

**Progetto MEV-CSU MEtodologie avanzate per la Valutazione del Consumo di
SUolo**

RAPPORTO DI RICERCA CONCLUSIVO

Università degli Studi della Basilicata

Scuola di Ingegneria

Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi Urbani e Territoriali

Gruppo di ricerca:

Prof. Francesco Scorza (Responsabile scientifico)

Prof. Benedetto Manganelli; Dr. Rosanna Piro; Ing. Ph.D. Lucia Saganeiti; Ing. Angela Pilogallo

Giugno 2021

Contributo della Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata

Sommario

Premessa	4
WP1 - Analisi dell'evoluzione del sistema insediativo e previsioni di sviluppo delle aree urbane	6
<i>Espansione urbana</i>	7
<i>Componenti insediative legate alla produzione energetica da fonti rinnovabili</i>	12
<i>Lo sviluppo delle attività di perforazione e il consumo di suolo associato</i>	14
<i>Componenti insediative vecchie e nuove: il trend del consumo di suolo in Basilicata</i>	18
<i>La Frammentazione territoriale nella Regione Basilicata: una valutazione integrata delle componenti insediative</i>	20
<i>Frammentazione: il ruolo delle infrastrutture stradali</i>	25
<i>Energie rinnovabili e frammentazione territoriale: il caso studio di Melfi</i>	28
<i>Materiali e metodi</i>	28
<i>Considerazioni conclusive</i>	34
WP3 - Analisi di Land Use e Land Cover Change	36
<i>Materiali e metodi</i>	37
<i>Risultati</i>	40
WP6 - Stima, analisi e scenari di perdita di suolo disponibile per servizi ecosistemici	45
<i>Materiali e metodi</i>	46
<i>Carbon Storage</i>	47
<i>Servizi di Impollinazione</i>	49
<i>Habitat quality and degradation</i>	51
<i>Controllo dei tassi di erosione</i>	53
<i>Regolazione della Qualità delle Acque Superficiali</i>	55
<i>Produttività Agricola</i>	57
<i>Considerazioni finali</i>	58
<i>Un'applicazione alla scala comunale: nuove forme insediative e variazione dei Servizi Ecosistemici nel Comune di Melfi</i>	58
<i>Materiali e metodi</i>	58
<i>Considerazioni finali</i>	70
WP7 – Analisi della relazione tra consumo di suolo e interventi di programmazione economica e pianificazione urbana territoriale	71

	3
<i>La territorializzazione degli interventi di programmazione economica</i>	71
<i>Il quadro pianificatorio ed il regime vincolistico.....</i>	77
<i>Analisi dell'evoluzione degli insediamenti e simulazione dell'espansione urbana futura.....</i>	80
<i>Il modello scelto per la previsione del consumo di suolo: SLEUTH</i>	82
<i>Considerazioni conclusive</i>	90
WP9 – Linee di indirizzo per una riduzione del fenomeno del consumo di suolo in Basilicata	92
Pubblicazioni scientifiche prodotte nell’ambito del progetto di ricerca:	99
Bibliografia di riferimento.....	101

Premessa

Il gruppo di ricerca della Scuola di Ingegneria (UNIBAS) coordinato dal Responsabile Scientifico Prof. Francesco Scorza, ha sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca denominato MEV-CSU - MEtodologie avanzate per la Valutazione del Consumo di SUolo – specifiche componenti valutative connesse all'interpretazione territoriale dei processi di sviluppo del sistema insediativo, relazionale e naturalistico ambientale della Regione Basilicata, che in questo rapporto di ricerca vengono documentate in forma estesa con riferimento alle metodologie, ai risultati e ai prodotti considerati come esiti del lavoro di ricerca.

I risultati delle analisi condotte hanno implicazioni a diverse scale su politiche di sviluppo territoriale e processi di governo e gestione in settori propri della pianificazione urbana e territoriale e rappresentano una base informativa utile ad arricchire i processi di valutazione di politiche di tutela ambientale per il territorio della Regione Basilicata.

Il presente documento costituisce il contributo conclusivo del gruppo di ricerca SI-UNIBAS al progetto MEV-CSU. Il tema principale del contributo di ricerca riguarda la valutazione del consumo di suolo come conseguenza di fenomeni di espansione urbana/industriale, realizzazione di infrastrutture, sviluppo/sfruttamento produttivo di ambiti territoriali caratterizzati dalla presenza di specifiche risorse naturali (ad esempio fonti energetiche rinnovabili e minerarie).

L'approccio adottato dal progetto di ricerca si basa sulla costruzione di metodologie di analisi quantitativa dei fenomeni territoriali utili ad arricchire il quadro conoscitivo del territorio regionale (anche attraverso la valutazione di contesti sub regionali peculiari), i cui risultati possono rappresentare la base per una innovazione normativa e procedurale in materia di governo del territorio e monitoraggio delle dinamiche in atto attraverso strumenti e tecniche evolute.

Un elemento di innovazione che caratterizza il quadro metodologico proposto risiede nel considerare il consumo di suolo in termini performativi. In termini operativi, tale approccio indirizza verso un'analisi territoriale che integri la semplice computazione delle superfici impermeabilizzate per la stima del suolo "consumato" con ulteriori "dimensioni" del consumo di suolo espresse in termini di frammentazione degli insediamenti e di perdita di multifunzionalità ecosistemica.

Ulteriore proposta innovativa è l'applicazione di modelli previsionali dell'espansione urbana basati su Automi Cellulari e Regressione Logistica Multinomiale, utili alla simulazione gli scenari futuri di espansione urbana in relazione ad specifiche ipotesi formulate ex-ante su natura e l'intensità dei

principali fattori fisici e sociali (drivers) che la influenzano. Tali applicazioni possono utilemente informare il processo di formazione delle politiche regionali (da quelle settoriali a quelle di sviluppo socio-economico) secondo un approccio espressamente place-based che espliciti i livelli di sostenibilità attesi.

Le elaborazioni proposte riguardano l'intero territorio della Regione Basilicata con specifici approfondimenti su casi studio a scale di maggior dettaglio.

Durante l'attività di ricerca sono state sviluppate utili forme di coordinamento con FARBAS e con il gruppo di ricerca del CNR-IMAA impegnati su WP condivisi, mentre è mancata l'interazione con gli altri gruppi di ricerca, identificati in fase di avvio di progetto, che avrebbero fornito specifiche analisi tematiche. Il risultato che in questo documento viene proposto ha carattere comprensivo e risponde a tutte le domande di ricerca previste nell'accordo di collaborazione SI-UNIBAS – FARBAS.

La complessità delle tematiche, la necessità di integrare informazioni e analisi previste dal progetto in fase iniziale ma non sviluppate per assenza di risorse adeguate, le rilevanze delle osservazioni che già in questo rapporto vengono espresse in merito alle istanze di sostenibilità dello sviluppo del territorio regionale e che con maggiore intensità dovranno essere considerate all'interno degli imminenti processi di investimento pubblico legati all'attuazione del PNRR, rimarcano l'opportunità di proseguire le attività di ricerca finora svolte rafforzando la dimensione interdisciplinare. Sarà opportuno in futuro precisare settori e contesti prioritari per formare strumenti di monitoraggio dei processi di trasformazione dell'uso del territorio robusti sul piano scientifico/tecnologico, accurati in relazione alle scale interpretative richieste dalle politiche e dai progetti di sviluppo, efficienti nella lettura della sostenibilità dei processi.

La struttura del rapporto riprende l'articolazione dei Workpackage del progetto MEV-CSU ed illustra i risultati della ricerca condotta dall'Università degli Studi della Basilicata.

WP1 - Analisi dell'evoluzione del sistema insediativo e previsioni di sviluppo delle aree urbane

Il WP1, di cui è responsabile la Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata, è finalizzato all'analisi dell'evoluzione del sistema insediativo a livello regionale mediante analisi condotte in ambiente GIS e finalizzate all'integrazione di tutti i dataset e gli strati informativi disponibili.

Le fonti di dati utilizzate sono:

- le banche dati geo-topografiche disponibili mediante geo-portale Regionale (RSDI Regione Basilicata);
- le ortofoto del geo-portale del Ministero dell'Ambiente;
- le carte IGM a scala 1/25000 degli anni '50.

Il sistema insediativo è stato analizzato prendendo in considerazione le seguenti fonti di dati:

- la banca dati geo-topografica regionale (Regional Spatial Data Infrastructure -RSDI- Regione Basilicata, <http://rsdi.regione.basilicata.it/>),
- le ortofoto del geo-portale nazionale del Ministero dell'Ambiente,
- la cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM).

La dimensione temporale dell'analisi, derivante dalla disponibilità delle fonti di dati sopra citate, ha portato all'identificazione di sei fasi temporali: 1950–1989–1998–2006–2013–2017.

L'analisi è stata sviluppata a partire dagli anni '50, periodo di maggiore crescita economica e demografica per il territorio italiano, che anche in Basilicata ha comportato un incremento del fabbisogno di residenzialità con la conseguente espansione dei nuclei urbani preesistenti e la realizzazione di estese aree industriali dislocate per lo più nelle zone di fondovalle, spesso distanti dai centri abitati.

Il riferimento per le analisi spaziali delle componenti antropiche è stato costituito dalla cartografia regionale (scala 1:5000) aggiornata al 2013, che ha fornito in formato vettoriale una prima immagine dell'edificato nel territorio lucano. Partendo da questa banca-dati, si è proceduto a ritroso confrontando queste informazioni con la cartografia e le ortofoto precedenti. Tale confronto ha permesso di ricostruire la serie temporale e spaziale basandosi sui rilievi aereo-fotogrammetrici rispettivamente del 2006, 1998/2000, e 1988/1989. L'ultimo step indietro nel tempo, ha confrontato il data base vettoriale con le cartografie in scala 1:25.000 prodotte dall'IGM negli anni Cinquanta.

Sebbene tale metodologia non sia esente da alcuni limiti (tra cui la perdita di dati riguardanti aumenti di volumetrie, l'errore dovuto alla differenza delle basi cartografiche, della loro scala di acquisizione e di rappresentazione, dell'accuratezza delle diverse tecniche di rilievo utilizzate), ha consentito di

integrare più fonti di dati al fine di ottenere un quadro dettagliato dell'evoluzione spazio-temporale degli insediamenti antropici nell'intero territorio regionale.

Alle componenti insediative tradizionali, negli ultimi anni se ne sono aggiunte ulteriori legate a nuove esigenze di trasformazione territoriale. A seguito delle sfide globali sui cambiamenti climatici e del relativo quadro di accordi internazionali sulla riduzione delle emissioni di CO₂, infatti, è mersa la necessità di raggiungere prefissati target di produzione elettrica da fonti rinnovabili. Le Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) rappresentano una componente importante del pacchetto di soluzioni adottate dagli operatori pubblici e privati per affrontare le problematiche del cambiamento climatico, guidando lo sviluppo verso un'economia a basse emissioni di carbonio e verso principi di sostenibilità a livello globale. Se però alla scala locale si pensa agli impianti FER quali una nuova componente insediativa, è possibile monitorarne lo sviluppo, la diffusione e le modalità di insediamento attraverso metriche già consolidate per l'espansione urbana. Nel caso della Regione Basilicata, l'applicazione di questo approccio evidenzia delle criticità in quanto il perseguimento di obiettivi di sostenibilità globale, comporta il detrimento di valori ambientali locali, producendo effetti su diverse componenti della matrice territoriale: cambiamento d'uso del suolo, occupazione del suolo, frammentazione degli habitat naturali, impatto visivo sulle componenti del paesaggio, cambiamento del microclima e della luminosità da riflessione diretta della luce solare (per i sistemi solari).

Alla luce di ciò, il presente progetto di ricerca ha inteso investigare ed approfondire le dinamiche di espansione antropica legata alle singole componenti insediative: edifici (residenziali, industriali e altri usi), fonti di energia rinnovabile tra cui impianti solari ed eolici, pozzi di idrocarburi e infrastrutture stradali.

Espansione urbana

La popolazione della Basilicata rappresenta lo 0,9% del totale della popolazione italiana e il 2,7% degli abitanti del Sud Italia. Con 56 abitanti per km² è la penultima regione italiana, seguita solo dalla Valle d'Aosta con 39 abitanti per kmq (dati del 15° censimento nazionale dell'Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT - 2011). La popolazione residente ammonta a 567.000 abitanti, distribuiti tra i due territori provinciali di Potenza (368.251 abitanti) e Matera (198.867 abitanti) per un totale di 131 comuni.

Tabella 1 - Confronto tra l'evoluzione dell'insediamento ad uso residenziale e il trend demografico nel periodo 1950-2018

Anno	Popolazione [n]	Variazione [%]	Edifici residenziali [n]	Variazione [%]
1950	627,586	nd	117,687	nd
1989	610,186	-2.7	238,603	102.7
1998	597,468	-2.1	269,019	12.7
2006	591,338	-1.0	285,072	6.0
2013	578,391	-2.2	297,810	4.5
2018	567,118	-1.9	302,010	1.4

La tabella mostra che non c'è coerenza tra il trend demografico, negativo dagli anni '80, e lo sviluppo dell'insediamento urbano misurato in termini di numero di edifici residenziali, che risulta invece in costante aumento.

Il fenomeno della crescita urbana assume ulteriori connotazioni in termini di consumo di suolo pro capite. Nonostante la Basilicata sia infatti caratterizzata da una bassa densità insediativa e da un ambiente prevalentemente rurale, il rapporto annuale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) pubblicato nel 2019 riporta una percentuale di suolo consumato in Basilicata pari al 3,15% della superficie regionale. Tale dato corrisponde ad un incremento del consumo di suolo pro capite tra il 2018 e il 2019 di 1,6 mq per abitante, pari al doppio della media nazionale (pari a 0,86 mq per abitante).

Questo consumo di suolo, con conseguente espansione delle aree urbane e rurali, è avvenuto secondo dinamiche di trasformazione tipiche dello sprinkling urbano (Saganeiti et al., 2018a), fenomeno caratteristico delle aree a bassa densità insediativa, e tipico di piccoli agglomerati urbani che si formano lontani da quelli esistenti dando luogo ad una vera e propria polverizzazione dell'urbanizzato (Romano et al., 2017, 2019a).

Il trend relativo al numero di edifici è positivo per tutte le fasi temporali analizzate. I tassi di crescita variano tra il 13% (1989-1998) all'1% (2013-2018) per gli edifici residenziali; dal 22% al 4% rispettivamente per il 1989-1998 e il 2013-2018 per edifici ad altro uso.

La diminuzione del tasso di crescita per gli edifici residenziali verificatasi negli ultimi decenni, evidenzia come il consumo di suolo sia maggiormente influenzato da altre componenti del sistema insediativo piuttosto che dagli edifici residenziali.

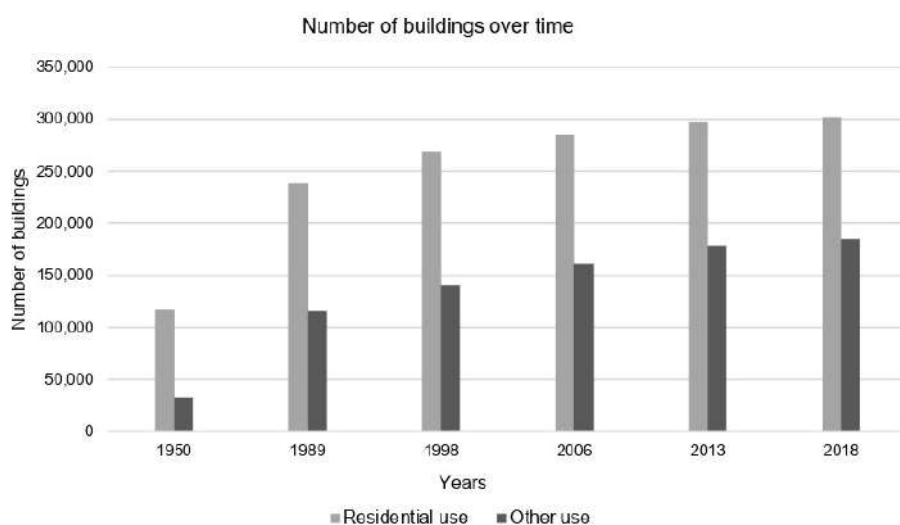


Fig. 1. Confronto tra edifici residenziali e altri usi nelle sei fasi temporali considerate

Poiché la regione Basilicata è caratterizzata da una bassa densità insediativa, si è ritenuto opportuno mettere in relazione la densità di edifici con la densità abitativa al fine di individuare le principali dinamiche di trasformazione del territorio. A tal proposito l'anno 2018 non è stato considerato poiché non ci sono dati ufficiali sull'uso degli edifici per ogni comune (sono disponibili solo dati a livello regionale). La figura che segue mostra le mappe della variazione percentuale delle densità per tre intervalli temporali (1950-1990; 1990-2000 e 2000-2011) per tutti i comuni.

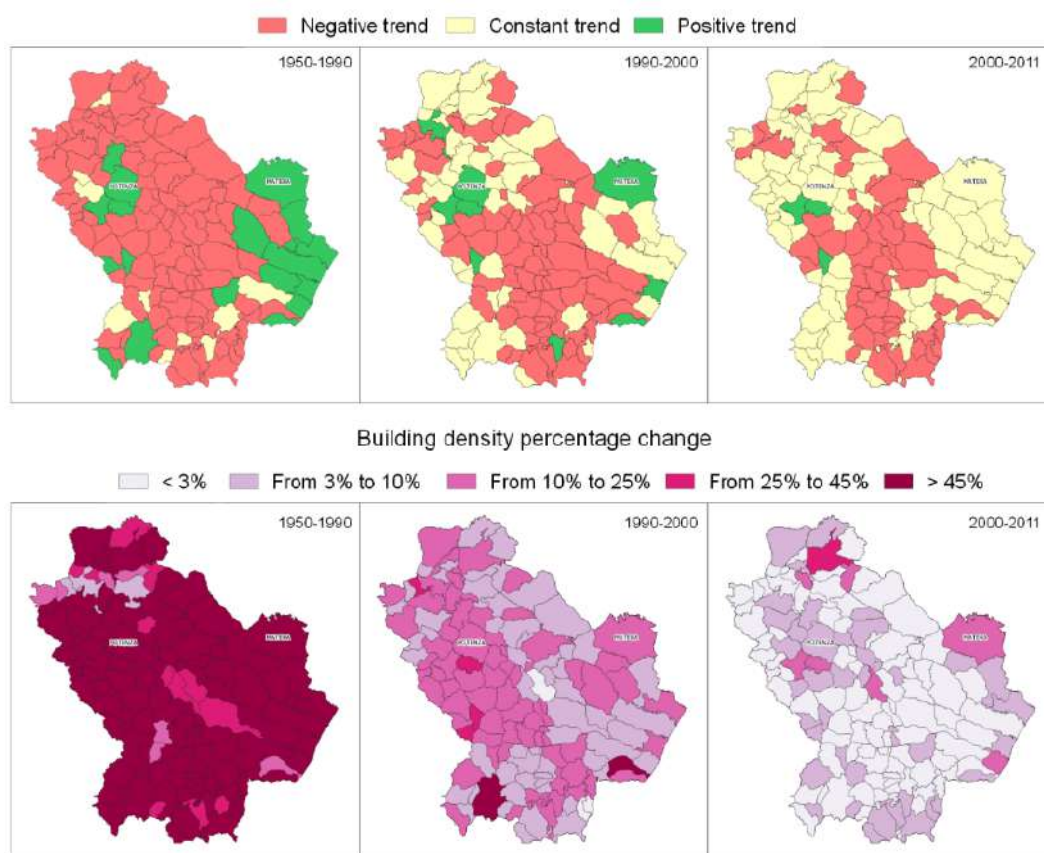


Fig. 2. Variazione della densità di popolazione (in alto) e della densità di edifici (in basso) per ogni comune della regione Basilicata nei tre intervalli temporali indicati

La tabella seguente mostra i risultati raggruppati per l'intera regione e per ciascuna delle fasi temporali considerate. La densità di popolazione assume valori compresi tra 0,63 e 0,56 abitanti per ettaro mentre quella degli edifici è compresa tra 0,12 e 0,30 edifici residenziali per ettaro.

Tabella 2 - Variazione della densità di popolazione e di edifici residenziali nella regione Basilicata

Anno	Popolazione [n]	Edifici residenziali [n]	Densità di popolazione [abitanti/Ha]	Densità di edificio ad uso residenziale [n/Ha]
1950	627,586	117,687	0.63	0.12
1989	610,186	238,603	0.61	0.24
1998	597,468	269,019	0.60	0.27
2006	591,338	285,072	0.59	0.28
2013	578,391	297,810	0.58	0.30
2018	562,869	302,010	0.56	0.30

Nella maggior parte dei comuni, l'espansione degli edifici residenziali è stata completamente sproporzionata rispetto al trend demografico, dimostrando che lo sviluppo degli insediamenti non era dovuto a un reale bisogno di abitazioni (Dotoli et al., 2020; Ieluzzi et al., 2020). Questi risultati mostrano un andamento disgiunto, definito in letteratura come "disaccoppiamento", ben visibile nel grafico che segue.

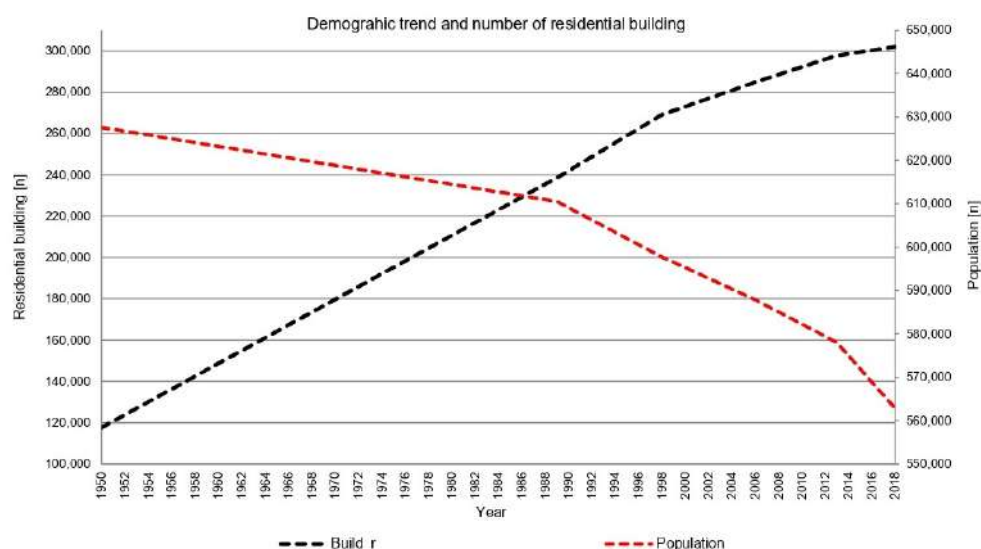


Fig. 3. Confronto tra il numero di edifici residenziali e il trend demografico tra il 1950 e il 2018

L'aumento del numero di edifici residenziali nella regione non risulta attinente alle tendenze demografiche. In particolare, mentre la popolazione residente è diminuita dal 1950 al 2018, il patrimonio edilizio residenziale è aumentato nel tempo.

Il divario tra i dati del 1950 e quelli del 1989 trova giustificazione nel periodo di boom economico e nella ricostruzione post-bellica, in cui lo sviluppo insediativo è derivato da reali esigenze abitative. Al contrario, il consumo di suolo tra il 1989 e il 2013 non è giustificato e sembra essere una risposta ad una cultura abitativa insostenibile che considera il suolo come una risorsa infinita. Questa evidenza permette di considerare anche un'altra ipotesi preliminare: la divergenza tra domanda e offerta di funzione residenziale a livello regionale potrebbe esser legata tanto alla mancanza di un sistema di pianificazione robusto, quanto ad una specifica domanda di nuovi edifici residenziali caratterizzati da standard più elevati nelle dotazioni tecnologiche e architettoniche.

Componenti insediative legate alla produzione energetica da fonti rinnovabili

A partire dai primi anni 2000, con lo sviluppo delle tecnologie per lo sfruttamento delle risorse rinnovabili per la produzione di energia, si è verificato un notevole incremento degli impianti FER. Secondo il Gestore dei Servizi Energetici nazionale (GSE), la Basilicata è la regione italiana con la più alta percentuale di impianti eolici sul territorio nazionale (25%), seguita dalla vicina Puglia (21%) (Saganeiti et al., 2019). Nonostante sia la prima regione in Italia per numero di turbine eoliche, la percentuale di potenza installata è molto bassa. Le aree considerate più adatte alla localizzazione degli aerogeneratori sono quelle del nord della regione, in particolare nell'area del Vulture Alto-Bradano, dove infatti si concentra il maggior numero di turbine eoliche. Il paesaggio regionale è stato intensamente modificato dalle infrastrutture per la produzione di energia rinnovabile. Negli ultimi 5 anni gli impianti eolici regionali sono aumentati di oltre il 223% in termini di numero di turbine, rappresentando così più di 1100 MW di potenza installata. Inoltre, grazie alla presenza di numerose aree favorevolmente esposte alla luce, rispetto alle regioni del centro e del nord Italia, sono stati installati numerosi parchi solari. Questi, pur non generando un consumo diretto di suolo, comportano la realizzazione di ulteriori infrastrutture e, comunque, l'impossibilità per il suolo naturale o seminaturale di svolgere le proprie molteplici funzioni.

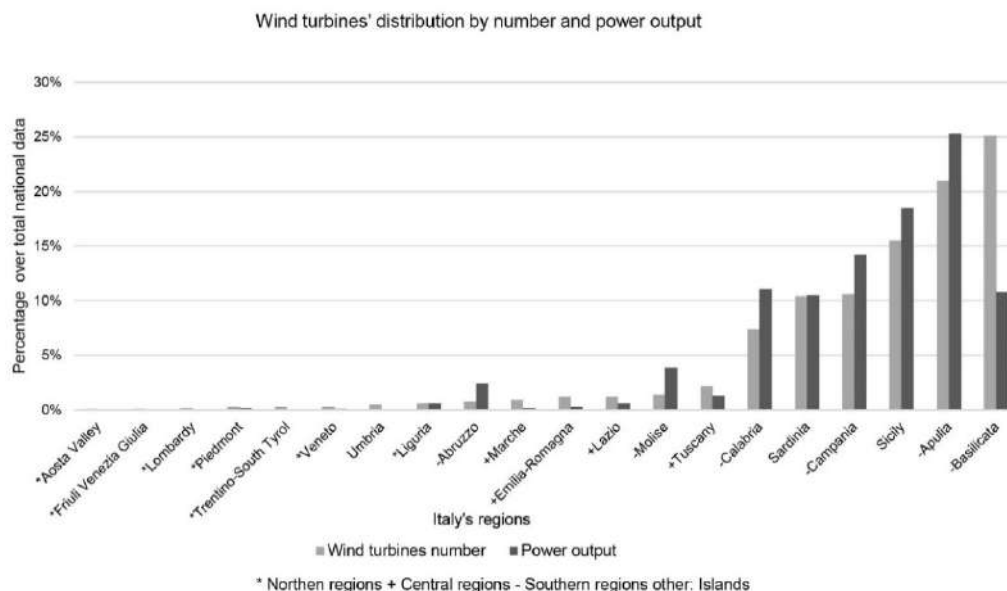


Fig. 4. Distribuzione percentuale degli aerogeneratori per numero e potenza per ogni regione del territorio italiano. Grafico elaborato su dati GSE

La **Fig. 4** mostra per tutte le regioni italiane, le percentuali di potenza prodotta e il numero di aerogeneratori installati. L'intensità e la diffusione delle dinamiche di trasformazione legate al

fenomeno delle FER nella regione Basilicata emergono in modo evidente: mentre per le altre regioni la percentuale di aerogeneratori e la potenza prodotta sono simili, per l'area di studio questa differenza è molto rilevante. È evidente come nella maggior parte del territorio italiano la potenza prodotta sia maggiore del numero di turbine, mentre nelle regioni Basilicata e Toscana avviene il contrario. La disparità di distribuzione tra le regioni del Nord e del Sud è evidente sia in termini di potenza prodotta che di numero di turbine eoliche installate. Le regioni meridionali e le isole, posizionate all'estrema destra del grafico (Campania, Basilicata, Puglia, Calabria e Sardegna e Sicilia) sono quelle con le classi percentuali più alte.

Lo strato relativo agli impianti di produzione energetica rinnovabile è stato costruito attraverso l'integrazione delle diverse fonti informative ufficiali (CTR e GSE) con la digitalizzazione degli impianti mediante rilievi aerofotogrammetrici in tre date (2008 - 2013 - 2018), ortofoto regionali e Google Earth.

Le prime turbine eoliche in Basilicata sono state installate nel 2006 e possono essere identificate solo nel 2008, anno delle prime ortofoto utili disponibili. L'anno 2018 corrisponde alla data delle ultime ortofoto disponibili per l'intera regione.

Per quanto riguarda invece i campi fotovoltaici, gli impianti con potenza superiore a 200 KW sono entrati in funzione nel 2012 e sono identificabili nel 2013, anno delle prime ortofoto utili. Tutti gli impianti solari sono stati installati tra il 2012 e il 2013 sulla base degli incentivi ministeriali per l'energia solare (Decreto Ministeriale - DM 5 luglio 2012).

