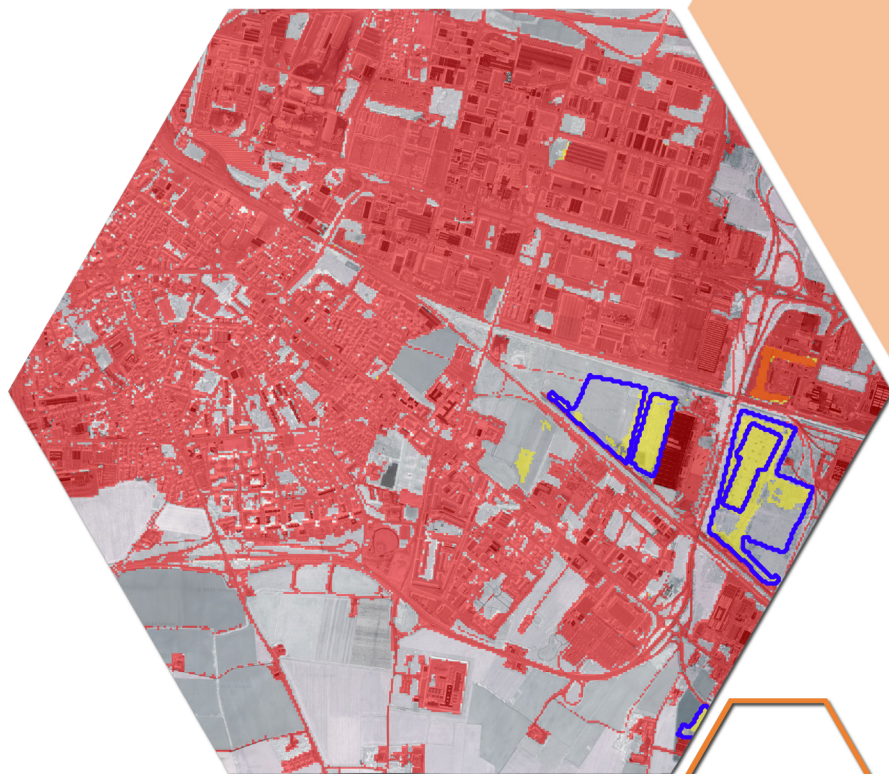


LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DEL CONSUMO DI SUOLO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ DEL SNPA

Delibera del Consiglio SNPA n. 241/2024 del 16.04.2024





LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DEL CONSUMO DI SUOLO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ DEL SNPA

Delibera del Consiglio SNPA n. 241/2024 del 16.04.2024

LINEE GUIDA SNPA | **50** 2024

ISBN 978-88-448-1214-0 | Roma, Maggio 2024

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della legge 28 giugno 2016, n. 132 di "Istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e disciplina dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale" (ISPRA).

Il SNPA è composto dall'ISPRA, ente pubblico nazionale di ricerca che ne coordina le attività, e dalle agenzie per la protezione dell'ambiente delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano.

Attraverso la cooperazione a rete, il Sistema lavora per raggiungere prestazioni tecniche ambientali uniformi sull'intero territorio nazionale, a vantaggio della tutela dell'ambiente e a beneficio della popolazione, dell'attività delle imprese e del sistema pubblico in generale. Le prestazioni tecniche riguardano le attività ispettive e di controllo ambientale, il monitoraggio dello stato dell'ambiente, il controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, il supporto alle attività in campo ambientale dello Stato, delle Regioni e degli enti locali, la ricerca finalizzata a tali scopi nonché la raccolta, l'organizzazione e diffusione dei dati e delle informazioni ambientali che sono riferimenti ufficiali dell'attività di tutta la pubblica amministrazione.

Il Sistema produce documenti tecnici quali Report ambientali SNPA, Linee guida SNPA, Pubblicazioni tecniche SNPA e pareri vincolanti in base alla legge. Organo deliberativo del Sistema è, ai sensi dell'art. 10 della legge n. 132/2016, il Consiglio del Sistema Nazionale, presieduto dal Presidente dell'ISPRA e composto dai rappresentanti legali delle agenzie e dal Direttore generale dell'Istituto.

Le persone che agiscono per conto delle componenti del Sistema non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:

SNPA, Linee Guida per il monitoraggio del consumo di suolo nell'ambito delle attività del SNPA. Edizione 2024. Linee guida SNPA, 50/2024

ISBN 978-88-448-1214-0

© Linee guida SNPA 50/2024

La collana Linee guida SNPA raccoglie documenti tecnici diretti ad uniformare il comportamento e le prassi delle componenti del Sistema nell'esercizio dell'attività tecnico scientifica e costituiscono norme interne delle amministrazioni pubbliche che ne fanno parte.

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:

Daria Mazzella – ISPRA

Copertina:

Alessia Marinelli – Ufficio Grafica ISPRA

maggio 2024

Abstract

Le presenti Linee Guida sono il frutto di un lungo lavoro fatto dal SNPA. Ripercorrono la storia e l'evoluzione delle attività relative al monitoraggio del consumo di suolo e descrivono materiali e metodi per l'aggiornamento annuale della carta nazionale del consumo di suolo

These Guidelines are the result of long work done by the SNPA. They trace the history and evolution of activities relating to land consumption monitoring and describe materials and methods for the annual update of the national land consumption map

Parole chiave: < consumo di suolo, impermeabilizzazione del suolo, uso del suolo, Copernicus, fotointerpretazione >

Keywords: < land take, soil sealing, land use, Copernicus, photointerpretation >

Autori

Alberto Albanese (ISPRA), Giulia Cecili (ISPRA – Università del Molise), Angela Cimini (ISPRA – Università “La Sapienza”), Luca Congedo (ISPRA), Alessia D’Agata (ISPRA – Università “La Sapienza”), Paolo De Fioravante (ISPRA), Pasquale Dichicco (ISPRA), Valentina Falanga (ISPRA – Università del Molise), Ines Marinosci (ISPRA), Lorella Mariani (ISPRA), Michele Munafò (ISPRA), Nicola Riitano (ISPRA).

Luca Forestello (ARPA Piemonte), Manuela Livorno (ARPA Piemonte), Gabriele Nicolò (ARPA Piemonte), Fulvio Raviola (ARPA Piemonte) – (4.1 ‘Il portale nazionale del consumo di suolo’)

Referenti della RR TEM 19:

<i>Componente del Sistema</i>	<i>Nominativi</i>
ISPRA	INES MARINOSCI
ARTA Abruzzo	GIOVANNI DESIDERIO
ARPA Basilicata	GAETANO CARICATO
APPA Bolzano	
ARPA Calabria	LUIGI DATTOLA
ARPA Campania	GIANLUCA RAGONE
ARPAE Emilia-Romagna	MONICA CARATI
ARPA Friuli Venezia-Giulia	CLAUDIA MELONI
ARPA Lazio	ELENA TRAPPOLINI
ARPA Liguria	MONICA LAZZARI
ARPA Lombardia	DARIO BELLINGERI
ARPA Marche	ROBERTO BRASCUGLI
ARPA Molise	ALESSANDRO GALUPPO
ARPA Piemonte	FULVIO RAVIOLA
ARPA Puglia	PATRIZIA LAVARRA
ARPA Sardegna	ELISABETTA BENEDETTI
ARPA Sicilia	DOMENICO GALVANO
ARPA Toscana	CINZIA LICCIARDELLO
APPA Trento	RAFFAELLA CANEPEL
ARPA Umbria	LUCA TAMBURI
ARPA VdA	FEDERICO GROSSO
ARPA Veneto	IALINA VINCI

Percorso istruttorio

Documento elaborato nell'ambito dell'articolazione istruttoria del Consiglio SNPA RR TEM 19 Monitoraggio del territorio e del consumo di suolo

Documento condiviso con il Coordinamento Tecnico Operativo (CTO) SNPA

Documento adottato dal Consiglio SNPA, con Delibera del Consiglio SNPA n. 241/24 del 16/04/2024

Ringraziamenti

Le presenti Linee Guida sono il frutto di un lungo percorso di confronto all'interno del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA). Si ringraziano le Agenzie Regionali e Provinciali per la protezione dell'ambiente che hanno contribuito con sempre maggior interesse e partecipazione alla definizione delle metodologie qui descritte e in particolare i referenti della Rete Tematica 19 "Monitoraggio del territorio e del consumo di suolo".

Si ringraziano inoltre tutti i colleghi ISPRA che hanno sempre partecipato con passione alle attività del monitoraggio del consumo di suolo.

Coordinamento editoriale del documento

Ines Marinosci (ISPRA)

SOMMARIO

PREMESSA.....	7
SINTESI.....	8
1 CONTESTO DI RIFERIMENTO	9
1.1 IL SISTEMA NAZIONALE A RETE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE.....	9
1.2 INQUADRAMENTO DELLA TEMATICA E RIFERIMENTI NORMATIVI	9
2 LA STORIA	12
2.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	12
2.2 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO: UN PRIMO ATLANTE DELLE AREE URBANE	12
2.3 ANALISI DEL PROCESSO DI URBANIZZAZIONE DELLE CITTÀ.....	13
2.4 MAPPATURA E MONITORAGGIO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE E DEL CONSUMO DI SUOLO CON APPROCCIO STATISTICO CAMPIONARIO.....	14
2.4.1 La rete dei 12.000 punti sul territorio nazionale per la mappatura dell'impermeabilizzazione	15
2.4.2 Caso studio sulla città di Roma: evoluzione del consumo di suolo dal 1949 al 2006	16
2.4.3 Impermeabilizzazione e consumo di suolo sulle aree urbane: integrazione della rete nazionale dei 12.000 punti	17
2.4.4 Impermeabilizzazione e consumo di suolo sulle aree urbane: implementazione della serie temporale e ampliamento del numero delle aree urbane.....	18
2.5 IL PRIMO RAPPORTO ISPRA SUL CONSUMO DI SUOLO	19
2.6 2015: LA PRIMA CARTOGRAFIA NAZIONALE AD ALTISSIMA RISOLUZIONE	21
2.7 2016: IL PRIMO RAPPORTO SNPA SUL CONSUMO DI SUOLO.....	22
3 ASPETTI METODOLOGICI	24
3.1 FASI OPERATIVE.....	24
3.2 SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE.....	25
3.2.1 Il ruolo del Programma <i>Copernicus</i> e del Gruppo <i>EAGLE</i>	26
3.3 PROCEDURA DI MONITORAGGIO CONSUMO DI SUOLO	27
3.3.1 Software e plugin	27
3.3.2 Dati di input.....	28

3.3.3. Configurazione dello spazio di lavoro.....	32
3.3.4 Fotointerpretazione.....	34
3.4 ESEMPI	36
3.4.1 Esempio 1 – Consumo di suolo dell’ultimo anno.....	36
3.4.2 Esempio 2 - Cambiamenti multipli.....	38
3.4.1 Esempio 3 – Cambiamenti multipli.....	40
3.4.4 Esempio 4 – Rinaturalizzazione.....	42
3.4.5 Esempio 5 – Errore di omissione.....	43
3.4.6 Esempio 6 – Errore di commissione.....	44
3.5 ELABORAZIONI/MODELLI/INDICATORI	45
3.5.1 Produzione del mosaico nazionale.....	45
3.5.2 Elaborazioni.....	45
3.6 ATTIVITÀ SPERIMENTALI.....	48
4 DISSEMINAZIONE DI DATI E INDICATORI	49
4.1 IL PORTALE NAZIONALE DEL CONSUMO DI SUOLO	49
4.1.1 La scheda “Indicatori”.....	50
4.1.2 La scheda “Mappe”.....	53
4.1.3 La scheda “Atlante fotografico”.....	54
4.2 ECOATL@NTE.....	55
4.3 GROUPWARE SINA.....	55
4.4 WEB APPLICATION PER VALIDAZIONE.....	55
5 BIBLIOGRAFIA.....	57
6 GLOSSARIO	58

PREMESSA

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente viene istituito con la legge 28 giugno 2016 n. 132 "Istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e disciplina dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale" con il fine, espresso all'articolo 1, di "assicurare omogeneità ed efficacia all'esercizio dell'azione conoscitiva e di controllo pubblico della qualità dell'ambiente a supporto delle politiche di sostenibilità ambientale e di prevenzione sanitaria a tutela della salute pubblica" e "concorre al perseguimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, della riduzione del consumo di suolo, della salvaguardia e della promozione della qualità dell'ambiente e della tutela delle risorse naturali". L'ISPRA presiede al coordinamento tecnico (fatte salve le competenze delle regioni e delle province autonome di Trento e di Bolzano) al fine di rendere omogenee le attività del Sistema nazionale.

Tra le funzioni attribuite al SNPA vi è il monitoraggio del consumo di suolo citata nell'art.3 lett. a). In ottemperanza a questo compito istituzionale viene pubblicato ogni anno il Rapporto SNPA "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici" accompagnato dall'aggiornamento della carta nazionale del suolo consumato e dei relativi indicatori.

Poiché non esiste ad oggi un documento di riferimento del SNPA sulle modalità con cui viene effettuato il monitoraggio del consumo di suolo, bensì una serie di prassi ormai consolidate, già trasposte in un documento interno che viene utilizzato per lo svolgimento delle attività, si è ritenuto utile realizzare delle Linee Guida che rappresentino il riferimento ufficiale per il SNPA della metodologia relativa alle attività di monitoraggio del consumo di suolo.

Le presenti Linee Guida vogliono essere infatti uno strumento di supporto alle attività dei tecnici delle Agenzie del SNPA che si occupano in prima linea del tema, ma si rivolgono anche agli utenti che volessero approcciare tale tematica anche solo dal punto di vista della conoscenza.

SINTESI

Le 'Linee Guida per il monitoraggio del consumo di suolo nell'ambito delle attività del SNPA' sono il frutto di un lungo lavoro fatto dal Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) e ripercorrono la storia e l'evoluzione delle attività relative al monitoraggio del consumo di suolo, descrivendone i principali aspetti metodologici relativi all'aggiornamento annuale della carta nazionale del suolo consumato.

Già da tempo, infatti, il Sistema diffonde i dati sul monitoraggio del consumo di suolo attraverso la pubblicazione del rapporto annuale e dei relativi documenti connessi (Carta Nazionale del consumo di suolo e Banca dati indicatori consumo di suolo), facendo riferimento a metodologie condivise dal SNPA in un documento interno utilizzato per lo svolgimento delle attività.

Le attività del monitoraggio del consumo di suolo svolte da ISPRA e dalle Agenzie del SNPA iniziano nel 2008 nell'ambito di uno specifico gruppo di lavoro sul tema e si consolidano nel tempo. La prima attività ha riguardato la validazione svolta da ISPRA su una cartografia nazionale del grado di impermeabilizzazione del territorio prodotta a livello europeo (su richiesta della Commissione Europea). Si passa poi negli anni all'introduzione di diverse proposte di rappresentazione del fenomeno, basate sull'adozione di due principali approcci metodologici: l'approccio statistico campionario, basato sull'osservazione di una rete di punti, e l'approccio cartografico, reso possibile anche grazie all'introduzione dei dati satellitari del programma di osservazione della terra *Copernicus*. La versione più recente della metodologia, ormai consolidata e condivisa nel SNPA, prevede come attività principale la fotointerpretazione del nuovo consumo di suolo avvenuto tra l'anno di riferimento e l'anno precedente, da svolgere annualmente secondo un sistema di classificazione a tre livelli, e la restituzione finale del dato per l'intero territorio nazionale, in formato raster a 10 metri di risoluzione, corredato da un ampio set di indicatori.

Nel corso degli anni, ISPRA e le Agenzie del SNPA hanno introdotto una vasta gamma di strumenti e piattaforme per garantire l'accesso ai dati relativi a consumo del suolo, stato del territorio e degli insediamenti, perdita di servizi ecosistemici e degrado, al fine di contribuire alla conoscenza e alla formazione di una coscienza critica su questi temi e di fornire all'intera comunità istituzionale e scientifica una base conoscitiva liberamente accessibile a supporto delle politiche, dello sviluppo del quadro normativo e delle decisioni a livello locale necessarie per arrivare all'obiettivo di arrestare il consumo di suolo.

1 CONTESTO DI RIFERIMENTO

Il capitolo illustra il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e presenta la tematica del consumo di suolo inquadrandone i principali aspetti normativi.

1.1 IL SISTEMA NAZIONALE A RETE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) nasce il 14 gennaio 2017 con l'entrata in vigore della sua legge istitutiva, la legge n.132 del 28 giugno 2016 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale".

Il SNPA del quale fanno parte l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le Agenzie Regionali e delle province autonome di Trento e di Bolzano per la Protezione dell'Ambiente (ARPA/APPA) ha il "fine di assicurare omogeneità ed efficacia all'esercizio dell'azione conoscitiva e di controllo pubblico della qualità dell'ambiente a supporto delle politiche di sostenibilità ambientale e di prevenzione sanitaria a tutela della salute pubblica" (L. 132/2016 art.1, comma 1). Inoltre "concorre al perseguimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile, della riduzione del consumo di suolo, della salvaguardia e della promozione della qualità dell'ambiente e della tutela delle risorse naturali e della piena realizzazione del principio 'chi inquina paga', anche in relazione agli obiettivi nazionali e regionali di promozione della salute umana, mediante lo svolgimento delle attività tecnico-scientifiche di cui alla presente legge" (L. 132/2016 art.1, comma 2). L'ISPRA svolge funzioni di indirizzo e di coordinamento tecnico (fatte salve le competenze delle regioni e delle province autonome di Trento e di Bolzano) al fine di rendere omogenee le attività del Sistema nazionale.

Le funzioni del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente sono descritte nell'art.3 della suddetta legge e comprendono il monitoraggio dello stato dell'ambiente e del consumo di suolo e il controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento delle matrici ambientali, delle pressioni sull'ambiente e dei relativi impatti. Il SNPA è tenuto a svolgere su tutto il territorio nazionale un livello minimo di attività, i Livelli Essenziali delle Prestazioni Tecniche Ambientali (LEPTA), che costituiscono il cardine della riforma introdotta dalla legge 132 e rappresentano la capacità del Sistema di offrire servizi alla comunità.

1.2 INQUADRAMENTO DELLA TEMATICA E RIFERIMENTI NORMATIVI

Il suolo è lo strato superiore della crosta terrestre, costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi e rappresenta l'interfaccia tra terra, aria e acqua, ospitando gran parte della biosfera. Il suolo è una risorsa limitata con tempi estremamente lunghi per la sua formazione. Si può quindi ritenere che sia una risorsa non rinnovabile (Munafò, M. 2022).

