aree estrattive, discariche, cantieri	Ghiacciai e superfici innevate
Altre aree impermeabili	Aree sportive permeabili
	Altre aree permeabili in ambito urbano
	Altre aree permeabili in ambito agricolo
	Altre aree permeabili in ambito naturale

3. Il contributo delle nuove tecnologie: un esempio in Provincia di Venezia

3.1. I dettagli tecnici del rilievo realizzato sul territorio provinciale

Nell’ottica di utilizzo delle nuove tecnologie come vettore attraverso il quale creare e diffondere nuove informazioni territoriali, Unisky srl – in collaborazione con la Provincia di Venezia – ha avviato una serie di progetti pilota per predisporre le basi conoscitive sul governo del territorio della futura Città Metropolitana.

Tra questi vi è stata la realizzazione di un rilievo fotogrammetrico sul territorio dell’intera Provincia di Venezia, avvenuto agli inizi della primavera 2014. Il rilievo, realizzato con piattaforma aerea e camera digitale *multispettrale Vexcel Ultracam-Xp*, ha acquisito circa 4.000 immagini con 40 strisciate, per un’area coperta dal volo di circa 3.000 km². I dati acquisiti hanno permesso di produrre un’ortofoto nelle bande RGB+NIR con risoluzione di 15 cm/pixel e l’estrazione di una nuvola di punti con densità 16 pt/m² con la tecnica del *Dense Image Matching*³, dalla qua-

³ Tecnica fotogrammetrica che, partendo da immagini con un’elevata sovrapposizione

le poi è stato possibile produrre un Modello Digitale della Superficie (DSM) e un Modello Digitale del Terreno (DTM) previa classificazione automatica dei punti *ground* e *above ground*. Nel dettaglio, le 1.300 ortofoto prodotte a 15 cm/px sono state mosaicate e tassellate secondo il taglio della Carta Tecnica della Regione Veneto alla scala 1:5000, producendo due prodotti distinti:

- un ortofoto RGB a 15 cm/px in formato geotiff;
- un ortofoto False Color IR a 15 cm/px in formato geotiff;

I 10647 DSM e TrueOrtho prodotti a 25 cm/px sono stati anch'essi mosaicati e tassellati secondo il taglio della Carta Tecnica della Regione Veneto alla scala 1:5000, producendo due strati distinti:

- un DSM shaded-RGB a 25 cm/px in formato geotiff;
- una TrueOrtho RGB a 25 cm/px in formato geotiff

3.2. La metodologia utilizzata in Provincia di Venezia

A partire dalla serie di dati acquisiti (ortofoto a quattro bande e modello digitale) e attraverso una metodologia innovativa e automatizzata basata sull'utilizzo del *software eCognition Developer*⁴, sono in corso le operazioni di estrazione della copertura del suolo relativa all'anno 2014.

La caratteristica principale del *software* utilizzato è la capacità di estrarre oggetti significativi in formato vettoriale (strade, edifici, vegetazione, etc.) partendo da immagini in formato raster.

L'operazione avviene attraverso la definizione di una serie di regole (*rule sets*) per l'analisi automatica dei dati telerilevati. La metodologia si suddivide principalmente in due fasi: la prima fase consiste in un'analisi *object-oriented* che utilizza tutti gli strati informativi prodotti dal rilievo (sia le quattro bande che le altimetrie), mentre la seconda utilizza dati ancillari per rifinire e ottimizzare la precedente classificazione depurandola dei potenziali errori. Molto brevemente, i passaggi principali seguiti sono:

- la segmentazione multirisoluzione: il processo estrae gli oggetti lavorando sulle caratteristiche spettrali, di tessitura e di contesto di ogni pixel/ gruppo di pixel dell'immagine, sulla base dei parametri e dei pesi assegnati⁵ alle variabili forma e dimensione dei segmenti che si vogliono ottenere;

sia trasversale che longitudinale e grazie all'utilizzo di software di ultima generazione, è capace di estrarre una nuvola di punti 3D attraverso l'individuazione di corrispondenze tra primitive estratte in due o più immagini e la stima delle corrispondenti coordinate 3D con modelli di collinearità o proiettivi.

⁴ *eCognition Developer* è un potente software per l'analisi *object-based* di immagini, diffuso nell'ambito delle scienze della Terra per sviluppare *rule sets* per l'analisi automatica dei dati telerilevati. La versione utilizzata è stata *eCognition Developer 9,0* a 64bit.