Il dataset così realizzato include informazioni sulla localizzazione, la potenza di generazione installata e l'anno di installazione per le turbine eoliche in formato puntiforme e in forma poligonale per i parchi solari. Le turbine eoliche sono state classificate in base alla loro capacità di generazione installata in: turbine di piccola, media e grande taglia.

La tabella seguente mostra l'evoluzione di tutte le componenti dello strato FER in termini di numero di installazioni.

RES	Power output [kW]	Class	Number			Total per class
			2008	2013	2018	
RES_w	< 200	Small-scale turbines	165	474	1129	1768
	200 ≤ power < 1000	Medium-scale turbines	32	96	74	202
	≥ 1000	Large-scale turbines	21	65	61	147
RES_s	≥ 200	Photovoltaic on the ground	-	241	-	241

Fig. 5. Classificazione delle turbine eoliche e degli impianti fotovoltaici per potenza. Per ogni fase temporale viene riportato il numero di impianti presenti sul territorio regionale

Poiché lo strato informativo così ottenuto è di tipo puntuale, al fine di valutare l'occupazione di suolo relativa all'installazione degli aerogeneratori, si è considerata una superficie di influenza intorno agli impianti che include nella sua valutazione anche le aree consumate per la realizzazione dei servizi infrastrutturali di accesso agli impianti stessi. L'installazione degli aerogeneratori comporta infatti un'occupazione di suolo superiore alla superficie corrispondente alla somma delle singole piazzole. Per questo motivo, il contributo al consumo di suolo complessivo è stato ipotizzato proporzionale alla potenza energetica installata. I raggi di influenza per ciascuna delle tre taglie degli impianti, sono stati calcolati sulla base di un'interpolazione lineare dei dati ottenuti su un campione rappresentativo di ciascuna classe. In particolare, sono stati identificati raggi di buffer di 15, 25 e 35 metri rispettivamente per le turbine di piccola, media e grande taglia. Il raggio del buffer permette di valutare il terreno consumato da ciascuna turbina eolica.

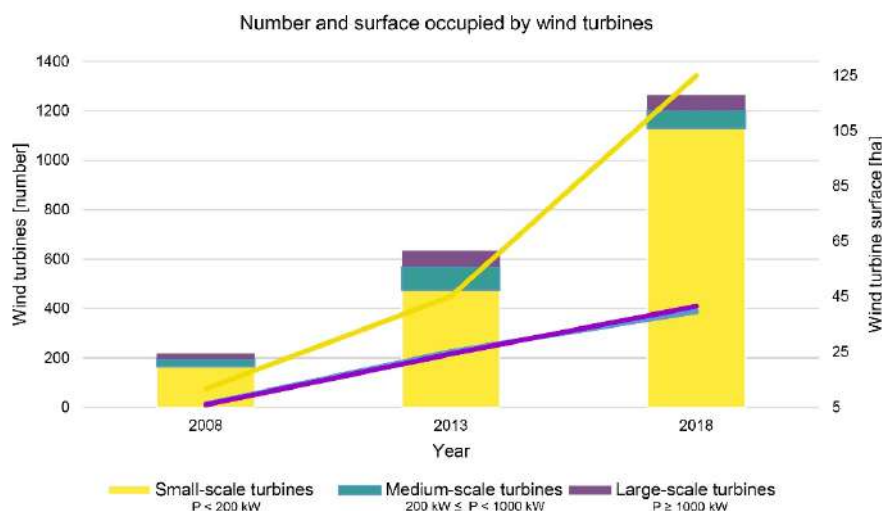


Fig. 6. Andamento del numero di turbine eoliche (istogramma) rispetto all'area occupata in ettari (linee) per ogni anno e per ogni classe di potenza.

Lo sviluppo delle attività di perforazione e il consumo di suolo associato

Una componente peculiare dell'insediamento energetico nel territorio della Regione Basilicata è quella dell'estrazione (pozzi) e della lavorazione (industrie petrolifere) di petrolio e gas. In Basilicata le prime trivellazioni a scopo di studio sono state effettuate negli anni '40 nel territorio della Val d'Agri, e sono state quasi completamente interrotte durante la seconda guerra mondiale. Dal dopoguerra in poi l'attività di perforazione è aumentata nel territorio di Matera, lungo la media e bassa

Val Basento, oltre che nella Val d'Agri e nel Vulture Alto-Bradano. Il giacimento di idrocarburi della Val d'Agri è attualmente riconosciuto come il più grande campo onshore d'Europa con una produzione giornaliera di oltre 82600 barili di petrolio e quasi 4 milioni di m³ di gas. Oltre ai pozzi di ispezione, monitoraggio, estrazione e reiniezione, ci sono anche due centri di lavorazione degli idrocarburi, uno è operativo dal 2001 e l'altro di più recente realizzazione. Questi coprono un'area totale di oltre 500 ettari e si prevede che contribuiranno all'incremento della produzione nazionale interna di petrolio del 50%. Allo stato attuale nella regione Basilicata si contano 120 pozzi di idrocarburi.

Lo strato informativo relativo alle aree occupate da attività legate all'estrazione petrolifera, è stato costruito partendo dalla spazializzazione dei pozzi di cui erano disponibili le coordinate. Tale dataset includeva anche la data di realizzazione dell'opera, consentendo quindi una ricostruzione del trend dal 1950 al 2018. Una volta geolocalizzati, la digitalizzazione su ortofoto e il confronto con i dataset della CTR, hanno consentito di tracciare l'andamento delle superfici artificializzate.

Si riportano nella tabella che segue i dati relativi alle superfici artificiali dovute a componenti insediative legate alla produzione energetica da fonti rinnovabili e all'estrazione petrolifera per ciascun comune della Basilicata (Scorza et al., 2020c).

Tabella 3 Sintesi dei dati sul consumo di suolo dovuto alle componenti energetiche

COMUNE	Sup. Artif. Eolico (Ha)	Sup. Artif. Idrocarburi (Ha)	Sup. Artif. Fotovoltaico (Ha)	Totale (Ha)
Abriola	0,00	1,57	2,49	4,07
Accettura	0,00	0,00	0,00	0,00
Acerenza	0,21	0,54	0,00	0,74
Albano di Lucania	0,00	0,00	0,00	0,00
Aliano	0,00	0,00	4,10	4,10
Anzi	1,58	0,00	9,63	11,22
Armento	1,04	0,11	0,00	1,15
Atella	3,64	0,00	10,32	13,96
Avigliano	16,60	0,10	14,34	31,04
Balvano	7,55	0,00	0,00	7,55
Banzi	2,73	0,00	0,00	2,73
Baragiano	0,00	0,00	0,00	0,00
Barile	3,46	0,00	0,00	3,46
Bella	3,62	0,00	10,28	13,89
Bernalda	0,00	0,00	0,00	0,00
Brienza	3,10	0,00	10,95	14,04
Brindisi di Montagna	4,12	1,20	0,00	5,32
Calciano	0,00	1,57	0,00	1,57
Calvello	1,97	8,41	3,33	13,71

Calvera	0,00	0,00	0,00	0,00
Campomaggiore	2,65	0,00	0,00	2,65
Cancellara	6,23	0,00	0,00	6,23
Carbone	0,00	0,00	0,00	0,00
Castelgrande	0,61	0,00	0,00	0,61
Castelluccio Inferiore	0,00	0,00	2,46	2,46
Castelluccio Superiore	0,00	0,00	0,00	0,00
Castelmezzano	0,00	0,00	0,00	0,00
Castelsaraceno	0,14	0,00	0,00	0,14
Castronuovo di Sant'Andrea	0,00	0,00	0,00	0,00
Cersosimo	0,00	0,00	0,00	0,00
Chiaromonte	0,00	0,00	0,00	0,00
Cirigliano	1,04	0,00	0,00	1,04
Colobrano	4,52	0,00	0,00	4,52
Corleto Perticara	2,75	9,41	2,37	14,52
Craco	0,00	0,00	3,12	3,12
Episcopia	0,00	0,00	0,00	0,00
Fardella	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrandina	0,59	15,60	44,03	60,22
Filiano	0,90	0,00	3,55	4,45
Forenza	5,59	0,00	0,78	6,37
Francavilla in Sinni	0,00	0,00	0,00	0,00
Gallicchio	0,00	0,00	0,00	0,00
Garaguso	0,21	3,60	0,00	3,81
Genzano di Lucania	1,49	0,56	0,00	2,05
Ginestra	0,56	0,00	0,00	0,56
Gorgoglione	3,05	2,28	0,00	5,33
Grassano	0,00	0,16	0,00	0,16
Grottole	2,60	0,31	2,48	5,39
Grumento Nova	0,00	4,42	0,00	4,42
Guardia Perticara	1,54	0,00	2,07	3,61
Irsina	0,00	1,03	32,99	34,02
Lagonegro	0,00	0,00	0,00	0,00
Latronico	0,58	0,00	0,00	0,58
Laurenzana	5,52	0,00	3,16	8,68
Lauria	4,59	0,00	0,00	4,59
Lavello	2,55	0,72	0,00	3,26
Maratea	0,00	0,00	0,00	0,00
Marsico Nuovo	0,00	1,54	0,00	1,54
Marsicovetere	0,00	1,81	0,00	1,81
Maschito	2,07	0,00	0,00	2,07
Matera	3,99	0,00	45,89	49,87
Melfi	18,61	1,39	18,93	38,93
Miglionico	0,00	0,00	0,00	0,00
Missanello	0,00	0,00	0,00	0,00

Moliterno	0,00	0,87	0,00	0,87
Montalbano Jonico	0,00	0,00	0,00	0,00
Montemilone	0,90	0,00	0,00	0,90
Montemurro	3,79	1,13	0,00	4,92
Montescaglioso	0,98	0,00	8,85	9,83
Muro Lucano	0,76	0,00	0,00	0,76
Nemoli	0,00	0,00	0,00	0,00
Noepoli	0,00	0,00	0,00	0,00
Nova Siri	0,07	0,00	0,53	0,60
Oliveto Lucano	0,00	0,00	0,00	0,00
Oppido Lucano	3,35	0,00	0,00	3,35
Palazzo San Gervasio	4,89	0,00	8,71	13,60
Paterno	0,00	0,00	0,00	0,00
Pescopagano	0,40	0,00	6,07	6,47
Picerno	6,06	0,21	9,79	16,06
Pietragalla	7,99	0,00	3,78	11,77
Pietrapertosa	0,00	0,00	0,00	0,00
Pignola	0,00	0,00	0,00	0,00
Pisticci	0,00	15,73	36,62	52,36
Policoro	0,00	3,18	7,54	10,72
Pomarico	3,92	0,80	18,68	23,40
Potenza	23,00	0,00	11,60	34,59
Rapolla	0,07	0,00	0,00	0,07
Rapone	0,64	0,00	0,00	0,64
Rionero in Vulture	0,21	0,00	0,00	0,21
Ripacandida	8,20	0,00	0,00	8,20
Rivello	0,00	0,00	0,00	0,00
Roccanova	0,00	0,00	0,00	0,00
Rotonda	0,00	0,00	0,00	0,00
Rotondella	2,33	1,66	0,00	3,99
Ruoti	3,58	0,00	0,00	3,58
Ruvo del Monte	0,00	0,00	1,48	1,48
Salandra	0,00	2,52	7,15	9,68
San Chirico Nuovo	0,07	0,00	0,00	0,07
San Chirico Raparo	0,00	0,00	0,00	0,00
San Costantino Albanese	0,00	0,00	0,00	0,00
San Fele	1,03	2,18	0,01	3,22
San Giorgio Lucano	0,00	0,00	13,20	13,20
San Martino d'Agri	0,00	0,00	0,00	0,00
San Mauro Forte	0,00	0,80	10,86	11,65
San Paolo Albanese	0,00	0,00	0,00	0,00
San Severino Lucano	0,00	0,00	0,00	0,00
Sant'Angelo Le Fratte	0,00	0,00	0,00	0,00
Sant'Arcangelo	0,00	0,00	17,46	17,46
Sarconi	0,00	0,00	0,00	0,00

Sasso di Castalda	0,63	0,18	0,00	0,80
Satriano di Lucania	1,68	0,00	45,69	47,37
Savoia di Lucania	3,75	0,94	0,00	4,68
Scanzano Jonico	0,00	1,45	12,39	13,84
Senise	0,14	0,00	6,76	6,90
Spinoso	0,00	0,00	0,00	0,00
Stigliano	0,00	0,00	30,86	30,86
Teana	0,14	0,00	0,00	0,14
Terranova di Pollino	0,00	0,00	0,00	0,00
Tito	0,99	0,00	38,36	39,35
Tolve	1,15	2,88	0,00	4,03
Tramutola	0,00	0,80	0,00	0,80
Trecchina	0,00	0,00	0,00	0,00
Tricarico	5,52	1,83	32,80	40,15
Trivigno	1,41	0,00	0,00	1,41
Tursi	0,00	0,46	2,10	2,56
Vaglio Basilicata	4,49	0,00	0,74	5,22
Valsinni	0,19	0,00	0,00	0,19
Venosa	3,13	0,00	0,00	3,13
Vietri di Potenza	0,33	0,00	0,00	0,33
Viggianello	0,00	0,00	0,00	0,00
Viggiano	0,14	21,69	0,00	21,83
TOTALE	217,93	115,61	559,31	892,86

Componenti insediative vecchie e nuove: il trend del consumo di suolo in Basilicata

Nel grafico che segue si riporta il confronto tra l'espansione delle superfici artificiali, classificate per macro componenti del sistema insediativo, e l'andamento demografico dal 1940 al 2018 per l'intero territorio della regione Basilicata. L'asse verticale principale riporta i dati delle superfici artificiali (Ha) espressi in scala logaritmica in base 10, mentre l'asse verticale secondario riporta la popolazione residente espressa in numero di abitanti.

Le differenze tra le componenti antropiche e l'andamento demografico sono evidenti: le prime hanno tutte una linea di pendenza positiva mentre la curva di crescita della popolazione mostra un andamento altalenante. Infatti, il trend demografico ha un andamento positivo fino al 1962, poi diminuisce fino al 1972, è stabile fino al 1992 e diminuisce fino ad oggi.

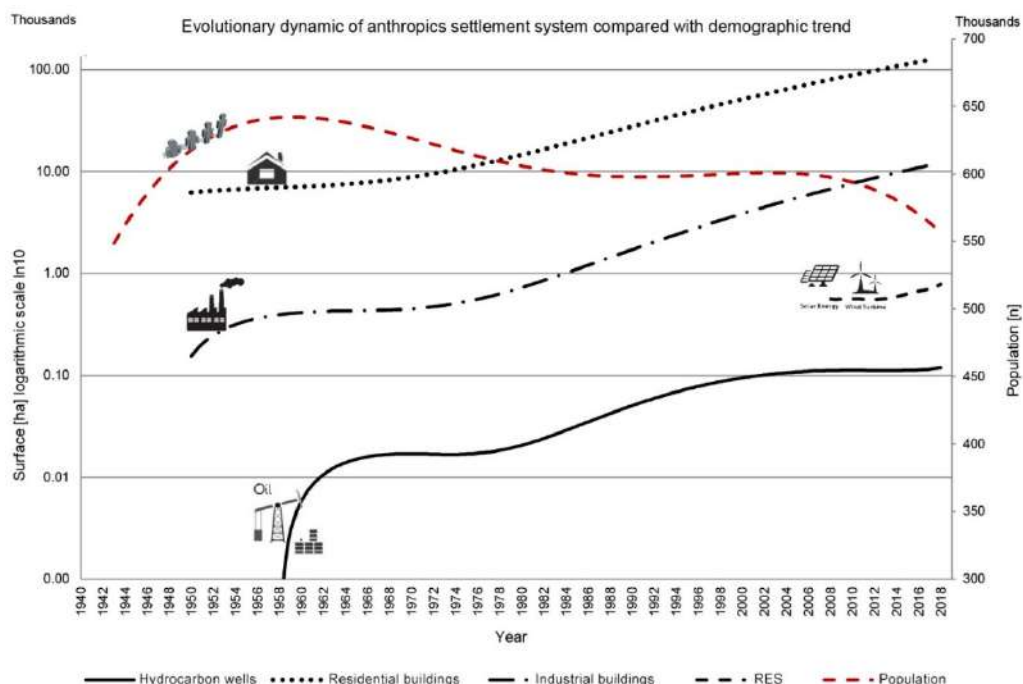


Fig. 7. Confronto tra l'andamento delle componenti insediativo e il trend demografico della Regione Basilicata

L'espansione delle aree urbane a seguito della costruzione di edifici si è articolata in due fasi principali: la prima (1950-1990) dovuta ad una reale esigenza residenziale e caratterizzata dall'espansione degli aggregati urbani esistenti; la seconda (dal 1990 in poi) caratterizzata da prevalenti trasformazioni periurbane e rurali (ad uso prevalentemente residenziale) con conseguente aumento della frammentazione territoriale.

Insieme alle componenti tradizionali del sistema insediativo (edilizia residenziale e industriale), i pozzi per la produzione di idrocarburi hanno visto un continuo incremento a partire dagli anni '50 e dal 2008 al 2018 c'è stato un netto aumento delle superfici occupate da impianti per la produzione energetica rinnovabile.

Considerando anche le turbine eoliche e i parchi fotovoltaici quali nuove componenti dell'insediamento territoriale, le analisi condotte dimostrano che l'assenza di alcun regime o regolamentazione relativa al loro asset spaziale, ha prodotto impatti territoriali e ambientali che sfuggono ad ogni sistema di monitoraggio del consumo di suolo (Scorza et al., 2020b). Gli strumenti urbanistici attuali non si dimostrano sufficientemente adattivi rispetto all'emergere di nuove componenti insediative che, come nel caso delle energie rinnovabili, emergono da istanze globali che però a livello locale si frammentano in piani e politiche di settore. Una misura rappresentativa

dell'inefficienza dell'attuale quadro pianificatorio è l'evoluzione della superficie pro-capite rispetto a ciascuna delle suddette componenti insediative.

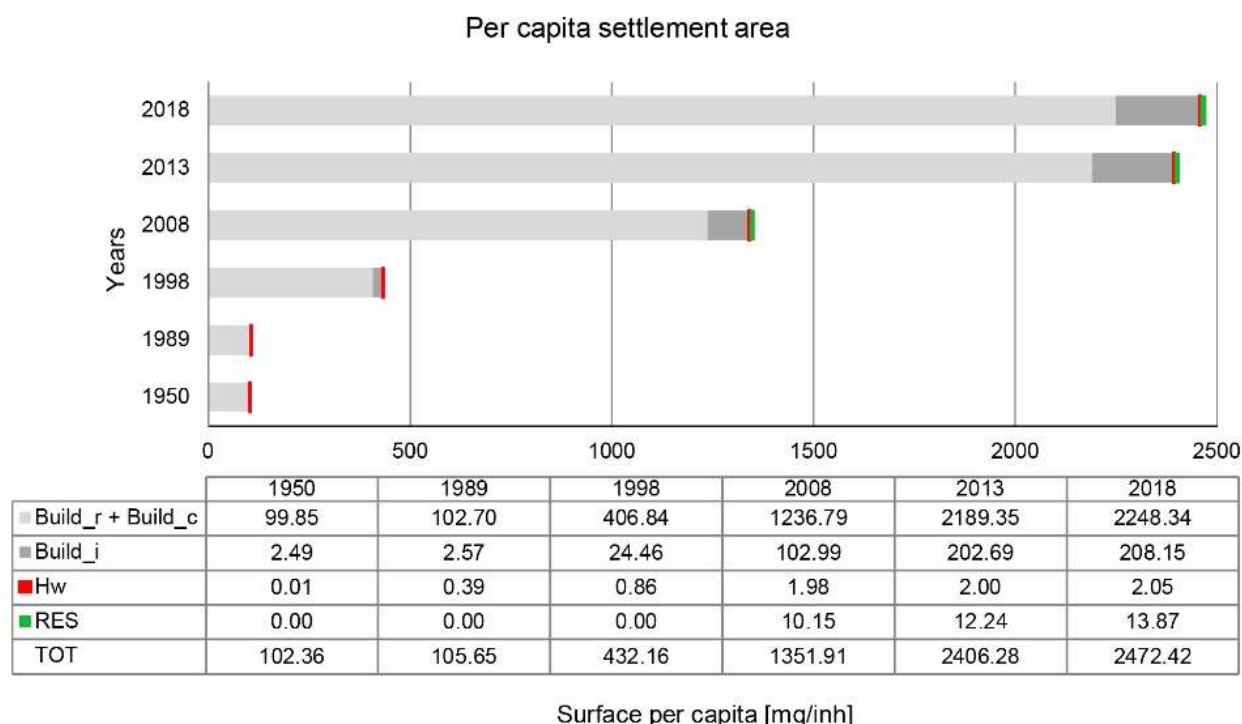


Fig. 8. Evoluzione delle superfici pro-capite rispetto a ciascuna delle componenti insediative considerate

La superficie totale pro capite trasformata varia da circa 102 mq/ab a oltre 2470 mq/ab in tutto il periodo considerato. Questa crescita è dovuta sia all'aumento del numero di edifici che alla diminuzione della popolazione che ha avuto inizio dagli anni '70. L'immagine mostra inoltre che nel tempo sono aumentate in numero e in intensità le componenti che influiscono sul complesso fenomeno del consumo di suolo.

La Frammentazione territoriale nella Regione Basilicata: una valutazione integrata delle componenti insediative

Per calcolare la frammentazione del sistema insediativo generata dall'insieme delle componenti sopra descritte, si è adottato l'indice di sprinkling (SPX) (Romano et al., 2019a) che analizza l'aumento del numero di aggregati e la loro forma secondo un approccio geometrico.

Assumendo la forma circolare come la più compatta possibile per un aggregato urbano, l'indice si fonda essenzialmente sul calcolo delle distanze tra le diverse aree urbanizzate ed è espresso con la seguente formula:

$$SPX = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x^*)^2 + (y_i - y^*)^2}}{R}$$

dove x_i e y_i sono le coordinate dei centroidi di ciascun poligono delle aree urbanizzate presenti in ogni cella di 1 km² della griglia; x^* e y^* sono le coordinate del centroide del nucleo maggiore. R è il raggio dell'area circolare di dimensioni analoghe a quelle della somma delle aree urbanizzate presenti per ogni cella.

SPX ha un range di valori ammissibili che spazia da 0 a $+\infty$: all'aumentare dell'indice aumenta il grado di frammentazione di un territorio. Il valore nullo rappresenta la situazione ottimale, difficilmente riscontrabile in realtà, ovvero un'urbanizzazione sviluppatasi secondo la forma della circonferenza. Le variazioni dell'indice nel tempo sono significative, dunque, di diversi processi di crescita delle superfici antropizzate: frammentazione o compattazione (densificazione).

L'indice SPX in questo caso è stato calcolato considerando tutte le componenti del sistema insediativo per un totale di 6 fasi temporali: 1950, 1989 e 1998 considerando le componenti dell'edificato e delle aree di estrazione degli idrocarburi per ciascuno dei tre anni; il 2008, 2013 e 2018 considerando in aggiunta alle precedenti anche gli impianti per la produzione energetica da fonti rinnovabili.

Per confrontare i cambiamenti avvenuti nei diversi intervalli temporali, la distribuzione dei set di dati è stata analizzata su un grafico che rappresenta la frequenza di osservazione per ciascuno dei valori assunti dall'indice SPX. Osservando la distribuzione dei valori negli anni, emergono subito alcune evidenze. Nell'intero periodo considerato (1950-2018), il grado di frammentazione aumenta complessivamente, portando ad un aumento del valore mediano di SPX da 20,3 a 31,4 con un conseguente aumento della frammentazione territoriale.

Considerando tutti i cambiamenti avvenuti durante l'intero periodo, è possibile distinguere le aree in cui sono avvenute le due dinamiche di trasformazione prevalenti (frammentazione o compattazione).

I fenomeni di compattazione più evidenti si sono verificati lungo i rilievi appenninici e in corrispondenza dei principali insediamenti. La frammentazione è invece prevalente lungo la valle del Bradano e nella parte orientale della regione. Particolarmente intensa è la frammentazione osservata lungo tutta la costa ionica, soprattutto in corrispondenza dei comuni più grandi.

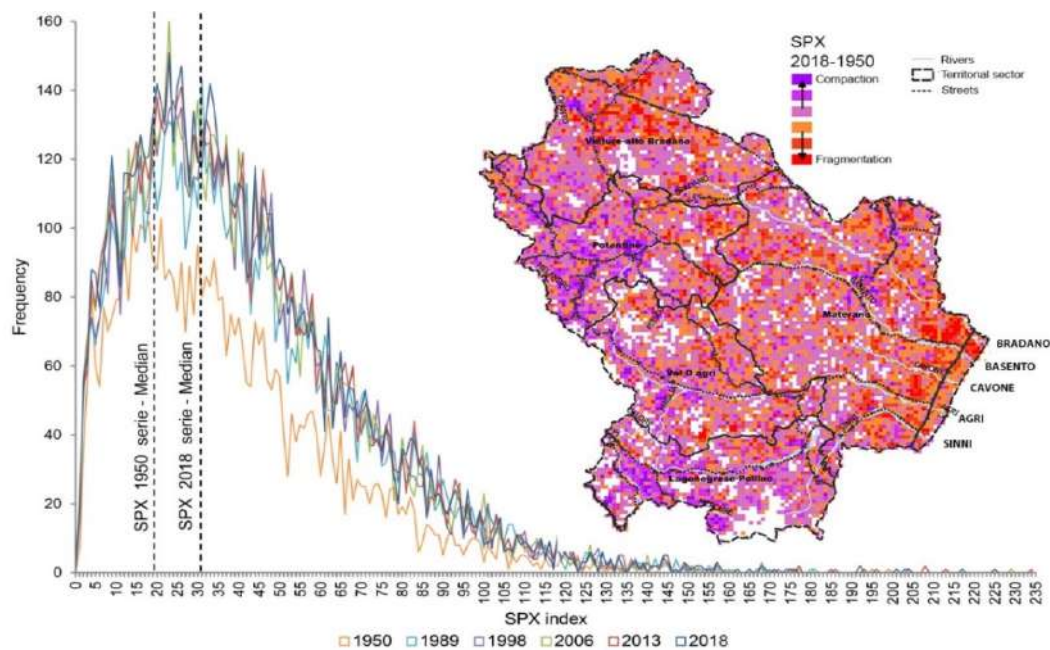


Fig. 9. Frammentazione VS Compattazione: Analisi dell'insediamento antropico in Basilicata

La seconda considerazione riguarda le differenze più rilevanti che si presentano nella prima fase temporale (1950-1989). La distribuzione spaziale dell'indice SPX suggerisce diverse dinamiche che caratterizzano l'evoluzione del sistema antropico (Scorza et al., 2020c). In accordo con i noti tratti che caratterizzano il periodo di ripresa economica, le mappe mostrano un marcato aumento della frammentazione lungo la costa ionica dovuto all'aumento della domanda di insediamento e alla conseguente costruzione di nuove abitazioni. Sono ben visibili anche gli effetti dell'intensa industrializzazione che si è verificata in questo primo periodo e che ha favorito le principali reti viarie lungo le maggiori valli fluviali per la realizzazione di poli produttivi. Il fenomeno dell'antropizzazione lungo la Valle del Basento, sede di un'importante area industriale, ne è un esempio evidente. Un contributo all'alto grado di frammentazione nella media e bassa Valle del Basento viene anche dalla costruzione delle prime infrastrutture di supporto all'industria petrolifera.

Tra il 1989 e il 1998 l'attività edilizia è avvenuta senza aggravio in termini di frammentazione: l'indice SPX è diminuito perché le nuove costruzioni hanno ampliato gli aggregati preesistenti fino a congiungere quelli che prima erano aggregati differenti. Nella parte settentrionale della regione si registra un incremento del numero di aggregati relativi all'edilizia residenziale, dovuto in parte all'abbandono dei centri storici fortemente danneggiati dal terremoto del 1980 e alla conseguente costruzione di nuovi centri residenziali.

Le aree di estrazione petrolifera precedentemente individuate lungo la Valle del Basento sono oggetto di nuove perforazioni che contribuiscono all'aumento dell'indice SPX anche in zone precedentemente naturali o seminaturali. Nello stesso periodo avvengono rilevanti trasformazioni territoriali nel settore della Val d'Agri, dove un'area di circa 30 Ha viene occupata da infrastrutture collegate a nuovi pozzi di idrocarburi. Nella maggior parte dei casi, queste trasformazioni avvengono all'interno di un contesto rurale piuttosto frammentato che, a causa della dimensione significativa di queste superfici e infrastrutture, diventa più compatto. A tal proposito, è necessario fare una precisazione: nella valutazione del grado di frammentazione degli habitat non si considera il contributo derivante dalla costruzione della rete stradale, non incluso nell'indice SPX.