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente si occupa di assicurare le attività di monitoraggio del territorio e del consumo di suolo in Italia, fornendo il quadro aggiornato annualmente dei processi di trasformazione che continuano a causare la perdita di una risorsa fondamentale, il suolo, con le sue funzioni e i relativi servizi ecosistemici.

L'evoluzione del consumo di suolo viene analizzata all'interno di un ampio quadro delle trasformazioni territoriali ai diversi livelli, attraverso indicatori utili a valutarne le caratteristiche e le tendenze del consumo, della crescita urbana e delle trasformazioni del paesaggio, ma anche dell'evoluzione, della distribuzione e delle caratteristiche della vegetazione, fornendo valutazioni sull'impatto della crescita della copertura artificiale del suolo, con particolare attenzione alla mappatura e alla valutazione dei servizi ecosistemici del suolo, alla frammentazione del territorio e alle metriche del paesaggio.

Le Agenzie partecipano in un lavoro congiunto di monitoraggio svolto anche utilizzando le migliori informazioni che le nuove tecnologie sono in grado di offrire e le informazioni derivanti da satelliti di osservazione della terra, tra cui quelle del programma *Copernicus*. È infatti compito del Sistema seguire le trasformazioni del territorio e la perdita di suolo naturale, agricolo e seminaturale, inteso come risorsa ambientale essenziale e fondamentalmente non rinnovabile, vitale per il nostro ambiente, il nostro benessere e la nostra stessa economia. Questo ruolo di sentinella è fondamentale in considerazione degli obiettivi comunitari e globali sull'azzeramento del consumo e del degrado del suolo e della fase di attesa di una normativa nazionale definitiva.

Con la Strategia per il suolo per il 2030 approvata il 17 novembre 2021 dalla Commissione Europea viene introdotto il concetto di 'Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima' e annunciata una nuova legge sulla salute dei suoli che dovrà garantire, attraverso la tutela dei suoli, un alto livello di protezione dell'ambiente e di salvaguardia della salute delle popolazioni, partendo dal principio che suoli sani producono cibi sani. Nella proposta di Direttiva sul Monitoraggio dei Suoli (COM (2023) 416)¹, presentata il 5 luglio 2023, l'obiettivo generale dichiarato è di avere suoli sani nell'UE entro il 2050, per raggiungere il quale vengono definiti parametri, indicatori e, per alcuni di questi, anche delle soglie. La Direttiva proposta fissa tra gli indicatori anche il consumo di suolo (land take) e l'impermeabilizzazione (soil sealing), senza per ora stabilire delle soglie, ribadendo i principi della gerarchizzazione: evitare, limitare il consumo di suolo, o, in subordine, cercare di minimizzarne gli effetti e compensarli. Viene quindi rafforzato il tema della limitazione del consumo e dell'impermeabilizzazione del suolo con un uso circolare del terreno, per ridurre il consumo netto di suolo e contribuire in modo quantificabile all'obiettivo dell'UE del 'No net land take' per il 2050 fissato nella "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse [COM (2011) 571].

Si riportano di seguito alcuni dei principali riferimenti normativi e di programmi a livello nazionale ed europeo relativi alla tematica del consumo di suolo, per il cui approfondimento si rimanda ai rispettivi siti web:

- Programma Copernicus

Le attività di monitoraggio del territorio sfruttano ampiamente le potenzialità del programma Europeo di osservazione della Terra Copernicus che, secondo il Regolamento UE n. 377/2014 "fornisce informazioni sullo stato dell'atmosfera, degli oceani, del territorio, a sostegno delle politiche di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici e della gestione delle emergenze e della sicurezza civile". Il Programma Copernicus è, dunque, un insieme complesso di sistemi che raccoglie

¹ Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). COM(2023) 416 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:52023PC0416&qid=1702046748000>

informazioni da molteplici fonti, ossia satelliti e sensori di terra, di mare ed aviotrasportati. In particolare, le attività di monitoraggio dell'uso e della copertura del territorio afferiscono al servizio Copernicus Land Monitoring Service.

- Strategia europea per il suolo 2030

A fine 2021 la Commissione Europea ha approvato la nuova strategia dell'UE per il suolo per il 2030 per ribadire come la salute del suolo sia essenziale per conseguire gli obiettivi in materia di clima e di biodiversità del Green Deal europeo. La strategia definisce un quadro e misure concrete per proteggere e ripristinare i suoli e garantire che siano utilizzati in modo sostenibile. La Commissione, con l'approvazione della Strategia, si è impegnata, inoltre, ad approvare una nuova legge sulla salute del suolo per garantire parità di condizioni e un elevato livello di protezione dell'ambiente e della salute.

- Agenda Globale Per Lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite

Definisce 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile da raggiungere entro il 2030 e da integrare nei programmi nazionali a breve e medio termine. A ciascun obiettivo è associata una serie di traguardi, il cui raggiungimento è funzionale al conseguimento dell'obiettivo stesso, e una serie di indicatori per la valutazione del livello di attuazione raggiunto per ciascun traguardo. Gli indicatori di maggiore interesse per il monitoraggio del suolo e del territorio afferiscono agli Obiettivi 11 ('Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili') e 15 ('Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre').

- Nature Restoration Law

È il primo atto legislativo che mira a ripristinare la natura in Europa, con l'obiettivo di riparare l'80% degli habitat europei che versano in cattive condizioni e di riportare la natura in tutti gli ecosistemi, dalle foreste e dai terreni agricoli agli ecosistemi marini, di acqua dolce e urbani. L'obiettivo è far sì che le misure di ripristino coprano almeno il 20% delle superfici terrestri e marine dell'UE entro il 2030 e si estendano infine a tutti gli ecosistemi che necessitano di ripristino entro il 2050.

- Proposta di Direttiva per il monitoraggio e la resilienza del suolo

Obiettivo della Direttiva è quello di costruire un sistema solido e omogeneo di monitoraggio di tutti i suoli nel territorio dell'Unione, necessario per il raggiungimento dell'obiettivo della salute del suolo al 2050 e per rispettare gli impegni internazionali relativi all'azzeramento del consumo di suolo e alla neutralità al degrado del suolo e del territorio.

- Strategia nazionale per la biodiversità al 2030

La strategia è coerente con gli obiettivi della Strategia europea per la biodiversità. Si evidenzia in particolare l'Azione B13.1 "Approvare ed attuare una legge nazionale sul consumo del suolo" e le sue sotto-azioni.

- Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile

Rappresenta lo strumento di riferimento a livello nazionale per l'attuazione dell'Agenda 2030. Si evidenzia in particolare l'obiettivo strategico II.2 "Arrestare il consumo del suolo e la desertificazione".

2 LA STORIA

Il capitolo ripercorre il lavoro svolto da ISPRA, a partire dal 2008, per la definizione di una metodologia robusta e condivisa per il monitoraggio del consumo di suolo. Tale attività è stata svolta in collaborazione con le Agenzie per la Protezione dell'Ambiente di Regioni e Province Autonome ancor prima dell'entrata in vigore della legge istitutiva del SNPA n.132/2016, nell'ambito di uno specifico gruppo di lavoro sul tema del consumo di suolo, ed è poi proseguita consolidandosi come attività del SNPA.

2.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

La valutazione del consumo di suolo (Munafò, M. et al., 2009) e, in generale, delle dinamiche di utilizzo del territorio, non può prescindere dal ricorso a strumenti di lettura di processi spaziale e di analisi geografica. Questa tipologia di analisi può essere condotta sia attraverso l'impiego di database geografici direttamente acquisiti e basati su fotointerpretazione o classificazione di immagini telerilevate, sia attraverso l'utilizzo di indagini censuarie, statistiche socio-economiche o metodi campionari basati su reti di monitoraggio puntuali o areali.

Relativamente ai database geografici, sebbene strumenti come il CORINE Land Cover possano risultare non sufficientemente dettagliati ai fini del monitoraggio e della valutazione delle aree urbanizzate o impermeabilizzate (malgrado l'ottima risoluzione tematica) (Munafò M., Marinosci I., 2018), i più recenti strumenti ad alta risoluzione, come la cartografia del suolo consumato realizzata dal SNPA consentono di ottenere risultati estremamente affidabili.

Per quanto riguarda i metodi di tipo statistico campionario essi rappresentano un'alternativa alla produzione di cartografie di uso, copertura e consumo di suolo, garantendo risultati affidabili nelle stime e tempi di elaborazione nettamente inferiori a quelli richiesti dall'elaborazione di dati cartografici, sebbene la loro validità sia strettamente legata al numero di campioni/punti utilizzati per il monitoraggio. Un esempio di cartografia che utilizza la combinazione del monitoraggio su fotointerpretazione e su dati in situ è rappresentato dal progetto *Land Use and Coverage Area frame Survey* (LUCAS) iniziativa della Commissione europea e di Eurostat finalizzata allo sviluppo di un sistema informativo statistico sulla base di un campionamento areale a livello europeo.

2.2 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO: UN PRIMO ATLANTE DELLE AREE URBANE²

Su richiesta della Commissione Europea, nel marzo del 2006 è stata avviata una collaborazione tra Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) e Agenzia Spaziale Europea (ESA) per l'implementazione di un "Fast Track Service" nell'ambito del progetto comunitario GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), per la produzione di uno strato ad alta risoluzione relativo all'impermeabilizzazione del suolo, in grado di fornire elementi discriminatori più dettagliati sull'ambiente urbano e che risultasse complementare con le informazioni offerte dal *Corine Land Cover 2006*. Tale iniziativa ha permesso di

² Tratto da: Bonora N., Marinosci I., Munafò M. "Impermeabilizzazione del suolo: atlante delle aree urbane" in *Qualità dell'ambiente urbano*, V Rapporto ISPRA Ed. 2008. ISBN 978-88-448-0385-8.

ottenere un prodotto a copertura europea in formato *raster* con risoluzione spaziale di 20 metri, derivato da classificazione di immagini ad alta risoluzione *Spot 4* e IRS LISS-III riferite al 2006. L'algoritmo, sviluppato da ESA, eseguiva una classificazione *pixel-based* per la distinzione di aree impermeabilizzate (definite "*built-up*", con grado di impermeabilizzazione compreso tra 1% e 100%, totalmente o parzialmente appartenenti ad edifici, strade, cave ed installazioni, inclusi gli spazi ausiliari) e aree non impermeabilizzate (definite "*non-built-up*").

La validazione dello strato, condotta da ISPRA, mostrò un'accuratezza tematica dell'85%, mentre l'analisi statistica associata mise in evidenza una probabilità del 95% di incorrere in un errore maggiore del 15%.

Le principali criticità riguardavano errori di classificazione relativi a coperture del suolo non impermeabilizzate assimilate alle impermeabilizzate per via del comportamento spettrale simile a quello delle superfici artificiali, come nel caso delle attività estrattive o di alcune tipologie di suoli ad elevata permeabilità (ad esempio letti di piena fluviale o depositi sedimentari costieri).

Tali criticità erano ascrivibili alla bassa risoluzione spettrale dei sensori utilizzati (due bande nel visibile e due nell'infrarosso vicino) e all'utilizzo del medesimo algoritmo generalizzato di classificazione per tutto il territorio europeo.

A partire da tale strato, nel 2008 ISPRA propose una rappresentazione cartografica del grado di impermeabilizzazione del suolo su 33 comuni italiani che, considerando l'incertezza tematica, voleva essere non tanto uno strumento di valutazione del grado di impermeabilizzazione, quanto un dispositivo di supporto per l'analisi dei fenomeni legati all'impermeabilizzazione a livello urbano. Non essendoci in letteratura una definizione condivisa di grado di impermeabilizzazione, furono scelti dei valori soglia mediando tra quelli proposti in bibliografia (EEA, 2004; European Commission, 2008; FAO, 2005; Van-Camp et al., 2004), distinguendo il grado di impermeabilizzazione in basso (<10%), medio (10-70%) e alto (70-100%).

2.3 ANALISI DEL PROCESSO DI URBANIZZAZIONE DELLE CITTÀ³

Con l'obiettivo rafforzare la conoscenza del contesto urbano e del fenomeno di urbanizzazione estensiva del territorio, ISPRA ha elaborato un indice basato sui dati ISTAT relativi a popolazione residente, numero di edifici e presenza di strade, forniti su base territoriale⁴ e disponibili in forma dettagliata e omogenea a scala nazionale.

In particolare, lo studio ha fatto riferimento alle seguenti pubblicazioni:

- ISTAT "Statistiche dell'attività edilizia anno 2000" con i dati definitivi della rilevazione mensile sull'attività edilizia riferita al 2000
- ISTAT "Statistiche sui permessi di costruire" con i risultati della rilevazione mensile sui permessi di costruire, riferiti all'anno 2003 e 2004
- CENSIS (2008) con le elaborazioni sui dati ISTAT relative alla distribuzione territoriale regionale dei permessi di costruire a livello regionale.

³ Tratto da: Marinosci I, Bonora N., Martellato G., Munafò M., Santonico D. "Analisi del processo di urbanizzazione delle città" in Qualità dell'ambiente urbano, V Rapporto ISPRA Ed. 2008. ISBN 978-88-448-0385-8.

⁴ Urbanizzazione estensiva: generale diffusione a livello europeo del processo di espansione urbana nelle aree che circondano la città e la diffusione dell'urbanizzazione per frammenti peculiare per l'Italia (Pileri, 2008).

Per l'analisi del grado di urbanizzazione sono stati utilizzati i dati relativi ad abitazioni e edifici del 14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni del 2001, mentre per l'analisi delle infrastrutture è stato utilizzato il reticolo stradale Tele Atlas 2006.

La valutazione del grado di urbanizzazione è stata effettuata con riferimento alla superficie territoriale comunale dell'area urbana⁵ di 33 città, che sono state analizzate a livello di singola sezione censuaria ISTAT⁶. A ciascuna sezione è stato associato un valore di grado di urbanizzazione (basso medio o alto) in funzione della presenza di popolazione, edifici e strade (espressi in tre classi, come riportato in Tabella 1 e considerando quello tra i tre che assumeva il valore massimo).

È necessario evidenziare che il grado di urbanizzazione si riferiva, per la parte di analisi della popolazione, alla sola componente residenziale e che la superficie territoriale minima considerata era la sezione di censimento.

Tabella 1. Classificazione dei livelli tematici delle aree urbane per zona censuaria La popolazione è stata espressa in abitanti per ettaro, gli edifici in numero di edifici per ettaro e le strade in percentuale di superficie coperta⁷. Fonte: elaborazioni ISPRA, 2009.

Livello	Pop. residente (P)	Edifici (E)	Strade (S)	Grado di urbanizzazione (gu)
Basso	$P < 5 \text{ ab/ha}$	$E < 0,5 \text{ edifici/ha}$	$S < 10\%$	Max valore tra P/E/S
Basso	$P < 5 \text{ ab/ha}$	$E < 0,5 \text{ edifici/ha}$	$S < 10\%$	
Medio	$5 \text{ ab/ha} \leq P \leq 50 \text{ ab/ha}$	$0,5 \leq E \leq 2 \text{ edifici/ha}$	$10\% < S < 20\%$	
Alto	$P > 50 \text{ ab/ha}$	$E > 2 \text{ edifici/ha}$	$S > 20\%$	

Fonte: ISPRA

2.4 MAPPATURA E MONITORAGGIO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE E DEL CONSUMO DI SUOLO CON APPROCCIO STATISTICO CAMPIONARIO

Le prime metodologie sviluppate da ISPRA e dalle Agenzie per la Protezione dell'Ambiente di Regioni e Province Autonome per il monitoraggio del consumo di suolo e dell'impermeabilizzazione erano basate sull'adozione di un approccio statistico campionario, che, rispetto alle esperienze descritte nei paragrafi precedenti, consentiva di perfezionare e aggiornare l'informazione indipendentemente dalla disponibilità di dati ancillari su base censuaria o di altre cartografie di copertura del suolo.

⁵ La superficie territoriale dell'area urbana corrisponde all'area all'interno del perimetro comunale ed è pianificata per il tramite degli strumenti urbanistici e regolamentari vigenti (art. 7 l. 1150/42).

⁶ La zona o area censuaria è l'unità territoriale impiegata per le rilevazioni ISTAT riguardanti i censimenti della popolazione, delle abitazioni, dell'industria e dei servizi del 2001 e il censimento dell'agricoltura del 2000.

⁷ È stata ipotizzata una larghezza standard delle strade e dell'area di rispetto pari, nel complesso, a 20 m. Un maggiore dettaglio potrebbe essere ottenuto differenziando le diverse tipologie di infrastrutture.

2.4.1 La rete dei 12.000 punti sul territorio nazionale per la mappatura dell'impermeabilizzazione⁸

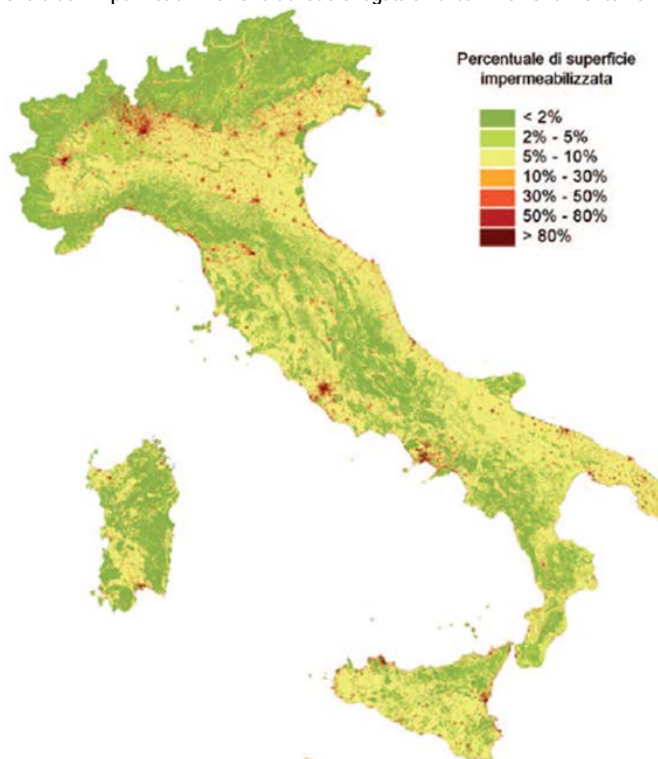
Il primo tentativo, da parte di ISPRA, di realizzare una mappatura dell'impermeabilizzazione a livello nazionale, si basava sulla rete di circa 12.000 punti introdotta per la validazione dei dati CORINE Land Cover 2000. La rete si componeva di punti dislocati sull'intero territorio nazionale rispetto a un reticolo regolare con passo di 5 km, cui era stata associata una classe di copertura/impermeabilizzazione coerente con il CORINE Land Cover 2000, a partire dalla fotointerpretazione di ortofoto riferite al volo IT2000 della Compagnia Generale Riprese aeree.