⁵ La segmentazione è stata eseguita attribuendo ugual peso (valore 1) alle tre bande del visibile ed un peso maggiore (valore 2) alla banda del vicino infrarosso; parametri utilizzati: Scala 20; Forma 0,5; Compatezza 0,3.

- la classificazione gerarchica degli oggetti: sono state definite quattro classi (Vegetazione, Edificato, Suolo nudo⁶ e Altro⁷). L'attribuzione degli oggetti alle varie classi – processo anch'esso semi-automatico – è basato sulla definizione dei parametri che ne determinano l'assegnazione: così per la classificazione della Vegetazione si è utilizzato il dato multispettrale attraverso il calcolo dell'indice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*⁸); per il riconoscimento dell'Edificato ci si è avvalsi principalmente dell'informazione sull'elevazione contenuta nel DSM⁹; per l'assegnazione degli oggetti alle classi Suolo nudo e Altro sono stati invece necessari più passaggi¹⁰ dal momento che non esistono parametri spettrali, di elevazione o tessiturali capaci di discriminare univocamente tra le due classi;
- l'impiego di strati informativi ancillari esterni: il passaggio serve a rifinire ulteriormente la classificazione precedentemente realizzata; le basi di dati spaziali utilizzate sono quelle di AVEPA (Agenzia Veneta per i Pagamenti in Agricoltura), dei PAT-PATI dei Comuni della provincia e del PTCP della Provincia di Venezia¹¹, per una migliore definizione rispettivamente di aree agri-

⁶ Aree permeabili prive di attività clorofilliana, costituite principalmente da terra.

⁷ All'interno di questa classe è rientrato tutto ciò che risulta impermeabile a livello del suolo (asfalto, aree pavimentate, etc.), mentre nella classe Edificato è rientrato tutto ciò che risulta impermeabile ma dotato di una certa altezza (edifici, capannoni, manufatti vari, etc.).

⁸ Il *soil-adjusted vegetation index* è stato sviluppato a partire dal *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) per correggere e limitare l'effetto brillantezza del suolo nei casi di scarsa copertura vegetale. È calcolato come: $[(\text{Infrarosso} - \text{Rosso}) / (\text{Infrarosso} + \text{Rosso} + 0,5)] * (1 + 0,5)$; il valore soglia dell'indice SAVI per l'assegnazione automatica degli oggetti alla classe Vegetazione è stato $\geq 0,06$ (previa verifica manuale).

⁹ È stato fatto ricadere nella classe Edificato tutto ciò che non è vegetazione e che ha un'altezza uguale o superiore al valore soglia di 1,8 metri; risultando alcune imperfezioni (dovute all'assegnazione alla classe Vegetazione di edifici ospitanti verde e/o pannelli solari sulle proprie coperture a causa del loro valore SAVI $< 0,06$), è stata implementata la regola per cui tutti gli oggetti all'interno della classe Vegetazione che abbiano il bordo confinante per più del 50% con oggetti della classe Edificato vengano riassegnati a quest'ultima.

¹⁰ Il processo di riconoscimento avviene attraverso un addestramento del software che memorizza il valore di alcuni parametri (come ad es. il valore medio di ogni banda spettrale e delle relative deviazioni standard) di oggetti significativi classificati manualmente, e successivamente riconosce e classifica gli oggetti rimanenti aventi caratteristiche simili. La classe Suolo nudo viene quindi ripulita di tutti quelli oggetti all'interno di essa che presentano un'elevazione dal terreno pari o superiore a 0,70 metri, trasferendoli all'interno della classe Altro. In questo modo si assume che un oggetto permeabile naturale non possa discostarsi molto dal naturale profilo del terreno. Per eliminare ulteriori imperfezioni, vengono poi realizzati degli aggiustamenti basati sulle relazioni di contesto degli oggetti di queste due classi. Nonostante queste molteplici operazioni di rifinitura del dato, la classificazione di Suolo nudo e di Altro contiene ancora un certo grado di errore, principalmente legato alla classificazione di aree coperte nella realtà da suolo nudo come impermeabili.

¹¹ Il dato AVEPA (aggiornato al 2012) è stato utilizzato per riassegnare alla classe Suolo nudo gli oggetti della classe Altro ricadenti all'interno di aree considerate agricole da AVEPA; il dato dei PAT-PATI è servito per assegnare direttamente alla classe Altro le aree che le cartografie urbanistiche comunali identificano come viabilità; infine, dalle cartografie del

cole, strade e idrografia.