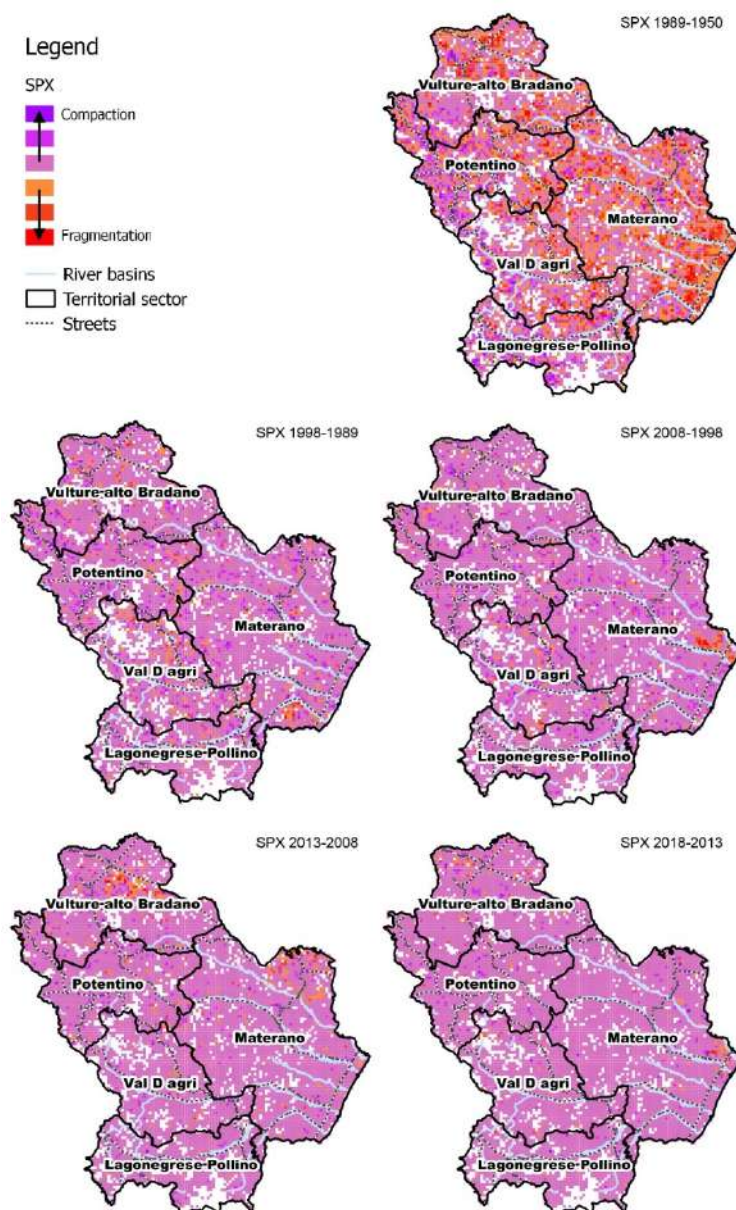


Fig. 10. Variazione dell'indice SPX nelle fasi temporali considerate

Infatti, in alcuni casi, gli impianti di perforazione sono stati realizzati in un contesto naturale in cui, in assenza di superfici precedentemente antropizzate, l'attività edilizia corrispondente ad un singolo nucleo e/o aggregato risulta in un valore SPX pari a zero. Tuttavia, per valutare il grado totale di frammentazione del paesaggio, il contributo della strada sarebbe significativo.

Nel periodo 1998-2006 non ci sono stati cambiamenti sostanziali nel contesto regionale. Le dinamiche sopra descritte non portano ad un aumento dell'SPX nell'area della Val d'Agri nonostante il consumo di suolo dovuto alle aree di estrazione petrolifera sia aumentato di oltre 10 Ha. Un aumento

significativo del grado di frammentazione si osserva lungo la costa ionica, dove importanti investimenti nel settore turistico-ricettivo hanno portato allo sviluppo di nuove strutture, sorte in un contesto prevalentemente agricolo (Saganeiti et al., 2021).

Dal 2008 al 2013 si notano notevoli trasformazioni nelle vicine aree di Matera e Vulture-Alto Bradano. Il comune di Matera mostra un aumento della superficie occupata da edifici residenziali da 1125 ha a oltre 1341 ha, oltre a circa 66 Ha in cui sono stati realizzati impianti FER di grande e piccola taglia. Questo porta ad un aumento significativo dell'indice di frammentazione.

Negli ultimi cinque anni (2013-2018), i cambiamenti nella frammentazione sono quasi interamente attribuibili alla diffusa installazione di nuovi sistemi FER (Saganeiti et al., 2019). Questo è particolarmente evidente nella parte settentrionale della regione, dove c'è un aumento molto maggiore nelle aree industriali-produttive rispetto alle altre. Una situazione simile si osserva nel settore del Vulture Alto-Bradano, nello specifico nel comune di Banzi, dove l'installazione di 26 nuovi impianti eolici porta ad un aumento significativo della frammentazione territoriale.

Analizzando l'intero contesto regionale, è possibile osservare un aumento degli insediamenti antropici lungo la fascia ionica (settore territoriale del Materano) con un rilevante incremento delle nuove costruzioni. Queste nuove costruzioni, spinte dallo sviluppo del settore turistico, comportano diverse variazioni in termini di frammentazione territoriale. Un altro caso particolare è quello del comune di Matera che, a seguito della designazione a capitale europea della cultura nel 2019, ha subito un notevole sviluppo in termini di strutture turistiche e ricettive. Questo ha portato ad un aumento delle aree urbane di oltre 80 Ha, a cui si aggiungono altri 3 Ha per nuove installazioni FER. Ancora una volta, dunque, anche a fronte di un'urbanizzazione che segue il modello della città compatta, si registra un aumento della frammentazione dovuto all'installazione di aerogeneratori per la produzione elettrica.

Frammentazione: il ruolo delle infrastrutture stradali

Lo strato delle infrastrutture stradali è stato costruito per 4 fasi temporali dal 1989 al 2018 utilizzando la CTR del 2013 come dataset di partenza e procedendo per sottrazione andando a ritroso nel tempo e confrontando quanto presente con le ortofoto storiche. Allo stesso modo, si è provveduto ad integrare il vettoriale tramite sovrapposizione con l'ortofoto al 2018 e successiva digitalizzazione delle infrastrutture di nuova realizzazione. Alla fine sono state individuate le 4 fasi temporali del 1989, 2006, 2013 e 2018.

L'evoluzione della rete delle infrastrutture di trasporto ed il suo impatto a livello territoriale è stata valutata mediante l'indice IFI che restituisce un valore significativo del grado di frammentazione delle infrastrutture.

L'IFI si calcola mediante la formula:

$$IFI = \frac{\sum_i^n (l_i \times o_i)}{A_u}$$

dove l_i è la lunghezza del singolo tratto di infrastruttura (escluse le discontinuità come viadotti, ponti e gallerie) in metri, o_i rappresentano il coefficiente di occlusione ecosistemica che dipende dal tipo di infrastruttura stradale e A_u è la superficie dell'unità territoriale di riferimento in kmq.

I valori del coefficiente di occlusione sono stati definiti sulla base di una valutazione comparativa per le diverse tipologie di infrastrutture partendo da quelli stabiliti da (Romano and Zullo, 2014). Assumendo che il coefficiente o_i abbia un range di valori compreso tra 0 e 1, sono stati assegnati valori più alti ai tipi di strada con il maggior grado di occlusione (come le autostrade) e valori più bassi alle altre tipologie. Escludendo le strade in galleria e su ponti/viadotti/sovrappassi in quanto non occlusive per gli habitat naturali, sono stati assegnati i seguenti valori ai coefficienti di occlusione:

- 1 per autostrade, ferrovie e strade extraurbane principali che presentano un'occlusione generalmente totale derivante dalla presenza di barriere perimetrali;
- 0,7 per strade extraurbane secondarie con un'occlusione generalmente non fisica ma causata dal rumore e dalle vibrazioni dovute al movimento permanente;
- 0,5 per la rete stradale secondaria, strade locali, strade urbane di quartiere, strade di scorrimento con un livello medio di occlusione caratterizzato dall'assenza di barriere fisiche ma dovuto a condizioni di disturbo e presenza fisica di infrastrutture;
- 0,3 per la rete stradale secondaria che comprende anche le strade sterrate.

La variazione dell'indice IFI può essere solo positiva poiché la costruzione di nuove infrastrutture stradali lineari può solo aumentare il grado di frammentazione delle patch in una data area di riferimento. Il valore dell'indice costituisce dunque una misura dell'intensità con cui è avvenuta la frammentazione degli habitat ad opera della rete stradale.

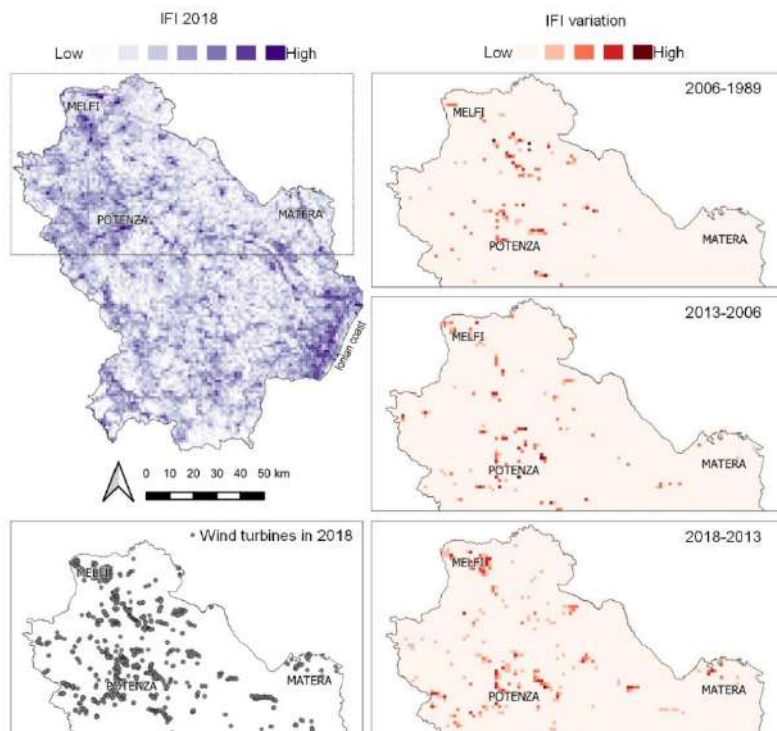


Fig. 11. Mappa rappresentativa dell'indice IFI all'anno 2018. I tre zoom-box descrivono la variazione dell'indice nei periodi 1989-2006, 2006-2013 e 2013-2018. Per agevolare il confronto si riporta anche la mappa di distribuzione delle turbine eoliche nell'anno 2018

Si può notare che le aree più frammentate corrispondono a: l'area intorno alle città di Matera e Potenza, i due capoluoghi di provincia; il comune di Melfi, importante dal punto di vista industriale e che anche negli ultimi anni ha visto sottrarre gran parte dei suoi terreni agricoli per la costruzione di nuove infrastrutture stradali a servizio dei sistemi FER; la costa ionica che ha subito dal 1989 grandi trasformazioni in seguito allo sviluppo del settore terziario riguardante l'agricoltura e il turismo.

Sulla destra della figura sono riportate, per semplicità di lettura, tre mappe di variazione dell'indice IFI relative alla sola parte settentrionale della regione Basilicata in cui si sono verificati i maggiori cambiamenti. Tra il 1989 e il 2006 si registra la minore variazione della frammentazione infrastrutturale: l'1,81% delle celle totali vede aumentare il proprio indice IFI a causa della costruzione di nuove infrastrutture stradali. Confrontando queste celle che hanno subito un aumento dell'indice IFI con la variazione dell'edificato, emerge che tra il 1989 e il 2006 la frammentazione da infrastrutture non è legata a nuove edificazioni ma a componenti antropiche che hanno interessato aree non urbanizzate, prevalentemente ad uso agricolo.

Nelle due fasi successive, dal 2006 al 2018, l'IFI varia rispettivamente del 2,33% e del 4,48% tra il 2006-2013 e il 2013-2018. L'anno 2006 è indicativo del periodo in cui è iniziata l'installazione di impianti per la produzione dell'energia rinnovabile. Al fine di agevolare la lettura delle dinamiche di antropizzazione, si riporta anche una mappa delle turbine eoliche al 2018. È evidente che l'installazione di tali impianti costituisca il driver principale della frammentazione da infrastrutture tra il 2006 e il 2018.

Energie rinnovabili e frammentazione territoriale: il caso studio di Melfi

Questa sezione deriva dalla primo rapporto di ricerca consegnato Scuola d'Ingegneria dell'Unibas a FARBAS nell'Ottobre 2019

Il lavoro presenta un caso studio relativo al territorio comunale di Melfi e finalizzato a valutare il contributo degli impianti per la produzione di energia rinnovabile sul grado di frammentazione territoriale.

Materiali e metodi

Il grafico che segue riporta il numero di installazioni diviso per classi di potenza di impianti FER avvenuto nei diversi intervalli temporali analizzati.

Nel primo intervallo temporale (2010-2014) la percentuale maggiore in numero di installazione riguarda gli impianti di piccola taglia (61%). Questa percentuale viene sovrastata negli intervalli successivi da quella riguardante gli impianti di grande taglia e nell'ultimo intervallo temporale, da quelli di taglia micro e mini (38%).

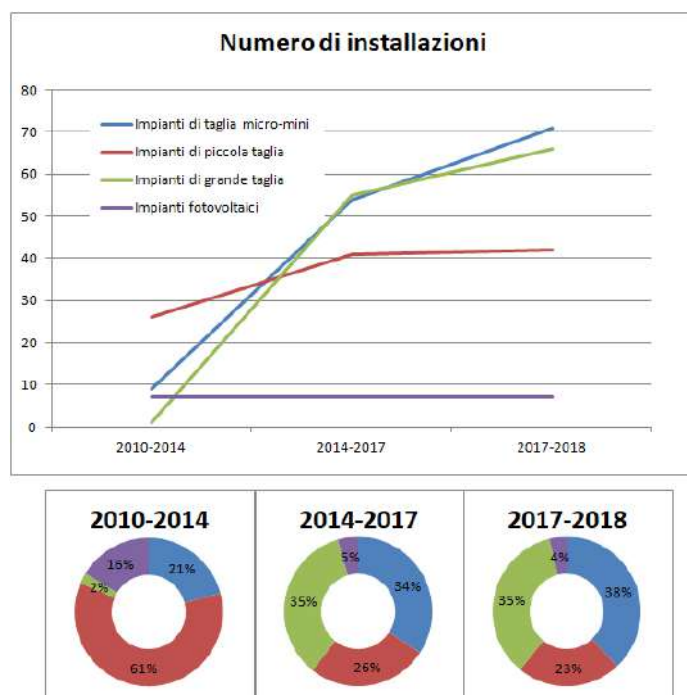


Fig. 12. Grafico rappresentante il numero di installazioni FER sul territorio comunale di Melfi negli intervalli temporali analizzati

Allo stesso modo è stata analizzata l'area occupata dagli impianti. Come area di ingombro per ogni impianto, si è considerato il raggio d'influenza in funzione della potenza installata. Tra il primo intervallo temporale e l'ultimo, la percentuale riguardante gli impianti di grande taglia aumenta vertiginosamente passando da un 4% al 65%.

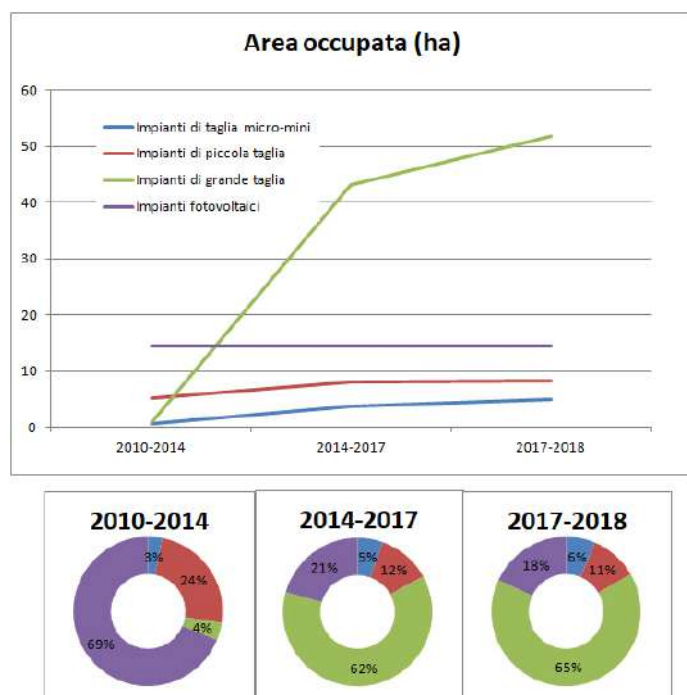


Fig. 13. Grafico rappresentante l'area [Ha] occupata dagli impianti RES sul territorio comunale di Melfi negli intervalli temporali analizzati

Il grafico riguarda la potenza [MW] degli impianti FER. Mentre nel primo intervallo temporale la percentuale maggiore è rappresentata dalla classe riguardante gli impianti eolici di piccola taglia, nell'ultimo intervallo temporale gli impianti di grande taglia rappresentano la percentuale maggiore sul territorio.

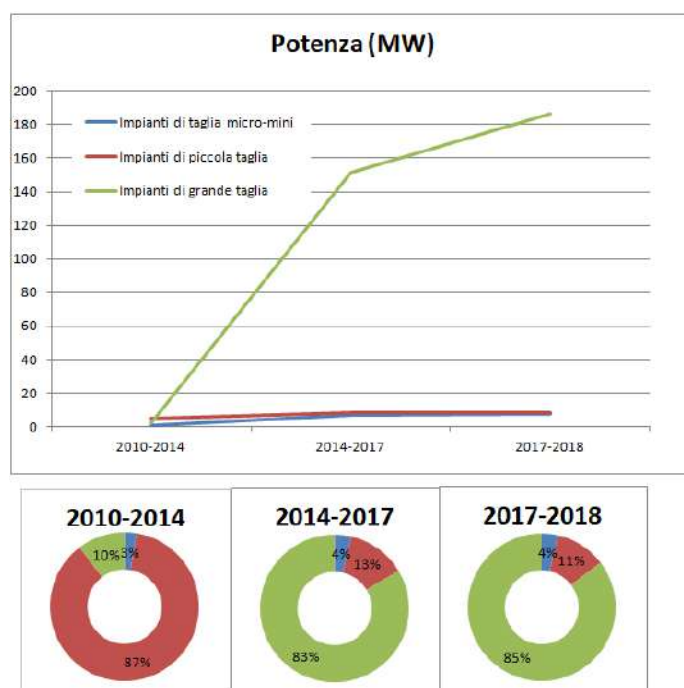


Fig. 14. Grafico rappresentante la potenza [MW] degli impianti RES sul territorio comunale di Melfi negli intervalli temporali analizzati

Complessivamente, gli impianti eolici di grande taglia rappresentano la percentuale maggiore sia per quanto riguarda la potenza che per l'area occupata. Gli impianti di taglia micro-mini sono, invece quelli presenti in numero maggiore sul territorio analizzato presentando una potenza molto bassa; raggiungono solamente il 4% della potenza prodotta in tutta l'area.

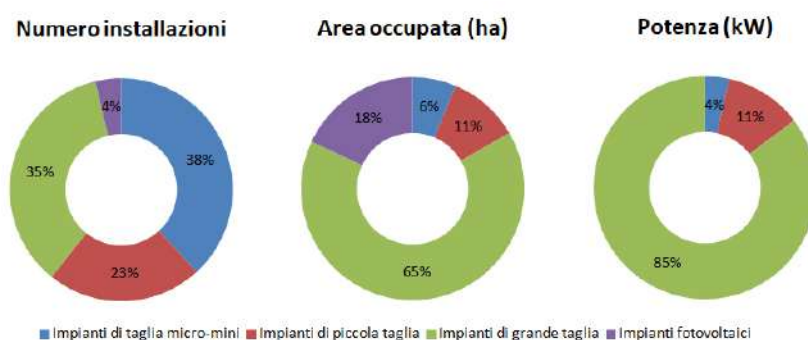


Fig. 15. Grafici di stima degli impianti RES complessivamente al 2018: numero di installazioni, area occupata e potenza

Al fine di misurare il grado di frammentazione prodotto da tali installazioni, l'indice SPX è stato applicato all'intero territorio comunale di Melfi. L'area di studio a tal fine è stata suddivisa in celle regolari di 1 km².

Il calcolo dell'indice SPX ha restituito un valore per ogni singola cella della griglia che attraverso la suddivisione in 6 categorie, ha permesso di individuare il grado di frammentazione del territorio in esame. I valori si attestano tra 0 (frammentazione nulla) e circa 400 (frammentazione alta).

L'indice SPX è stato calcolato per ognuno dei tre intervalli temporali elencati in precedenza.

Tabella 4 Gradi di frammentazione

Grado di frammentazione	SPX
Non frammentato	$SPX = 0$
Frammentazione bassa	$0 < SPX < 50$
Frammentazione medio-bassa	$50 \leq SPX < 100$
Frammentazione media	$100 \leq SPX < 150$
Frammentazione medio-alta	$150 \leq SPX < 200$
Frammentazione alta	$SPX \geq 200$

Nell'analisi temporale della frammentazione urbana, si può verificare che celle della griglia interessate da bassa frammentazione all'istante temporale t_0 si trasformino in celle ad alta frammentazione all'istante temporale successivo o viceversa. Ciò significa, nel primo caso che l'urbanizzazione nella cella è avvenuta seguendo le dinamiche di sprinkling quindi in maniera frammentata mentre, nel secondo caso (da alta a bassa frammentazione) che le nuove trasformazioni interessanti la cella sono avvenute in adiacenza alle precedenti producendo una compattazione degli aggregati esistenti e conseguentemente riducendo il grado di frammentazione.

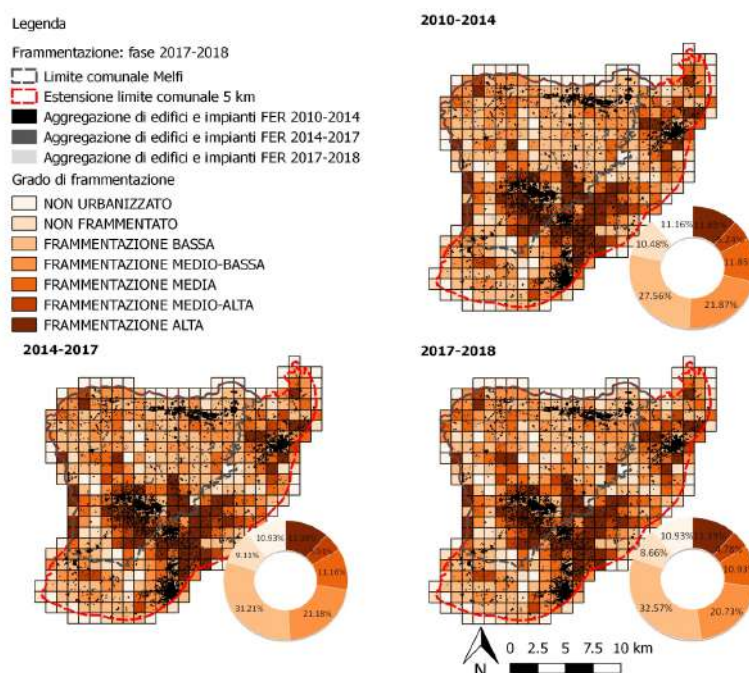


Fig. 16. Grado di frammentazione urbana nel comune di Melfi con relativi grafici rappresentanti per ogni fase temporale analizzata le percentuali di territorio interessate dai vari gradi di frammentazione

Nei grafici viene riportata, per ogni intervallo temporale, la quantità di superficie territoriale, espressa in percentuale, interessata da sprinkling. Dal momento che l'elaborazione è stata fatta su una griglia di 1 km², la stessa percentuale è espressione degli effettivi km² di superficie interessati da frammentazione. Dal confronto tra i grafici si evince che la superficie non urbanizzata diminuisce nel corso degli anni passando dall'11,6 % del 2010-2014 al 10,93% del 2017-2018. Anche per le superfici non frammentate si registra una diminuzione che avviene, ovviamente a scapito di quelle frammentate. Il tutto si traduce in un aumento del consumo di suolo.

Dal momento che le variazioni maggiori si hanno nelle celle occupate da impianti FER, si sono analizzate le tipologie di trasformazioni avvenute proprio in queste celle tra il 2010 e il 2018 (date estreme degli intervalli temporali analizzati).

La differenza tra $SPX_{(2010-2014)}$ e $SPX_{(2017-2018)}$ restituisce le seguenti tipologie di trasformazione:

$\Delta SPX_{2018-2010} = 0$	Nessuna trasformazione
$\Delta SPX_{2018-2010} > 0$	Frammentazione
$\Delta SPX_{2018-2010} < 0$	Compattazione

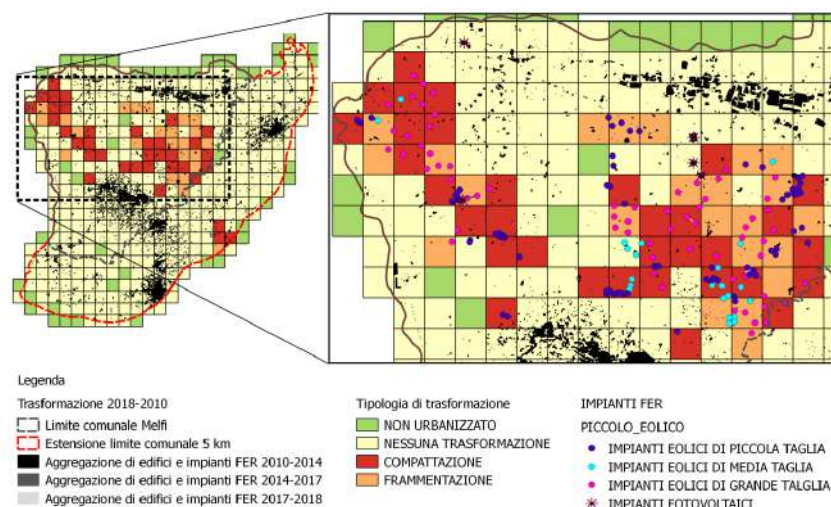


Fig. 17. Tipologia di trasformazione avvenuta tra il 2010 e il 2018. Dettaglio sulla zona del comune di Melfi nella quale è concentrato il maggior numero di impianti FER

Considerazioni conclusive

Il territorio comunale di Melfi negli ultimi anni è stato oggetto di intense trasformazioni territoriali legate all’installazione di impianti per la produzione di energie rinnovabili (Saganeiti et al., 2019; Scorza et al., 2020b).

La procedura autorizzativa per gli impianti di grande taglia prevede la Valutazione di Impatto Ambientale, mentre ne sono esenti quelli di piccola taglia per cui è sufficiente la SCIA. Ciò, a livello territoriale, ha comportato un iniziale aumento del grado di frammentazione laddove i primi aggregati hanno iniziato a formarsi. Successivamente, le trasformazioni che hanno avuto luogo sono state principalmente indotte da aerogeneratori di piccola taglia installati nei pressi degli aggregati già esistenti, dando luogo a compattazione.

La valutazione della frammentazione mediante l’indice SPX fornisce delle informazioni rilevanti al fine di descrivere dettagliatamente i processi in atto, pur non considerando componenti importanti quali l’impatto delle infrastrutture viarie connesse agli impianti FER.

Anche l’accezione con il quale ci si riferisce ai fenomeni di “compattazione” o “frammentazione” differisce a seconda del contesto: se nel caso degli insediamenti residenziali è auspicabile una crescita edilizia che minimizzi la frammentazione e avvenga invece secondo un modello di città compatta, ciò non sempre è auspicabile relativamente a queste nuove componenti territoriali, legate alle energie rinnovabili.

La densificazione delle turbine eoliche, infatti, può generare impatti ambientali e paesaggistici importanti, contribuendo al cosiddetto “effetto selva” che la pianificazione di area vasta – dove presente – tende ad evitare o a limitare fortemente.

Queste valutazioni supportano dunque la necessità da parte della disciplina pianificatoria e del processo decisionale di avvalersi di indicatori e metodologie innovative che contribuiscano alla costruzione di quadri conoscitivi più dettagliati e che favoriscano il confronto tra scenari alternativi di sviluppo, secondo un approccio context-based ed orientato a valutare il grado di integrazione reciproco tra le diverse componenti territoriali.

WP3 - Analisi di Land Use e Land Cover Change

Il WP3 ha quale fine la costruzione di un'infrastruttura di dati che consenta di individuare le tendenze dei cambiamenti di uso del suolo in atto sul territorio e di valutare la sostenibilità delle scelte della pianificazione, favorendo l'individuazione della migliore alternativa di piano possibile nell'ottica di una riduzione del consumo di suolo.

Tale geo-database risulta da analisi di land cover change detection operate su dati telerilevati e condotte in maniera congiunta dai gruppi di ricerca dell'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale del CNR e della Scuola di Agraria (SAFE) dell'Unibas.

A queste si aggiungono le elaborazioni sviluppate dal gruppo della Scuola di Ingegneria e finalizzate all'applicazione di modelli previsionali in grado di simulare l'evoluzione delle componenti insediativa alla data del 2030.