La metodologia permise di definire il grado di impermeabilizzazione legato all'urbanizzazione, non consentendo, tuttavia, di valutare quello associato ad altre cause (ad esempio la compattazione dei suoli); inoltre, il livello di accuratezza raggiunto risultava condizionato dalle caratteristiche del campione di punti utilizzato (in termini di numerosità e rappresentatività) e la derivazione da dati CORINE Land Cover limitava l'impiego del dato per elaborazioni di dettaglio.

La Figura 1 riporta la prima carta nazionale dell'impermeabilizzazione del suolo prodotta da ISPRA.

⁸ Tratto da: Munafò M. "La valutazione dell'impermeabilizzazione del suolo a scala nazionale" in Qualità dell'ambiente urbano, V Rapporto ISPRA Ed. 2008, Focus su: Il suolo, il sottosuolo e la città. ISBN 978-88-448-0387-2. In questo lavoro si intende per impermeabilizzazione il rivestimento del suolo per la costruzione di edifici, strade o altri usi, senza far rientrare in tale termine i suoli compattati da attività agricole.

Figura 1. Carta nazionale dell'impermeabilizzazione del suolo legata all'urbanizzazione. Fonte: ISPRA.



2.4.2 Caso studio sulla città di Roma: evoluzione del consumo di suolo dal 1949 al 2006⁹

Il territorio del comune di Roma è stato il primo su cui ISPRA ha condotto un'analisi sull'evoluzione nel tempo del consumo di suolo, con particolare riferimento al periodo compreso tra il 1949 e il 2006.

Il monitoraggio fu riferito a un campione di 1.477 punti, ottenuto dall'infittimento, sul territorio del comune, della rete nazionale di 12.000 punti¹⁰, secondo una griglia regolare a maglia quadrata di lato 2 km. In ciascuna cella della griglia furono allocati 5 punti in modo casuale, poi fotointerpretati con l'ausilio della carta topografica dell'IGM per il 1949 (a scala 1:25.000), della Carta Tecnica Regionale per il 1990-1991 (a scala 1:10.000, basata su riprese aeree) e delle ortofoto per gli anni 1994 (ortofoto

⁹ Tratto da: Norero C., Munafò M., "Evoluzione del consumo di suolo nell'area metropolitana romana (1949-2006" in Qualità dell'ambiente urbano, V Rapporto ISPRA Ed. 2008, Focus su: Il suolo, il sottosuolo e la città. ISBN 978-88-448-0387-2.

¹⁰ La rete nazionale di 12.000 punti, presentata nel paragrafo precedente, è stata realizzata da ISPRA per la validazione dei dati CORINE Land Cover 2000 e, successivamente, impiegata per la conduzione di una valutazione, a scala nazionale, dell'impermeabilizzazione del suolo legata all'urbanizzazione

B/N AIMA), 2000 (volo IT2000, Compagnia Generale Riprese Aeree) e 2006 (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare).

Il monitoraggio fu svolto secondo la definizione di *soil sealing* proposta dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, che considerava "suolo impermeabilizzato" quello interessato da un cambiamento della sua condizione naturale di mezzo permeabile (EEA, 2009); per ogni punto fu valutata la presenza di superfici permeabili o impermeabili, associando a ciascuno degli anni osservati (1949, 1990, 1994, 2000 e 2006) un valore di 1 (superficie permeabile) o 0 (superficie impermeabile).

2.4.3 Impermeabilizzazione e consumo di suolo sulle aree urbane: integrazione della rete nazionale dei 12.000 punti¹¹

L'esperienza di monitoraggio avviata sul territorio del comune di Roma fu poi estesa ad altre aree urbane presenti sul territorio nazionale, coinvolgendo le Agenzie interessate a livello territoriale, tramite l'individuazione di un set di circa 1500 punti¹² per ciascun comune, collocati in modo casuale rispetto a una griglia a maglia quadrata di lato 2 km.

La fotointerpretazione (Figura 2) fu condotta a una scala di lavoro compresa tra 1:1.000 e 1:2.000, sulla base di due coperture di ortofoto del Ministero dell'Ambiente:

- 'Ortofoto 2000' relative agli anni 1998-1999 (volo IT2000 della CGR Parma)
- 'Ortofoto 2006' relativa agli anni 2005-2007.

Figura 2. Esempio di classificazione dei punti di monitoraggio. In rosso sono indicati i punti in cui è presente suolo impermeabile (cui è associato il codice 1), in verde quelli in corrispondenza di aree permeabili (cui è attribuito il codice 2) e in celeste i punti non classificati (codice -999). Fonte: ISPRA.



¹¹ Tratto da: Munafò M., Martellato G., Riitano N. "Impermeabilizzazione e consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, VI Rapporto ISPRA Ed. 2009. ISBN 978-88-448-0385-8.

¹² La densità dei punti campionari è stata mantenuta costante all'interno dei limiti comunali ma il numero risulta variabile tra le diverse aree urbane a causa della diversa estensione territoriale e della necessità mantenere la rappresentatività e la significatività statistica del campione utilizzato.

A ciascun punto fu quindi attribuito uno dei codici di Tabella 2, in relazione alla presenza di superfici permeabili o impermeabili.

Tabella 2. Codici utilizzati per la fotointerpretazione dei punti.

Codice	Descrizione
0	Suolo permeabile (boschi, prati, aree agricole, giardini privati, parchi, aiuole cittadine, corpi idrici escluso il mare, ...)
1	Suolo impermeabile (edifici, capannoni, cortili ed altre aree pavimentate, piazzali, parcheggi, strade, ferrovie, campi da calcio, cave, cantieri, discariche, serre, ...)
-999	Punto non fotointerpretato (ad esempio punto non fotointerpretabile a causa della obliterazione del volo IT2000 in alcune aree militari o sensibili, oppure punti ricadenti in mare e in aree lagunari).

Fonte: ISPRA

Il controllo finale di qualità fu condotto a scala di dettaglio (1:1.000 o superiori) su circa il 10% del campione, considerando tutti i punti che presentavano un cambiamento di codice tra il 2000 e il 2006 e alcuni punti rimasti stabili.

2.4.4 Impermeabilizzazione e consumo di suolo sulle aree urbane: implementazione della serie temporale e ampliamento del numero delle aree urbane

Dal 2010, oltre ad aumentare il numero delle aree urbane interessate dal monitoraggio del consumo di suolo, ISPRA propose alle Agenzie regionali e provinciali coinvolte nell'attività, di ampliare la serie temporale del dato con riferimento all'anno 1994¹³ e ad eventuali date più recenti, se disponibili a livello comunale o regionale. La rete si arricchì progressivamente, arrivando a circa 70.000 punti nel 2010, 90.000 punti (e serie temporale compresa tra il 1949 e il 2011) nel 2011¹⁴, 120.000 punti nel 2012¹⁵ e 140.000 punti (e serie temporale compresa tra il 1949 e il 2012) nel 2013¹⁶. L'attività di aggiornamento dei dati prevedeva anche la verifica delle informazioni¹⁷ già acquisite e l'utilizzo di altri dati satellitari per la rilevazione del consumo di suolo anche nelle aree oblitrate o mascherate nelle ortofoto di riferimento.

Sempre a partire dal 2010, venne aggiornato il sistema di classificazione, includendo le superfici lagunari e tutti i corpi idrici nelle aree permeabili.

¹³ Munafò M., Martellato G. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, VII Rapporto ISPRA Ed. 2010. ISBN 978-88-448-0490-9.

¹⁴ Munafò M., Marinosci I., Martellato G., Salvati L. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, VIII Rapporto ISPRA Ed. 2012. ISBN 978-88-448-0561-6.

¹⁵ Munafò M., Marinosci I., Martellato G., Salvati L. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, IX Rapporto ISPRA Ed. 2013. ISBN 978-88-448-0621-7.

¹⁶ Munafò M., Congedo L., Luti T., Marinosci I. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, X Rapporto ISPRA Ed. 2014. ISBN 978-88-448-0685-9.

¹⁷ La procedura di verifica del dato dal 2011 in poi verrà sempre applicata nelle fasi di aggiornamento dei dati.

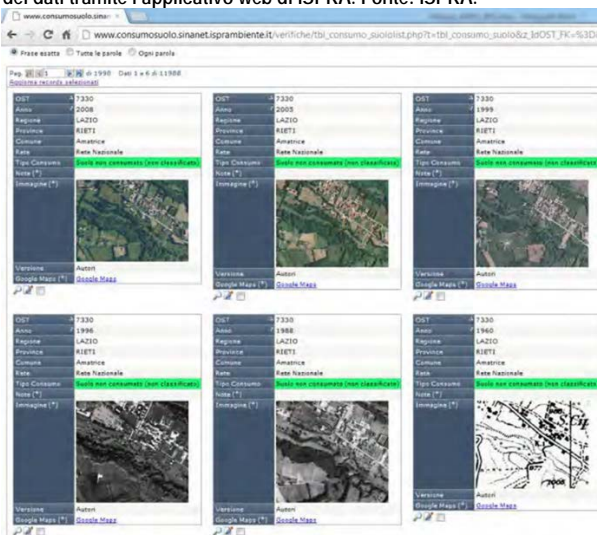
2.5 IL PRIMO RAPPORTO ISPRA SUL CONSUMO DI SUOLO¹⁸

Nel 2014 fu pubblicato il primo Rapporto ISPRA sul consumo di suolo, che analizzava l'evoluzione del fenomeno nell'arco di diversi anni, fornendo un quadro conoscitivo di riferimento per la definizione e la valutazione delle politiche a livello nazionale, regionale e comunale.

La produzione dei dati presentati nel rapporto era basata su una metodologia suddivisa in tre fasi, che prevedeva la fotointerpretazione, l'integrazione con i dati di osservazione della terra e l'elaborazione di indicatori.

L'attività di fotointerpretazione a cui parteciparono le Agenzie per la Protezione dell'Ambiente di Regioni e Province Autonome, interessò circa 150.000 punti di una rete di monitoraggio stratificata a tre livelli (nazionale, regionale e comunale), e fu condotta utilizzando un apposito applicativo web sviluppato da ISPRA con l'obiettivo di agevolare le operazioni di acquisizione dei dati e di controllo e validazione delle informazioni raccolte (Figura 3).

Figura 3. Acquisizione dei dati tramite l'applicativo web di ISPRA. Fonte: ISPRA.



Il sistema di classificazione utilizzato per la valutazione del consumo di suolo è riportato nella Tabella 3.

¹⁸ Tratto da: Munafò M., Tombolini I. "Il consumo di suolo in Italia", Rapporto ISPRA 195/2014 Ed.2014. ISBN 978-88-448-0646-0.

Tabella 3. Sistema di classificazione al secondo livello.

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

Fonte: ISPRA.

Le rilevazioni furono riferite a dati cartografici e aero-fotogrammetrici relativi a sette anni compresi tra gli anni '50 e il 2013, utilizzando:

- la cartografia dell'Istituto Geografico Militare a scala 1:25.000 per il 1956 (anno medio di riferimento, il prodotto è databile tra il 1938 e il 1990)
- le ortofoto in bianco e nero distribuite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) per il 1988-1993 e il 1994-1997;
- le ortofoto a colori distribuite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) per il 1998-2001 e il 2004-2007
- le ortofoto a colori, in base alla disponibilità di dati MATTM, regionali, AGEA, ESA o di altri servizi di rete per il periodo 2008-2013.

Per la regione Molise, in collaborazione con il Dipartimento di Bioscienze e Territorio dell'Università del Molise, fu effettuato un aggiornamento al 1998 e al 2012 basato su un doppio sistema di classificazione (di uso e di copertura del suolo) su un campione, solo per il territorio regionale, di 17.700 punti.

In una fase successiva, i punti della rete di monitoraggio vennero confrontati con lo strato informativo a 20 metri *High Resolution Layer* realizzato nell'ambito del Programma *Copernicus*¹⁹ per l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), mostrando la buona corrispondenza (Munafò, M. et al., 2012.) e consentendo, quindi, l'integrazione tra i due dati per l'intervallo temporale 2006-2012.

2.6 2015: LA PRIMA CARTOGRAFIA NAZIONALE AD ALTISSIMA RISOLUZIONE²⁰

Nel 2015 l'attività di monitoraggio del consumo di suolo proseguì mantenendo l'approccio inventariale ma fu introdotto anche l'approccio cartografico che portò alla realizzazione della prima cartografia del suolo consumato in formato raster a 5 metri di risoluzione per l'intero territorio nazionale riferita all'anno 2012.

La cartografia fu realizzata²¹, con l'obiettivo di mappare le aree impermeabili e artificiali attraverso la classificazione semi-automatica di immagini *RapidEye* riferite agli anni 2011 e 2012, integrate con dati ancillari a scala regionale (database topografici e CTR vettoriali) e con *OpenStreetMap* per migliorare l'identificazione della rete stradale. La carta adottò il sistema di classificazione di Tabella 4 e offrì, per la prima volta in Italia, la possibilità di avere un quadro completo, accurato e omogeneo, anche a scala locale, della distribuzione del suolo consumato.

Tabella 4. Sistema di classificazione binario utilizzato dalla prima mappatura del consumo di suolo realizzata da ISPRA da classificazione di dati *RapidEye* relativi al 2012.

Codice	Descrizione
0	Suolo non consumato (boschi, prati, aree agricole, giardini privati, parchi, aiuole cittadine, corpi idrici escluso il mare, ...)
1	Suolo consumato (edificato; strade asfaltate e sterrate; piazzali, parcheggi, cortili e altre aree pavimentate o in terra battuta; serre permanenti; aeroporti e porti; aree e campi sportivi impermeabili; sedi ferroviarie; campi fotovoltaici a terra; aree estrattive non rinaturalizzate, discariche, cantieri)
2	Aree non classificate per mancanza di dati
3	Aree al di fuori dei limiti nazionali

Parallelamente alla realizzazione della carta del suolo consumato in formato raster, l'approccio campionario venne applicato su circa 190.000 punti secondo la metodologia descritta nei paragrafi precedenti e che permise di avere informazioni aggiornate sull'evoluzione del consumo di suolo tra gli anni '50 e il 2014.

L'elevata risoluzione della nuova cartografia²² raster rese possibile la valutazione della percentuale di consumo di suolo sul territorio nazionale, pur con una parziale sottostima dei risultati rispetto al metodo campionario; quest'ultimo, infatti, garantiva una migliore capacità di 'cattura' degli elementi isolati,

¹⁹ Copernicus (già noto come GMES – Global Monitoring for Environment and Security) è il programma di osservazione della Terra dell'Unione europea, dedicato a monitorare il nostro pianeta e il suo ambiente a beneficio di tutti i cittadini europei. Offre servizi di informazione basati sull'osservazione satellitare della Terra e dati in situ (EEA, 2013).

²⁰ Tratto da: Munafò M. et al. "Il consumo di suolo in Italia", Rapporto ISPRA 218/2015 Ed.2015. ISBN 978-88-448-0703-0 e da: Munafò M., Luti T., Marinosci I., Congedo L. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, XI Rapporto ISPRA Ed. 2015. ISBN 978-88-448-0749-8.

²¹ La fase di produzione della cartografia nazionale è avvenuta con il supporto di Planetek Italia.

²² I dati del 2012 sono stati ulteriormente validati e migliorati, e per alcuni comuni, aggiornati a cura delle ARPA/APPA.

puntuali e lineari, che per motivi di risoluzione sfuggono a una rappresentazione raster, fornendo generalmente valori più elevati di superficie consumata.

La possibilità di usufruire dei nuovi dati di osservazione della terra resi disponibili nell'ambito del Programma *Copernicus* permise al gruppo di lavoro sul consumo di suolo del sistema agenziale²³ di passare progressivamente dall'approccio campionario a quello cartografico, utilizzando come base di partenza la cartografia raster a 5 metri che fu migliorata tramite fotointerpretazione, con l'ausilio di ortofoto AGEA 2011 – 2013.

A valle delle elaborazioni, il confronto, condotto da ARPA Lombardia, tra la cartografia raster a 5 m e i punti della rete di monitoraggio mostrò una concordanza tra i due dati nell'83,9% dei casi, mentre gli errori di commissione del dato raster rispetto a quello inventariale riguardarono il 3,8% dei casi e quelli di omissione il 12,3%²⁴. L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Puglia effettuò invece un test di autocontrollo su 100.000 punti presi in tre ambiti diversi (campagna, campagna abitata e periferia urbana), valutando in ogni punto il valore della carta nazionale del consumo di suolo, il valore della validazione speditiva, il valore della validazione accurata e il tempo impiegato in entrambi i casi. Il risultato mostrò una sottostima di circa un punto percentuale del consumo di suolo derivato dalla carta nazionale rispetto a quello derivato dalle due tipologie di validazione.

2.7 2016: IL PRIMO RAPPORTO SNPA²⁵ SUL CONSUMO DI SUOLO

Il 2016 è l'anno di istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente, introdotto dalla legge 28 giugno 2016 n.132 e a cui è affidato, all'articolo 3, il monitoraggio del consumo di suolo. Nello stesso anno venne pubblicato il primo Rapporto SNPA sul consumo di suolo. Le analisi presentate nel rapporto facevano riferimento sia alla rete nazionale dei punti monitoraggio (descritta nei paragrafi precedenti), che alla versione aggiornata al 2015 della carta raster a 5 metri descritta nel paragrafo precedente, aggiornata in funzione dei nuovi dati *Copernicus*²⁶ Sentinel-2 a 10 metri.

L'aggiornamento della cartografia al 2015, richiese un ricampionamento a 10 metri del prodotto a 5 metri relativo al 2012, cui fece seguito un'intensa attività di correzione degli errori di classificazione presenti nel dato, svolta tramite fotointerpretazione.

Dal 2017²⁷ l'attività di monitoraggio del consumo di suolo è stata svolta mantenendo il solo approccio cartografico, il cui sviluppo è stato favorito dalla crescente disponibilità di immagini satellitari, mantenendo la rete di monitoraggio dei punti per la sola fase di validazione.