Il risultato ottenuto è un *layer* vettoriale topologicamente corretto (ovvero senza sovrapposizioni né aree vuote), la cui estensione spaziale eguaglia quella del rilievo aerofotogrammetrico ed i cui poligoni costitutivi appartengono ad una delle quattro classi precedentemente descritte. Ai fini dell'analisi sul consumo di suolo, le quattro classi possono essere classificate sulla base del criterio illustrato nella tabella 2.

Tab. 2 – Il sistema di classificazione utilizzato in Provincia di Venezia.

<i>Suolo consumato</i>	<i>Suolo non consumato</i>
Edificato (coperture con SAVI $\leq 0,06$ e $H \geq 1,8m$)	Vegetazione (coperture con SAVI $\geq 0,06$)
Altro (coperture con SAVI $\leq 0,06$, H compresa tra 0,7 e 1,8m, non appartenenti ad aree agricole AVEPA e identificate come strade nelle cartografie comunali)	Suolo nudo (coperture con SAVI $\leq 0,06$, $H \leq 0,7m$ appartenenti ad aree agricole AVEPA)

Si sottolinea infine che, nonostante la Provincia di Venezia disponga di altre basi dati confrontabili con quest'ultima e risalenti ad epoche precedenti, lo stadio di elaborazione e analisi dei dati del volo a cui si è finora giunti non permette delle analisi diacroniche ma solo una fotografia dello stato di fatto al 2014.

4. Le opportunità di integrazione delle due basi dati

Il progetto in corso nella Provincia di Venezia mira a fornire uno strumento che permetta l'analisi qualitativa e quantitativa dell'uso e della copertura del suolo all'interno del territorio provinciale, oltre che la sua evoluzione nel tempo. I livelli informativi prodotti sono in formato vettoriale (*shapefile*), agganciati quindi ad un database informativo. L'analisi compiuta attraverso il *software eCognition* ha rilevato nel dettaglio gli oggetti presenti sul territorio (case, aiuole, alberi, etc.), associando a ciascuno di essi l'altezza: in questo modo è possibile interrogare il livello informativo per diversi scopi. Il puntuale riconoscimento delle diverse coperture del suolo permette di individuare (e classificare) – ad esempio – la quantità di superficie verde relativa ad una pertinenza privata e l'altezza di ogni albero o arbusto. Tale dato è molto utile: solo una parte dell'area di insediamento infatti è davvero impermeabilizzata, poiché giardini, parchi urbani e altri spazi verdi non sono coperti da una superficie impervia. Il lavoro si prefigge lo scopo di quantificare con la miglior risoluzione possibile questi elementi. Il geo-database prodotto è – a nostro avviso – integrabile con la base dati fornita da ISPRA, poiché ne arricchisce il dettaglio spaziale e vi aggiunge l'informazione relativa alle altezze degli elementi urbani riconosciuti (fig.1). Il dato ISPRA quantifica la copertura del suolo a livello

PTCP si estrae il dato relativo alla rete idrografica (areali dell'idrografia principale e secondaria, aree sommerse e canali lagunari).

nazionale, ma con una definizione nel dettaglio minore. L'integrazione delle due banche dati definisce, per l'area metropolitana veneziana, la reale composizione territoriale e si presta a supportare le attività di governo del territorio per molteplici scopi oltre al monitoraggio del consumo del suolo.