Dai risultati dei precedenti WP emerge che la Basilicata è una regione a bassa densità insediativa, le cui dinamiche di trasformazione sono in linea con quelle della dispersione insediativa, caratterizzata da un grado di frammentazione medio-alto. A tal proposito è fondamentale modellare scenari futuri di espansione urbana al fine di proporre un valido strumento a supporto del sistema decisionale nella gestione delle trasformazioni territoriali. In questo WP viene proposto un modello previsionale dell'espansione urbana attraverso un approccio multi-densità alla scala della regione Basilicata, contesto in cui lo squilibrio tra la crescita degli insediamenti e il declino demografico assume una rilevanza non trascurabile. Gli automi cellulari e la regressione logistica multinomiale sono stati utilizzati per analizzare le relazioni spazio-temporali tra l'aumento delle superfici antropizzate e un set di fattori causali. I risultati della proiezione al 2030 mostrano che i processi emergenti di espansione urbana coinvolgono prioritariamente le classi a bassa densità. L'utilità del modello previsionale risiede dunque nell'individuazione dei principali fattori fisici e sociali (driver) che la influenzano e nella quantificazione in modo spazialmente esplicito dei processi legati al futuro consumo di suolo. Le trasformazioni incontrollate generano un impatto economico e sociale definito anche *costo sociale* (Manganelli et al., 2020) che comprende i costi diretti derivanti dalla costruzione di nuove strade e servizi infrastrutturali, e i costi indiretti derivanti tra cui le spese sanitarie dovute all'aumento dell'inquinamento, l'aggravio dei costi di trasporto, la perdita di qualità del paesaggio e ulteriori perdite di valori immateriali connessi alla qualità della vita.

Un prerequisito fondamentale per lo sviluppo o l'applicazione di un modello di previsione della trasformazione urbana è sicuramente la conoscenza dei fattori che influenzano il processo, ovvero l'individuazione dei fattori causali (driver). L'applicazione di tali modelli e la comprensione dei relativi driver sottesi, costituiscono un utile strumento di supporto alle decisioni ad esempio in fase di definizione delle aree di nuova espansione (Puertas et al., 2014).

Inoltre, questi modelli possono supportare i processi di piano offrendo la possibilità di una maggiore integrazione con tematiche quali la mitigazione del rischio di alluvioni (Mustafa et al., 2018a), l'adattamento ai cambiamenti climatici, la fornitura di servizi ecosistemici e lo sviluppo di scenari per la valutazione dell'impatto ambientale (Poelmans and Van Rompaey, 2009).

In questo WP è stato applicato un approccio modellistico che integra la regressione logistica multinomiale (MLR) e gli automi cellulari (CA) per analizzare i fenomeni di nuova urbanizzazione alla scala regionale.

<i>Driver</i>	<i>Name</i>	<i>Datum</i>	<i>Unit</i>	<i>Predictive variables</i>
X ₁	Elevation	continuous	meter	Physical factors
X ₂	Slope	continuous	percent	
X ₃	Distance to railway station	continuous	meter	Proximity factors
X ₄	Distance to road 01 highways	continuous	meter	
X ₅	Distance to road 02 suburban roads	continuous	meter	
X ₆	Distance to road 03 local roads	continuous	meter	
X ₇	Distance to large city	continuous	meter	
X ₈	Distance to medium city	continuous	meter	
X ₉	Population density	continuous	percent	Social factors
X ₁₀	Employment rate	continuous	percent	Economic factors
X ₁₁	Zoning	categorical	Binary (0-1)	Urban policies

Fig. 18. Driver considerati

Materiali e metodi

La Fig. 19 mostra uno schema della metodologia applicata in questa ricerca per prevedere la dispersione urbana all'anno 2030 utilizzando un modello a multi-densità. Ai fini della modellazione, infatti, sono state realizzate delle mappe di densità degli edifici sulla base di tre dataset regionali relativi agli anni 1989, 1998 e 2013 e considerando quattro classi di densità: non edificato, bassa densità, media densità e alta densità.

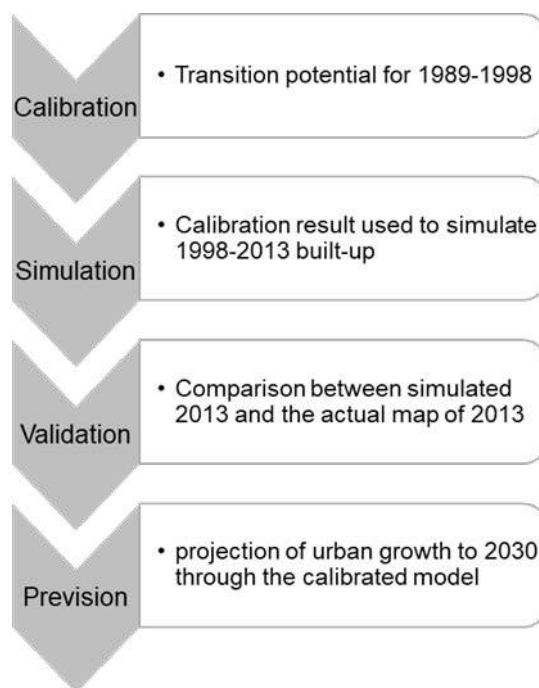


Fig. 19. Metodologia

La prima fase di calibrazione ha fatto ricorso alla regressione logistica multinomiale per stimare la probabilità di transizione tra le varie classi di densità nel periodo 1989-1998.

Tra i driver considerati vi sono quelli relativi ai fattori fisici, socio-economici, di prossimità e di vincolo. Nella seconda fase di validazione, i parametri calibrati sono stati utilizzati per la simulazione della mappa al 2013, successivamente confrontata con lo stato di fatto relativo allo stesso anno. La terza fase, di simulazione vera e propria, ha avuto come obiettivo quello rappresentare spazialmente le superfici antropizzate con riferimento al 2030.

La Fig. 20 riassume gli intervalli di valori per le classi di densità degli edifici calcolati su un raster di risoluzione pari a 100x100 m. Il valore soglia al di sotto del quale il pixel è considerato “non costruito” corrisponde quindi ad un edificio di 75 m², la dimensione minima stabilita dalla normativa italiana perché un edificio possa essere dichiarato abitabile da 4 persone.

Class	Density classes	Density value	Built surface/ha	Coverage ratio [%]	% of cells in the study area (year 1989)
No-built up	0	from 0 to 18.74	Less than 75 sqm	-	93.62
Low density	1	from 18.75 to 54	Less than 220 sqm	from 0.75 to 2.1	2.82
Medium density	2	from 55 to 329	Less than 1320 sqm	from 2.2 to 13.19	2.91
High density	3	from 330 to 2500	Until 10,000 sqm	from 13.20 to 100	0.65

Fig. 20. Classi di densità degli edifici

La figura mostra l'entità della variazione avvenuta nell'area di studio tra le varie classi di densità e per i due intervalli temporali: 1989-1998 e 1998-2013. Dominante rispetto al complesso delle variazioni è, per entrambe le fasi temporali, l'incremento della classe a bassa densità (superiore al 40%). Il passaggio a tale classe corrisponde proprio al fenomeno dello sprinkling che quindi si conferma essere il tipo di trasformazione prevalente entro l'area di studio (Dotoli et al., 2020; Ieluzzi et al., 2020).

1998				
1989	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3
	-	5895 (42.76%)	3725 (27.02%)	532 (3.86%)
	-	-	2850 (20.67%)	54 (0.39%)
	-	-	-	731 (5.30%)
2013				
1998	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3
	-	5353 (40.49%)	3451 (26.11%)	630 (4.76%)
	-	-	2831 (21.41%)	75 (0.57%)
	-	-	-	880 (6.66%)

Fig. 21. Trasformazione delle celle da una classe all'altra e percentuale di modifica per ogni classe in base alla trasformazione totale

I driver sono stati scelti sulla base della letteratura scientifica (Mustafa et al., 2018b, 2018c) e delle principali caratteristiche dell'area di studio (Saganeiti et al., 2018b, 2018c; Scorza et al., 2020c). I risultati ottenuti dalla MLR non confermano la correlazione negativa tra la distanza dagli aggregati urbani esistenti e i nuovi processi di urbanizzazione poiché la tendenza già evidenziata in precedenti casi studio è quella di edificare non lontano dai centri urbano al fine di contenere i costi delle

infrastrutture e dei servizi pubblici. I risultati della correlazione confermano inoltre la tendenza dei processi di nuova edificazione lungo le infrastrutture stradali esistenti.

I driver relativi ai fattori sociali ed economici (Fig. 18) sono dati di tipo continuo distribuiti per ciascun comune dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). I fattori di prossimità delle strade e dalle stazioni ferroviarie sono stati derivati a partire dai dati vettoriali esistenti e calcolati tramite il metodo della distanza euclidea. A tal fine le strade sono state suddivise in tre categorie: autostrade, strade suburbane e strade locali. Ulteriori driver considerati sono le distanze dalle grandi città (X7) e dai centri urbani di medie dimensioni (X8). Considerando le caratteristiche dell'area di studio, sono considerati grandi città quelle con una popolazione maggiore di 50.000 abitanti, ovvero i due capoluoghi di provincia (Potenza e Matera); gli aggregati urbani di medie dimensioni sono invece quelli con una popolazione compresa tra 10.000 e 50.000 abitanti e che fungono da aggregatori di servizi ricoprendo dunque un ruolo importante dal punto di vista dell'economia, dell'industria, dell'agricoltura o del turismo.

Nel considerare i fattori che invece limitano l'espansione urbana, è stato considerato l'intero quadro vincolistico individuato ai sensi della normativa nazionale e regionale vigente (vincolo archeologico, paesaggistico, idrogeologico, etc...).

Le variabili X9 e X10 si riferiscono rispettivamente alla densità abitativa e al tasso di occupazione per l'anno 2001. Questi dati sono raccolti a livello comunale e, in particolare, il tasso di occupazione è stato calcolato dividendo la popolazione occupata per la popolazione residente in ciascun comune. Tutti i driver considerati sono stati rasterizzati con una risoluzione di 100x100 e successivamente standardizzati. Il modello di previsione basato sugli automi cellulari (CA) e sviluppato da (Mustafa et al., 2018b) è stato quindi implementato in ambiente Matlab.

Risultati

I risultati mostrano che la tendenza principale è quella delle nuove edificazioni che si sviluppano vicino alle aree a bassa densità contribuendo alla frammentazione territoriale e alimentando i processi di sprinkling (Saganeiti et al., 2021). In prossimità di celle a bassa e media densità si verificano inoltre processi di densificazione che portano allo sviluppo di nuovi insediamenti lontani dalle aree ad alta densità (città di medie dimensioni).

Studi condotti in altri contesti nazionali ed internazionali hanno dimostrato che il processo di espansione è generalmente legato alla distanza dalle strade locali: la probabilità che le celle diventino

urbanizzate aumenta al diminuire della distanza dalle strade e dalle stazioni ferroviarie. Questo comportamento è riconosciuto come una componente chiave di un sistema insediativo sostenibile. In Basilicata, invece, emerge la tendenza di edificare lontano dalle città esistenti, dalle strade e dalle stazioni ferroviarie secondo dinamiche di sviluppo definite come “sprinkling urbano” che, in contrasto con l'urban sprawl che tende piuttosto a svilupparsi e consolidarsi lungo i nuclei urbani esistenti anche se con densità inferiori rispetto alle aree centrali, è un driver dell'incremento dei costi sociali.

La correlazione con i fattori socio-economici è positiva ma poco rilevante in riferimento a quasi tutte le transizioni. Anche questo è in contrasto con altre ricerche che hanno dimostrato che i driver che maggiormente influenzano l'espansione urbana sono quelli legati alla densità di popolazione e al tasso di occupazione.

La correlazione tra i processi di trasformazione urbana e il fattore fisico di elevazione è positiva. Ciò è dovuto all'elevata altimetria in cui risiedono la maggior parte dei comuni della Basilicata in cui gli edifici rurali (abbandonati e non) si trovano ad un'altitudine media di 500 metri sul livello del mare. Per quanto riguarda i risultati delle proiezioni al 2030, si prospetta una perdita di suolo stimata in 7649 Ha di territorio attualmente non urbanizzato. Si tratta di quasi la metà della superficie amministrativa della città di Potenza (17543 ettari) con un tasso di incremento pari a 450 Ha all'anno. Le aree di nuova espansione sono diffuse pressoché uniformemente sul territorio regionale in quanto i maggiori cambiamenti riguardano la classe a bassa densità la cui variazione è pari al 73% delle trasformazioni totali. Le celle a bassa densità nel 2030 vedono un aumento del 17% rispetto al 2013. Nella previsione al 2030 la classe di media densità risente invece di una percentuale di variazione del 22%, mentre la restante parte (5%) riguarda la terza classe di densità.

Una disaggregazione dei dati sulla base dei due territori provinciali (provincia di Potenza e provincia di Matera) mostra che la provincia di Potenza subisce una variazione maggiore in termini di valori assoluti pari all'83% della variazione totale. I maggiori cambiamenti riguardano: (i) la città di Potenza, che nel 2030 incrementa la propria superficie a bassa densità di 925 ettari e tre comuni limitrofi: Tito, Picerno e Pignola, con un incremento per ogni comune, rispettivamente, di 180, 207 e 139 ettari di area a bassa densità; (ii) il comune di Melfi, situato nell'estremo nord-ovest della provincia di Potenza, interessato da un consistente aumento (rispetto ad altri comuni) delle superfici a media densità di 185 ettari (75% delle variazioni complessive del comune).

Per il territorio della provincia di Matera la variazione complessiva al 2030 è pari al 17% della variazione regionale complessiva.

La Fig. 22 mostra alcuni dei luoghi più rappresentativi dell'area di studio attraverso un confronto tra le mappe attuali del 2013 e quelle del 2030 previste dal modello.

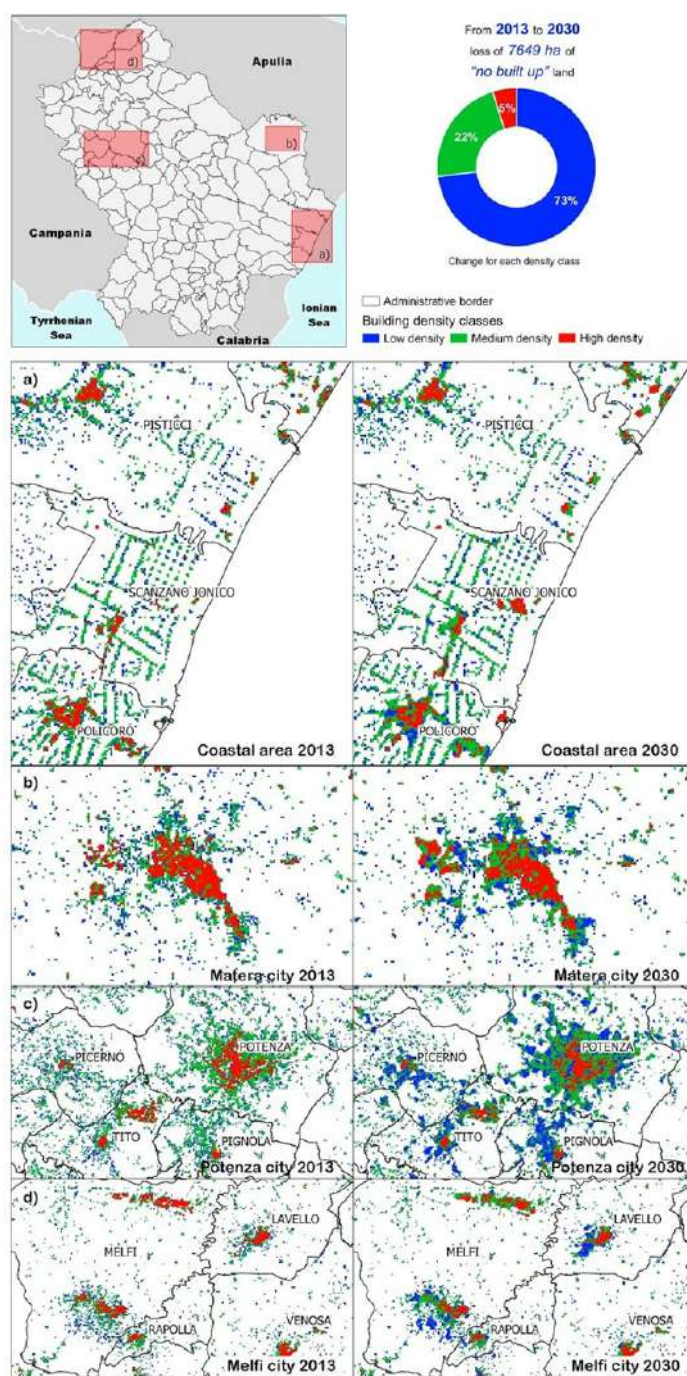


Fig. 22. Alcuni esempi dell'area di studio. A sinistra le attuali mappe del 2013 e a destra quelle di previsione al

2030

La maggior parte delle trasformazioni sono localizzate lungo la costa. Le maggiori variazioni dal 2013 al 2030 si registrano infatti nel comune di Policoro e riguardano la classe di media densità per una superficie di 164 Ha. Il comune di Scanzano Jonico, registra un aumento della superficie a media densità di 59 Ha (54% del totale) e un aumento della superficie ad alta densità di 45 Ha; solo il 5% della variazione totale interessa la classe a bassa densità. Nel comune di Pisticci, invece, le trasformazioni riguardano un totale di 54 Ha. Per quanto riguarda la città di Matera, le variazioni maggiori riguardano le classi a bassa densità (211 ettari) e a media densità (200 ettari), con una variazione complessiva dal 2013 dell'1.19%.

Considerazioni conclusive

Strumenti e modelli di previsione relativi alle trasformazioni territoriali, o più genericamente alle transizioni tra le classi di uso del suolo, sono sempre più presenti nella letteratura scientifica in quanto consentono di apportare un contributo innovativo alla valutazione di processi e dinamiche legati al consumo di suolo.

Nel presente progetto di ricerca un elemento d'innovazione consiste nel considerare l'espansione urbana non in maniera duale (edificato/non edificato) ma secondo quattro classi di densità (non edificato, bassa, media e alta densità). Questo approccio *multi-densità* ha permesso di valutare, le diverse correlazioni di ciascuna classe di densità con i fattori causali considerati. L'incremento delle superfici antropizzate ha quindi consentito non solo di discriminare la prevalenza del fenomeno dello sprinkling rispetto a quello dello sprawl, ma di caratterizzare i processi di crescita urbana sulla base di classi di densità ognuna delle quali dipendenti da driver differenti.

I risultati mostrano che il fattore più importante che influenza l'espansione urbana è la vicinanza alle strade. In particolare, la correlazione tra la variabile di prossimità dalle strade locali e l'espansione urbana è la più significativa per il processo di crescita. Ciò corrisponde al tipico fenomeno dello sprinkling in cui i nuovi insediamenti tendono a sorgere in prossimità delle strade locali (con minore disponibilità di servizi) e lontani dai principali centri di servizio pubblico con un aumento dei costi sociali (Manganelli et al., 2020; Romano et al., 2017). I risultati mostrano inoltre che la tendenza generale è quella di realizzare nuovi edifici in prossimità di aree a bassa densità, il che aumenta ulteriormente la dispersione insediativa. Inoltre, i processi di densificazione avvengono in prossimità di aree a bassa e media densità. In uno sviluppo urbano sostenibile, è opportuno favorire processi di densificazione in prossimità di celle a media e alta densità dove si concentrano più servizi, limitando così l'ulteriore dispersione delle celle urbanizzate sul territorio.

D'altro canto ciò ha permesso di confermare dinamiche, quali la discrasia tra l'espansione urbana e il trend demografico, comuni all'intero territorio regionale e riscontrabili anche a scala nazionale (Amato et al., 2016a).

Sebbene all'interno dei processi di piano possa rivelarsi utile rappresentare spazialmente il risultato futuro prevedibile sulla base delle dinamiche attualmente in corso, è bene ricordare che il territorio costituisce un sistema complesso risultante dalla sovrapposizione e dalle relazioni tra diverse componenti sociali ed economiche oltre che territoriali. Il risultato più interessante, dunque, non è tanto la previsione in sé, quanto la comprensione dei fattori che maggiormente influiscono sulle dinamiche di trasformazione. Al fine di garantire una corretta interpretazione dei risultati, è dunque opportuno chiarire le semplificazioni ed i limiti del modello adottato.

Il primo limite consiste nel considerare l'incremento della superficie antropizzata in riferimento a classi di densità di edifici e non tenendo conto delle volumetrie e degli usi degli edifici stessi. Ciò potrebbe portare a una lettura errata del processo di espansione. A tal proposito, ad esempio, l'espansione prevista lungo la fascia costiera (soprattutto nei comuni di Policoro e Pisticci) si riferisce in gran parte alla realizzazione di strutture ricettive e alberghiere legate al comparto turistico e non ad un fabbisogno di residenzialità. Non sorprende quindi che tale aumento delle superfici antropizzate non corrisponda ad un trend demografico positivo. In altri casi, quali quello di Scanzano Ionico invece, si registra nel 2030 una forte espansione della classe ad alta densità conseguente all'ampliamento negli anni di strutture a servizio dell'agricoltura (ad esempio serre e magazzini).

Sebbene quindi i risultati ottenuti dall'implementazione del modello previsionale consentano di arricchire il quadro conoscitivo relativamente ai processi legati al consumo di suolo in Basilicata, le dinamiche alla base possono essere molto diverse tra loro e legate a driver socio-economici differenti. In questo caso la corretta interpretazione dei processi di trasformazione non può prescindere dalla distinzione delle destinazioni d'uso degli edifici.

Un ulteriore limite del modello considerato consiste nel non computare le variazioni di volumetria e l'altezza degli edifici che avrebbero invece permesso di formulare considerazioni relativamente alla densità abitativa dei complessi edilizi.

Un possibile sviluppo futuro della ricerca potrebbe essere finalizzato a ripetere la simulazione considerando i soli edifici residenziali.

WP6 - Stima, analisi e scenari di perdita di suolo disponibile per servizi ecosistemici

Partendo dalle analisi sviluppate nei precedenti WP si effettueranno delle valutazioni dei fenomeni che influenzano i servizi ecosistemici. Particolare attenzione sarà rivolta allo studio delle alterazioni naturali e/o antropiche più importanti che comportano le variazioni dei servizi ecosistemici determinate dalle trasformazioni avvenute tra le diverse tipologie. Tali analisi saranno finalizzate a fornire informazioni utili per monitorare e studiare le variazioni dei servizi ecosistemici.

Il WP6, sulla base dei risultati ottenuti nelle precedenti fasi della ricerca, valuta gli effetti che i cambiamenti di uso del suolo e le trasformazioni territoriali hanno sortito in termini di Servizi Ecosistemici.

L'approccio dei Servizi Ecosistemici (SE) ha infatti dimostrato di costituire un quadro metodologico robusto per le analisi territoriali (Albert et al., 2016; Comino et al., 2014; A. Pilogallo et al., 2019) e per esplicitare spazialmente i trade-off associati a differenti pattern di uso del suolo (Haase et al., 2012; Howe et al., 2014; Spyra et al., 2020) o conseguenti a diverse trasformazioni territoriali (Bagstad et al., 2013; Elliot et al., 2019), migliorando la comunicazione e favorendo il dibattito tra gli stakeholders (Albert et al., 2016) coinvolti ai diversi livelli di governance.

L'analisi dell'evoluzione delle diverse componenti antropiche considerate nei precedenti WP ha messo in evidenza una criticità del sistema della pianificazione che, a livello regionale, non ha saputo pienamente rispondere all'istanza di un sistema di monitoraggio delle dinamiche complesse sottese alle trasformazioni territoriali avvenute (Scorza et al., 2020c). La frammentazione della pianificazione di settore e delle relative autorità competenti (Scorza et al., 2020a), e la carenza di un adeguato sistema di monitoraggio hanno contribuito a determinare delle aree di conflitto in cui, ad esempio, i benefici ambientali perseguiti alla scala globale sono tali da giustificare un detrimento dei Servizi Ecosistemici percepiti ed erogati in favore delle comunità locali.

L'obiettivo di questo progetto di ricerca è dunque quello di proporre un quadro di valutazione delle trasformazioni territoriali complementare rispetto a quello tradizionale e teso a perseguire un approccio *sistemico* delle componenti territoriali.

Sulla base degli strati informativi disponibili alla scala Regionale, è stata realizzata un'infrastruttura di dati costituita da un set selezionato di SE valutati rispettivamente al 2000 e al 2018.

Secondo la Classificazione Internazionale dei Servizi Ecosistemici (CICES) (Roy Haines-Young and Potschin, 2018), sono state considerate le seguenti 5 classi relative a SE di Regolazione e Mantenimento (Haines-Young and Potschin-Young, 2018):

- a) Regolazione della composizione chimica dell'atmosfera – Carbon storage;
- b) Servizi di Impollinazione – Pollination ;
- c) Mantenimento di Popolazioni e Habitat – Habitat quality and degradation;
- d) Controllo dei tassi di erosione;
- e) Regolazione delle condizioni chimiche delle acque superficiali - Nutrients effective retention.

Oltre a queste, è stata considerata la Produttività agricola quale SE di Fornitura.

L'obiettivo ultimo di queste elaborazioni è quello di fornire una chiave interpretativa degli impatti dovuti alle dinamiche di sviluppo occorse in Basilicata durante l'ultimo ventennio, e supportare l'individuazione delle trasformazioni che maggiormente influiscono sulla variazione dei SE erogati. L'infrastruttura di dati che ne consegue risulta idonea a supportare un approccio innovativo alla pianificazione territoriale, capace di rappresentare la distribuzione spaziale della “qualità ambientale” ed esplicitando dinamiche complesse di interazione tra componenti antropiche, naturali e semi-naturali. Il valore aggiunto (e dunque innovativo) è quello di includere i SE che, pur essendo immateriali e/o non afferenti ad alcun mercato di riferimento, contribuiscono in misura significativa a quel grado di *performance ambientale* che si riconosce al territorio lucano e la cui tutela dovrebbe essere parte integrante e non alternativa alle future prospettive di sviluppo economico (Pilogallo and Scorza, 2021).

Materiali e metodi

Secondo la classificazione CICES, sono stati selezionati 6 SE in relazione alla loro significatività per la valutazione dello stato attuale degli ecosistemi nella Regione Basilicata di cui 5 di Regolazione e Mantenimento ed 1 di Fornitura.

Ai fini della valutazione è stata utilizzata la suite di modelli “InVEST” (NatCap, 2020), un set di software open - source e spazialmente espliciti che consente di valutare e mappare diversi SE offrendo un ottimo compromesso tra adattabilità alla scala e al contesto, e versatilità di utilizzo. Nella letteratura scientifica, infatti, sono presenti numerose pubblicazioni che ricorrono ad InVEST per valutazioni biofisiche e/o monetarie dei SE nonché per effettuare analisi di scenario rispetto all'uso del suolo.

Per ciascun SE considerato, si riportano quindi il modulo di InVEST utilizzato, i dati di input e i risultati ottenuti.

Carbon Storage

La valutazione del Carbon Stock costituisce uno strato informativo di importanza sempre più rilevante per la definizione di politiche da collocare all'interno del quadro strategico per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici (Angela Pilogallo et al., 2019a).

Ai fini di questo lavoro, è stata considerata la componente dello stoccaggio di carbonio esclusivamente legata agli usi del suolo (Paquit, 2017), omettendo i contributi relativi ai flussi che dipendono in maniera determinante da condizioni contestuali (ad esempio condizioni climatiche o specificamente legate a caratteristiche della vegetazione – età delle coperture arboree, densità delle coperture arboree, stato vegetativo, etc...) che prescindono da una valutazione utile ai fini della pianificazione a scala vasta.

Il modello utilizzato, “Carbon Storage and Sequestration”, si basa su un'aggregazione spaziale di dati afferenti a quattro grandi serbatoi di carbonio così definiti:

- Biomassa superficiale (*Aboveground biomass*), che include il carbonio stoccato nella biomassa vegetale trascurando la copertura erbacea quale sorgente di carbonio a lungo termine;
- Biomassa sotterranea (*Belowground biomass*), riconducibile essenzialmente al carbonio presente all'interno degli apparati radicali;
- Suolo (*Soil*), inteso come carbonio organico (SOC) immagazzinato dallo strato minerale del suolo;
- Necromassa (*Dead organic matter*), costituita dal carbonio presente all'interno della lettiera e della biomassa secca presente in superficie.

I dati di input consistono essenzialmente di una tabella biofisica in cui sono sintetizzati i valori dei quattro pool di carbonio per ciascuna classe di uso del suolo, già utilizzati in lavori precedenti (Mazzariello et al., 2018). Il risultato è una mappa che mantiene la risoluzione della carta d'uso del suolo utilizzata.