Sempre nel 2017 fu revisionato il sistema di classificazione, aumentando il dettaglio tematico e arrivando a distinguere cinque tipologie di suolo consumato reversibile e sette di permanente, mentre

²³ Il gruppo di lavoro è poi confluito nella Rete Tematica 19.

²⁴ Per errore di omissione del dato raster si intende un'area mappata come non consumato dal raster e come consumato dal dato inventariale. Per errore di commissione del dato raster si intende un'area mappata come consumato dal raster e come non consumato dal dato inventariale

²⁵ Tratto da: Munafò M. et al. "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici", Rapporto ISPRA/SNPA 248/2016 Ed.2016. ISBN 978-88-448-0776-4 e da: Munafò M., Luti T., Marinosci I., Raudner A., Congedo L., Riitano N. "Il consumo di suolo" in Qualità dell'ambiente urbano, XII Rapporto ISPRA Ed. 2016. ISBN 978-88-448-0793-1.

²⁶ Vedi nota 19.

²⁷ Tratto da: Munafò M. et al. "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici", Rapporto ISPRA/SNPA 266/2017 Ed.2017. ISBN 978-88-448-0831-0.

nel 2021 fu ampliata la serie storica, con la pubblicazione del dato relativo al 2006, fotointerpretato su ortofoto.

Il dato attualmente in uso mantiene la risoluzione spaziale di 10 metri ed è sottoposto ad aggiornamenti annuali, secondo la metodologia descritta nel capitolo seguente. Al 2024 la serie storica del dato copre gli anni 2006, 2012 e tutti gli anni dal 2015 al 2022, mentre la pubblicazione dell'aggiornamento al 2023 è prevista per la seconda parte del 2024.

3 ASPETTI METODOLOGICI

Il capitolo descrive i principali aspetti metodologici dell'attività di aggiornamento della carta nazionale del suolo consumato, ad opera del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente.

3.1 FASI OPERATIVE

Nell'ambito delle attività di monitoraggio annuale del consumo di suolo è possibile distinguere tre principali fasi operative:

- **Operazioni preliminari**, legate a reperimento, preprocessamento ed elaborazione dei dati di input di supporto alla fotointerpretazione;
- **Fotointerpretazione dei nuovi cambiamenti**, è la parte più onerosa dell'intera attività di monitoraggio e viene svolta in parallelo dagli operatori delle Agenzie delle Regioni e delle Province Autonome con la supervisione dell'ISPRA. Le presenti Linee Guida si concentrano sulla descrizione di questa fase del processo di aggiornamento della carta, illustrandone i principali aspetti tecnici e metodologici.
- **Validazione dei dati fotointerpretati dalle agenzie, condivisione dei dati preliminari con comuni e regioni e raccolta delle osservazioni, produzione del mosaico nazionale, elaborazione di statistiche, cartografie e indicatori pubblicati nel rapporto annuale "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici"**.

L'avvio delle attività ha luogo, in linea generale, nel mese di ottobre dell'anno cui è riferito il monitoraggio, concludendosi nell'autunno dell'anno successivo, con la pubblicazione del rapporto e dei relativi documenti connessi (Carta Nazionale del consumo di suolo e Banca dati indicatori consumo di suolo). In Tabella 5 è riportato a titolo esemplificativo il calendario delle attività di monitoraggio per il periodo 2023-2024, che porterà alla produzione dell'aggiornamento al 2023 della carta nazionale del consumo di suolo e alla pubblicazione dell'edizione 2024 del rapporto "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici".

Tabella 5. Calendario delle attività per il monitoraggio del consumo di suolo 2023-2024.

ATTIVITÀ	RESPONSABILE	SCADENZA
Produzione della carta di potenziali cambiamenti	ISPRA	NOVEMBRE 2023
Preparazione delle basemap (Sentinel-2 e immagini VHR per il 2022 e 2023)	ISPRA/ARPA	DICEMBRE 2023
Fotointerpretazione cambiamenti di consumo e di uso del suolo 2022-2023	ARPA/APPA	29 FEBBRAIO 2024
Controlli, validazione e revisione dei poligoni fotointerpretati	ARPA/APPA/ISPRA	MARZO - APRILE 2024
Mosaicatura nazionale e produzione della carta del suolo consumato aggiornata	ISPRA	MAGGIO 2024
Condivisione dei dati preliminari con Comuni/Regioni	ARPA/APPA/ISPRA	MAGGIO – GIUGNO 2024
Controllo delle eventuali osservazioni ricevute	ARPA/APPA/ISPRA	LUGLIO 2024
Elaborazione dati e produzione di cartografie e indicatori	ISPRA	SETTEMBRE 2024
Presentazione del Rapporto	-	OTTOBRE 2024

3.2 SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE

La carta nazionale del suolo consumato offre una mappatura dell'intero territorio nazionale secondo il sistema di classificazione a tre livelli mostrato in Tabella 6.

Tabella 6. Sistema di classificazione per il monitoraggio del consumo di suolo.

1	Suolo consumato
11	Suolo consumato permanente
111	Edifici e fabbricati
112	Strade pavimentate
113	Sede ferroviaria
114	Aeroporti (piste e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate)
115	Porti (banchine e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate)
116	Altre aree impermeabili/pavimentate non edificate (piazzi, parcheggi, cortili, campi sportivi, etc.)
117	Serre permanenti pavimentate
118	Discariche
12	Suolo consumato reversibile
121	Strade non pavimentate
122	Cantieri e altre aree in terra battuta (piazzi, parcheggi, cortili, campi sportivi, depositi permanenti di materiale, etc.)
123	Aree estrattive non rinaturalizzate
124	Cave in falda
125	Impianti fotovoltaici a terra
126	Altre coperture artificiali non connesse all'attività agricola la cui rimozione ripristini le condizioni iniziali del suolo
2	Altre forme di copertura non incluse nel consumo di suolo
201	Corpi idrici artificiali (escluse cave in falda)
202	Rotonde e svincoli (aree permeabili)
203	Serre non pavimentate
204	Ponti e viadotti su suolo non artificiale
205	Impianti fotovoltaici a bassa densità

Fonte: SNPA.

Il terzo livello di classificazione è stato introdotto nel 2017 e ha consentito di aumentare il dettaglio tematico della mappatura; in precedenza il monitoraggio del consumo di suolo era limitato alla distinzione tra suolo consumato e suolo non consumato. Nell'aggiornamento annuale della carta viene attribuito il codice al terzo livello di classificazione a tutti i nuovi cambiamenti, con l'ausilio di immagini ad altissima risoluzione che consentono di individuare chiaramente la tipologia di suolo consumato. Inoltre, è in corso un progressivo aggiornamento al terzo livello delle aree mappate prima dell'introduzione del nuovo sistema di classificazione (già effettuato dalle agenzie per le classi 117, 118, 123 e 203 e attualmente in carico a ISPRA), che è stato già portato a termine per diverse classi:

- Tutta la rete stradale nazionale, classificata in funzione della tipologia di copertura in strade pavimentate (codice 112) e strade non pavimentate (codice 121);
- Tutta la sede ferroviaria (codice 113);
- Tutte le serre pavimentate (codice 117);
- Tutte le discariche (codice 118);
- Tutte le aree estrattive non rinaturalizzate (codice 123).

È in fase di ultimazione l'aggiornamento al terzo livello di classificazione delle classi relative a edifici (codice 111) e aree coperte da impianti fotovoltaici a terra (codice 125) e a bassa densità (codice 205).

3.2.1 Il ruolo del Programma *Copernicus* e del Gruppo *EAGLE*

Le definizioni adottate per la descrizione delle classi di suolo consumato di Tabella 5 sono in linea con le indicazioni fornite in ambito europeo dall'EIONET *Action Group on Land monitoring in Europe (EAGLE)*. *EAGLE* è un approccio metodologico introdotto nell'ambito del Programma *Copernicus* per la definizione di una metodologia concettuale in grado di descrivere, classificare ed archiviare le informazioni su uso e copertura del suolo in un modello dati consistente e scalabile, mantenendo la compatibilità con i database già esistenti senza la perdita di contenuto informativo significativo. È esplicitamente menzionato nei *Copernicus Work Programmes* come pilastro essenziale per sostenere i nuovi casi d'uso della seconda generazione di CORINE Land Cover (CLC), nota anche come CLC+.

Il modello di dati proposto dal gruppo *EAGLE* si basa sulla definizione di tre blocchi:

1. componenti di copertura del suolo (*Land Cover Components - LCC*), con riferimento alla definizione fornita dalla direttiva INSPIRE 2007/2/CE, ovvero la “copertura biofisica della superficie terrestre”;
2. attributi di uso del suolo (*Land Use Attributes - LUA*), con riferimento alla definizione fornita dalla direttiva INSPIRE 2007/2/CE, ovvero la “classificazione del territorio in base alla dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presenti e programmate per il futuro”;
3. caratteristiche del paesaggio (*Landscape Characteristics - CH*), che forniscono informazioni di dettaglio su specifiche proprietà delle unità territoriali.

L'utilizzo di classi coerenti con il modello *EAGLE* consente la creazione di flussi di dati omogenei dal punto di vista tecnico e semantico, valorizzando l'integrazione tra le attività di land monitoring nazionali e le iniziative europee.

Le classi adottate dal SNPA per la descrizione del consumo di suolo afferiscono alla componente di copertura del suolo di “Superfici artificiali ed edifici” di *EAGLE*. In particolare:

- Il suolo consumato permanente include l'introduzione di strutture sia verticali (come edifici e fabbricati), che orizzontali (come infrastrutture stradali, piazzali e altre aree pavimentate), che comportano la compromissione irreversibile della risorsa suolo e delle relative funzioni ecosistemiche. Al terzo livello di classificazione, il suolo consumato permanente si articola in sottoclassi riconducibili alle “superfici artificiali impermeabili” di *EAGLE*, con l'eccezione delle sedi ferroviarie (considerate superfici artificiali permeabili da *EAGLE*) e delle serre non pavimentate (attribuite all'abiotico artificiale impermeabile da *EAGLE* e al suolo non consumato dal SNPA);
- Il suolo consumato reversibile si verifica in aree in cui le superfici e i materiali naturali sono rimossi o sostituiti a seguito del verificarsi di azioni antropiche che introducono superfici artificiali non impermeabili, come compattazione, escavazione, o lo stoccaggio temporaneo di materiali. Le classi del consumo di suolo reversibile sono caratterizzate da condizioni di reversibilità molto diverse tra loro, in primo luogo per il tempo di recupero complessivo dei

suoli (nella maggior parte dei casi molto lungo), ma anche per il diverso effetto transitorio e per la reale fattibilità del processo di rinaturalizzazione. Va sottolineato, infatti, che anche il consumo reversibile inibisce servizi ecosistemici cruciali e che, in questo senso, va sempre considerata la perdita di funzioni per tutto il periodo che precede l'effettivo e completo recupero (Munafò, M. 2022). Le sottoclassi al terzo livello in cui si articola il suolo consumato reversibile sono riconducibili per la gran parte alla sottoclasse EAGLE di “superfici artificiali permeabili”, con l'eccezione delle aree estrattive (considerate rocce nude naturali da EAGLE e assimilate a suolo consumato reversibile dal SNPA, per via della forte alterazione subita da tali aree a causa dell'azione antropica), dei pannelli fotovoltaici a terra (considerate superfici artificiali impermeabili da EAGLE).

3.3 PROCEDURA DI MONITORAGGIO CONSUMO DI SUOLO

L'aggiornamento della Carta Nazionale del suolo consumato è condotto con frequenza annuale dal SNPA per l'intero territorio nazionale a partire dalla serie storica del dato, disponibile in formato raster con risoluzione spaziale di 10 metri per gli anni 2006, 2012, e per tutti gli anni a partire dal 2015. Con riferimento alla fase di fotointerpretazione, è richiesta agli operatori la conduzione di due principali attività²⁸ da svolgere in parallelo durante l'ispezione del territorio di competenza:

- **aggiornamento della carta**, svolto a partire dall'ultimo anno disponibile²⁹ mappando le variazioni rispetto all'anno successivo;
- **controllo dell'eventuale verificarsi di cambiamenti di copertura del suolo** in aree classificate in precedenza come “suolo consumato reversibile”, allo scopo di monitorare l'eventuale evoluzione in termini di impermeabilizzazione o rinaturalizzazione.

3.3.1 Software e plugin

Le attività di aggiornamento della carta nazionale del suolo consumato vengono svolte in ambiente GIS, prediligendo l'uso del software open-source QGIS, coadiuvato dal software *Google Earth* e da una serie di plugin, descritti nel seguito.

²⁸ Stante la necessità di svolgere in via prioritaria le due attività di aggiornamento della carta e controllo dell'evoluzione delle aree mappate come consumato reversibile, ai fotointerpreti è data la possibilità di effettuare facoltativamente la revisione della serie storica, finalizzata a correggere eventuali errori di omissione e commissione presenti nel dato, consolidandone il contenuto informativo. Per errore di omissione si intende un'area di suolo consumato erroneamente non mappata (e quindi classificata come naturale dalla carta nazionale del suolo consumato), mentre per errore di commissione si intende un'area naturale erroneamente classificata come suolo consumato.

²⁹ Per “ultimo anno disponibile” si intende l'anno più recente per il quale è disponibile il raster del consumo di suolo al momento dell'avvio delle operazioni di aggiornamento. A titolo esemplificativo: nel 2023 è stato pubblicato l'aggiornamento della carta nazionale del consumo di suolo che rappresenta la situazione presente sul territorio italiano nel 2022; tale aggiornamento al 2022 è stato condotto individuando i cambiamenti avvenuti rispetto al raster 2021 che, nel caso in esame, è l'ultimo anno disponibile.

3.3.2 Dati di input

Al fine di rendere omogenea e standardizzata la procedura di monitoraggio per tutte le Agenzie del SNPA, ISPRA si occupa delle operazioni preliminari di preparazione dei dati, mettendo a disposizione degli operatori tutti i principali dati di input necessari per la fotointerpretazione, opportunamente pre-processati e accompagnati dai relativi stili da utilizzare nel sistema GIS:

- **Serie storica della Carta Nazionale del suolo consumato**

La carta nazionale del suolo consumato è un raster a copertura nazionale con risoluzione spaziale di 10 metri e sistema di classificazione a tre livelli, disponibile per il 2006, 2012 e a cadenza annuale dal 2015 (Strollo et al., 2020; Munafò, M. 2022).

- **Immagini Sentinel-2**

La missione Sentinel-2 afferisce alla componente spaziale del Programma Europeo di osservazione della terra Copernicus, ed ha portato all'introduzione di una costellazione di due satelliti gemelli a orbita polare, equipaggiati con sensori ottici multispettrali a 13 bande. Sentinel-2 mette gratuitamente a disposizione degli utenti dati con risoluzione spaziale di 10, 20 e 60 m (a seconda delle bande spettrali considerate), con frequenza di rivisitazione di 5 giorni (ESA, 2015).

I dati Sentinel-2 sono lo strumento di base utilizzato per la revisione e l'aggiornamento della Carta Nazionale del consumo di suolo, per questo ISPRA predispone annualmente un dataset di immagini Sentinel-2 per supportare i lavori dei fotointerpreti (per raggiungere il livello di dettaglio richiesto dai codici al terzo livello adottati a partire dal 2017, sono però necessarie immagini a maggior dettaglio, descritte nel seguito).

Le immagini sono relative a ciascuno dei due anni rispetto ai quali viene valutata la comparsa di cambiamenti, considerando come periodo di riferimento quello in cui la vegetazione risulta più rigogliosa, a ridosso del mese di marzo per il Sud Italia e a luglio per il Nord.

Le immagini vengono fornite considerando per ciascun granulo un *color composite* in colori reali e in falsi colori (che enfatizza il comportamento delle superfici nelle lunghezze d'onda del vicino infrarosso). Per migliorare il processo di fotointerpretazione o per verificare la permanenza del cambiamento in presenza di casi di consumo di suolo reversibile, la procedura prevede la consultazione di ulteriori coperture Sentinel-2 relative a periodi di acquisizione diversi da quelli delle immagini fornite. Questo accorgimento consente di tralasciare movimentazioni temporanee di terreno o attività di rimaneggiamento che sono interessate da rapido ripristino e conseguente rinaturalizzazione.

- **Altre immagini aeree e satellitari**

Oltre alle immagini Sentinel-1 e Sentinel-2 per l'elaborazione dei dati, vengono utilizzate anche altre immagini aeree e satellitari provenienti dall'archivio di ISPRA e delle Agenzie del SNPA che vengono acquisite attraverso diverse fonti: ESA (Agenzia Spaziale Europea), Geoportale Nazionale (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 2006-2012), Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura (Agea), Agenzia per l'Ambiente Europea, © Google Earth (2006-2023), © Airbus DS (2019-2023).

Per il periodo di monitoraggio 2022-2024 ISPRA mette a disposizione del SNPA un servizio di visualizzazione di immagini satellitari ad altissima risoluzione (1,5 m) per tutto il territorio nazionale.

Si sottolinea che la tipologia di tali immagini può essere soggetta a variabilità a seconda della disponibilità o convenienza riscontrata ogni anno.