Elaborazione Provincia Venezia - luav

Elaborazione ISPRA

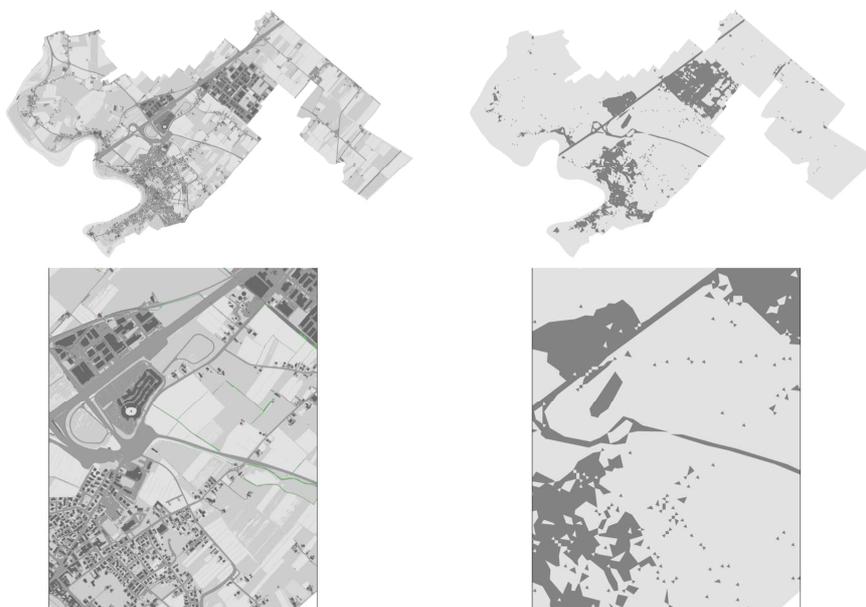


Fig.1 – La figura illustra i due lavori a confronto. Si possono notare le similitudini presenti a scala urbana (suolo permeabile ed impermeabile) e le differenze nel dettaglio dell'informazione prodotta. La metodologia utilizzata permette di scomporre le classi permeabile e impermeabile, individuandone a livello geometrico gli elementi costitutivi.

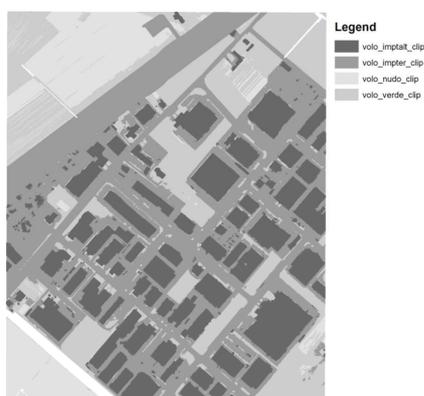
La struttura dell'informazione permette di essere utilizzata a supporto di diverse analisi; i modelli ottenuti consentono infatti di produrre informazioni, analisi e visualizzazioni in differenti aree tematiche, quali:

- il monitoraggio nel tempo delle trasformazioni nell'uso del suolo, permettendo così di elaborare i trend in serie temporale delle dinamiche in atto quali ad esempio il grado di impermeabilizzazione oppure la contrazione delle aree agricole a seguito dell'urbanizzazione;
- analisi energetiche a scala urbana, grazie all'utilizzo del Modello Digitale della Superficie (DSM) con il quale è possibile calcolare i volumi sia a livello di singolo edificio che per aree più estese con la prospettiva di integrare nello stesso geo-database i dati dei consumi reali delle utenze di acqua, luce e gas (disponibili a livello comunale), così come produrre mappe del potenziale energetico solare e fotovoltaico grazie al dato sull'esposizione e l'orientamento

delle falde dei tetti;

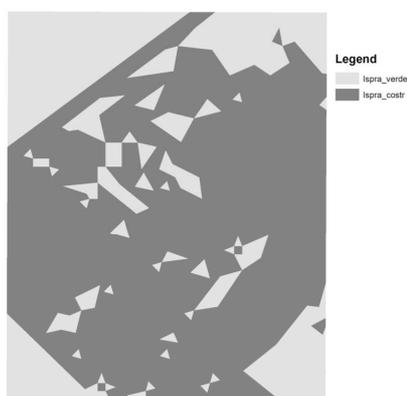
- analisi relative alla sicurezza ed al rischio idraulico del territorio, sfruttando l'elevato contenuto informativo tridimensionale dei modelli digitali prodotti per restituire il grado di esposizione al rischio attraverso l'identificazione delle aree depresse (e quindi potenzialmente più soggette ad allagamenti a seguito di eventi meteorologici intensi), o l'accurata ridefinizione dei bacini e sottobacini urbani;
- analisi sul grado di resilienza o vulnerabilità al cambiamento climatico e al fenomeno dell'isola di calore (UHI) di contesti urbani, anche a scala di quartiere, utilizzando la mappatura del verde urbano (sia pubblico che privato), il calcolo dello *Sky View Factor*.