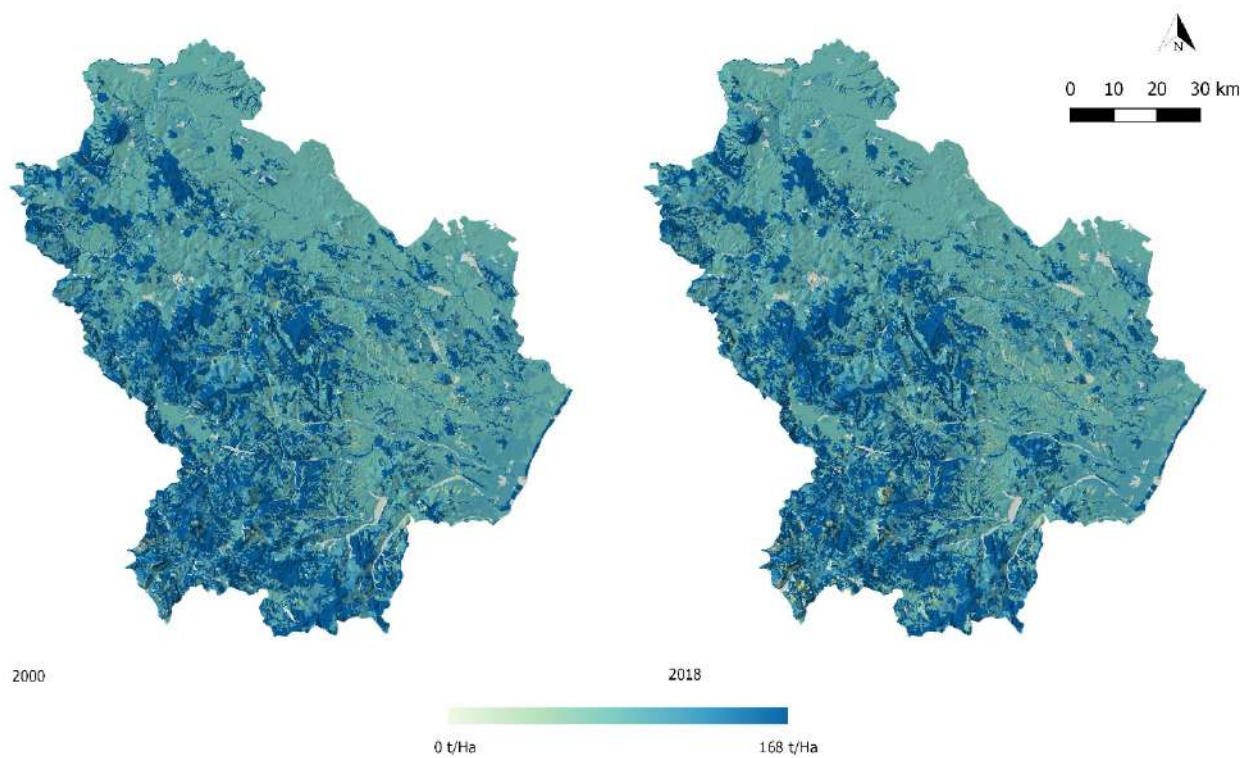


Fig. 23 – Distribuzione dello Stoccaggio di Carbonio nella Regione Basilicata

La robustezza del risultato dipende essenzialmente dall'accuratezza dei dati di input forniti al modello. Campagne di rilevazione in campo e studi di dettaglio che riportino l'effettiva stima dei pool di carbonio sono risolutivi nel determinare l'influenza di condizioni bio-climatiche e vegetative locali specifiche. Non essendo disponibili dati specifici per la Basilicata, la stima è stata condotta con valori di letteratura integrati con quanto pubblicato dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC) relativamente alle coperture forestali (Gasparini et al., 2013). Nel caso in esame (**Fig. 23**), i valori si distribuiscono in intervalli discreti che variano da 0 t/ha ad un massimo di 168 t/ha per boschi e foreste. I valori nulli corrispondono a corsi d'acqua e bacini idrici e alle superfici antropizzate.

Dall'osservazione dei risultati è possibile apprezzare il contributo notevole delle numerose ed estese aree boscate presenti nella regione Basilicata soprattutto lungo la dorsale Appenninica. Il confronto tra le due date evidenzia la crescita delle superfici urbanizzate soprattutto in corrispondenza dell'area industriale compresa tra Tito e Potenza, nell'area nord occidentale rispetto al centro abitato di Matera e nel territorio comunale di Melfi.

Servizi di Impollinazione

L'impollinazione è riconosciuto come un SE fondamentale poiché la sua importanza è legata sia alla protezione della biodiversità, sia alla produttività agricola e, di conseguenza, alla sicurezza alimentare (Angela Pilogallo et al., 2019a).

A livello Europeo c'è una esplicita richiesta per la tutela degli habitat degli impollinatori: la Strategia Europea per la Biodiversità (European Commission, 2011) richiede infatti agli Stati Membri di mappare la distribuzione spaziale dei servizi d'impollinazione e di valutare il loro valore economico. In questo lavoro è stato utilizzato il modello di InVEST "Crop pollination" basato sulla disponibilità a livello territoriale di siti idonei alla nidificazione e al foraggiamento quali condizioni necessarie per la presenza di impollinatori.

I dati di input riguardano:

- i siti la cui idoneità è valutata rispetto alla nidificazione e alla disponibilità di risorse trofiche,
- le caratteristiche delle specie di impollinatori considerati quali l'ampiezza massima di volo e la stagionalità.

Sulla base della carta di uso del suolo, il modello restituisce due mappe: "pollination supply" rappresentativa della disponibilità di impollinatori; "pollination abundance" che descrive invece la potenziale presenza delle specie impollinatrici, ovvero le aree in cui i servizi di impollinazione vengono erogati. Essendo significative di una probabilità d'osservazione, entrambe le mappe variano tra 0 e 1.

Alla luce di quanto detto, i risultati non dipendono solo dalle classi di uso del suolo, ma anche dal modo in cui le varie coperture si alternano e si distribuiscono reciprocamente in modo spaziale.

I dati necessari per l'esecuzione del modello di studio sono stati tratti dalla letteratura scientifica di settore (Lonsdorf et al., 2009).

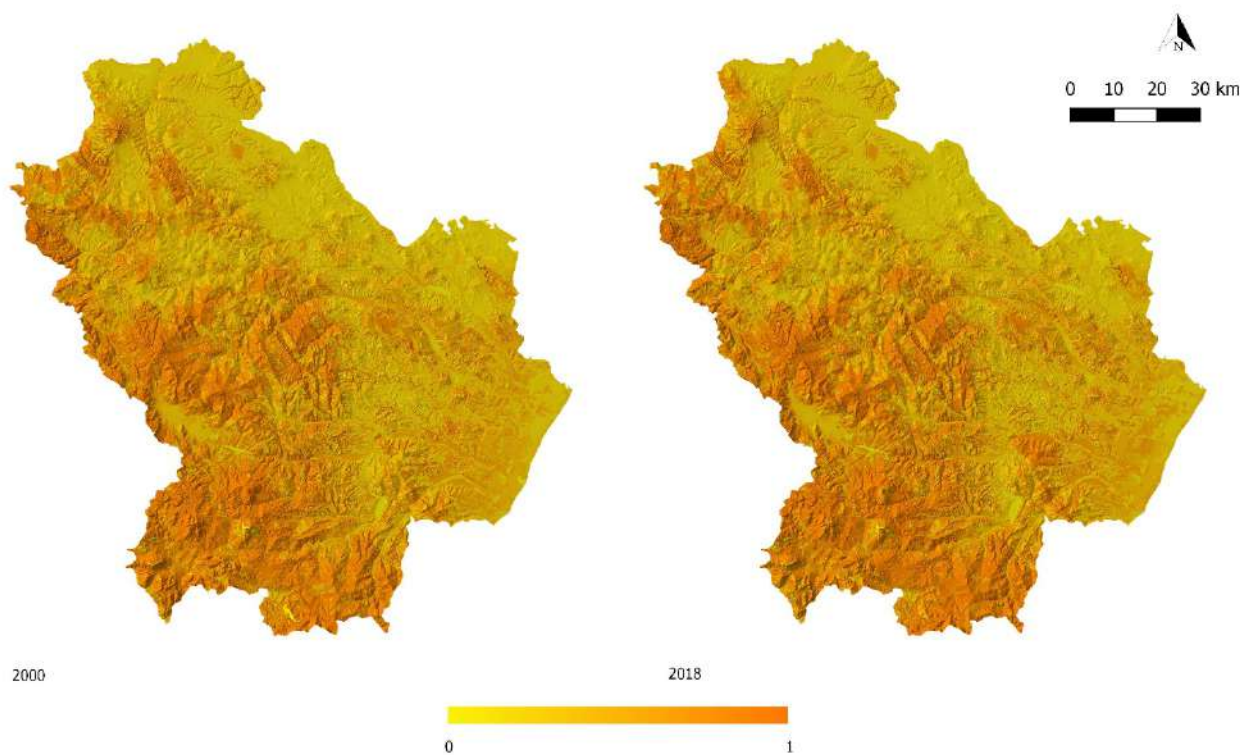


Fig. 24. Pollination Abundance nella Regione Basilicata

Come si può osservare, le aree in cui l'erogazione del SE avviene con maggiore intensità (Fig. 24) corrispondono a territori boscati o ad ampie aree in cui si alternano coperture erbacee e arbustive. D'altro canto, la distribuzione del "Pollination Supply" (Fig. 25) assume i valori massimi in corrispondenza di arbusteti di transizione, foreste e aree a vegetazione rada.

Entrambe le mappe di distribuzione confermano l'importanza delle aree disposte lungo la Catena Appenninica quali zone in cui l'intensità del SE di impollinazione raggiunge i suoi valori massimi.

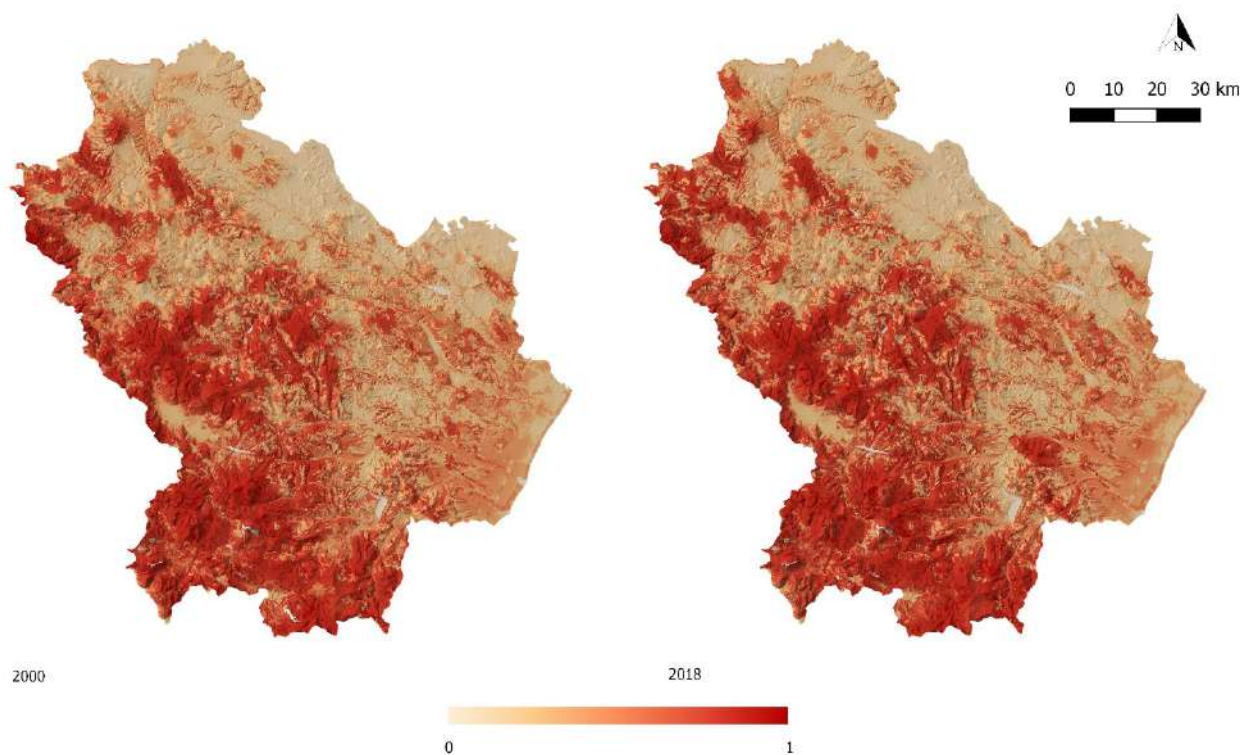


Fig. 25. Pollination supply nella Regione Basilicata

In entrambi i casi, inoltre, non emergono differenze significative apprezzabili alla scala regionale eccezion fatta per l'area compresa tra le basse valli del Sinni e dell'Agri ed una zona posta a nord rispetto al rilievo vulcanico del Monte Vulture in cui entrambi i risultati mostrano un incremento dell'erogazione del SE.

Habitat quality and degradation

La qualità degli habitat e il degrado cumulato dovuto all'azione contemporanea e spazialmente distribuita di molteplici minacce sono stati assunti quali proxy per la classe di SE denominata "Mantenimento degli habitat e delle popolazioni" secondo la Classificazione Internazionale CICES. Lo strumento utilizzato, appartenente alla suite di modelli InVEST, è "Habitat quality and degradation" che combina informazioni sull'idoneità degli habitat, espressa in funzione della classe di uso del suolo, e differenti minacce derivanti a loro volta da diverse attività antropiche (Nolè et al., 2020).

Il modello risente della distribuzione spaziale degli habitat e delle pressioni, consentendo dunque il monitoraggio delle interazioni tra le componenti antropiche e quelle naturali (Muzzillo et al., 2020, 2021; Angela Pilogallo et al., 2019a).

I risultati sono due mappe: “habitat degradation” che rappresenta gli effetti cumulati delle pressioni antropiche che contribuiscono a determinare il livello di degrado complessivo; “habitat quality” che varia tra 0 (bassa qualità degli habitat) e 1 (alta qualità degli habitat) e devira dalla combinazione di tutte le pressioni agenti e la sensitività delle componenti territoriali con cui tali minacce interagiscono. I dati di input sono: una tabella descrittiva delle minacce in termini di peso relativo, distanza di influenza e funzione di decadimento; un raster binario per ciascuna minaccia considerata; una matrice che sintetizzi i valori di sensitività di ciascuna classe di uso del suolo rispetto a ciascuna delle pressioni considerate.

Nel caso della Regione Basilicata, i valori del degrado (Fig. 26) variano tra 0 e 0.25, con i valori più bassi essenzialmente distribuiti nelle aree interne e prevalentemente montane e boscate. Le zone di maggior degrado corrispondono invece ad aree agricole dell’Alto e Medio Bradano, una parte della Murgia Materana e alcune porzioni della Piana del Metapontino. Ciò è dovuto alla diffusa presenza di agricoltura intensiva che interessa ampie aree prevalentemente caratterizzate da monoculture.

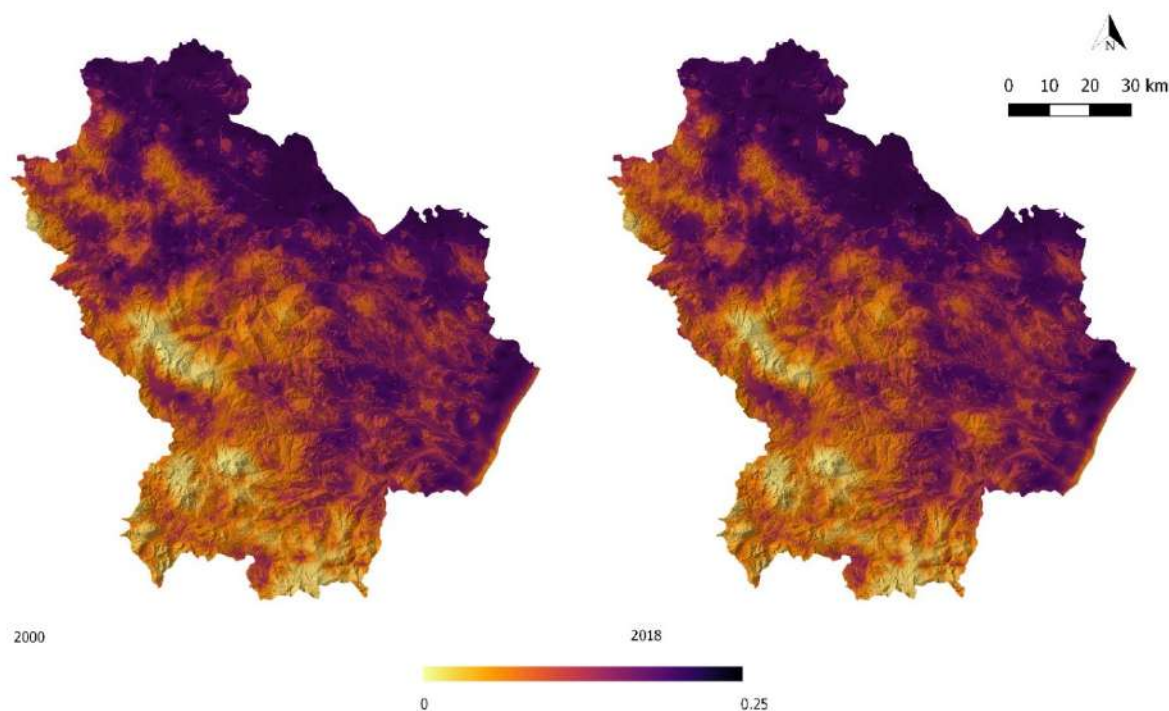


Fig. 26. Habitat degradation nella Regione Basilicata

La qualità degli habitat (**Fig. 27**) restituisce in qualche modo un'immagine speculare rispetto al degrado, evidenziando soprattutto le aree naturali (elevato valore di “habitat suitability”) interessate meno da attività antropiche o distanti dalle principali fonti di minaccia (basso valore di “habitat degradation”).

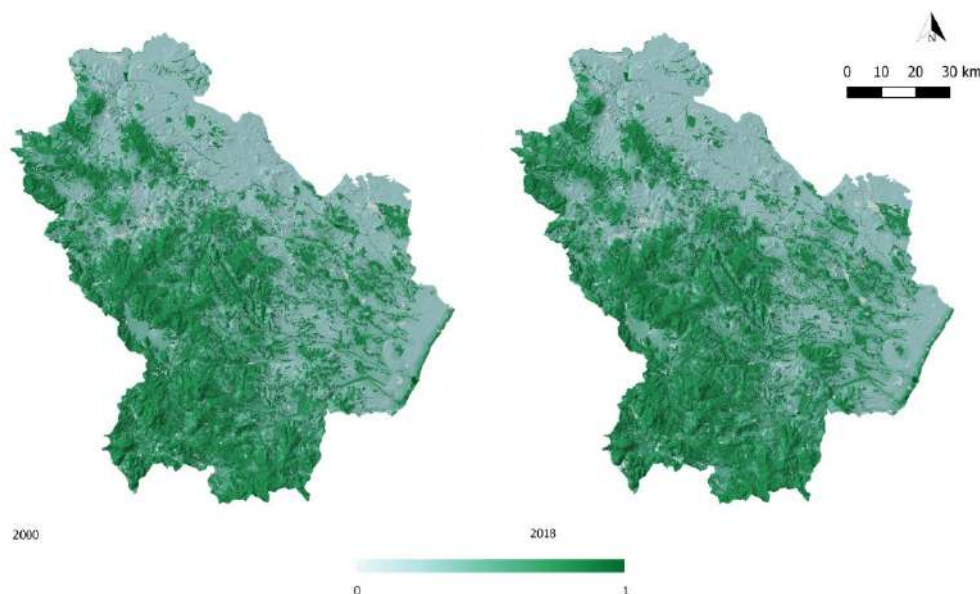


Fig. 27. Habitat Quality nella Regione Basilicata

Queste aree, per la Regione Basilicata, corrispondono alle aree umide in corrispondenza della foce dei principali corsi d'acqua lungo la fascia Jonica ed ai rilievi boscati inclusi all'interno dei Parchi Nazionali del Pollino e dell'Appennino Lucano – Val d'Agri – Lagonegrese. Le aree caratterizzate da qualità nulla sono invece significative dei centri urbani e delle aree industriali.

Il confronto tra la situazione al 2000 e al 2018 evidenzia un aumento del degrado nell'area del Vulture-Melfese in cui alla minaccia costituita dalle attività legate all'agricoltura prevalentemente intensiva e monocolturale, si sono aggiunte diffuse e numerose installazioni di impianti per la produzione di energia rinnovabile. Ciò ha comportato una serie di impatti legati sia al funzionamento degli impianti di produzione sia alle nuove infrastrutture viarie realizzate per garantire l'accessibilità a ciascuna installazione.

Controllo dei tassi di erosione

Il suolo è riconosciuto come una risorsa fondamentale in quanto costituisce uno dei principali erogatori di SE (Kibblewhite et al., 2008) essendo alla base della produttività agricola, essenziale per

governare il ciclo del carbonio (Stringer, 2008) e ai fini della tutela della biodiversità (Pascual et al., 2015; Udawatta et al., 2017) nonché elemento chiave per perseguire diversi obiettivi di sviluppo sostenibile (Keesstra et al., 2016; Pilogallo et al., 2020).

Nell'ambito di questo lavoro è stato utilizzato il software InVEST denominato “Sediment Delivery Ratio (SDR)” (“Sediment Delivery Ratio — InVEST 3.6.0 documentation,” n.d.), modello spazialmente esplicito capace di rappresentare la distribuzione spaziale della perdita di suolo per effetto dei fenomeni erosivi (Hamel et al., 2015). Basato sul modello RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), consente di mappare la distribuzione media annuale di perdita di suolo espressa in tonnellate/ettaro/anno.

I dati di input sono essenzialmente quelli dell'equazione del RUSLE:

- una tabella di sintesi dei valori relativi ai parametri di gestione delle colture (C) e delle pratiche di supporto (P) per ciascuna classe di uso del suolo;
- il modello digitale di elevazione del terreno (DEM);
- un raster per l'erosività (R);
- un raster per l'erodibilità del suolo (K).

I valori dei parametri P e C sono stati derivati dalla letteratura scientifica (Panagos et al., 2015b) (Panagos et al., 2015c); per quanto riguarda le mappe dell'erosività e dell'erodibilità dei suoli si è fatto riferimento a quanto reso disponibile a livello europeo (Panagos et al., 2015a).

I risultati del modello dipendono quindi dalla morfologia del territorio, dalle caratteristiche dei litotipi affioranti nonché dalle caratteristiche delle precipitazioni piovose particolarmente intense.

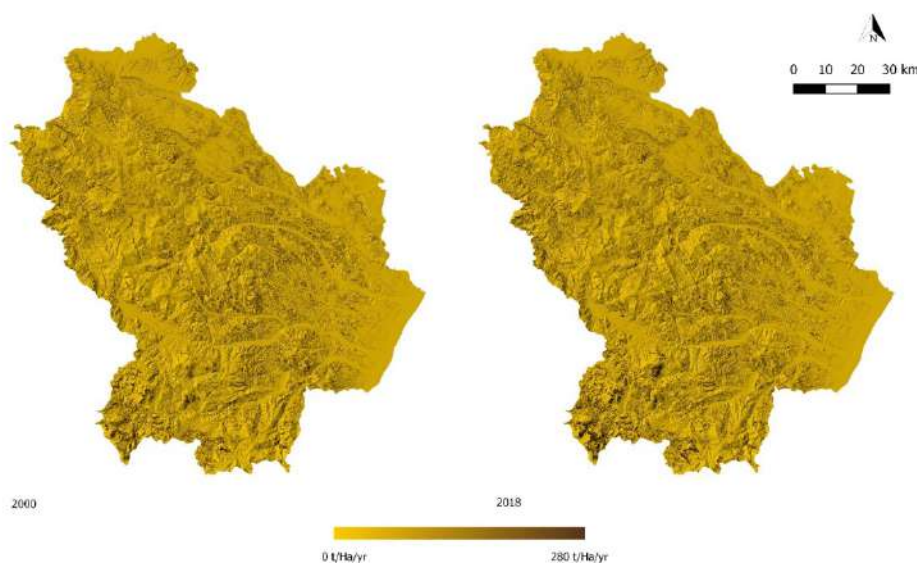


Fig. 28. Erosion rates

I risultati ottenuti nel caso studio della Regione Basilicata e mostrati in **Fig. 28**, variano da 0 a 280 t/ha annue distribuendosi per i valori maggiori, prevalentemente lungo la parte centrale della Catena Appenninica dove l'assenza di coperture arboree o arbustive, le condizioni orografiche ed i regimi pluviometrici favoriscono l'insorgere di processi erosivi.

L'interpretazione corretta di questo strato informativo è quindi opposta rispetto ai risultati precedenti in quanto i valori maggiori corrispondono in realtà a "coldspot" dell'erogazione del SE di controllo dell'erosione (Pilogallo et al., 2020). Le aree in cui la **Fig. 28** assume i valori minori, sono infatti quelle in cui il SE di naturale regolazione dei flussi di produzione e trasporto dei sedimenti avviene in virtù della copertura del suolo e della morfologia territoriale.

Le aree in cui alla scala Regionale si osservano degli incrementi evidenti sono comprese tra la Costa Maratea e il Lagonegrese. Ulteriori differenze, più difficilmente visibili dalla rappresentazione alla scala regionale, si sono verificate nelle aree calanchive tra Pisticci e Montalbano Jonico.

Tali strati informativi rendono espliciti gli effetti di dinamiche complesse che sono il frutto di processi naturali e antropici interconnessi, quali quelli di erosione lineare che avvengono nell'area dei Calanchi, gli incendi che spesso interessano territori boscati e arbusteti a Macchia Mediterranea, nonché pratiche di gestione territoriale (deforestazione, sovra-pascolamento, etc...). Essi costituiscono dunque un riferimento importante nella strutturazione di un sistema di monitoraggio delle trasformazioni territoriali e dei cambiamenti di uso del suolo, anche alla luce delle crescenti pressioni legate ai cambiamenti climatici.

Regolazione della Qualità delle Acque Superficiali

Il SE di regolazione della qualità delle acque superficiali rappresenta il risultato dell'interazione tra le classi di uso del suolo che rappresentano una sorgente diffusa di inquinanti (le classi ad uso agricolo), le coperture di suolo che costituiscono un filtro naturale per la mitigazione dell'inquinamento (ovvero le aree di vegetazione ripariale) e i corpi d'acqua che costituiscono il recapito finale delle acque di ruscellamento (Pilogallo and Scorza, 2021).

Il modello applicato è "Nutrient Delivery Ratio" che simula il movimento verso valle degli inquinanti (costituiti essenzialmente da Azoto e Fosforo) computando un bilancio di massa che considera la morfologia del territorio e, con essa, lo sviluppo dei flussi idrici superficiali.

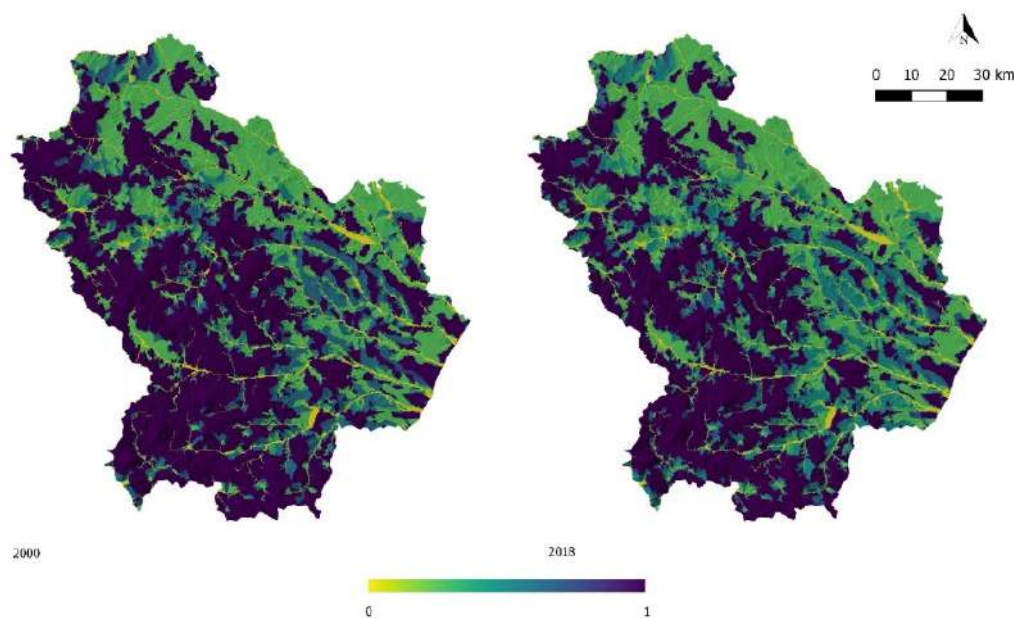


Fig. 29. Nutrients effective retention nella Regione Basilicata

Il software richiede in input: il modello digitale del terreno (DEM); lo strato informativo del deflusso delle acque superficiali; i bacini idrografici; una tabella di sintesi dei valori del carico di nutrienti (kg/Ha/anno) per ciascuna classe di uso del suolo agricola (Salata et al., 2017).