- **Maschere dei possibili cambiamenti**

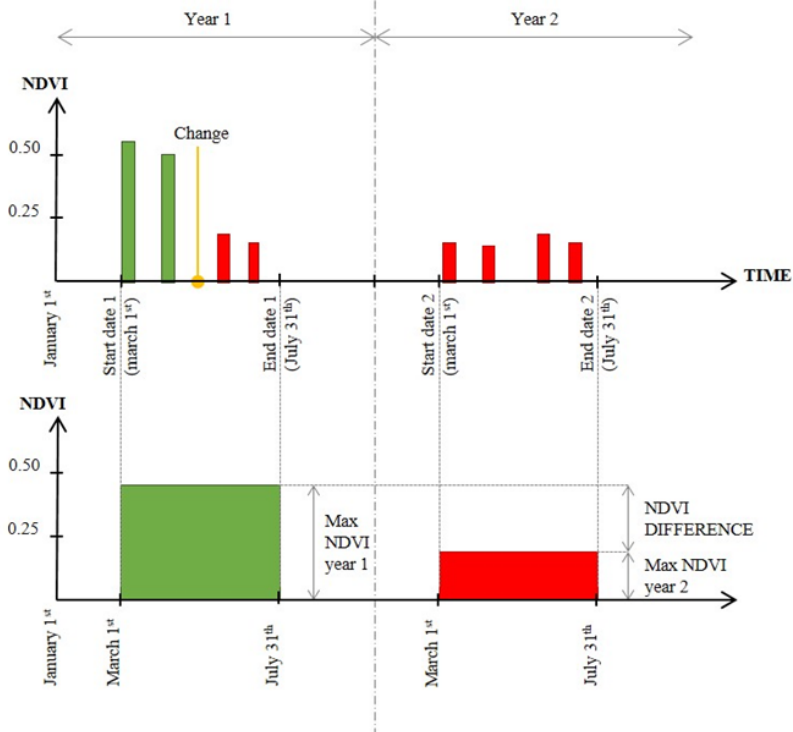
Per agevolare l'individuazione dei cambiamenti, ogni anno sono elaborati alcuni strati informativi (denominati "maschere dei possibili cambiamenti") realizzati tramite il processamento automatico di immagini Copernicus Sentinel-1 e Sentinel-2, attraverso i quali è possibile individuare le aree in cui si sono verificati cambiamenti di copertura del suolo potenzialmente riconducibili a consumo di suolo avvenuto nel periodo di riferimento. Nello specifico, la metodologia di rilievo dei potenziali cambiamenti parte da due assunti (Luti et al., 2021):

- il consumo di suolo produce la rimozione della vegetazione (ove presente) causando una diminuzione dell'indice vegetazionale (in questo caso il *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) rilevabile dall'analisi di immagini multispettrali Sentinel-2;
- il consumo di suolo dovuto alla costruzione di edifici e infrastrutture può aumentare i valori di retrodiffusione ("backscatter") rilevabile da immagini SAR come Sentinel-1.

La metodologia utilizzata per la realizzazione delle maschere considera dati Sentinel relativi a due anni: l'anno di riferimento (anno 1) e il successivo (anno 2); nel caso di cambiamento in una data compresa tra l'inizio del primo anno (marzo dell'anno 1) e l'inizio del secondo anno (marzo dell'anno 2), la rimozione della vegetazione determina una diminuzione dell'indice vegetazionale massimo rilevabile nell'anno 2³⁰ (Figura 4).

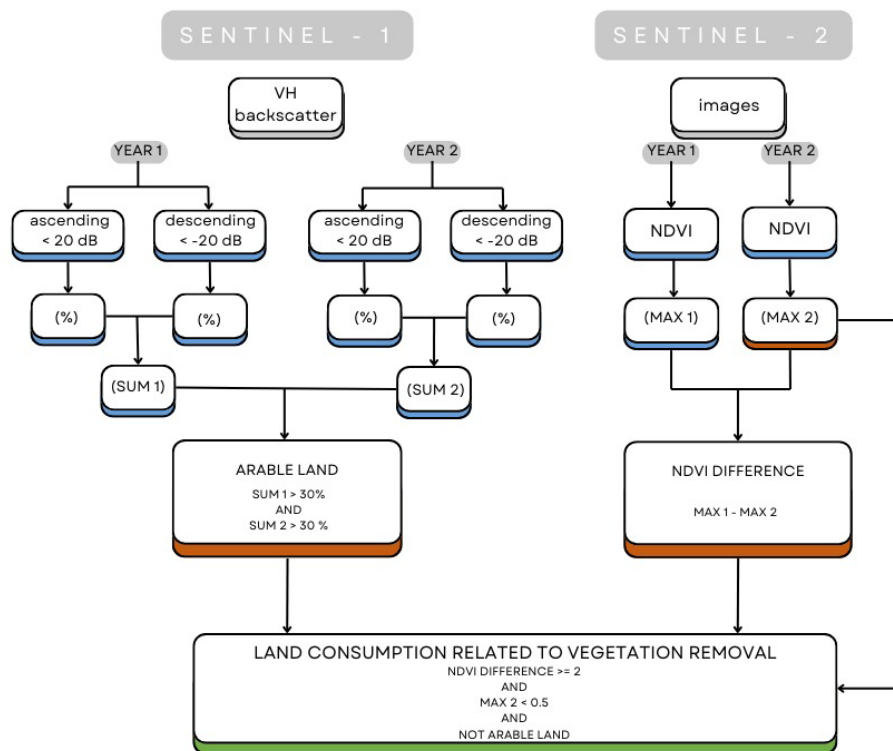
³⁰ Nello schema esemplificativo della figura 4 i valori di NDVI nell'anno 1 sono più elevati per la presenza di vegetazione rispetto ai valori rilevati nell'anno 2 in cui il consumo di suolo ha causato la rimozione della vegetazione.

Figura 4. Schema esemplificativo della variazione di valori dell'indice vegetazionale NDVI causato dal consumo di suolo, che viene sfruttato dalla metodologia automatica per rilevare i possibili cambiamenti. Fonte: ISPRA.



Un processo automatico basato su soglie (Figura 5) permette di produrre uno strato raster che individua le aree nelle quali è stata rilevata una variazione di NDVI potenzialmente riconducibile a consumo di suolo.

Figura 5. Schema del flusso di elaborazione dei dati Sentinel-2 per il calcolo dei raster del possibile consumo di suolo.
Fonte: ISPRA.



Le variazioni di backscatter valutate a partire dal confronto tra i dati Sentinel-1 (relativi allo stesso periodo di riferimento) consentono invece di valutare i potenziali cambiamenti riconducibili all'introduzione di nuovi edifici, o altri manufatti a sviluppo verticale.

Si può assumere che l'area sia potenzialmente interessata da nuovo consumo di suolo se si verifica una o entrambe le condizioni; al fotointerprete è demandata la verifica dell'effettiva presenza del cambiamento, la delimitazione del suo esatto perimetro e l'attribuzione della classe di suolo consumato al terzo livello di classificazione.

Le maschere dei possibili cambiamenti vengono fornite ai fotointerpreti in formato raster, con risoluzione spaziale di 10 metri e presentano estensione, allineamento della griglia e nomenclatura coerente con i granuli Sentinel-2 da cui derivano.

- **Altri dati di supporto alla fotointerpretazione**

Per il corretto svolgimento delle attività di fotointerpretazione, oltre alle immagini satellitari e alla serie storica della carta nazionale del suolo consumato, vengono messi a disposizione dei fotointerpreti

anche una serie di dati di supporto utili a delimitare l'area di interesse e a guidare l'attività di ispezione del territorio:

1. Shapefile vuoto da utilizzare per l'archiviazione dei poligoni tracciati in corrispondenza dei cambiamenti secondo la metodologia descritta nel seguito. La tabella attributi dello shapefile presenta un campo numerico per ciascun anno di monitoraggio e dei campi testuali per eventuali annotazioni da parte di fotointerpreti. Il dato è fornito unitamente allo stile per QGIS, che consente di inserire i codici di consumo di suolo e di uso del suolo con l'ausilio un menù a tendina.
2. Shapefile per l'identificazione dei codici dei granuli Sentinel-2. Il dato mostra l'estensione e il codice di ciascuno dei granuli Sentinel-2 presenti sul territorio nazionale, consentendo di effettuare in modo mirato il download delle immagini e delle maschere di supporto alla fotointerpretazione per la sola area di interesse.
3. Grigliato vettoriale di supporto alla fotointerpretazione. Il dato è costituito da una griglia regolare con maglia quadrata di lato 2 km ed ha lo scopo di guidare l'ispezione del territorio, in modo che venga svolta in modo sistematico per tutta l'area di interesse e mantenendo una scala di visualizzazione appropriata. Il dato è fornito unitamente allo stile per QGIS, che attribuisce la trasparenza alle aree non ancora ispezionate e una campitura coprente a quelli già controllati.
4. Limiti amministrativi ISTAT, riferiti alla versione più recente, utili per la delimitazione dell'area di interesse.

3.3.3. Configurazione dello spazio di lavoro

ISPRA offre agli operatori due diversi approcci per la configurazione dello spazio di lavoro:

- **Utilizzo del progetto preimpostato**

Agli operatori viene fornito un progetto preimpostato per il software open source QGIS, nel quale sono caricati i principali dati di input. Scegliendo questo approccio, le uniche operazioni da compiere prima di avviare la fotointerpretazione riguardano l'attivazione dei plugin e il caricamento nel progetto delle maschere dei potenziali cambiamenti e delle immagini satellitari.

- **Configurazione del progetto GIS e caricamento dei dati di input**

Qualora si preferisse operare autonomamente per configurare lo spazio di lavoro e caricare i dati di input, viene fornita agli operatori una descrizione puntuale di ciascuna delle operazioni da eseguire.

Indipendentemente dall'approccio scelto, la corretta configurazione dello spazio di lavoro richiede lo svolgimento delle operazioni elencate di seguito.

1. Attivazione dei plugin

ISPRA suggerisce l'uso di alcuni plugin per agevolare le operazioni di fotointerpretazione:

- **Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)** consente di ricollegare la vista del progetto al software *Google Earth*. *Google Earth* permette di accedere alla serie storica di immagini ad altissima risoluzione disponibili per l'area, spesso anche aggiornate all'ultimo anno, consentendo di comprendere l'evoluzione nel tempo dell'area e fornendo quindi

un'indicazione in merito ai codici da attribuire per i diversi anni della serie storica. Una volta inquadrata a schermo in QGIS l'area di interesse e resi visibili i layer che si desidera osservare, è possibile avviare la visualizzazione su *Google Earth* tramite il tasto "KML" presente nella barra dei comandi del Plugin SCP. A questo punto si avvierà in automatico il software *Google Earth*, che andrà a posizionare la vista sull'area desiderata. Attivando o disattivando la voce "QGisView" nella sezione "Luoghi" di *Google Earth* sarà possibile accendere o spegnere i layer importati dal GIS.

- Il plugin *QuickMapServices* permette di visualizzare in QGIS le immagini di *Google*, *Bing*, e altre fonti, utilizzabili come mappa di base. Questi dati sono spesso costituiti da mosaici di immagini con data di acquisizione non nota e/o diversa da quella di interesse per il monitoraggio, di conseguenza costituiscono un utile strumento per orientarsi sul territorio ma non devono essere utilizzati come mappa di riferimento per la ricerca di cambiamenti o errori.

2. Caricamento dei dati di supporto alla fotointerpretazione

Tali dati di supporto consistono in uno shapefile vuoto per l'archiviazione dei poligoni di fotointerpretazione, shapefile per l'identificazione dei codici dei granuli Sentinel-2, grigliato vettoriale di supporto alla fotointerpretazione e limiti amministrativi ISTAT.

Questi dati sono già presenti nel progetto preimpostato, mentre è necessario caricarli e tematizzarli se si sceglie di configurare da zero l'ambiente di lavoro. Tutti i dati sono forniti nel sistema di riferimento WGS84 UTM (con riferimento ai fusi 32 e 33, a seconda della regione), in abbinamento al rispettivo file di stile di QGIS.

3. Download e caricamento nel progetto delle immagini Sentinel-2 e delle maschere dei potenziali cambiamenti.

Per le maschere dei potenziali cambiamenti viene fornito il file di stile di QGIS.

4. Caricamento e attribuzione dello stile alla carta del suolo consumato.

La serie storica dei raster della carta del suolo consumato, ritagliati sulla regione di interesse, è già presente e tematizzata nel progetto preimpostato; se si sceglie di configurare da zero l'ambiente di lavoro è necessario caricare i raster e attribuirvi lo stile. ISPRA fornisce lo stile per QGIS unitamente alle indicazioni per modificarlo o ricrearlo; in quest'ultimo caso è importante impostare la trasparenza per la stilizzazione del suolo non consumato e utilizzare un colore specifico per le classi di suolo consumato reversibile.

5. Attivazione delle opzioni di aggancio.

Per la corretta conduzione della fase di editing è fondamentale attivare le opzioni di aggancio (*'snapping'*) per evitare sovrapposizioni ed errori topologici oltre che per velocizzare la fase di tracciamento in presenza di poligoni adiacenti.

3.3.4 Fotointerpretazione

L'aggiornamento della carta nazionale del suolo consumato viene svolto dagli operatori delle Agenzie Regionali e delle Province Autonome tramite fotointerpretazione. Il fotointerprete ispeziona l'intero territorio di competenza con il supporto delle maschere dei possibili cambiamenti, allo scopo di individuare le aree di cambiamento, che vengono quindi delimitate, previo avvio dell'editing e attivazione delle opzioni di aggancio, tramite il tracciamento di un poligono e l'attribuzione in tabella attributi del codice terzo livello di classificazione.

Per la corretta mappatura è fondamentale fare riferimento ad opportuni accorgimenti sia nel tracciamento della geometria che nell'attribuzione dei codici in tabella attributi. In questo senso, se da un lato l'immagine Sentinel-2 e le maschere dei possibili cambiamenti sono di grande utilità per individuare i cambiamenti, è essenziale disporre di immagini ad altissima risoluzione per confermare la sussistenza stessa del reale consumo e quindi per poi raffinare la perimetrazione e la descrizione tematica del cambiamento.

In particolare:

- È essenziale distinguere tutte le entità riconducibili ad una diversa classe della legenda, ciascuna delle quali deve essere mappata con un poligono dedicato.
A titolo di esempio, si consideri un'area interessata dalla comparsa di un nuovo edificio circondato da un piazzale, occorrerà tracciare un poligono in corrispondenza della struttura e uno per l'area circostante, contrassegnati, rispettivamente, con codice 111 e 116 nell'ultimo anno.
- La compilazione dei campi relativi agli ultimi due anni di monitoraggio (ossia i due anni a cavallo della comparsa del nuovo cambiamento) è sempre obbligatoria, mentre la compilazione dei restanti campi della tabella attributi è necessaria laddove l'area interessata dal cambiamento risulti classificata in modo errato dal raster del consumo di suolo dell'ultimo anno; in questi casi è richiesta la verifica dei codici relativi anche agli altri anni, assegnando all'area un codice per ciascun anno della serie storica oppure utilizzando i codici "8" e "9". Attribuendo il codice "9" ad un determinato anno, si confermano i valori assunti dai raster della serie storica (a partire da quell'anno e a ritroso fino al 2006); il codice 8, invece, estende a tutti gli anni (da quello in cui viene inserito, a ritroso fino al 2006) l'ultimo codice digitato³¹. Le modalità di compilazione della tabella attributi e l'utilizzo dei codici "8" e "9" sono affrontati negli esempi riportati nei paragrafi seguenti.
- Nel tracciamento del poligono è bene prestare attenzione a possibili scostamenti tra immagine e carta del consumo di suolo.
- La carta del consumo di suolo si basa su un grigliato raster di lato 10 metri allineato con quello Sentinel-2. In presenza di nuovi poligoni di consumo di suolo, i pixel che li sottendono vengono classificati come "suolo consumato" se il nuovo poligono copre più della metà della loro superficie.

³¹ L'inserimento del codice "8" in un determinato anno comporta una modifica della serie storica, in quanto il codice presente in tabella alla destra dell'8 (ossia in codice inserito nell'anno più recente di quello in cui è inserito l'8) verrà attribuito all'anno in cui si è inserito l'8 e a tutti gli anni a sinistra dell'8 (ossia agli anni meno recenti di quello a cui è stato associato l'8), di conseguenza il suo utilizzo richiede che il fotointerprete abbia prima verificato l'effettivo permanere di quella classe di copertura. Il codice 9, al contrario, riconferma i valori assunti dai raster della serie storica dall'anno in cui è inserito in poi (all'indietro, fino al 2006).

In presenza di più poligoni sottesi dallo stesso pixel, a quest'ultimo verrà attribuita la classe del poligono che ne occupa la porzione più grande.

Questa considerazione è di interesse sia in fase di digitalizzazione dei poligoni che di eventuale correzione degli errori di omissione e commissione (quest'ultima attività è facoltativa); in fase di editing è sconsigliabile digitalizzare poligoni di dimensione inferiore a 50 m² (metà della superficie del pixel) o eccessivamente sottili (di larghezza inferiore a 5 metri, ossia metà della larghezza di un pixel), poiché risulterebbero troppo piccoli per generare un nuovo pixel di suolo consumato, e verrebbero quindi esclusi dal prodotto raster finale. D'altro canto, è importante tenere a mente che nell'individuazione di errori di omissione e commissione non vanno considerate casistiche in cui la non perfetta corrispondenza tra la sagoma dell'area artificiale e la patch di suolo consumato dipende dalla risoluzione del raster e dal processo di rasterizzazione, e non da errori di mappatura. Un errore di omissione (o di commissione) va inteso come tale nel momento in cui interessa una superficie maggiore o uguale a quella di un pixel della carta del suolo consumato.

- L'attività di revisione della serie storica è da considerarsi facoltativa ma è opportuna in presenza di errori di estensione significativa³².

Per la compilazione della tabella attributi, se si fa riferimento allo stile fornito da ISPRA per la tematizzazione dello shapefile della fotointerpretazione, l'inserimento dei codici può avvenire attraverso l'uso di menù a tendina. Utilizzando uno stile diverso, questa opzione non è presente e occorre digitare i codici manualmente.

Nella compilazione della tabella attributi (Figura 6) è possibile far riferimento ai due approcci descritti poc'anzi, ossia la compilazione integrale della riga o l'utilizzo dei codici "8" e "9". In assenza di cambiamento tra due anni successivi, le caselle corrispondenti presenteranno il medesimo codice, mentre, in presenza di cambiamento, al primo anno verrà associato il codice relativo alla copertura del suolo preesistente al cambiamento e nel campo relativo al secondo anno verrà inserito il codice assunto dall'area dopo il cambiamento.

³² Nell'ordine dei 500 m² per gli errori di omissione e dei 1000 m² per gli errori di commissione

Figura 6. Esempio della compilazione della tabella attributi tramite menù a tendina. Fonte: SNPA.