Elaborazione Provincia Venezia - luav



Dati IUAV	Quantità m2	Diff. luav-Ispra
Suolo Permeabile	284.410,94	54.625,91
Impermeabile	485.130,74	-54.625,91
Tot	769.541,68	0,00

Elaborazione ISPRA



Dati Ispra	Quantità m2
Suolo Permeabile	229.785,03
Impermeabile	539.756,65
Tot	769.541,68

Fig. 2 – La figura pone a confronto i due lavori a grande scala. Le quantità di suolo permeabile e impermeabile individuate non sono al momento definitive: il lavoro è giunto ora nella fase di definizione dell'errore. Per questo motivo il confronto viene proposto solamente a scopo indicativo. L'accuratezza con la quale il metodo d'analisi individua gli elementi urbani permette di rilevare ogni elemento urbano presente nel territorio, riproducendo fedelmente la sua reale composizione. Questa caratteristica consente ai due lavori di essere integrabili: mentre il dato ISPRA supporta le analisi a piccola scala, il dato prodotto ed elaborato sul contesto territoriale veneziano è capace di supportare analisi di dettaglio a scala urbana e di quartiere/isolato.

Il lavoro è giunto nella fase di definizione dell'errore, per questo motivo non è possibile al momento confrontare numericamente i due database. Nella fig.2 si è voluto tentare un confronto numerico, che non vuole però misurare la differenza tra i due lavori bensì confermarne il carattere. Come si può vedere, a scala di quartiere l'informazione prodotta dal lavoro della Provincia di Venezia con l'Università

IAUV di Venezia, rileva il verde urbano e gli edifici con una precisione più accurata. Questa caratteristica rafforza l'integrazione dei due lavori, permettendone l'uso congiunto. Il lavoro prodotto da ISPRA si presta per studi e statistiche aggregati a scala comunale e provinciale mentre il lavoro in oggetto supporta studi anche a livello di lotto urbano. Questa caratteristica permette di analizzare il consumo del territorio non solo in estensione (m^2) ma anche a livello volumetrico (m^3).

5. Conclusioni

Negli ultimi anni si è sempre più rafforzato il ruolo delle Nuove Tecnologie per la produzione di Informazione Territoriale e la restituzione di quadri di conoscenza a supporto delle scelte di governo del territorio. Il tema del monitoraggio del consumo di suolo, così come il monitoraggio delle trasformazioni territoriali, dovrebbe essere un'imprescindibile base di lavoro per le amministrazioni che hanno il compito di disegnare i futuri assetti di un territorio.

Abbiamo visto in questo lavoro come è possibile indagare e restituire in modo capillare i diversi oggetti territoriali anche in modo tridimensionale, grazie al contributo dei nuovi sistemi di acquisizione ed elaborazione di dati aerofotogrammetrici. Nello scorso decennio, infatti, il *laser scanner* aereo (LiDAR) era considerato il mezzo più vantaggioso, efficiente e rapido per fornire nuvole dense di punti 3D e per modellare superfici in modo accurato, mentre la tecnica fotogrammetrica appariva laboriosa e incapace di fornire gli stessi risultati. Recentemente, grazie ai miglioramenti dei sensori ottici e, soprattutto, ai nuovi algoritmi di *Dense Image Matching*, la fotogrammetria è riemersa come una tecnologia competitiva e in grado di fornire nuvole di punti 3D e modelli digitali della superficie geometricamente paragonabili a quelli ottenuti con strumentazione attiva, ma a costi significativamente inferiori (con un rapporto di circa 1 a 10). Altro elemento di grande valore di questa nuova metodologia di processamento delle immagini è la disponibilità di ortorelievi di precisione che, a differenza di quelle standard ottenute proiettando le immagini sul modello digitale del terreno (DTM), sono geometricamente corrette non solo sul terreno, ma anche rispetto ad elementi sopraelevati, come tetti e facciate di edifici. Questo prodotto risulta quindi fondamentale per rappresentare il territorio, soprattutto urbano, in modo realistico nelle tre dimensioni.

Il percorso avviato dalla Provincia di Venezia – in collaborazione con *UniSky* e l'Università IUAV di Venezia – per la costruzione di nuovi quadri di conoscenza del territorio e dell'ambiente costituisce di fatto un esempio italiano virtuoso di innovazione, non solo tecnologica. I prodotti generati dal rilievo saranno infatti resi disponibili a tutte le amministrazioni e ai cittadini, in una logica *open data*.

Proprio tale logica di condivisione del dato può, a nostro avviso, rappresentare un'opportunità per il miglioramento metodologico degli studi esistenti sulla quantificazione e sulla distribuzione spaziale del consumo di suolo. Ovviamente sarebbe impensabile proporre o riprodurre su scala nazionale un'acquisizione di dati come quella esaminata, anche se i costi di tali rilievi sono sempre più accessibili alle piccole e medie amministrazioni.