Tra i vari output del modello, nell'ambito del presente lavoro è stato considerato lo strato informativo denominato "effective retention" rappresentativo della potenziale capacità di filtrazione pixel per pixel. Il risultato risulta dunque essere funzione tanto dell'alternarsi delle differenti classi di uso del suolo, quanto della rete di deflusso idrico superficiale sul quale influisce in maniera determinante l'orografia del territorio. Il valore di tale raster varia tra 0, in corrispondenza dei corsi d'acqua che non esprimono alcun potere filtrante, e 1 in corrispondenza di aree prospicienti il greto fluviale e coperti da fitta vegetazione arborea ed arbustiva.

Come è possibile notare dai risultati ottenuti per l'area di studio (Fig. 29), l'erogazione di questo SE risulta carente nella zona dell'Alto e del Medio Bradano, nell'area della Murgia Materana, nella Piana del Metapontino e nell'Alta Val d'Agri. Tali aree sono caratterizzate da pendenze dolci e da intense ed estese attività agricole. I bassi valori del SE sono quindi da ascrivere congiuntamente dagli elevati valori di fertilizzanti che giungono alla rete idrica superficiale e all'insufficienza delle fasce di vegetazione ripariale nel contribuire al filtraggio dei contaminanti presenti nelle acque di ruscellamento.

L'area in cui è più evidente una diminuzione nell'erogazione di questo SE nel periodo considerato corrisponde al Vulture Melfese e all'Alto Bradano.

Produttività Agricola

Ai fini della valutazione della Produttività agricola, è stato utilizzato il modulo di InVEST denominato "Crop Production" che, rispetto alle valutazioni esclusivamente basate sulla produttività unitaria moltiplicata per l'area delle colture, ha il vantaggio di implementare dei modelli climatici che forniscono un ulteriore dettaglio relativamente alla distribuzione delle rese agricole (Angela Pilogallo et al., 2019a).

L'unico dato richiesto in input, oltre alla carta di uso del suolo dell'area investigata, è una tabella di sintesi contenente i valori di azoto, fosforo e potassio mediamente utilizzati per ciascuna coltura.

Il risultato dell'elaborazione consiste in una carta che rappresenta la distribuzione spaziale delle rese agricole, consentendo il confronto tra diversi scenari di trasformazione "da" o "in" coperture agricole e supportando, di conseguenza, anche una monetizzazione del SE.

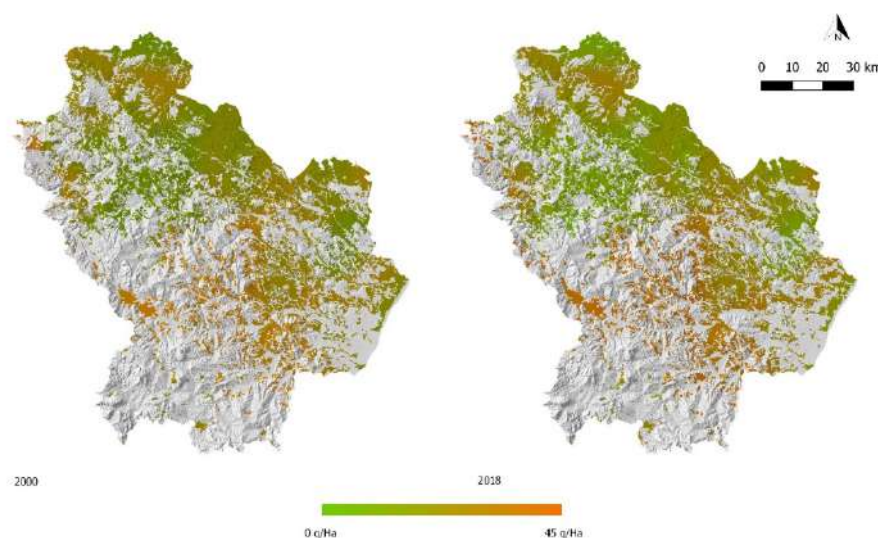


Fig. 30. Produttività Agricola nella Regione Basilicata

I risultati ottenuti per la Regione Basilicata (Fig. 30) si riferiscono alle sole colture cerealicole ed evidenziano l'importanza del comparto agricolo nel settore orientale del territorio regionale, corrispondente alla Valle del Bradano e nell'Alta Valle dell'Agri. In tali aree, le componenti climatiche e morfologiche contribuiscono al raggiungimento di produzioni cerealicole superiori a 40 q/Ha.

Le variazioni delle coperture agricole nel periodo 2000-2018 sono più evidenti nella quadrante nord-occidentale del Potentino e nella Piana del Metapontino, dove si assiste ad un incremento della frammentazione delle aree agricole (Saganeiti et al., 2021), e nel territorio di Melfi (Angela Pilogallo et al., 2019a; Scorza et al., 2020b).

Considerazioni finali

L'infrastruttura di dati elaborati si configura come una esemplificazione di un sistema di monitoraggio alla scala regionale che espliciti i molteplici effetti sulle componenti ambientali sortiti da trasformazioni territoriali e cambiamenti di uso del suolo. Le elaborazioni effettuate sulla base di una Carta di Uso del Suolo opportunamente integrata con ulteriori e maggiormente dettagliati strati informativi relativi alle nuove edificazioni, alla realizzazione di nuove infrastrutture di trasporto, all'installazione di impianti per la produzione di energie rinnovabili, consente una valutazione dei processi di sviluppo secondo un approccio sistemico che si svincola dalla frammentazione delle singole competenze in cui si articolano la pianificazione e la programmazione di settore. Ciò consente quindi di adottare una prospettiva trasversale rispetto alle molteplici istanze provenienti a livello territoriale consentendo una efficace valutazione del grado di sostenibilità dei processi di sviluppo attualmente in corso, nonché di indirizzare le linee strategiche future mediante confronto tra scenari di sviluppo alternativi.

Un'applicazione alla scala comunale: nuove forme insediative e variazione dei Servizi Ecosistemici nel Comune di Melfi

Questa sezione deriva dalla primo rapporto di ricerca consegnato Scuola d'Ingegneria dell'Unibas a FARBAS nell'Ottobre 2019

Di seguito si riporta un'applicazione alla scala comunale relativa al territorio di Melfi all'interno del quale l'approccio dei Servizi Ecosistemici ha supportato una valutazione delle trasformazioni dovute alla diffusione di impianti per la produzione di energia rinnovabile.

Materiali e metodi

Al fine di valutare gli effetti delle trasformazioni territoriali che sono avvenute nel territorio di Melfi, si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni per un set selezionato di servizi ecosistemici. Al fine di agevolare l'interpretazione dei fenomeni, le mappe sono corredate da trend evolutivi, grafici ed overlay finalizzati ad evidenziare alcuni aspetti dei processi di trasformazione ritenuti rilevanti.

Le analisi relative al territorio di Melfi sono state condotte considerando una dimensione del pixel è di 5x5 m che consente una maggiore accuratezza spaziale ed include, ad esempio, il contributo in termini di carbonio stoccato dalle aree verdi urbane (Scorza et al., 2020b).

Nelle classi di uso del suolo riportate nella tabella seguente sono inserite quelle relative agli impianti RES (lucode 7) alle quali corrisponde un contributo nullo in termini di carbon pools. L'ipotesi di lavoro è quella di assimilare le aree interessate da impianti RES al tessuto urbano o più in generale ad un processo di “consumo di suolo” che annulla il contributo di tali superfici in termini di servizi ecosistemici (Angela Pilogallo et al., 2019a).

Tabella 5 Classi di uso del suolo considerate e relativi valori dei Carbon Pools

lucode	Descrizione	C_above	C_Below	C_Soil	C_Dead
11	Edifici residenziali in centri urbani compatti	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Edifici residenziali in centri urbani dispersi	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Edifici ad uso industriale e commerciale	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Viabilità (strade e ferrovie)	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Cave e discariche	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Giardini e verde urbano	15.00	0.00	0.00	0.00
511	Frutteti	63.00	7.85	1.00	0.00
512	Orti	0.00	4.7	62.57	0.00
513	Seminativi	0.00	4.7	62.57	0.00
514	Uliveti	63.00	7.85	1.00	0.00
515	Vigneti	63.00	7.85	1.00	0.00
53	Pascolo incolto	0.00	4.7	64.50	0.00
54	Boschi	160.00	58.00	64.50	20.50
541	Boschi di conifere	160.00	52.00	64.50	20.50
542	Boschi di latifoglie	160.00	59.80	64.50	20.50
62	Corsi d'acqua	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Impianti produttivi di energia rinnovabile: eolico e fotovoltaico	0.00	0.00	0.00	0.00

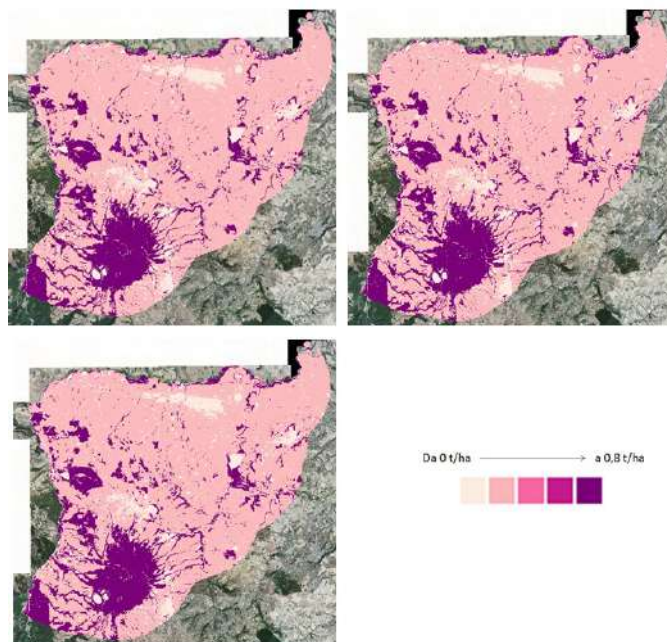


Fig. 31. Mappe dello stoccaggio di carbonio ottenute per il territorio comunale di Melfi nei tre intervalli temporali considerati

Ponendo l'attenzione sulle aree che hanno subito maggiore trasformazione, è possibile notare come in alcuni casi l'installazione degli impianti FER abbia comportato una compromissione di aree tra le maggiori erogatrici del servizio ecosistemico relativo allo stoccaggio di carbonio.

Complessivamente il carbonio stoccato al 2013 ammonta a 10,3 kt. Tale valore considerando le sole trasformazioni indotte dall'installazione di impianti di produzione energetica FER, subisce un decremento dello 0,31% corrispondente a circa 32 t di carbonio precedentemente immagazzinato.

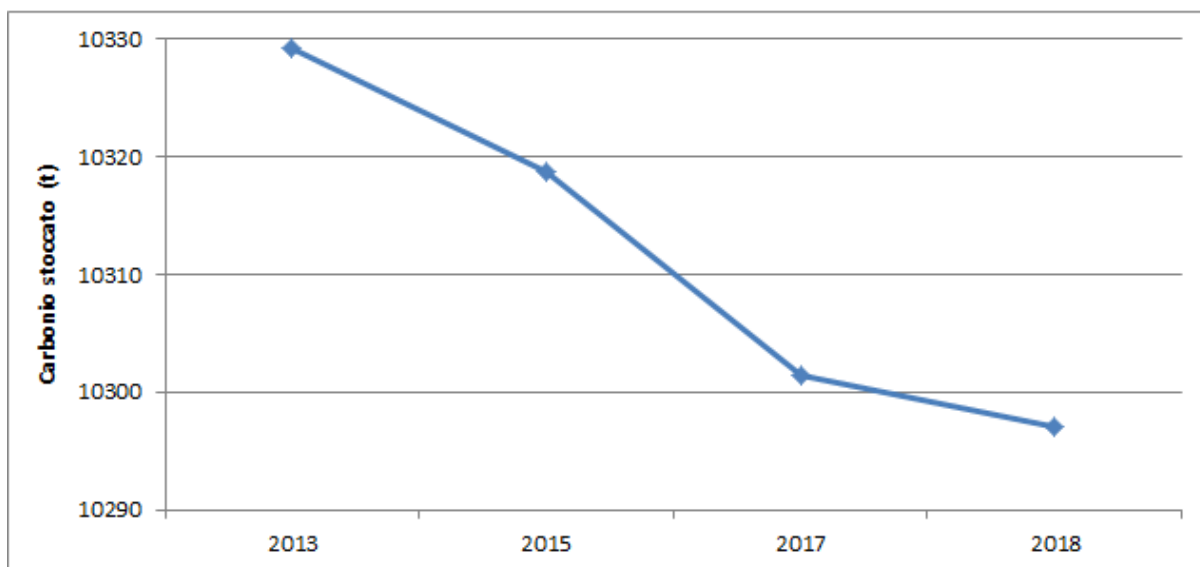


Fig. 32. Trend del carbonio stoccato nel periodo 2010-2018 considerando le sole variazioni dovute alla realizzazione di impianti RES

L'analisi del trend consente di rilevare una velocità di variazione del carbonio immagazzinato maggiore nel biennio 2015-2017, periodo in cui si registra il maggior aumento di installazioni di impianti di piccolo e grande eolico. Come già visto in precedenza, tuttavia, le variazioni indotte dal grande eolico, analizzando il medesimo intervallo temporale, sono significativamente prevalenti rispetto agli impianti di potenza inferiore ai 200 kW.

La valutazione della qualità degli habitat è stata effettuata nel territorio comunale di Melfi utilizzando un raster di uso del suolo con risoluzione 5x5 metri. L'elaborazione è stata effettuata per tre intervalli temporali considerando anche gli impianti RES e quindi: 2010-2014, 2014-2017 e 2017-2018. Per la valutazione della qualità degli habitat si è considerata la biodiversità in generale. La codifica dell'uso del suolo è mostrata nella sezione riguardante le elaborazioni sullo stoccaggio di carbonio.

Come fonte di minaccia si sono assunte le seguenti categorie:

- agricoltura (AGRI), ossia tutte le classi LUCODE da 511 a 515;
- edificato (EDIF), ossia le classi LUCODE 11, 12 e 13;
- cave e discariche (CADI);
- impianti eolici e fotovoltaici (RES), gli impianti presenti in ogni intervallo temporale considerato;
- strade principali e ferrovie (BROAD), tutte le principali strade di collegamento a scorrimento veloce e le ferrovie;

- strade locali (SROAD), tutte le strade locali.

Tabella 6 Minacce agenti sul territorio con relativi pesi e distanze d'impatto

Minaccia	Distanza Massima [Km]	Peso [0-1]
AGRI	0.3	0.4
EDIF	1	0.85
CADI	1.5	0.65
RES	1.5	1
BROAD	2	1
SROAD	0.4	0.3

Per quanto riguarda la matrice di sensitività si sono assegnati valori massimi di habitat alle classi di uso del suolo riguardanti i boschi e i corsi d'acqua e valori nulli alle classi di uso del suolo antropizzate come quelle riguardanti gli edifici e gli impianti RES. Per ogni classe di uso del suolo si è assegnato un punteggio da 0 a 1 corrispondente al grado di sensibilità di quell'habitat alla relativa minaccia.

Tabella 7 Matrice di sensitività dove viene riportato il grado di habitat [0-1] per ogni classe di uso del suolo e la sensibilità di ogni habitat alla singola minaccia [0-1]

lucode	NAME	HABITAT	AGRI	EDIF	CADI	RES	BROAD	SROAD
11	Edifici residenziali in centri urbani compatti	0	0	0	0	0	0	0
12	Edifici residenziali in centri urbani dispersi	0	0	0	0	0	0	0
13	Edifici ad uso industriale e commerciale	0	0	0	0	0	0	0
2	Viabilità (strade e ferrovie)	0	0	0	0	0	0	0
3	Cave e discariche	0	0	0	0	0	0	0
4	Giardini e verde urbano	0.3	0.3	0.4	0.1	0.3	0.3	0.5
511	Frutteti	0.5	0	0.3	0.2	0.5	0.4	0.5
512	Orti	0.5	0	0.3	0.2	0.5	0.4	0.5
513	Seminativi	0.4	0	0.5	0.2	0.8	0.4	0.5
514	Uliveti	0.5	0	0.3	0.2	0.5	0.4	0.5

515	Vigneti	0.5	0	0.3	0.2	0.5	0.4	0.5
53	Pascolo incolto	0.6	0.4	0.7	0.3	0.9	0.6	0.4
54	Boschi	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.5
541	Boschi di conifere	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.5
542	Boschi di latifoglie	1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.5
62	Corsi d'acqua	0.9	0.5	0.4	0	0.3	0.8	0.4
7	Impianti produttivi energia rinnovabile: Eolico e Fotovoltaico	0	0	0	0	0	0	0

Con i dati di input appena descritti si sono ottenute le mappe riguardanti il degrado e la qualità degli habitat mostrate di seguito.

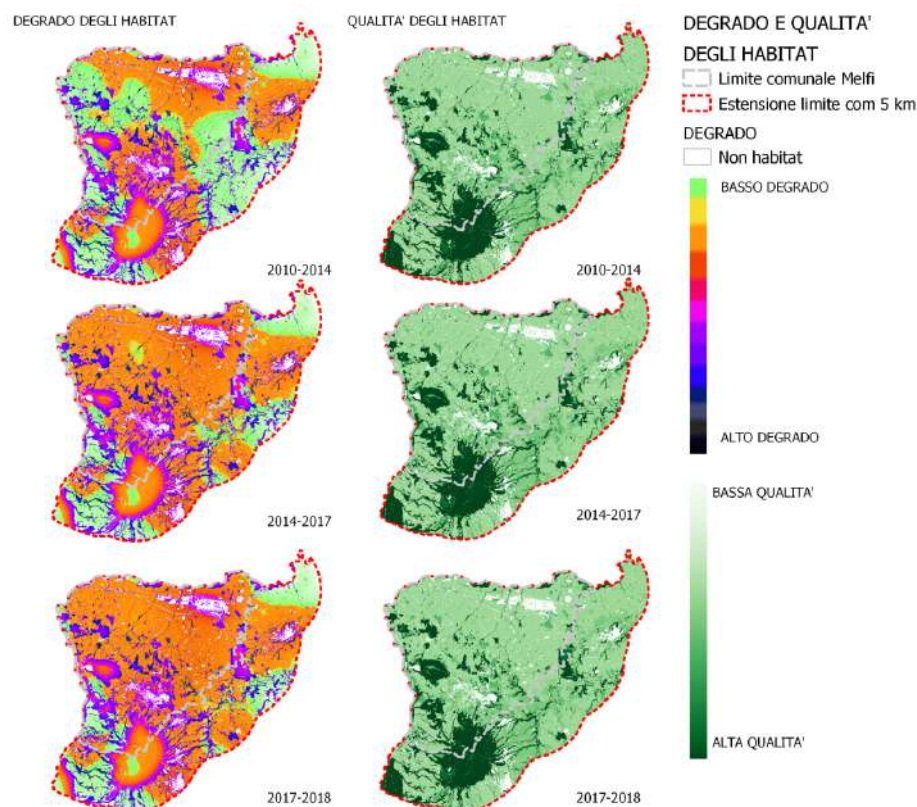


Fig. 33. Mappe della qualità degli habitat e del degrado per il territorio di Melfi ai tre intervalli temporali

Nella mappe sono indicate di colore bianco le classi di uso del suolo considerate nell'analisi come “non habitat” dal momento che non espletano nessun beneficio per la biodiversità in generale del territorio. Per quanto riguarda le mappe del degrado, il colore verde indica un livello di degrado degli habitat molto basso mentre colori tendenti al nero un grado più alto di degrado. La mappa della qualità

ha una scala di colori dal verde chiaro al verde scuro corrispondenti rispettivamente ad una bassa qualità e ad un alto grado di qualità degli habitat.

I grafici seguenti mostrano i risultati dell'analisi in percentuale e per classi (di qualità e di degrado) su tutta l'area di studio.

Per quanto riguarda la qualità degli habitat i risultati sono stati raggruppati in 4 macroclassi: “non habitat”, “qualità bassa”, “qualità media” e “qualità alta”. Nelle fasi temporali analizzate, le percentuali di territorio classificate come “non habitat” e “qualità bassa” aumentano dello 0,46% a scapito di quelle classificate come “qualità media” che al contrario diminuiscono dello 0,45%. L'aumento della classe “non habitat” è dovuta all'installazione dei nuovi impianti RES che incidono a loro volta sui terreni agricoli andandone a diminuire il grado di qualità (Angela Pilogallo et al., 2019a).

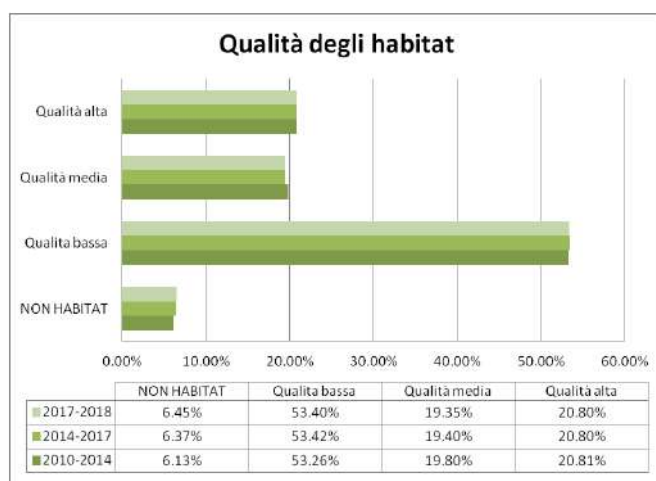


Fig. 34. Grafico della qualità degli habitat rappresentante sull'asse delle ascisse la quantità di superficie in percentuale e, sull'asse delle ordinate il livello di qualità degli habitat individuato. Nella tabella viene riportato il valore percentuale per ogni intervallo temporale analizzato

Per il degrado degli habitat la suddivisione è stata eseguita in quattro macro classi da “non habitat” a “degrado alto”. Nelle fasi temporali analizzate la superficie classificata come “degrado basso” diminuisce notevolmente, del 18% la. In modo complementare le superfici classificate come “degrado medio” e “degrado alto” aumentano complessivamente di circa il 18%. L'aumento percentuale delle superfici nelle classi di degrado medio e alto è da imputare proprio agli impianti RES installati in seguito al 2010.

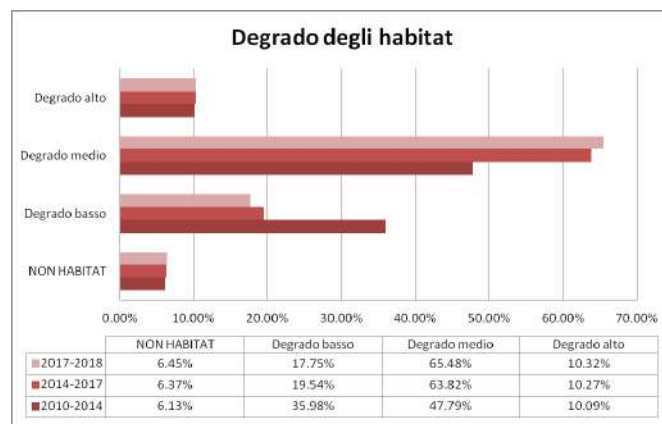


Fig.35. Grafico del degrado degli habitat rappresentante sull'asse delle ascisse la quantità di superficie in percentuale e, sull'asse delle ordinate il livello di degrado degli habitat individuato. Nella tabella viene riportato il valore percentuale per ogni intervallo temporale analizzato

Come già accennato l'analisi di crop production nell'ambito del presente studio ha lo scopo di quantificare gli effetti sortiti dalle produzioni agricole in seguito ai processi di trasformazione dovuti all'installazione degli impianti FER.

Le elaborazioni sono state effettuate in riferimento a due colture: i vigneti e il grano duro.

Il territorio di Melfi rientra infatti tra le aree di coltivazione incluse all'interno del disciplinare DOCG dell'Aglianico del Vulture Superiore. Il grano duro è stato invece selezionato quale esemplificativo dei numerosi ed estesi seminativi non irrigui presenti.

I risultati dell'elaborazione evidenziano la presenza di tre fasce climatiche ricadenti all'interno dell'area di studio, che comportano la suddivisione delle superfici adibite a vigneti in tre classi di produttività: bassa (fino a 37,2 q/ha), media (da 37,2 a 68,4 q/ha), alta (maggiore di 68,4 q/ha).

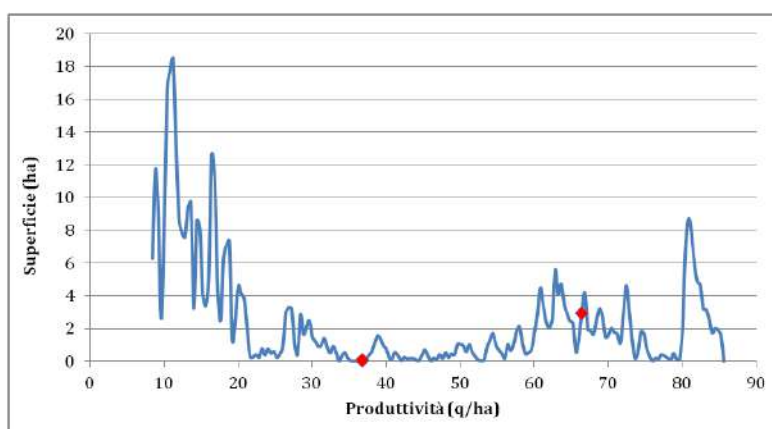


Fig. 36. Classificazione delle aree viticole sulla base della produttività

I circa 476 ha di vigneti presenti sono distribuiti principalmente tra le classi inferiori, lasciando un discreto margine di intensificazione delle pratiche colturali anche nel caso in cui si ipotizzi che l'intera produzione debba risultare conforme al disciplinare dell'aglianico DOCG per il quale la produttività non dovrebbe eccedere le 7 t/ha.

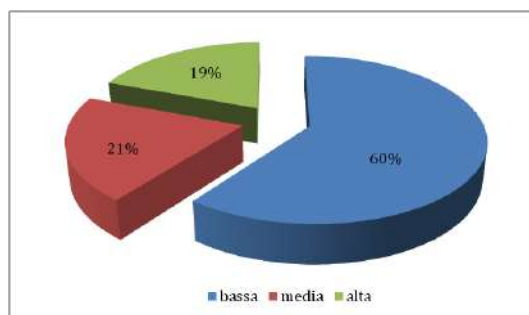


Fig. 37. Suddivisione delle superfici viticole in base alla produttività

L'overlay tra gli impianti esistenti al 2018 e i vigneti presenti nell'area di studio, evidenzia come i processi di trasformazione abbiano essenzialmente preservato la produttività viticola della zona. Emerge infatti che la maggior parte delle installazioni è collocata nella porzione del territorio comunale compresa tra il polo industriale ed il centro abitato. Al contrario, i vigneti sono prevalentemente dislocati lungo il versante nord – orientale del Vulture e nella parte settentrionale del comune.

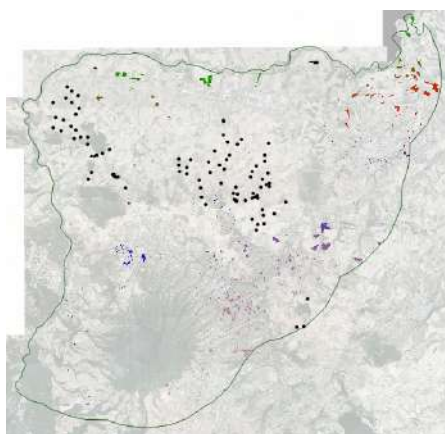


Fig. 38. Dislocazione degli impianti RES (in nero) rispetto alle aree viticole classificate in base alla produttività bassa(dal viola al blu), media (dal rosso al bordeaux) e alta (dal verde chiaro al verde scuro)

La medesima analisi, ripetuta in riferimento alla produzione cerealicola, assume un'importanza ancora maggiore dal momento che l'area di maggior concentrazione degli impianti RES ricade per la maggior parte proprio entro la classe di uso del suolo dei "Seminativi non irrigui".

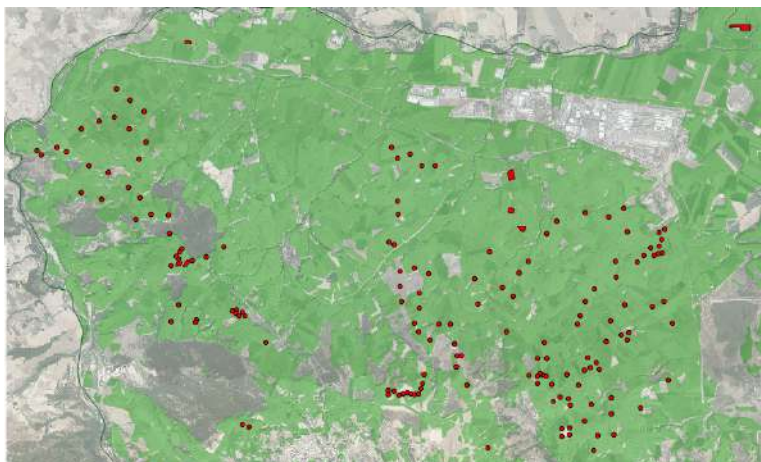


Fig. 39. Localizzazione degli impianti RES dislocati nelle aree adibite a seminativo non irriguo (in verde)

Complessivamente i seminativi non irrigui interessano circa 20.174 ha con una distribuzione rispetto alle classi di resa molto più vantaggiosa rispetto alle coltivazioni viticole. Non avendo informazioni di dettaglio rispetto al tipo delle colture effettivamente presenti, le analisi sono state effettuate considerando tutti i seminativi coltivati a grano. La resa media risultata dall'elaborazione è di circa 20,66 q/ha che però, nella parte settentrionale del territorio comunale raggiunge anche valori superiori a 31 q/ha.