The screenshot shows a dropdown menu with the following items:

- 1-Suolo consumato
- 11-Consumo di suolo permanente
- 111-Edifici
- 112-Strade pavimentate
- 113-Sede ferroviaria
- 114-Aeroporti (piste e aree di movimentazione impervieabili/pavimentate)
- 115-Porti (banchine e aree di movimentazione impervieabili/pavimentate)
- 116-Aree aree impervieabili/pavimentate non edificate
- 117-Serre permanenti pavimentate
- 118-Discariche
- 12-Consumo di suolo reversibile
- 121-Strade non pavimentate
- 122-Cantieri e altre aree in terra battuta
- 123-Aree estensive non rinaturalizzate
- 124-Cave in fida
- 125-Impianti fotovoltaici a terra
- 126-Altre coperture artificiali non connesse alle attività agricole la cui rimozione ripristini le condizioni iniziali del suolo
- 2-Suolo non consumato
- 201-Corpi idrici artificiali (escluse cave in fida)
- 202-Rotonde e svincoli (aree permeabili)
- 203-Serre non pavimentate
- 204-Ponti e viadotti su suolo non artificiale
- 205-Impianti fotovoltaici a bassa densità
- 8-Tascina codice fino al 2006
- 9-Conferma serie storica

Below the menu, the form fields are as follows:

- id: a_2006 (selected), a_2012, a_2015, a_2016, a_2017, a_2018, a_2019, a_2020, a_2021, a_2022, a_2023
- note_ARPA: NULL
- AREA: NULL
- ISPRM_note: NULL





3.4 ESEMPI

Il paragrafo mostra, attraverso l'uso di immagini ad altissima risoluzione e dati Sentinel-2, alcuni esempi di come appare un'area interessata da cambiamenti di copertura del suolo ascrivibili a consumo di suolo; vengono inoltre presentati dei casi esemplificativi di rinaturalizzazione, errore di commissione e errore di omissione.

3.4.1 Esempio 1 – Consumo di suolo dell'ultimo anno

Nell'esempio 1 (Tabella 7) è mostrato un cambiamento avvenuto nell'ultimo anno, relativo alla comparsa di un edificio circondato da un cantiere in un'area inizialmente naturale.

Tabella 7. Esempio 1.


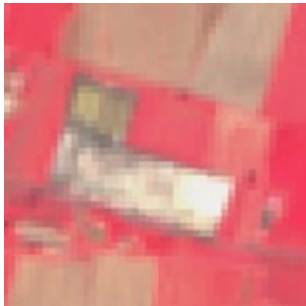




Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione																		
		<p>Anno 4</p> <p>L'immagine dell'area mostra la presenza di vegetazione (associata alle tonalità del rosso nell'immagine Sentinel-2) per il quarto anno (la situazione è la medesima nei tre anni precedenti).</p>																		
		<p>Anno 5</p> <p>L'immagine Sentinel-2 dell'area relativa all'ultimo anno (anno 5) mostra un cambiamento di tonalità dal rosso al bianco, riconducibile alla rimozione di vegetazione e alla comparsa di superfici abiotiche. Osservando l'immagine ad altissima risoluzione, compare un edificio (poligono A) circondato da un piazzale ancora interessato da attività di cantiere (poligono B).</p>																		
Mappatura																				
<p>Nell'area vengono tracciati due poligoni, in corrispondenza dell'edificio (A) e dell'area di cantiere circostante (B). Entrambi i poligoni hanno codice 2 (suolo non consumato) per i primi 4 anni. Nell'ultimo anno, al poligono associato all'edificio (A) è attribuito il codice 111 (edifici e fabbricati), mentre l'area circostante (B) è mappata come 122 (cantieri e altre aree in terra battuta). La tabella attributi relativa all'esempio avrà la seguente forma:</p>																				
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Anno 1</th> <th>Anno 2</th> <th>Anno 3</th> <th>Anno 4</th> <th>Anno 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poligono A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>Poligono B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>122</td> </tr> </tbody> </table>				Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Poligono A				2	111	Poligono B				2	122
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5															
Poligono A				2	111															
Poligono B				2	122															
<p>Compilazione della tabella attributi nell'ambito dell'attività di monitoraggio per l'aggiornamento della mappatura all'anno 5: Se, osservando l'ortofoto, la copertura del suolo per l'anno 4 è coerente con il codice della carta del consumo di suolo sarà sufficiente compilare i campi relativi agli ultimi due anni; in caso contrario, la tabella dovrà essere compilata per intero o, in alternativa, attribuendo l'opportuno codice di consumo di suolo agli anni 4 e 5 e utilizzando il codice "8" o "9" a partire dall'anno 3. Con il codice "9" verranno confermati i codici del raster di consumo di suolo per gli anni 1, 2 e 3, mentre il codice 8 estenderà il codice presente alla sua destra (ossia il 2) ai raster di consumo di suolo relativi agli anni 1 e 2 e all'anno in cui è inserito l'8 stesso (l'anno 3).</p>																				

Fonte: SNPA.

3.4.2 Esempio 2 - Cambiamenti multipli

Nell'esempio 2 (Tabella 8) è mostrata l'evoluzione di un'area inizialmente naturale che è stata interessata dalla costruzione di un edificio circondato da un piazzale pavimentato.

Tabella 8. Esempio 2.

Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione
		<p>Anno 2</p> <p>Le immagini dell'area relative all'anno 2 mostrano la presenza di un'area naturale, a probabile destinazione agricola (la situazione è la medesima nell'anno precedente).</p>
		<p>Anno 4</p> <p>In quarto anno l'area è interessata da una trasformazione da superficie naturale a suolo consumato reversibile, nella parte centrale dell'immagine è infatti visibile la rimozione della vegetazione e la comparsa di un piazzale non pavimentato. L'area a destra è ancora naturale.</p>
		<p>Anno 5</p> <p>Nell'area mappata l'anno precedente come piazzale si verifica un processo di impermeabilizzazione associato dalla comparsa di un nuovo edificio (poligono A) e di un piazzale pavimentato (poligono B). Quest'ultimo si estende anche su una porzione di territorio (sulla destra) che negli anni precedenti risultava ancora naturale (poligono C).</p>

Mappatura

Nell'area vengono tracciati tre poligoni, uno in corrispondenza dell'edificio (poligono A) e due sul piazzale pavimentato (poligoni B e C). La porzione a destra del piazzale (C) verrà mappata con codice 2 (suolo non consumato), nei primi quattro anni, per poi passare a "116" (altre aree impermeabili non edificate) nell'ultimo anno; i rimanenti due poligoni presenteranno entrambi codice 2 ai primi tre anni e codice 122 (cantieri e altre aree in terra battuta) al quarto anno, per poi passare nell'ultimo anno rispettivamente a 111 (edifici e fabbricati, per il poligono A) e 116 (altre aree impermeabili non edificate, per il poligono B). L'evoluzione dell'area è sintetizzata nella tabella seguente:

	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Poligono A	2	2	2	122	111
Poligono B	2	2	2	122	116
Poligono C	2	2	2	2	116



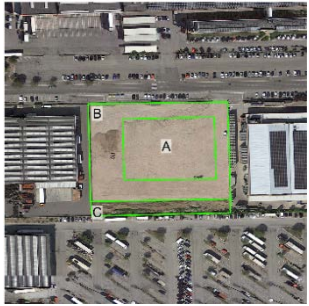


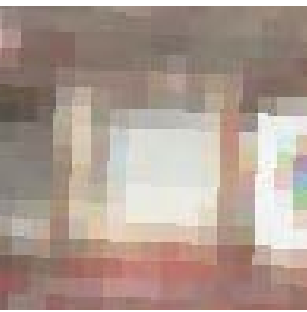
Esempio di compilazione della tabella attributi nel caso di attività di monitoraggio orientata all'aggiornamento all'anno 5. Se, osservando l'ortofoto, la copertura del suolo per l'anno 4 è coerente con il codice della carta del consumo di suolo sarà sufficiente compilare i campi relativi agli ultimi due anni; in caso contrario la tabella dovrà essere compilata per intero o, in alternativa, attribuendo l'opportuno codice di consumo di suolo agli anni 4 e 5 e utilizzando il codice "8" o "9". Attribuendo il codice "9" all'anno 3 verranno confermati per tutti i poligoni i codici del raster di consumo di suolo per gli anni 1, 2 e 3; il codice 8 potrà essere utilizzato a partire dall'anno 2 per il poligono A e B (inserendo il codice 2 all'anno 3) e a partire dall'anno 3 per il poligono C (inserendo il codice 2 all'anno 4).

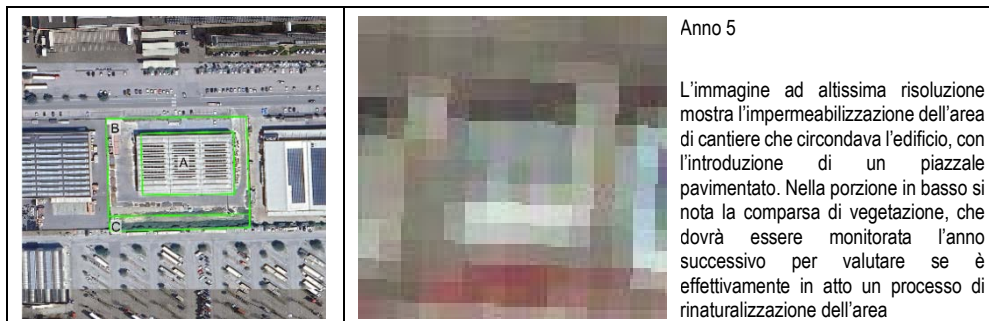
Fonte: SNPA.

3.4.1 Esempio 3 – Cambiamenti multipli

Nell'esempio 3 (Tabella 9) è mostrata l'evoluzione di un'area inizialmente naturale che è stata interessata dalla comparsa di un'area di cantiere, dal quale ha avuto origine un edificio circondato da un piazzale pavimentato.

Tabella 9. Esempio 3.

Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione
		<p>Anno 1</p> <p>Il primo anno l'area presenta una copertura naturale del suolo, cui è associato il codice 2 (suolo non consumato) nella carta del suolo consumato. La presenza di vegetazione nell'area di interesse è desumibile anche dal colore rosso assunto dai pixel dell'immagine Sentinel-2 in falsi colori.</p>
		<p>Anno 3</p> <p>Confrontando le immagini Sentinel-2 relative al primo anno e quelle relative a secondo e terzo anno si nota una variazione dal rosso al bianco, coerente con un cambiamento da area vegetata a superficie abiotica naturale o artificiale. L'immagine ad altissima risoluzione mostra la comparsa di un cantiere su tutta l'area di interesse (classe 122). La situazione è la medesima nell'anno precedente.</p>
		<p>Anno 4</p> <p>Nell'immagine relativa al quarto anno è visibile un nuovo edificio (poligono A, classe 111), nel cui intorno è ancora presente l'area di cantiere (poligoni B e C, classe 122).</p>



Anno 5

L'immagine ad altissima risoluzione mostra l'impermeabilizzazione dell'area di cantiere che circondava l'edificio, con l'introduzione di un piazzale pavimentato. Nella porzione in basso si nota la comparsa di vegetazione, che dovrà essere monitorata l'anno successivo per valutare se è effettivamente in atto un processo di rinaturalizzazione dell'area

Mappatura

Nell'area vengono tracciati tre poligoni, in corrispondenza dell'edificio (poligono A), del piazzale pavimentato (poligono B) e dell'area in corso di rinaturalizzazione (poligono C). Tutti e tre i poligoni avranno codice 2 ("suolo non consumato") il primo anno e codice 122 ("cantieri e altre aree in terra battuta") il secondo e terzo anno. Dal quarto anno il codice 122 permane nel poligono di piazzale (B) e nel poligono in basso (C), mentre l'edificio (A) verrà codificato nel quarto e quinto anno con la classe 111 ("edifici e fabbricati"). Nell'ultimo anno l'area di piazzale che circonda l'edificio (B) passa da 122 a 116 ("altre aree impermeabili non edificate"). L'evoluzione dell'area è sintetizzata nella tabella seguente:

	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Poligono A	2	122	122	111	111
Poligono B	2	122	122	122	116
Poligono C	2	122	122	122	122

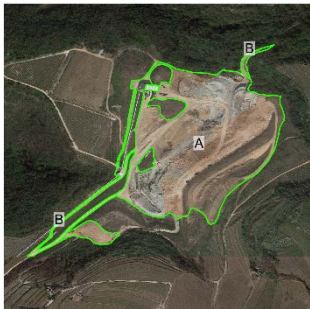

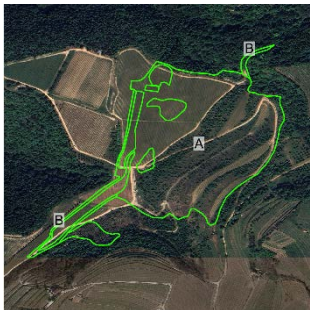

Esempio di compilazione della tabella attributi nel caso di attività di monitoraggio orientata all'aggiornamento all'anno 5: se, osservando l'ortofoto, la copertura del suolo per l'anno 4 è coerente con il codice della carta del consumo di suolo sarà sufficiente compilare i campi relativi agli ultimi due anni; in caso contrario la tabella dovrà essere compilata per intero o, in alternativa, attribuendo l'opportuno codice di consumo di suolo agli anni 4 e 5 e utilizzando il codice "8" o "9". Attribuendo il codice "9" all'anno 3 verranno confermati i codici del raster di consumo di suolo per gli anni 1, 2 e 3 per tutti i poligono A,B e C.

Fonte: SNPA.

3.4.4 Esempio 4 – Rinaturalizzazione

Nell'esempio 4 (Tabella 10) è mostrata la rinaturalizzazione di una ex area estrattiva.

Tabella 10. . Esempio 4.

Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione																		
		<p>Anno 1, 2 e 3</p> <p>Nei primi tre anni nell'area è presente un'attività estrattiva, un edificio nella zona nord (poligono A) e alcuni tratti di strade sterrate pertinentziali (poligoni B).</p>																		
		<p>Anno 4</p> <p>Tra quarto e quinto anno l'area è stata interessata da rinaturalizzazione; permangono dei tratti stradali sterrati di larghezza inferiore alla minima unità mappabile considerata nel monitoraggio.</p>																		
Mappatura																				
<p>Per monitorare la rinaturalizzazione viene tracciato un poligono su tutta l'area inizialmente mappata come cava e strada sterrata, che verranno classificati rispettivamente come 123 (aree estrattive non rinaturalizzate, poligono A) e 121 (Strade non pavimentate, poligoni B) fino all'anno di rinaturalizzazione (ad esempio tra l'anno 3 e 4), per poi passare a 2 (non consumato). L'evoluzione dell'area è sintetizzata nella tabella seguente:</p>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Anno 1</th> <th>Anno 2</th> <th>Anno 3</th> <th>Anno 4</th> <th>Anno 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poligono A</td> <td>123</td> <td>123</td> <td>123</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Poligono B</td> <td>111</td> <td>111</td> <td>111</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Poligono A	123	123	123	2	2	Poligono B	111	111	111	2	2
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5															
Poligono A	123	123	123	2	2															
Poligono B	111	111	111	2	2															
<p>Esempio di compilazione della tabella attributi nel caso di attività di monitoraggio orientata all'aggiornamento all'anno 5. Se, osservando l'ortofoto, la copertura del suolo per l'anno 4 è coerente con il codice della carta del consumo di suolo sarà sufficiente compilare i campi relativi agli ultimi due anni; in caso contrario la tabella dovrà essere compilata per intero o, in alternativa, attribuendo l'opportuno codice di consumo di suolo agli anni 4 e 5 e utilizzando il codice "9". Attribuendo il codice "9" all'anno 3 verranno confermati i codici del raster di consumo di suolo per gli anni 1, 2 e 3.</p>																				

Fonte: SNPA.

3.4.5 Esempio 5 – Errore di omissione

Nell'esempio 5 (Tabella 11) è mostrato un caso di errore di omissione che ha interessato un edificio circondato da un'area pavimentata. L'attività di correzione degli errori è facoltativa.

Tabella 11. Esempio 5.

Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione																		
		<p>L'immagine mostra un edificio circondato da un piazzale pavimentato, erroneamente omessi dalla mappatura (in rosso è visibile l'area classificata dalla carta nazionale del suolo consumato come "suolo consumato"). È importante notare che l'area dell'omissione è considerevole, da non confondere quindi con una conseguenza del processo di rasterizzazione, che interessano superfici inferiori a mezzo pixel³³.</p>																		
Mappatura																				
<p>L'area è erroneamente classificata come 2 (suolo non consumato); per correggere l'errore di omissione occorre tracciare due poligoni, che andranno a mappare l'edificio (poligono A) e il piazzale pavimentato circostante (poligono B). Per l'attribuzione dei codici in tabella attribuiti è fondamentale ripercorrere l'evoluzione storica dell'area per verificare la data di comparsa del cambiamento. Supponendo che nell'anno 1 l'area fosse interamente naturale, per poi vedere comparire un cantiere (classe 122) nel secondo anno e l'edificio (A) e il piazzale (B) nell'anno 3. L'evoluzione dell'area è sintetizzata nella tabella seguente:</p>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Anno 1</th> <th>Anno 2</th> <th>Anno 3</th> <th>Anno 4</th> <th>Anno 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poligono A</td> <td>2</td> <td>122</td> <td>111</td> <td>111</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>Poligono B</td> <td>2</td> <td>122</td> <td>116</td> <td>116</td> <td>116</td> </tr> </tbody> </table>				Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Poligono A	2	122	111	111	111	Poligono B	2	122	116	116	116
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5															
Poligono A	2	122	111	111	111															
Poligono B	2	122	116	116	116															
<p>Esempio di compilazione della tabella attribuiti nel caso di correzione di un errore di omissione (attività è facoltativa): osservando le immagini relative ai diversi anni della serie storica, sebbene il raster mostri un'area classificata come "suolo non consumato", è ravvisabile la comparsa nell'anno 3 di un edificio circondato da un piazzale pavimentato. Per la correzione dell'errore sarà necessario osservare l'evoluzione dell'area tra l'anno 1 e l'anno 5. La compilazione dei campi può essere fatta per intero oppure compilando la tabella a ritroso fino alla comparsa di un codice stabile e utilizzando da quel punto in poi il codice "8"³⁴.</p>																				

Fonte: SNPA.



³³ Dalla conversione in raster può derivare una non perfetta corrispondenza tra la sagoma della patch di consumato e l'effettiva area consumata visibile su immagini ad altissima risoluzione, che però interessa una superficie mai superiore a mezzo pixel.

³⁴ Gli esempi mostrano una serie storica di soli 5 anni, allo scopo di esemplificare il meccanismo di classificazione del suolo consumato e delle sue variazioni. Sebbene nell'esempio non sia immediatamente chiara l'utilità del codice "8", occorre evidenziare che il monitoraggio interessa un intervallo temporale più lungo (nel monitoraggio 2023 la tabella attribuiti contiene 10 campi, uno per ogni anno). In questo senso, l'utilizzo del codice 8 velocizza la codifica per gli anni meno recenti. Se, ad esempio, la correzione dell'errore avvenisse nell'ambito del monitoraggio 2023, il campo "anno 5" corrisponderebbe al 2022, il campo "anno 1" al 2018 e il cambiamento da naturale a consumato sarebbe riferito al periodo 2018-2019; l'inserimento del codice 8 al 2017 consentirebbe di automatizzare l'inserimento del "2" per tutti gli anni meno recenti (2006, 2012, 2015 e 2016).