La metodologia ISPRA, seppur fondata su un metodo campionario volto alla quantificazione del fenomeno più che alla sua spazializzazione, potrebbe tuttavia giovare di questo geodatabase in molteplici modi.

In primo luogo, il dato potrebbe essere utilizzato per una seconda verifica di corrispondenza dei dati puntuali della rete di monitoraggio ISPRA, sostituendo – almeno per il territorio della Provincia di Venezia – le immagini satellitari del programma Copernicus/GMES. L'enorme differenza in termini di risoluzione spaziale dei due prodotti (20 m contro 15 cm) potrà sicuramente migliorare la spazializzazione del fenomeno e permetterne una stima più accurata.

Inoltre è ipotizzabile l'impiego di rilievi di questo genere su aree spot, dove le analisi di consumo del suolo elaborate da ISPRA possono aver evidenziato criticità o difficoltà di determinazione del fenomeno che richiedono un approfondimento. Si tratterebbe di un approccio multi-scala, fondato sull'eterogeneità spaziale e distributiva dell'urbanizzato, che aumenta la risoluzione del dato in quei contesti – come ad esempio nelle aree periurbane, di margine o di frangia – in cui le stime del fenomeno più si discostano dalla realtà. In tal senso le metodologie di stima del consumo di suolo potranno nel tempo essere integrate con un approccio multi-risoluzione, tenendo anche conto dell'ormai prossimo lancio di Sentinel-2 del programma Copernicus, che fornirà a tutti i soggetti immagini gratuite multispettrali e ad alta risoluzione (10-20 m) aggiornate nel tempo.

Riferimenti bibliografici

- CRCS – Centro di Ricerca sui Consumi di Suolo (2012), *Rapporto 2012*, Milano, INU Edizioni,.
- Commissione Europea (2006), Strategia tematica per la protezione del suolo, COM(2006) 231. Bruxelles, 22.9.2006 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0231:FIN:IT:PDF>.
- Commissione Europea (2011), *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, COM(2011) 571. Bruxelles, 20.9.2011 http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm.
- Commissione Europea (2012), *Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo*, Lussemburgo, http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_it.pdf
- EEA (2011), *Mapping Guide for a European Urban Atlas*, European Environmental Agency, Copenhagen, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>.
- EEA (2013), GIO land (GMES/Copernicus initial operations land) High Resolution Layers (HRLs) – summary of product specifications, European Environment Agency, Copenhagen.
- Gibelli M.C., Salzano E. (2006), *No Sprawl*, Firenze, Alinea.
- Indovina F. (2005), *Governare la città con l'urbanistica*. Guida agli strumenti di pianificazione urbana e del territorio, Rimini, Maggioli.
- ISPRA (2013), *Qualità dell'ambiente urbano – IX Rapporto*, edizione 2013, ISPRA, Roma, <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/statodellambiente/qualita-dellambiente-urbano-ix-rapporto.-edizione-2013>.
- ISPRA (2014), *Il consumo di suolo in Italia*, edizione 2014, Rapporti 195/2014, ISPRA,

- Roma, <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/ilconsumo-di-suolo-in-italia>
- Mohsen Ahadnejad Reveshty (2012), *The object-based approach for urban land use classification using high resolution satellite imagery* (a case study Zanjan City), in *Proceedings of the 4th GEOBIA*, P. 678-682, Rio de Janeiro (Brazil), May 7-9 2012.
- Munafò M., Salvucci G., Zitti M., Salvati L. (2010), “Proposta per una metodologia di stima dell'impermeabilizzazione del suolo in Italia”, *Rivista di statistica ufficiale* 2-3, http://www.istat.it/it/files/2011/09/2-3_2010_3.pdf
- Munafò M., De Pasquale V., Iasillo D., Barbieri V. (2012), “Validazione della mappa europea delle aree impermeabili ad alta risoluzione a livello locale”, in “Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA” p. 1013-1019, Vicenza, 6-9 Novembre 2012.
- Parlamento Europeo e Consiglio (2007), *Direttiva 2007/2/CE che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)*, 14.3.2007 <http://inspire.ec.europa.eu/>.
- Zhan Q. (2003), *A hierarchical object-based approach for urban land-use classification from remote sensing data*, *PhD Dissertation*, ITC Dissertation no. 103, Enschede http://www.itc.nl/library/Papers_2003/phd_theses/zhan.pdf.