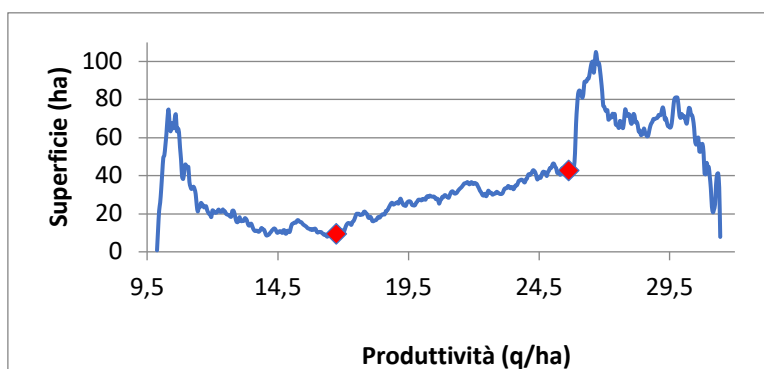


Fig. 40. Classificazione delle aree cerealicole sulla base della produttività

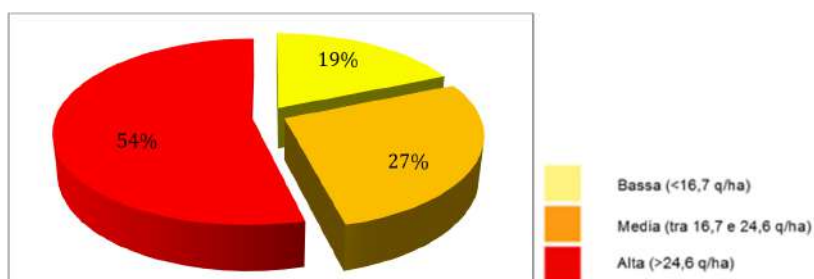


Fig. 41. Suddivisione dei seminativi presenti in base alle tre classi di produttività

Emerge chiaramente come la realizzazione degli impianti RES abbia depauperato il territorio della sua capacità di produzione agricola, andando a sottrarre superfici produttive proprio dalle aree climaticamente maggiormente votate alla coltura cerealicola.

L'elaborazione sul comune di Melfi ha inteso valutare l'estensione dell'area entro cui gli impianti FER sortiscono il proprio effetto sulla popolazione potenziale di impollinatori.

Il modello di InVEST è stato applicato considerando un generico impollinatore ed assegnando i valori massimi relativi a disponibilità di siti idonei alla nidificazione e delle risorse alimentari alle superfici boscate ed ai pascoli incolti. Valori intermedi sono stati considerati per le classi di uso del suolo riservate all'uso agricolo, privilegiando il ruolo di frutteti, oliveti ed orti rispetto a quello dei seminativi non irrigui e considerando valori minimi ma non nulli lungo le fasce ripariali e all'interno di giardini e aree verdi urbane.

Nelle elaborazioni effettuate, inoltre, non si è tenuto conto della stagionalità delle fioriture.

L'anno di riferimento, rispetto al quale sono stati valutati i cambiamenti è il 2010, anno in cui non si registra la presenza di alcun impianto FER.

Come si può osservare dalla mappa, l'indice relativo ai luoghi in cui gli impollinatori nidificano, evidenzia il ruolo determinante delle aree boscate (rosso scuro) ma anche la variabilità che caratterizza i seminativi non irrigui sulla base della lontananza dalle superfici urbanizzate.

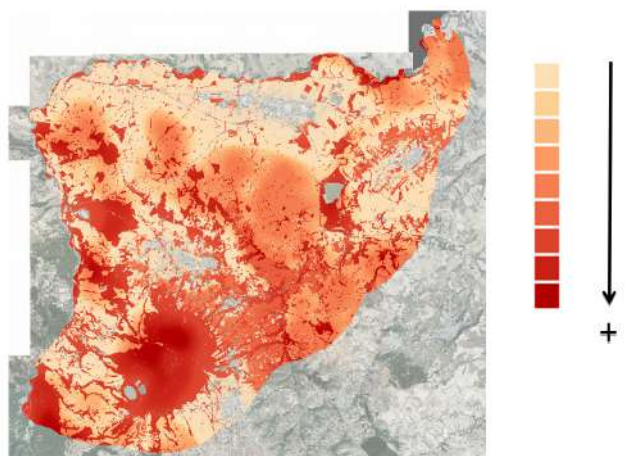


Fig. 42. Mappa dell'indice "Pollination supply" riferita all'anno 2010

Ciò è particolarmente evidente nell'area dislocata immediatamente a sud rispetto all'area industriale dove, pur essendo la classe di uso del suolo dominante "seminativi non irrigui", l'indice subisce una diminuzione all'avvicinarsi delle aree urbanizzate.

La rappresentazione dell'indice relativo a “pollination abundance”, che tiene invece in debita considerazione la capacità degli insetti pronubi di coprire determinate distanze, risulta essere complessivamente meno dettagliata.

La mappa che si ottiene in riferimento al 2010 evidenzia il contributo importante offerto dalla sommità del Monte Vulture (rosso scuro) che, per la posizione centrale rispetto all'area boscata, risulta essere quella che meno risente delle condizioni al contorno. Comportamento opposto dimostrano invece le aree immediatamente a ridosso delle superfici urbanizzate e dei corpi idrici, rappresentate dunque con una colorazione chiara.

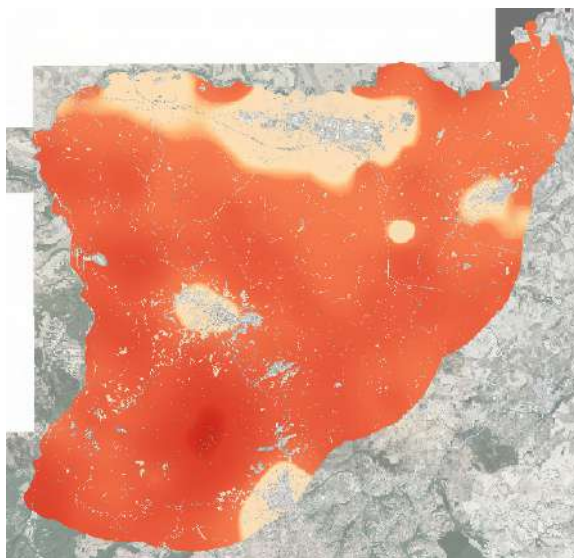


Fig. 43. Mappa dell'indice “Pollination abundance” riferita all'anno 2010

Ai fini di valutare le alterazioni che l'installazione dei vari impianti FER ha indotto sul servizio ecosistemico di regolazione degli impollinatori, l'analisi mediante InVEST è stata ripetuta considerando gli impianti che nelle fasi temporali considerate si sono aggiunti a quelli preesistenti. Sovrapponendo gli impianti FER presenti al 2018 all'immagine relativa all'evoluzione del suddetto indice, si nota come il servizio ecosistemico in oggetto risenta fortemente della densità delle installazioni.

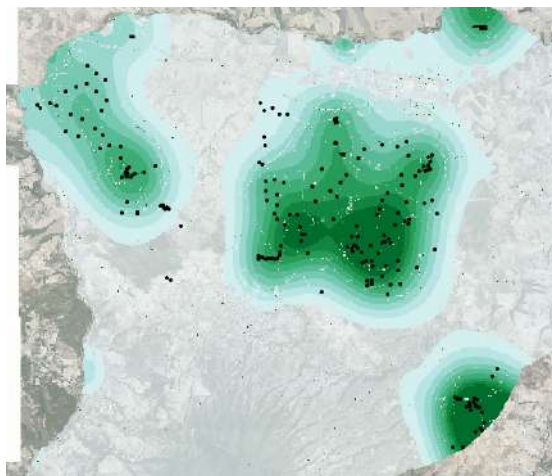


Fig. 44. Overlay tra gli impianti RES presenti al 2018 e l'evoluzione dell'indice "Pollination abundance" tra il 2010 e il 2018

Sovrapponendo gli impianti RES presenti al 2018 all'immagine relativa all'evoluzione del suddetto indice, si nota come il servizio ecosistemico in oggetto risenta fortemente della densità delle installazioni.

Considerazioni finali

Il caso studio relativo al territorio comunale di Melfi ha inteso fornire ulteriori argomentazioni al processo di valutazione dei processi di trasformazione territoriale che hanno avuto luogo negli ultimi anni e che sono stati in gran parte legati all'installazione di nuovi impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

In assenza di una pianificazione efficace di area vasta e di un valido strumento urbanistico (Scorza et al., 2020c), tali trasformazioni sono avvenute in modo sregolato, senza seguire alcuno schema di distribuzione spaziale finalizzato alla minimizzazione degli impatti e senza tenere in alcun conto l'impatto cumulato successivo alla realizzazione di più impianti a breve distanza l'uno dall'altro (Angela Pilogallo et al., 2019a, 2019b).

L'approccio dei servizi ecosistemici consente di rendere maggiormente sistemica la valutazione delle trasformazioni ed evidenzia, inoltre, quanto nell'ambito della pianificazione sia importante avvalersi di sistemi di supporto alle decisioni capaci di analizzare il grado di sostenibilità delle trasformazioni territoriali ai vari livelli della decisione. Dal caso studio emerge infatti che azioni intraprese alla luce

di istanze globali e finalizzate al contrasto dei cambiamenti climatici possano poi costituire alla scala locale un driver di detrimento dei servizi ecosistemici.

WP7 – Analisi della relazione tra consumo di suolo e interventi di programmazione economica e pianificazione urbana territoriale

Il WP7 è finalizzato alla comprensione del rapporto esistente tra i differenti comparti della programmazione (a differenti scale) e gli effetti sul consumo di suolo. In alcune aree della Regione è infatti emerso che l'assenza di pianificazione paesistica e la contestuale vigenza di piani comunali datati hanno stimolato la crescita urbana, l'antropizzazione e la dispersione insediativa contribuendo in misura rilevante al consumo di suolo. L'intento di questo WP, per quanto riguarda il contributo della Scuola di Ingegneria, è dunque quello confrontare gli interventi di programmazione con la pianificazione vasta e locale, e valutarne contestualmente l'evoluzione spazio-temporale in termini di consumo di suolo risultante.

In questa sezione si propone un'applicazione di strumenti di previsione dello sviluppo urbano che includono la dimensione territoriale degli investimenti pubblici e privati finanziati attraverso i programmi di sviluppo regionali a valere sui Fondi Strutturali come driver delle trasformazioni. Il contesto dell'applicazione è ristretto al territorio della Val d'Agri. Sono considerati come fattori di confronto per l'analisi: lo stato della pianificazione in essere, il quadro vincolistico, la dotazione infrastrutturale; gli areali a tutela naturalistico-ambientale. Attraverso modelli complessi di previsione dell'evoluzione insediativa è stata sviluppata una simulazione dell'espansione urbana al 2050.

La territorializzazione degli interventi di programmazione economica

Al fine di analizzare le relazioni intercorrenti tra consumo di suolo, aggiornamento degli strumenti di pianificazione e programmazione si è proceduto ad analizzare e territorializzare tutti i documenti di programmazione ricadenti nell'ambito territoriale della Val d'Agri. L'elemento di innovazione nell'approccio valutativo proposto dipende dalla territorializzazione puntuale dei progetti e degli interventi (Amato et al., 2016b). Si tratta di superare la tradizionale rappresentazione delle informazioni per voci aggregate e ambiti territoriali predefiniti (ambiti amministrativi, ambiti PIT, PIOT, aree programma ecc.) con la finalità di caratterizzare i “luoghi dell'attuazione”. Nelle figure seguenti si riportano alcune esemplificazioni di elaborazioni GIS per la rappresentazione dell'impatto territoriale delle risorse della Programmazione Operativa Regionale in Basilicata. Tali immagini, ricorrenti nella letteratura scientifica e tecnica della programmazione per lo sviluppo locale, considerano come unità statistica di riferimento l'ambito amministrativo comunale. Si sono utilizzati i dati derivanti dal progetto Open Coesione (<http://www.opencoesione.gov.it/>).

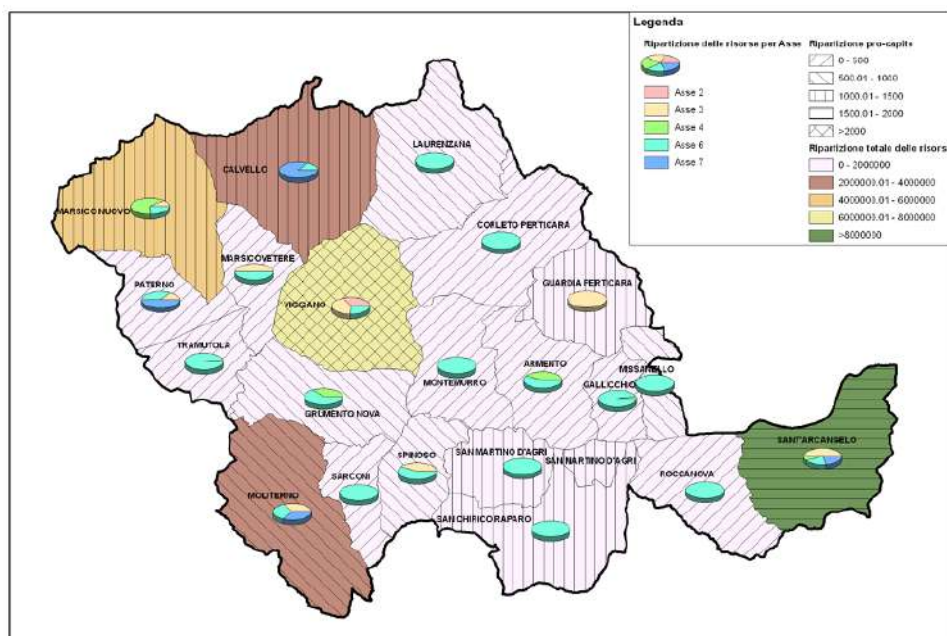


Fig. 45. Ripartizioni fondi FESR 2007/2013 Regione Basilicata – Ambito territoriale Val d'Agri (esemplificazione di strumenti GIS per la rappresentazione)

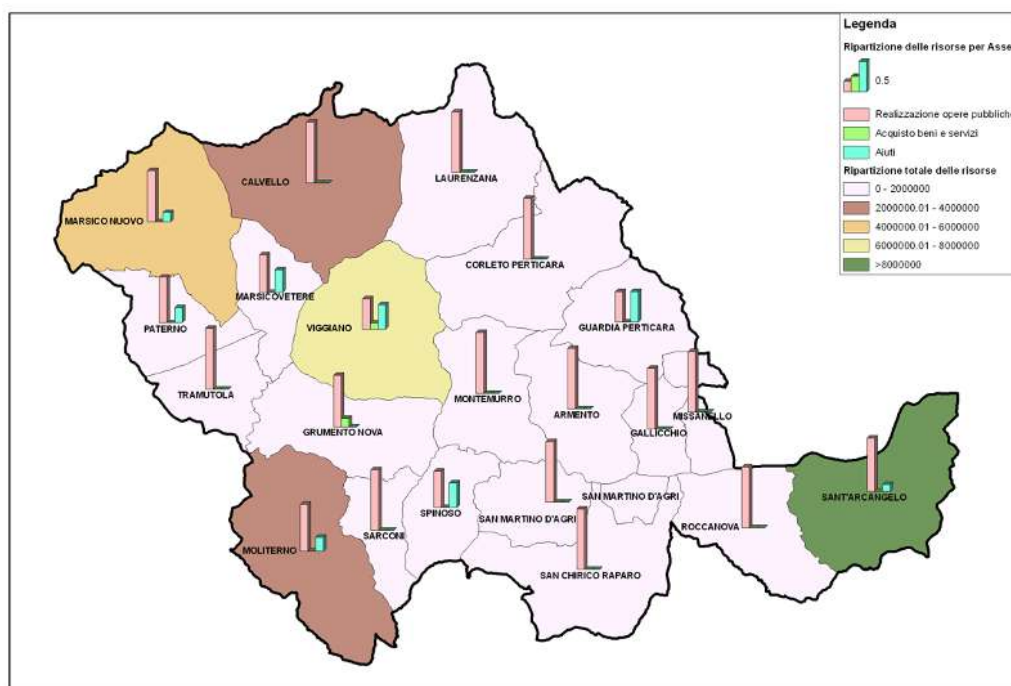


Fig. 46. Ripartizioni fondi FESR 2007/2013 Regione Basilicata – Ambito territoriale Val d'Agri (esemplificazione di strumenti GIS per la rappresentazione)

Il progetto Open Coesione mette a disposizione dei cittadini i dati relativi all'attuazione delle politiche di coesione delle amministrazioni italiane. Il progetto propone come finalità generale la valutazione d'efficacia e la valutazione di coerenza dell'impiego delle risorse disponibili da parte di soggetti qualificati (come ricercatori, analisti, policy makers) attraverso forme organizzative non codificate, come contributo al corretto orientamento dei processi di programmazione e attuazione della coesione europea.

Un risultato raggiunto dal progetto è sicuramente quello di abbattere una barriera informativa tradizionale che legava il pianificatore e gli amministratori territoriali ad una condizione di cecità rispetto all'attuazione delle politiche strutturali di sviluppo locale i cui dati di attuazione, generalmente non disaggregati, venivano elaborati e restituiti dalle stazioni amministrative di riferimento in ritardo rispetto ai tempi della decisione territoriale (Amato et al., 2016b; Scorza, 2013).

Da sito open-coesione si sono utilizzate le seguenti banche dati:

- Open data sui Fondi Strutturali europei 2007/2013
- Open data sul Fondo per lo Sviluppo e la Coesione (FSC) 2007/2013
- Open data sulle assegnazioni CIPE 2007/2013
- Open data sulle risorse finanziarie dei Fondi Strutturali e spesa certificata 2007/2013
- Open data sugli indicatori territoriali di contesto DPS-Istat
- Open data sui Conti Pubblici Territoriali (CPT)

I dati vengono distribuiti in formato aperto (.csv) e sono rilasciati con licenza CC BY-SA 3.0.

Si tratta di un insieme di dati collegati alle politiche di coesione, di cui una parte, relativa al monitoraggio dei progetti in attuazione e al contesto territoriale, è direttamente navigabile nel portale. Per quanto riguarda le finalità del presente lavoro sono stati considerati i database relativi agli interventi finanziati attraverso i Fondi Strutturali europei 2007/2013, i progetti del Fondo per lo Sviluppo e la Coesione (FSC) 2007/2013 e le assegnazioni CIPE.

Nella tabella seguente si riporta un quadro di sintesi delle informazioni su cui si è lavorato per la territorializzazione.

Tabella 8 Informazioni per la territorializzazione degli interventi

Strumento	Aggiornamento	Basilicata: numero interventi	Val D'Agri: numero interventi
Fondi Strutturali europei 2007/2013	Ultimo aggiornamento: marzo 2014 su dati al 31/12/2013	6.926	515

In base alla natura e all'organizzazione delle fonti informative selezionate è stata implementata una

procedura ‘ad hoc’ che utilizza esclusivamente strumenti liberi e applicativi ‘on-line’. La procedura prevede una serie di step operativi e strumenti software rappresentati nella figura seguente e successivamente descritti per gli aspetti principali.

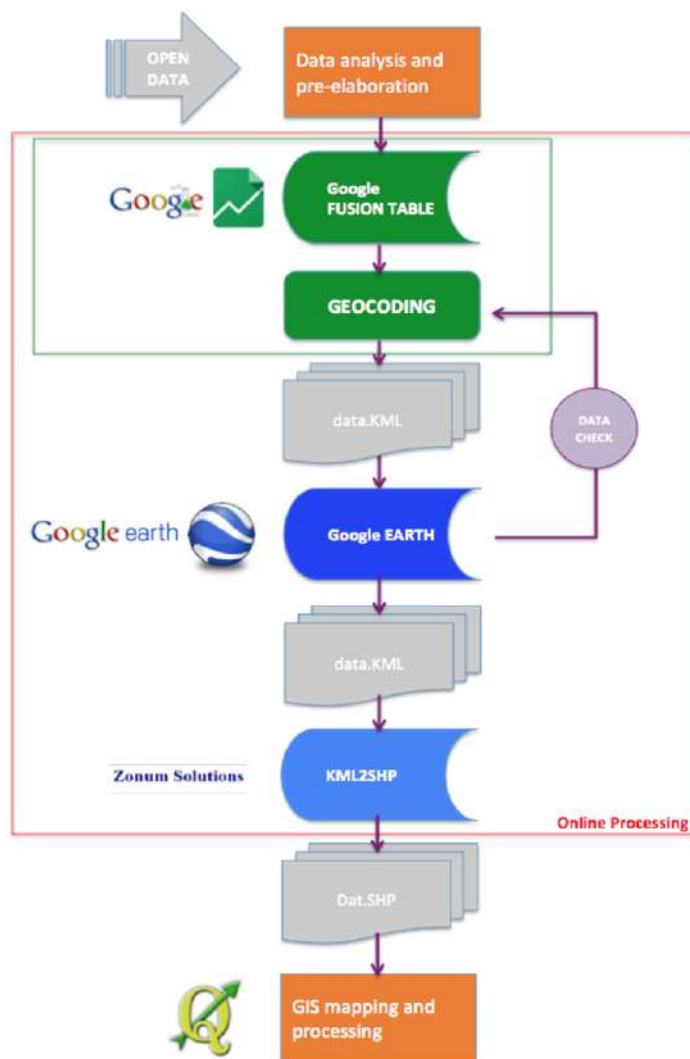


Fig. 47. Procedura per la territorializzazione degli investimenti in sviluppo

La prima fase del processo include le operazioni di estrazione, analisi e preparazione dei dati per la territorializzazione. I dataset forniti dal progetto Open Coesione contengono campi relativi alla ‘localizzazione’ dei record, ovvero dei singoli interventi realizzati rispetto ai differenti programmi/fondi.

Si tratta di attributi che possono avere differente livello di specializzazione in relazione alla natura dell’intervento, alla tipologia di spesa, alle caratteristiche del proponente o del beneficiario delle

risorse. L'obiettivo generale del processo di territorializzazione degli interventi è quello di ottenere localizzazioni puntuali delle iniziative. Pertanto sono stati considerati i campi "indirizzo", "denominazione del Comune" e "cap" per generare una stringa "location" sulla quale effettuare una operazione di geo-coding supportata dai tools liberi di Google.

Nell'immagine seguente sono rappresentati gli interventi finanziati dai Programmi Operativi 2007/2013 ricadenti nell'ambito di studio: la Valle dell'Agri in Basilicata.

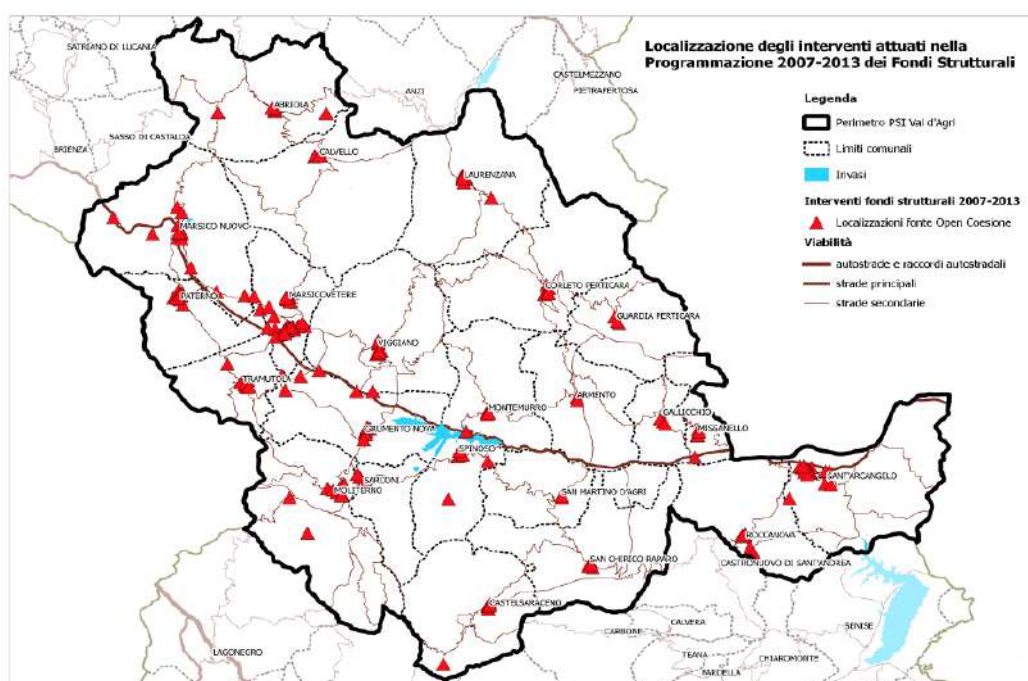


Fig. 48. La mappa degli investimenti come prodotto della procedura di territorializzazione. Complessivamente sono stati localizzati 551 progetti. A titolo esemplificativo, nella figura seguente (Fig. 49), si mostra un dettaglio dell'ambito urbano di Villa D'Agri.

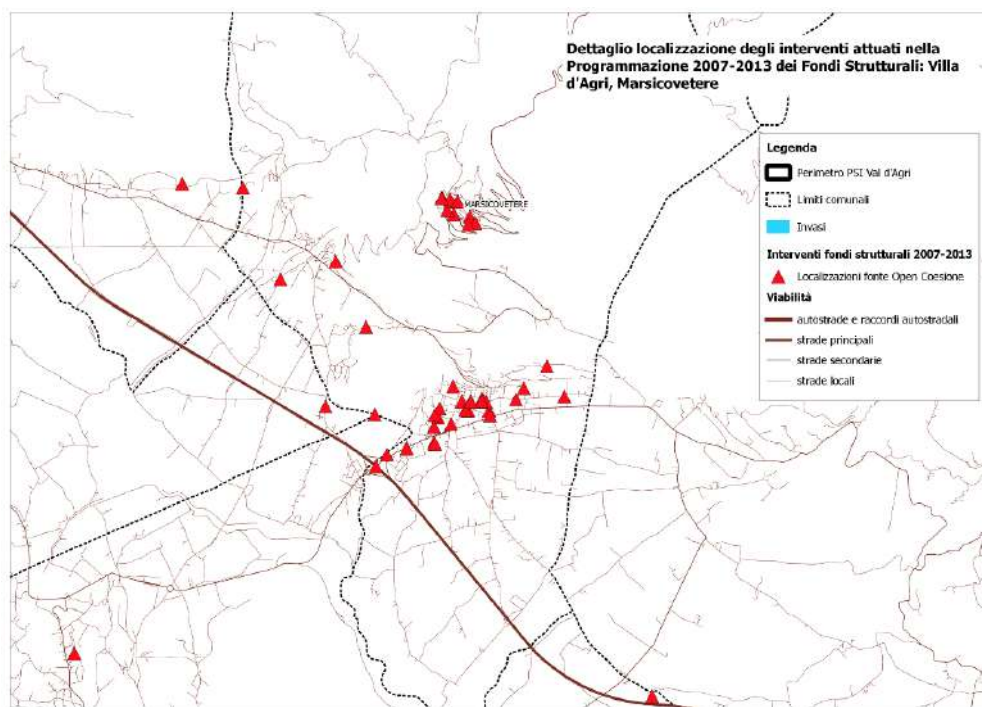


Fig. 49. Dettaglio localizzazione interventi (località Villa d'Agri – Marsicovetere)

Diversamente è possibile sviluppare analisi di concentrazione dei fenomeni attraverso misure di densità. Le rappresentazioni sviluppate consentono di definire una geografia degli investimenti a scala di dettaglio.

Si tratta di un contributo alla valutazione territoriale dei processi di sviluppo che consente comparazioni puntuali e la lettura di livelli di specializzazione territoriale nell'attrarre investimenti (Las Casas et al., 2016a): un aspetto cruciale sia per il valutatore delle politiche che per il decisore e il pianificatore.