3.4.6 Esempio 6 – Errore di commissione

Nell'esempio 6 (Tabella 12) è mostrato un caso di errore di commissione in area agricola. L'attività di correzione degli errori è facoltativa.

Tabella 12. Esempio 6.

Ortofoto VHR	Sentinel-2A	Descrizione												
		<p>Nell'esempio viene erroneamente mappata un'area naturale come suolo consumato (errore di commissione). Per la correzione dell'errore è necessario verificare l'evoluzione dell'area nel tempo, in modo da attribuire il codice corretto a tutte le date della serie storica. Nel caso in esame l'area risulta naturale per tutto il periodo di monitoraggio.</p>												
Mappatura														
<p>In fase di fotointerpretazione viene tracciato un poligono su tutta la patch mappata erroneamente come suolo consumato, attribuendo il codice 2 a tutte le date della serie storica: nel caso in esame, l'analisi dell'area mostra il permanere della copertura naturale per tutto il periodo di interesse del monitoraggio. L'evoluzione dell'area è sintetizzata nella tabella seguente:</p>														
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Anno 1</th> <th>Anno 2</th> <th>Anno 3</th> <th>Anno 4</th> <th>Anno 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poligono A</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>		Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Poligono A	2	2	2	2	2		
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5									
Poligono A	2	2	2	2	2									
<p>Esempio di compilazione della tabella attributi nel caso di correzione di un errore di commissione presente nella serie storica (attività è facoltativa): osservando le immagini relative ai diversi anni della serie storica, sebbene il raster mostri un'area classificata come "suolo consumato", la copertura del suolo risulta naturale per tutto il periodo. Per la correzione dell'errore si potrà compilare per intero i campi relativi a tutti gli anni della serie oppure inserire il codice "2" solo per gli anni 4 e 5 e ricorrere al codice "8" a partire dall'anno 3 (in questo modo, il codice associato all'anno 4 verrà attribuito anche agli anni 1, 2 e 3).</p>														

Fonte: SNPA.

3.5 ELABORAZIONI/MODELLI/INDICATORI

Le operazioni di mappatura del nuovo consumo di suolo vengono svolte dalle Agenzie Regionali e delle Province Autonome per il relativo territorio di competenza, con il supporto tecnico e operativo dell'ISPRA, che cura anche la successiva fase di verifica e validazione dei poligoni fotointerpretati. Tale attività viene svolta in parallelo per le 19 regioni e le 2 province autonome con riferimento sia alla componente geometrica che tematica dei poligoni, rispetto a tutta la serie storica.

3.5.1 Produzione del mosaico nazionale

Una volta ultimato il processo di verifica dei poligoni, questi vengono convertiti in formato raster a 10 metri di risoluzione, riproiettati nel sistema di riferimento ETRS89-LAEA e uniti nel mosaico nazionale, fornendo come prodotto finale la serie storica aggiornata della carta nazionale del suolo consumato.

3.5.2 Elaborazioni

La versione aggiornata della carta nazionale del suolo consumato costituisce la principale base informativa per l'elaborazione delle statistiche e degli indicatori inseriti nel rapporto annuale "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici".

In dettaglio, a partire dalla serie storica della carta, vengono condotte tre principali tipologie di analisi:

- Indicatori e statistiche di superficie.

Una prima tipologia di strumenti riguarda indicatori e statistiche di superficie elaborati a partire dalla serie storica della carta nazionale del suolo consumato, valutati sia rispetto all'intero territorio che rispetto al solo suolo utile (Munafò, M. 2022), con riferimento alla scala nazionale e alle unità amministrative regionali, provinciali e comunali. I principali indicatori analizzano il suolo consumato (espresso in termini assoluti e in percentuale sulla superficie dell'unità territoriale di riferimento), e il consumo di suolo, che viene valutato in termini generali (comparsa di nuovo suolo consumato) e al netto delle rinaturalizzazioni, distinguendo inoltre la frazione di cambiamenti riconducibili a impermeabilizzazione (introduzione di suolo consumato permanente in un'area naturale o di suolo consumato reversibile) e valutando l'entità e la distribuzione spaziale dei cambiamenti al terzo livello di classificazione. I cambiamenti vengono, inoltre, espressi in termini di densità di consumo rispetto al totale del consumato.

Consumo di suolo e suolo consumato vengono infine correlati con le caratteristiche demografiche del territorio, in termini di suolo consumato pro-capite, consumo di suolo pro-capite (sia come aumento di suolo consumato che al netto delle rinaturalizzazioni) e consumo di suolo marginale.

- Analisi della distribuzione territoriale del consumo di suolo rispetto a specifici ambiti territoriali.

La serie storica della carta nazionale del suolo consumato viene confrontata con un'ampia gamma di cartografie tematiche, allo scopo di fornire un quadro il più possibile esaustivo della distribuzione spaziale del consumo di suolo in Italia. Per ciascun ambito territoriale vengono fornite informazioni sul

suolo consumato (in termini assoluti e percentuali) e sul consumo di suolo, quest'ultimo valutato in termini assoluti e come densità di consumo per ettaro di superficie, anche al netto delle rinaturalizzazioni. In particolare, sono considerati gli ambiti territoriali riportati nella Tabella 13.

Tabella 13. Principali ambiti territoriali considerati per l'analisi della distribuzione del consumo di suolo.

Presenza di aree protette che rientrano nell'Elenco Ufficiale Aree Protette (EUAP), con riferimento alla porzione a terra di Parchi nazionali, Riserve naturali (statali e regionali), Parchi naturali regionali e altre tipologie di aree naturali protette nazionali e regionali.
Presenza di aree vincolate per la tutela paesaggistica, ai sensi del D.lgs 42/2004.
Presenza di aree a pericolosità idraulica, sismica o da frana, valutata a partire (rispettivamente) dalle mappe di pericolosità idraulica redatte dalle Autorità di bacino distrettuali (secondo gli scenari del D. Lgs 49/2010 di recepimento della direttiva alluvioni 2007/60/CE), dalla mappatura delle aree a pericolosità sismica SNPA, confrontata con i dati di riferimento dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dalle mosaicature nazionali ISPRA realizzate sulla base dei Piani di Assetto Idrogeologico – PAI Frane (v. 4.0 – 2020-2021).
Presenza di aree percorse dal fuoco, con riferimento ai dati del Comando Carabinieri Tutela Forestale.
Presenza di siti contaminati di interesse nazionale (SIN).
Zonizzazione fornita dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare (OMI) dell'Agenzia delle Entrate, che associa alle diverse aree urbane e periurbane valori economici delle superfici edificate sulla base dei prezzi di compravendita.
Una fascia di ampiezza 150 metri dai corpi idrici permanenti, estratti dalla carta nazionale di copertura del suolo realizzata da ISPRA su dati Copernicus.
La fascia costiera, con riferimento a tre fasce a diverse distanze dalla linea di costa: 300 m, tra 300 e 1.000 m e tra 1 km e 10 km.
Fasce altimetriche (al di sotto dei 300 m s.l.m., al di sopra dei 600 m e tra 300 e 600 m) e di pendenza (distinguendo aree con pendenza maggiore del 10% e aree con pendenza inferiore al 10%).
Tipologie di suolo, con riferimento alle 10 regioni pedologiche (RP) individuate dalla Carta dei Suoli d'Italia (Costantini et al., 2012).
Unità fisiografiche del paesaggio e indicatori di valore ecologico e la fragilità ambientale, con riferimento al Progetto della Carta della Natura.
Tipologie di ecosistemi, con riferimento alle 97 tipologie di ecosistemi individuate sul territorio italiano dalla carta degli ecosistemi d'Italia (Blasi et al., 2017).
Classi di uso e copertura del suolo, riferite alla carta di uso e alla carta di copertura del suolo elaborate da ISPRA integrando dati spaziali del Copernicus Land Monitoring Service secondo un sistema di classificazione in linea con le indicazioni fornite in ambito europeo dal gruppo EAGLE.
Classi di densità di popolazione, ottenute spazializzando i dati censuari Istat e la cartografia del consumo di suolo, seguendo una metodologia sviluppata nell'ambito di un precedente lavoro eseguito in collaborazione tra Istat e ISPRA (Ballin et al., 2016).

Classi di densità di costruito, considerando i tre contesti prevalenti (artificiale compatto, artificiale a media/bassa densità, artificiale assente o rado) definiti dall'Agenda Globale per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite.

Fasce di distanza dai centri urbani principali, considerando un'area circolare, di raggio 15 km, costruita attorno ai centri città dei 219 poli individuati con la metodologia di classificazione dell'Agenzia per la Coesione Sociale (ex Dipartimento per lo Sviluppo e la Coesione Economica).

Fonte: ISPRA.

- Elaborazione di prodotti derivati.

Conducendo analisi raster zonali e focali sulla carta del suolo consumato e introducendo opportuni dati ancillari, vengono elaborati dei prodotti derivati, utili per lo studio di fenomeni correlati con l'espansione delle aree artificializzate.

La carta nazionale del suolo consumato è la base per la valutazione del grado di frammentazione del territorio, inteso come processo associato alla riduzione di dimensioni e all'aumento dell'isolamento delle aree naturali, che vengono "frammentate" a causa dell'introduzione di elementi artificiali, in primis infrastrutture viarie. Il grado di frammentazione del territorio viene valutato mediante la metodologia dell'*effective mesh size* (Jaeger, 2000) opportunamente modificata secondo la "cross-boundary connections (CBC) procedure" (Moser, et al., 2007), considerando il suolo consumato come elemento "frammentante".

Per valutare gli effetti indiretti del consumo di suolo anche sulle aree in prossimità delle superfici effettivamente costruite, a partire dalla carta del suolo consumato viene effettuata una stima orientativa dell'area impatto potenziale del consumo di suolo. Tale elaborazione è basata sull'adozione di un criterio di influenza legato alla distanza, individuando le superfici di interesse mediante dei buffer di 60, 100 e 200 metri dalla superficie coperta artificialmente.

L'informazione sulla presenza e sulla variazione di suolo consumato, in abbinamento alla carta di copertura dei suoli elaborata da ISPRA, viene utilizzata per la valutazione dei servizi ecosistemici, con particolare riferimento a produzione agricola, stoccaggio di carbonio, e qualità degli habitat, e per la valutazione del livello di degrado del suolo.

Inoltre, dalla carta nazionale del suolo consumato, tramite la conduzione di analisi focali, anche in associazione con dati demografici spazializzati, è elaborata una classificazione del territorio nazionale in termini di aree urbane, suburbane e rurali, distinte in relazione alla densità di superfici artificiali. Tale prodotto consente lo svolgimento di valutazioni sulla distribuzione spaziale del consumo di suolo, sul fenomeno dell'isola di calore urbana ed è la base per la delimitazione dell'area di interesse per la valutazione degli indicatori 11.3.1 (rapporto tra tasso di consumo di suolo e tasso di crescita della popolazione) e 11.7.1 (percentuale media dell'area urbanizzata delle città che viene utilizzata come spazio pubblico, per genere, età e persone con disabilità) dell'obiettivo di sviluppo sostenibile SDG numero 11.

Per ulteriori dettagli su metodologie di calcolo e analisi dei risultati relativamente a statistiche, indicatori e le elaborazioni derivanti dalla carta nazionale del suolo consumato, si rimanda all'ultima edizione del rapporto "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici"³⁵.

3.6 ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Nell'ambito dell'attività di monitoraggio 2022-2023 è stata introdotta in via sperimentale una nuova codifica di uso del suolo per la caratterizzazione dei poligoni di consumo di suolo relativi all'ultimo anno, la cui conduzione è subordinata alla disponibilità di informazioni ancillari che rendano possibile la determinazione della destinazione d'uso dell'area di cambiamento. Le classi considerate sono riportate in Tabella 14 e risultano in linea con i *Land Use Attributes* (LUA) di EAGLE.

Tabella 14. Sistema di classificazione di uso.

USO DEL SUOLO	
1	Residenziale
2	Non residenziale
2.1	attività produttive (industrie manifatturiere)
2.2	attività commerciali
2.3	Poli logistici
2.4	Servizi (servizi alla comunità, ospedali, luoghi di culto, scuole, caserme, strutture sportive)
2.5	Produzione di energia da fonti rinnovabili (fotovoltaico, eolico, altro)
2.6	Settore primario (agricoltura, aree estrattive)
2.7	Utility (elettricoli, depuratori, casse di espansione, discariche)
2.8	Altri usi (Aree di transizione e cantieri)
3	Infrastrutture (strade, parcheggi, distributori, ferrovie, aeroporti, porti)

Fonte: ISPRA da dati Copernicus.

³⁵ I dati, la cartografia e le diverse edizioni del Rapporto "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici" sono disponibili all'indirizzo <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/soilo-e-territorio/soilo/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>

4 DISSEMINAZIONE DI DATI E INDICATORI

Nel corso degli anni, ISPRA e le Agenzie del SNPA hanno introdotto una vasta gamma di strumenti e piattaforme per garantire l'accesso ai dati relativi a consumo del suolo, stato del territorio e degli insediamenti, perdita di servizi ecosistemici e degrado, con il duplice intento di contribuire alla conoscenza e alla formazione di una coscienza critica su questi temi e di fornire all'intera comunità istituzionale e scientifica una base conoscitiva liberamente accessibile a supporto delle politiche, dello sviluppo del quadro normativo e delle decisioni a livello locale necessarie per arrivare all'obiettivo di arrestare il consumo di suolo.

4.1 IL PORTALE NAZIONALE DEL CONSUMO DI SUOLO

La prima edizione del portale nazionale del consumo di suolo è stata pubblicata il 25 ottobre 2019 e da allora il portale viene aggiornato ogni anno a valle della pubblicazione del rapporto SNPA "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici". Il portale è curato da Arpa Piemonte (che lo ospita sulla sua infrastruttura) e da ISPRA e mette a disposizione di cittadini, professionisti e amministratori dati, cartografie, indicatori a scala nazionale, regionale e per singolo comune riferiti all'arco temporale di osservazione dal 2006 al 2022. La struttura del portale è progettata per guidare l'utente secondo la tecnica dello *storytelling*, associando testi, elementi multimediali, cartografie e pannelli per la consultazione delle cifre del suolo, permettendo di approfondire la conoscenza dell'ecosistema suolo e rimanere aggiornati sullo stato del consumo di suolo in Italia.

Nel portale sono presentati in forma semplificata e divulgativa i principali aspetti ambientali connessi al suolo, ai fenomeni di trasformazione e consumo, ai servizi ecosistemici ad esso correlati. L'interfaccia principale si presenta come un collettore di diverse schede, ciascuna dedicata a un tema specifico (Figura 7): i principali concetti inerenti il suolo come risorsa naturale non rinnovabile ("Il suolo"); i principi e le tecniche di analisi adottate dal SNPA per il monitoraggio del consumo di suolo, basate su dati telerilevati, con particolare riferimento alle immagini acquisite nell'ambito del programma europeo *Copernicus* ("Il Monitoraggio"); la sintesi dello stato in Italia estratta dall'ultima edizione del rapporto ("Lo stato in Italia"); le mappe, gli indicatori del consumo e l'atlante fotografico inseriti in altrettante schede a cui sono dedicati gli approfondimenti dei paragrafi a seguire.

Il portale è raggiungibile all'indirizzo:

<https://www.consumosuolo.it/>

Figura 7. La home page del portale nazionale del consumo di suolo. Fonte: Arpa Piemonte.



4.1.1 La scheda "Indicatori"

La scheda "Indicatori" ospita il cruscotto per la consultazione di una selezione degli indicatori più significativi inerenti il consumo di suolo³⁶ riferiti alla scala nazionale, regionale e comunale. Al primo accesso la pagina riporta i dati di sintesi a livello nazionale; attraverso grafici e semplici pannelli numerici vengono riportati i valori riferiti a: percentuale e superficie di suolo consumato, densità del suolo consumato per l'anno corrente (pannelli a sinistra della mappa), evoluzione nel tempo del suolo consumato e del consumo di suolo (istogrammi nei pannelli a destra della mappa). I selettori posti in alto a destra consentono di aggiornare i contenuti dei pannelli per regione ed anno di monitoraggio (Figura 8).

³⁶ Il dataset completo degli indicatori è raggiungibile all'indirizzo:

<https://groupware.sinanet.isprambiente.it/uso-copertura-e-consumo-di-suolo/library/consumo-di-suolo/indicatori>

Dalla dashboard il dataset è raggiungibile tramite l'*hamburger button* posto in alto a destra a fianco dei selettori di anno e regione.

Figura 8. Pagina del cruscotto degli indicatori così come si presenta al primo accesso. In evidenza in rosso le frecce di navigazione per passare alla visualizzazione dei cartogrammi e degli istogrammi riportati nelle figure successive; in verde i selettori di regione ed anno. Fonte: Arpa Piemonte.

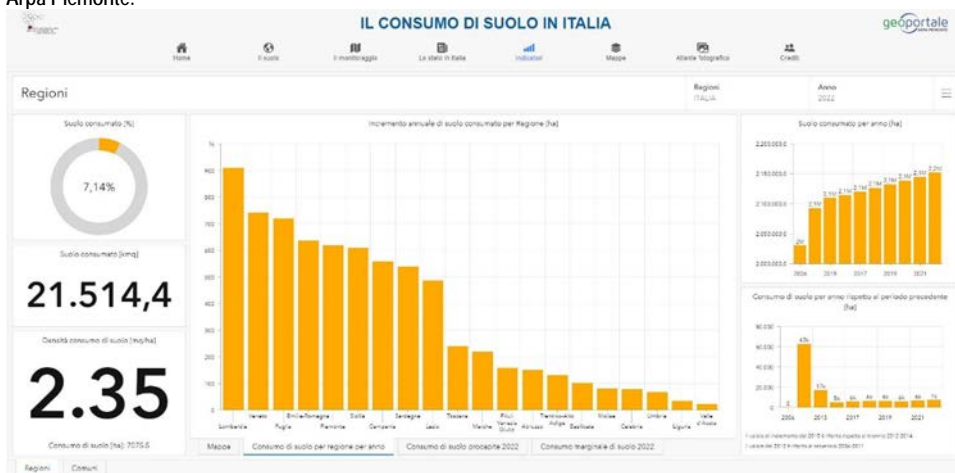


La mappa del riquadro centrale della pagina è interattiva e l'utente è libero di effettuare uno zoom sulla sua zona di interesse. La mappa è centrata sull'intero territorio italiano e mostra il livello geografico del suolo consumato relativo all'anno dell'ultimo monitoraggio. Il riquadro centrale consente l'accesso ad ulteriori rappresentazioni dei dati sia grafiche che cartografiche. Attraverso le frecce o le etichette poste al fondo del riquadro si può passare alla visualizzazione dei cartogrammi di alcuni indicatori di consumo tematizzati per comune (Figura 9). Alcuni degli indicatori di consumo riferiti al livello regionale sono invece disponibili come istogrammi, di cui un esempio in Figura 10.

Figura 9. Cartogrammi degli indicatori a livello comunale. Fonte: Arpa Piemonte.



Figura 10. Istogramma dell'incremento di suolo consumato per regione. I valori sono riferiti all'anno selezionato. Fonte: Arpa Piemonte.



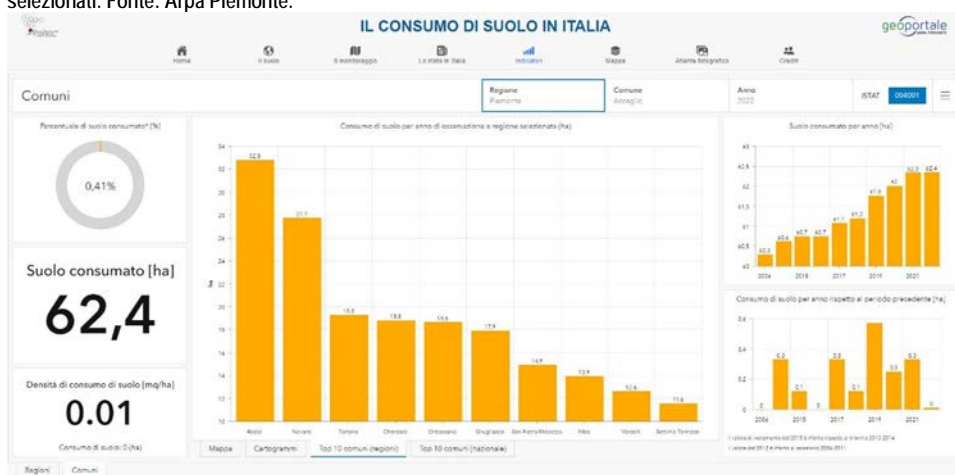
Cliccando sulle etichette in basso a sinistra della pagina (“Regioni/Comuni”) si può passare dalla visualizzazione per regione a quella per comune e viceversa (Figura 11). La visualizzazione per comune si presenta molto simile a quella per regione con la differenza che viene messo a disposizione un terzo selettore che consente di scegliere il comune di interesse.

Come per la visualizzazione per regione anche in questo caso la finestra centrale del cruscotto ospita ulteriori rappresentazioni grafiche dei dati. Attraverso le frecce o le etichette poste in basso alla mappa si può passare alla visualizzazione degli istogrammi relativi ai dieci comuni con i maggiori incrementi di suolo consumato a livello assoluto in Italia e per la regione selezionata (Figura 12).

Figura 11. Visualizzazione per comune. I settori di regione, comune ed anno sono posizionati in alto a destra accanto al campo in blu del codice ISTAT dell'unità amministrativa. In evidenza in rosso le etichette per passare dalla visualizzazione per regione a quella per comune. Fonte: Arpa Piemonte.



Figura 12. Istogramma dei primi 10 comuni in termini di incremento di suolo consumato per l'anno e la regione selezionati. Fonte: Arpa Piemonte.



4.1.2 La scheda "Mappe"

La scheda "Mappe" riporta la cartografia del suolo consumato per tutto il territorio italiano per il periodo di osservazione dal 2012 all'anno dell'ultimo rapporto, consentendo di verificare l'evoluzione nel tempo del fenomeno (Figura 13). Le mappe sono interattive e consultabili a qualsiasi scala. Le classi di

consumo sono aggregate in tre macroclassi: consumo di suolo permanente, viabilità, consumo di suolo reversibile. I nuovi consumi sono messi in evidenza con un colore dedicato.

Figura 13. La scheda “Mappe”. Fonte: Arpa Piemonte.



4.1.3 La scheda “Atlante fotografico”

La scheda riporta la mappa con la localizzazione puntuale per tutta Italia di una selezione delle trasformazioni più significative. È sufficiente cliccare sul punto di interesse in mappa per caricare nel pannello laterale sinistro l'immagine o la serie di immagini dell'intervento correlato (Figura 14).

Figura 14. La scheda “Atlante fotografico” con la mappa della localizzazione sul territorio italiano delle immagini delle principali trasformazioni. Fonte: Arpa Piemonte.



4.2 ECOATL@NTE

L'Ecoatl@nte è uno strumento divulgativo messo a punto da ISPRA per consentire la consultazione libera di dati, mappe e testi informativi inerenti alle principali informazioni ambientali raccolte dal Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA)³⁷, e tra queste vi è la possibilità di consultare dati, mappe e indicatori relativi al consumo di suolo in tutta la serie storica.

L'Ecoatl@nte è raggiungibile all'indirizzo: <https://ecoatlante.isprambiente.it/>

4.3 GROUPWARE SINA

Rappresenta un data repository messo a disposizione dal Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA) strutturato in cartelle a seconda delle diverse aree tematiche. I dati relativi alla cartografia e agli indicatori sul consumo di suolo sono raggiungibili al seguente indirizzo:

<https://groupware.sinanet.isprambiente.it/uso-copertura-e-consumo-di-suolo/library/consumo-di-suolo>

All'interno della cartella principale 'Consumo di suolo' è presente la serie storica delle cartografie in formato raster e gli indicatori in formato shapefile e tabellare.

4.4 WEB APPLICATION PER VALIDAZIONE

Nell'ambito dell'attività di monitoraggio 2023 è stata sviluppata da ISPRA una piattaforma (Figura 15) per la condivisione dei dati preliminari, concepita per incentivare il confronto con i principali soggetti istituzionali, nell'ottica di rendere l'attività di monitoraggio annuale del consumo di suolo sempre più efficace e condivisa.

In dettaglio, l'applicazione mette a disposizione i dati preliminari relativi al monitoraggio annuale del consumo di suolo dell'ultimo anno attraverso l'implementazione di un web GIS per mezzo del quale, previa registrazione e accredito, gli operatori di Comuni e Osservatori delle Regioni e Province autonome possono verificare la tipologia e la localizzazione dei cambiamenti rilevati nell'ultimo anno sul territorio di loro competenza, apporre commenti o inserire eventuali cambiamenti omessi dal monitoraggio. ISPRA con la collaborazione delle Agenzie del SNPA verifica le osservazioni e le integra nel processo di aggiornamento della carta nazionale del consumo di suolo.

³⁷ Per maggiori dettagli si rimanda alle ultime edizioni del Rapporto SNPA "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici"

Figura 15. La web application sviluppata da ISPRA per la validazione dei dati. Fonte: ISPRA.

Registro osservazioni

test_0_2

Cambiamenti

Segnalazioni

Cambiamenti

Satellite

BasicMap

Pagina: << < 1 > >> di 9 Record 1 to 10 di 96 10

Regione	Provincia	Comune	Cambiamento	Commento Comune	Commento Regione	Commento Arpa	Commento Ispra	Selezione	Lat	Long	Mappa punti
<input type="checkbox"/>	Abruzzo	Chieti	Lanciano	Cantieri e altre aree in terra battuta				Marker: 32887	42,208	14,4	
<input type="checkbox"/>	Abruzzo	Chieti	Lanciano	Cantieri e altre aree in terra battuta				Marker: 32888	42,211	14,38	
<input type="checkbox"/>	Abruzzo	Chieti	Lanciano	Cantieri e altre aree in terra battuta				Marker: 32889	42,211	14,364	
<input type="checkbox"/>	Abruzzo	Chieti	Lanciano	Cantieri e altre aree in terra battuta				Marker: 32890	42,213	14,363	
<input type="checkbox"/>	Abruzzo	Chieti	Lanciano	Cantieri e altre aree in terra battuta				Marker: 32891	42,213	14,363	

5 BIBLIOGRAFIA

- Commissione Europea (2011), Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse, COM (2011) 571. Bruxelles, 20.09.2011.
- EEA, 2004, Soil Sealing Workshop. Summary Report, European Topic Centre Terrestrial.
- EEA, 2009. Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS).
- ESA, 2015. Sentinel-2 User Handbook. ESA Standard Document. 24/07/2025 Issue 1 Rev 2.
- European Communities, Luxemburg. Rif. EC, JRC, IES, 2008 – Soil Sealing in Europe.
- FAO Land Cover Classification System, 2005.
- Jaeger, J.A.G., 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology* 15(2): 115-130.
- Luti, T. et al., 2021. Land Consumption Monitoring with SAR Data and Multispectral Indices. *Remote Sensing*, 13, doi:10.3390/rs13081586.
- Maucha, G., Büttner, G., 2008. Recommendations - Quantitative assessment high resolution soil sealing layer. EEA Technical Report.
- Moser, B. et al., 2007. Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology* 22, pp. 447-459.
- Munafò, M. et al., 2009. "Impermeabilizzazione e consumo di suolo" in *Qualità dell'ambiente urbano*, VI Rapporto ISPRA Ed. 2009.
- Munafò, M. et al., 2012. Validazione della mappa europea delle aree impermeabili ad alta risoluzione a livello locale. In: *Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA*. p. 1013-1019, Vicenza (Italy), 6-9 Novembre 2012.
- Munafò, M., Marinosci, I. (a cura di), 2018. *Territorio. Processi e trasformazioni in Italia*. Ed. 2018. Report SNPA 296/2018.
- Munafò, M. (a cura di), 2022. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2022. Report SNPA 32/22.
- Munafò, M. (a cura di), 2023. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2023. Report SNPA 37/23.
- Steenmans, C., Sousa, A., 2007. Guidelines for verification of high resolution soil sealing layer – Qualitative assessment. EEA Technical Report.
- Strollo, A.; Smiraglia, D.; Bruno, R.; Assennato, F.; Congedo, L.; De Fioravante, P.; Giuliani, C.; Marinosci, I.; Riitano, N.; Munafò, M. Land consumption in Italy. *J. Maps* 2020, 16, 113–123.
- Van-Camp. L. et al., S-K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/6, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg. Rif. EC, JRC, IES, 2008 – Soil Sealing in Europe.

6 GLOSSARIO

Consumo di suolo (*land take*): variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato), con la distinzione fra consumo di suolo permanente (dovuto a una copertura artificiale permanente) e consumo di suolo reversibile (dovuto a una copertura artificiale reversibile).

Consumo di suolo netto: incremento della copertura artificiale del suolo valutato attraverso il bilancio tra il consumo di suolo e l'aumento di superfici agricole, naturali e seminaturali dovuto a interventi di recupero, demolizione, deimpermeabilizzazione, rinaturalizzazione o altre azioni in grado di riportare il suolo consumato in un suolo in grado di assicurare i servizi ecosistemici forniti da suoli naturali.

Consumo marginale di suolo: indicatore dato dal rapporto tra il nuovo consumo di suolo e i nuovi residenti tra un anno e il successivo. A valori positivi elevati di questo indicatore corrisponde un alto e più insostenibile consumo di suolo a fronte di una crescita non significativa della popolazione, mentre valori negativi indicano un aumento del consumo di suolo in presenza di decrescita della popolazione.

Copertura del suolo (*Land Cover*): copertura biofisica della superficie terrestre, che comprende le superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici, come definita dalla direttiva 2007/2/CE.

Copertura artificiale del suolo: secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente equivale all'insieme delle superfici dove il paesaggio è stato modificato o è influenzato da attività di costruzione e sono state sostituite le superfici naturali con strutture artificiali abiotiche 2D/3D o con materiali artificiali. Corrisponde a una parte delle aree urbane e suburbane, dove sono presenti infrastrutture, costruzioni e altre coperture artificiali e sono inclusi anche gli insediamenti, le infrastrutture e le costruzioni in aree non urbane. Le aree verdi in ambiente urbano non devono essere considerate come superfici artificiali. La copertura artificiale del suolo è quindi una copertura biofisica artificiale del terreno di tipo permanente (edifici, fabbricati; sede ferroviaria; piste aeroportuali, banchine, piazzali e altre aree impermeabilizzate o pavimentate; serre permanenti pavimentate; discariche) o di tipo reversibile (aree non pavimentate con rimozione della vegetazione e asportazione o compattazione del terreno dovuta alla presenza di infrastrutture, cantieri, piazzali, parcheggi, cortili, campi sportivi o depositi permanenti di materiale; impianti fotovoltaici a terra; aree estrattive non rinaturalizzate; altre coperture artificiali non connesse alle attività agricole in cui la rimozione della copertura ripristini le condizioni naturali del suolo).

Degrado del suolo: fenomeno di alterazione delle condizioni del suolo dovuto alla riduzione o alla perdita di produttività biologica o economica, di biodiversità, delle funzioni e della capacità di fornire servizi ecosistemici a causa principalmente dell'attività dell'uomo. La copertura del suolo, l'erosione idrica o il contenuto di carbonio organico possono essere usati per valutare il degrado del suolo. È associato anche a fenomeni di desertificazione in aree aride, semiaride e subumide asciutte, in conseguenza di diversi fattori, tra cui le variazioni climatiche e le attività umane. La Land Degradation

Neutrality (LDN <https://www.unccd.int/>) è definita dall'UNCCD come “uno stato in cui la quantità e la qualità delle risorse territoriali, necessarie a sostenere funzioni e servizi ecosistemici e a rafforzare la sicurezza alimentare, rimangono stabili o aumentano entro specifiche scale temporali e territoriali ed ecosistemi”.

Densificazione urbana: nuova copertura artificiale del suolo all'interno di un'area urbana esistente.

Funzioni del suolo: le funzioni ecologiche che un suolo di buona qualità è in grado di assicurare possono essere sintetizzate in:

- fertilità: il ciclo dei nutrienti assicura fertilità al terreno e allo stesso tempo il rilascio di nutrienti necessari per la crescita delle piante;
- filtro e riserva: il suolo può funzionare da filtro nei confronti degli inquinanti e può immagazzinare grandi quantità d'acqua utile per le piante e per la mitigazione delle alluvioni.
- strutturale: i suoli rappresentano il supporto per le piante, gli animali e le infrastrutture
- regolazione del clima: il suolo, oltre a rappresentare il più grande *sink* di carbonio, regola l'emissione di importanti gas serra (N₂O e CH₄)
- conservazione della biodiversità: i suoli sono un immenso serbatoio di biodiversità; rappresentano l'habitat di migliaia di specie in grado di impedire l'azione di parassiti o facilitare lo smaltimento dei rifiuti.
- risorsa: i suoli possono essere un'importante fonte di approvvigionamento di materie prime.

Grado di urbanizzazione: nell'ambito dell'[Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile](#) (obiettivo 11) si considerano soglie di densità delle superfici a copertura artificiale per distinguere tre classi: aree urbane (>50%); suburbane (10-50%); rurali (<10%). Per [Eurostat](#) è la combinazione della contiguità geografica e della densità di popolazione, misurata attraverso soglie minime di popolazione applicate a celle aventi risoluzione di 1 Km² suddivise in tre classi: città (aree densamente popolate); paesi e aree suburbane (aree a densità di popolazione intermedia); aree rurali (aree scarsamente popolate). Il [Centro Comune di Ricerca della Commissione europea](#) considera sia le aree costruite, sia la densità di popolazione residente per distinguere le tre classi: centri urbani ad alta densità (zone con densità di popolazione superiori a 1.500 abitanti per km² e densità del costruito superiore al 50%, in aggregati di almeno 50.000 abitanti); gruppi urbani a media densità (zone con densità di popolazione di almeno 300 abitanti per km² e densità del costruito superiore al 3% o zone con densità di popolazione superiore a 1.500 abitanti per km² e densità del costruito superiori al 50%, in aggregati di almeno 5.000 abitanti); zone rurali (aree che non rientrano nelle precedenti classi).

Impermeabilizzazione (*Soil sealing*): quella parte della copertura artificiale del suolo dove gli interventi di copertura permanente del terreno con materiale artificiale sono tali da eliminarne o ridurne la permeabilità.

Serie storica: l'insieme dei dati raster della carta nazionale del consumo di suolo relativi a tutti gli anni monitorati. Nello specifico, la serie storica include una serie di dati raster a 10 metri di risoluzione e copertura nazionale per gli anni 2006, 2012 e per tutti gli anni dal 2015 all'anno più recente.

Servizi ecosistemici: definiti come i benefici (o contributi) che l'uomo ottiene, direttamente o indirettamente, dagli ecosistemi che si suddividono in:

- servizi di approvvigionamento (prodotti alimentari e biomassa, materie prime, etc.);
- servizi di regolazione e mantenimento (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell'erosione e regolazione degli elementi della fertilità, regolazione della qualità dell'acqua, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, riserva genetica, conservazione della biodiversità, etc.);
- servizi culturali (servizi ricreativi e culturali, funzioni etiche e spirituali, paesaggio, patrimonio naturale, etc.).

Suolo consumato: quantità complessiva di suolo a copertura artificiale esistente in un dato momento. Se è misurato in valori percentuali rispetto alla superficie territoriale è sinonimo di grado di artificializzazione.

Suolo utile: ottenuto sottraendo le aree a pendenza molto elevata (>50%); le zone umide (RAMSAR) e occupate da corpi idrici, fiumi e laghi; le aree appartenenti alla Rete Natura 2000 (SIC, ZPS e ZSC), i monumenti naturali, le riserve naturali e le altre aree protette; le aree a pericolosità da frana (classi P3 e P4) e idraulica (classe P3).

Uso del suolo (*Land Use*): classificazione del territorio in base alla dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presenti e programmate per il futuro (ad esempio: residenziale, industriale, commerciale, agricolo, silvicolo, ricreativo), come definita dalla direttiva 2007/2/CE. L'uso del suolo può essere distinto in due categorie differenti: uso del suolo esistente al momento della rilevazione e uso del suolo pianificato, ovvero programmato per il futuro, come definito dai vigenti strumenti urbanistici.



LG SNPA
50 2024