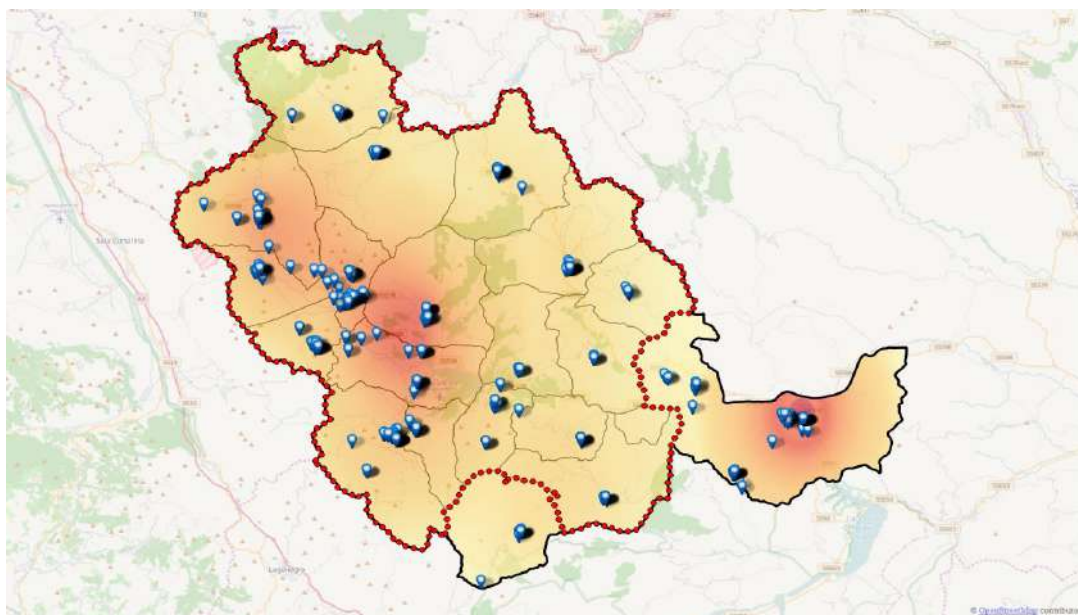


Fig. 50. Geolocalizzazione delle azioni finanziate da Programmi Operativi e misura dell'intensità dell'investimento in sviluppo considerando il valore economico del finanziamento (Kernel Density Estimation)

Il quadro pianificatorio ed il regime vincolistico

Si è proceduto alla ricostruzione del sistema di pianificazione e del regime vincolistico ricadente nell'area di studio (**Fig. 51**). In particolare si sono riportate le aree S.I.C. e Z.P.S. le aree archeologiche, i boschi le aree prossime al reticolo idrografico ed il confine del parco nazionale dell'Appennino Lucano. Si è poi analizzato il Piano di Assetto Idrogeologico con le relative classi di rischio e i tempi di ritorno rispetto al rischio alluvione.

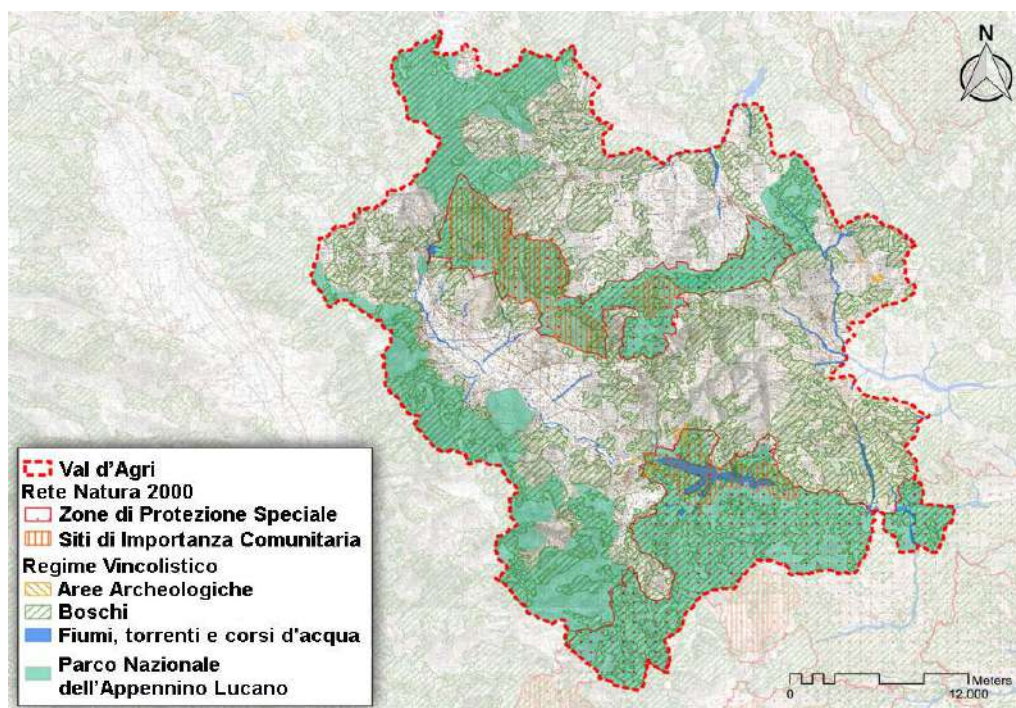


Fig. 51. Regime vincolistico della Val d'Agri

Come è possibile notare dalla **Fig. 52**, parte dell'area di studio è inoltre compresa nel Piano Paesistico Sellata Vulturino.

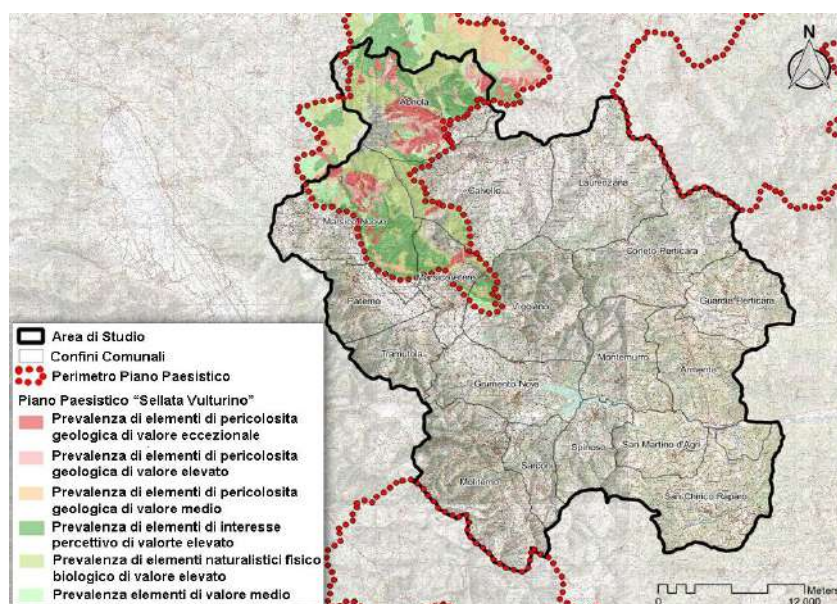


Fig. 52. Il Piano paesistico di "Sellata-Vulturino" copre solo la parte settentrionale dell'area di studio

Si è provveduto in seguito all'analisi della strumentazione urbanistica alla scala comunale riscontrando che la maggior parte delle amministrazioni comunali ha ancora strumenti urbanistici

realizzati ai sensi della Legge Urbanistica Nazionale 1150 del 1942 (con le sue successive modifiche e integrazioni), mentre solo pochi Comuni della Val d'Agri oggi sono già dotati di strumenti urbanistici aggiornati ai sensi della Legge Urbanistica Regionale 23 del 1999. Confrontando, inoltre, il livello di aggiornamento dei Piani e la spazializzazione degli interventi di programmazione economica è possibile riscontrare come la maggiore concentrazione di questi ultimi è localizzata nelle aree con strumenti urbanistici obsoleti ed in assenza di piani sovracomunali (Fig. 53).

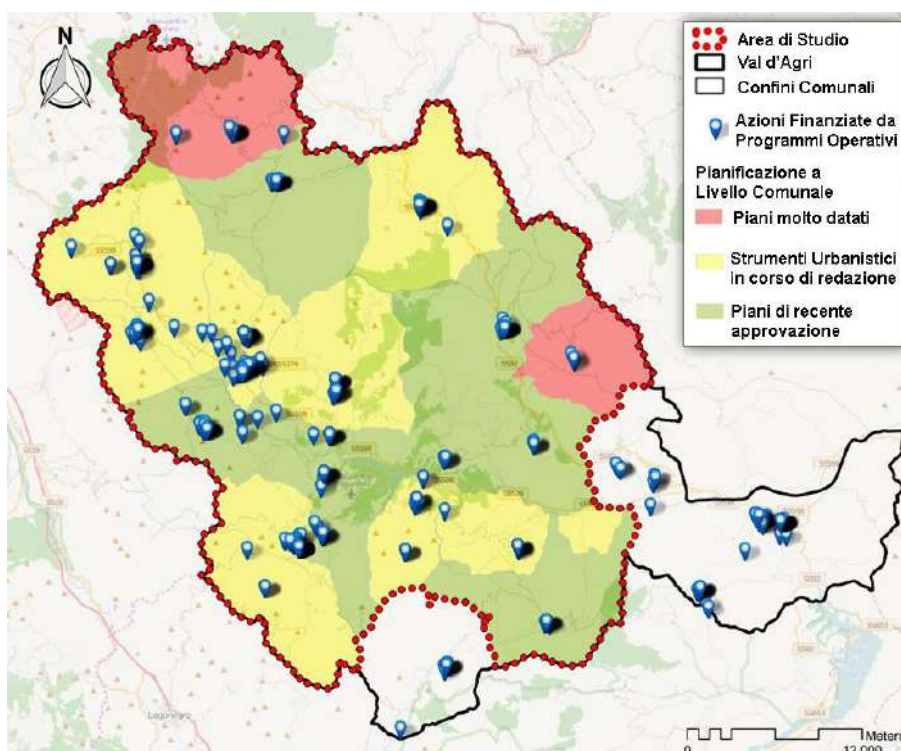


Fig. 53. Confronto tra il livello di aggiornamento degli strumenti urbanistici e la Geolocalizzazione delle azioni finanziate dai Programmi Operativi

La **Fig. 54** rappresenta l'intero quadro vincolistico e la disciplina urbanistica vigente nell'area di studio.

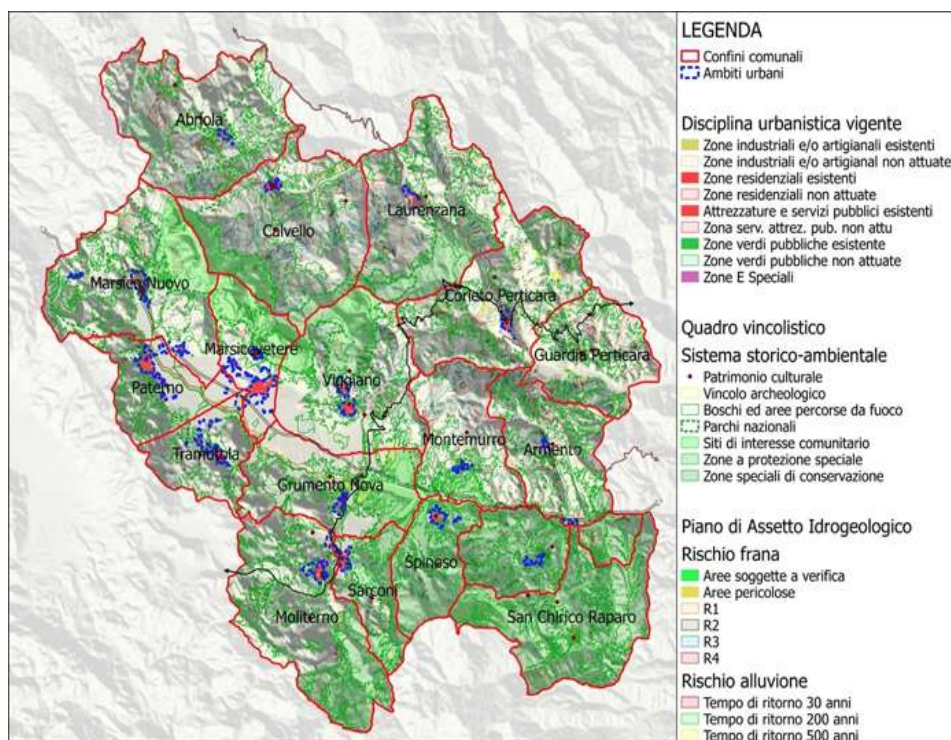


Fig. 54. Disciplina urbanistica e quadro vincolistico

Analisi dell'evoluzione degli insediamenti e simulazione dell'espansione urbana futura

Il primo step è stato quello di rappresentare l'evoluzione del sistema insediativo rispetto alla data di realizzazione: si è partiti dalla carta tecnica regionale in formato vettoriale e si è effettuato un confronto con le ortofoto presenti sul geo-portale nazionale al 1995 ed al 1988.

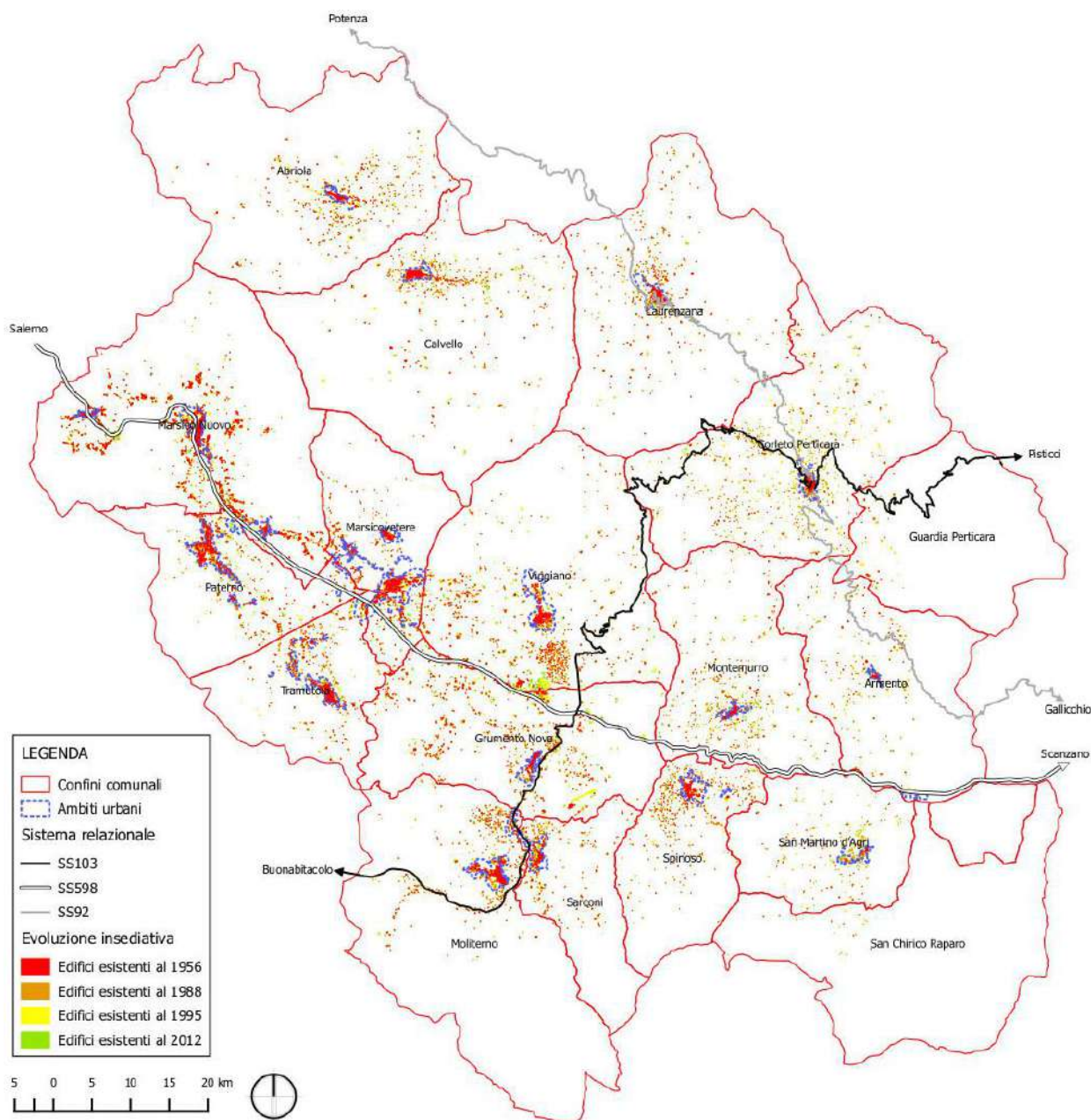


Fig. 55. Evoluzione del sistema insediativo

Si è quindi proceduto all'eliminazione degli edifici realizzati successivamente alle date delle ortofoto. Per realizzare la mappa degli edifici al 1956 sono stati confrontati i dati vettoriali realizzati al 1988 con le cartografie IGM al 25000. Il risultato finale che rappresenta la crescita del sistema insediativo nelle quattro fasi temporali considerate è visibile nella **Fig. 55**; la **Fig. 56** mostra invece la distribuzione spaziale dell'edificato in riferimento a ciascuno degli anni considerati per l'analisi.

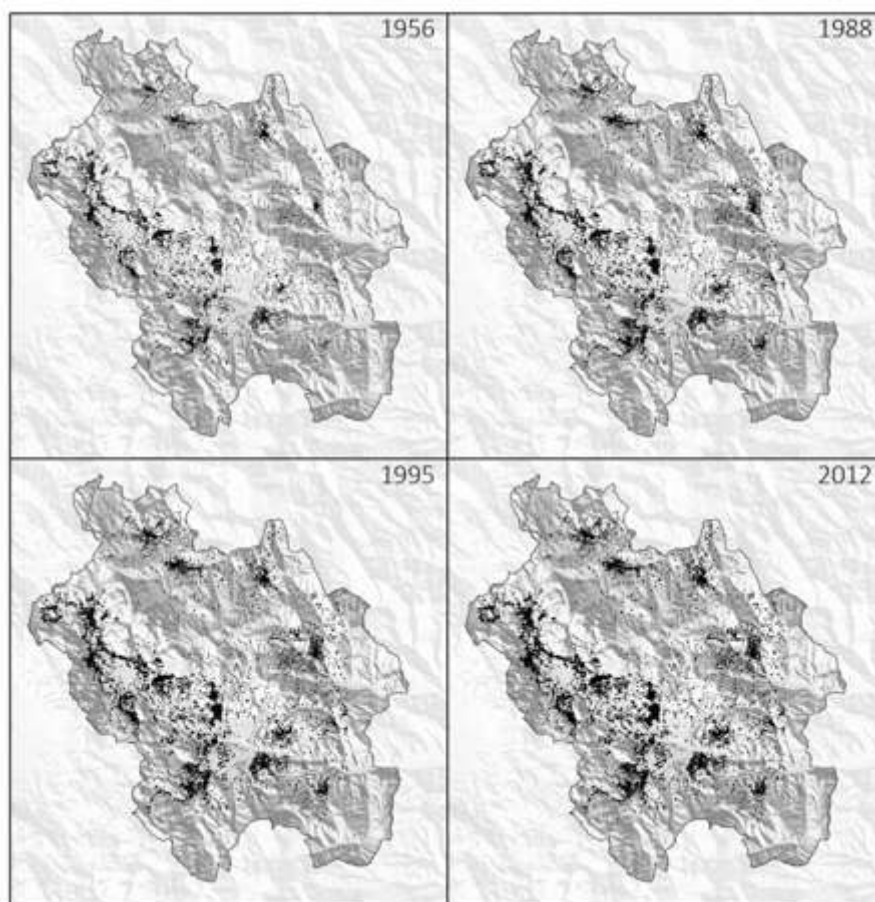


Fig. 56. Evoluzione dell'edificato

Il modello scelto per la previsione del consumo di suolo: SLEUTH

Per realizzare una previsione del consumo di suolo al 2050 si è utilizzato il modello SLEUTH basato sugli Automi Cellulari (Amato et al., 2016a; Martellozzo et al., 2018). Un automa cellulare è un modello matematico capace di riprodurre l'evoluzione nel tempo e nello spazio di un sistema complesso, utilizzando regole definibili dall'utente che descrivono gli aspetti comportamentali del sistema stesso. Un automa cellulare è dunque definito da uno spazio n -dimensionale, spesso n è pari a due dimensioni e quindi si utilizza una griglia bidimensionale suddivisa in unità, ognuna delle quali possiede una serie di informazioni che ne definiscono le caratteristiche e che cambia secondo una sorta di orologio interno opportunamente programmato in uno spazio ed un tempo discreti. Ogni cambiamento dipende dallo stato iniziale della cella e da quello delle celle del proprio intorno, inteso come l'insieme delle celle adiacenti a quella considerata. I due principali tipi di intorno sono: l'intorno di von Neumann e l'intorno di Moore (**Fig. 57**), quest'ultimo più largamente utilizzato nei modelli di

analisi territoriale.

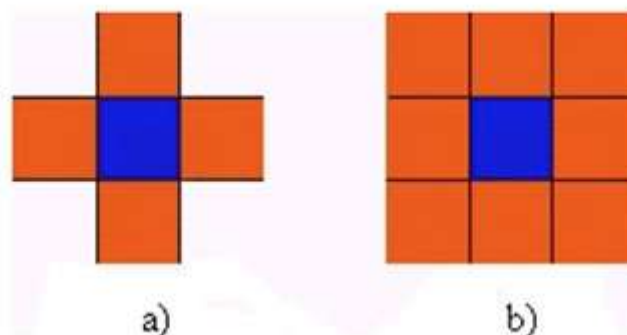


Fig. 57. Tipi di intorno: a) Intorno di van Neumann comprendente le quattro celle disposte nelle direzioni ortogonali; b) Intorno di Moore comprendente le quattro celle ortogonali più le quattro celle nelle direzioni diagonali

SLEUTH è un particolare modello ad automi cellulari elaborato da Keith Clarke nel 1997 (Clarke et al., 1997) con lo scopo di simulare la crescita urbana: l'unità base di questo processo è il ciclo di crescita. Una simulazione è composta da una serie di cicli di crescita. Ogni ciclo ha inizio dopo aver assegnato ad ogni parametro il rispettivo valore risultante dalla calibrazione (o eventualmente imponendolo esternamente). Vengono applicate le leggi di transizione e trasformazione dello stato secondo le fasi previste dal modello e infine viene valutato il tasso di crescita, sulla base del quale si attiva l'auto modificazione di SLEUTH per simulare condizioni di crescita del sistema urbano rapide (boom) o depresse (bust).

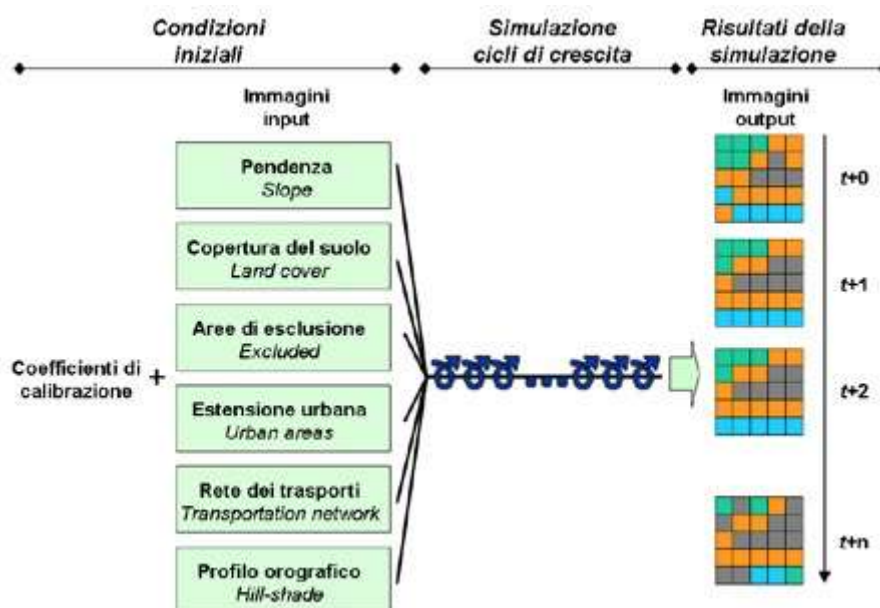


Fig. 58. Schematizzazione del funzionamento di Sleuth [Fonte: Simulating Urban Growth with the SLEUTH model]

Nella Fig. 58 è rappresentato lo schema di funzionamento di SLEUTH che, come si vede, risulta essere l'acronimo di Slope, Land use, Exclusion, Urban, Transport e Hillshade, in cui:

- Slope è lo stato informativo che riporta il valore della pendenze (in valore percentuale);
- Landuse è la classificazione di uso del suolo. Il modello necessita di almeno due classificazioni degli usi del suolo riferiti a due diverse date;
- Excluded ossia lo stato delle "esclusioni", fondamentale per introdurre delle limitazioni alle previsioni spaziali del simulatore. In esso si fanno confluire quelle parti del territorio che non possono essere soggette ad edificazione, sia da un punto di vista prettamente fisico, sia da un punto di vista normativo. Nel primo sono stati considerati gli specchi, i corsi d'acqua e le sedi stradali; nel secondo tutte le aree per le quali sono previsti vincoli di inedificabilità. Mentre gli impedimenti fisici rappresentano un vincolo insuperabile all'inedificabilità, le limitazioni normative non rappresentano un impedimento impossibile alla nuova edificazione. Per tener conto di queste diverse "resistenze" all'urbanizzazione nel realizzare il raster delle esclusioni si è attribuito un valore diverso in base alla motivazione dell'esclusione. In sostanza il risultato finale è il risultato di 4 diversi raster:
 - Valore 100: comprende le aree dove l'impedenza all'edificazione deriva da aspetti prettamente fisici con la massima resistenza alle trasformazioni;

- Valore 75: che comprende tutte le aree sulle quali vige un vincolo di inedificabilità, ossia le aree R3 ed R4 e le fasce fluviali con tempo di ritorno di 30 anni definite dal PAI (Piano di Assetto Idrogeologico); le aree ZSC, ZPS e SIC (Zona Speciale di Conservazione, Zone di Protezione Speciale, e zone Siti di Interesse Comunitario) definite in base alla della Direttiva Habitat della Commissione europea; le aree di conservazione originariamente definite dalla legge Galasso quali fiumi, torrenti e corsi d'acqua e le relative sponde o piede degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna; i parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi; i territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboschimento; le zone di interesse archeologico.
- Valore 50: sono state inserite solo le fasce fluviali con tempo di ritorno di 200 anni;
- Valore 25: fanno parte di quest'ultimo tassello le aree R1 ed R2, affiancate dalle fasce fluviali con tempo di ritorno di 500 anni definite dal PAI, che pur non prevedendo un vincolo di inedificabilità, le sottopone ad una norma maggiormente restrittiva rispetto alle restanti parti del territorio;
- Urban è lo strato di maggiore importanza per la simulazione: questo tematismo deve essere inserito facendo riferimento ad almeno 4 diverse date. In questo caso sono state utilizzate le scansioni temporali descritte in precedenza;
- Transport è lo strato informativo delle infrastrutture di trasporto in quanto costituiscono rilevanti catalizzatori di nuovi insediamenti;
- Hillshade è un'immagine utilizzata per dare un contesto spaziale e morfologico all'area di studio, che si configura pertanto come immagine di sfondo. Il termine hillshade indica l'illuminazione apportata dalla luce solare su un territorio e i coni d'ombra che ne derivano a causa della presenza di colli, monti e altre formazioni naturali e geomorfologiche.

Nell'analizzare i risultati si può tener conto del vantaggio dell'utilizzo di SLEUTH rispetto ad altri modelli previsionali di crescita: è infatti possibile simulare non solo l'incremento delle aree artificiali o edificate (a seconda dell'input) ma le variazioni di tutte le classi d'uso nelle quali il suolo è stato suddiviso (in input).

Come si nota dalla Fig. 59, la simulazione al 2050 prevede l'incremento delle aree boscate e delle superfici artificiali e la contrazione delle aree agricole.

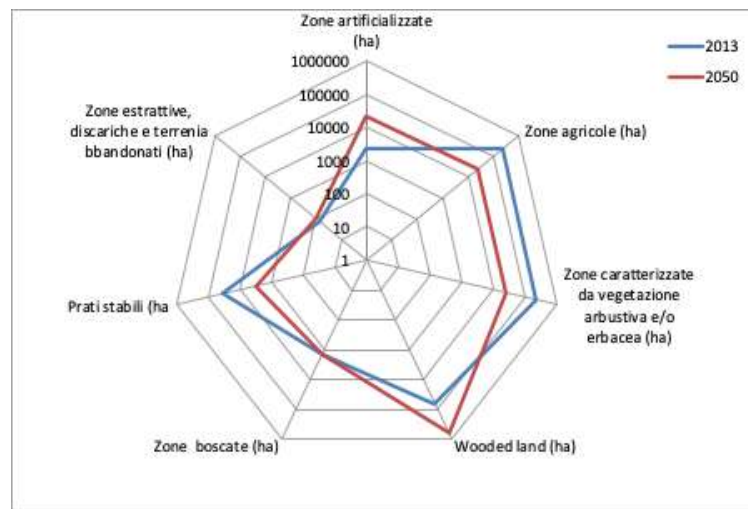


Fig. 59. Variazioni delle varie classi di copertura del suolo

Il grafico offre uno spunto di riflessione su due aspetti rilevanti: l'incremento delle aree urbanizzate e la contrazione delle aree agricole. Le aziende agricole, seppur medio-piccole, ricoprono un ruolo fondamentale all'interno dell'economia locale, fornendo nella quasi totalità dei casi l'unica fonte di reddito per le famiglie. Per tale motivo le politiche, centrali e regionali, che da anni perseguono una via di sviluppo indirizzata esclusivamente allo sfruttamento della risorsa mineraria, risultano essere poco relazionate al contesto (Amato et al., 2016a). L'industria estrattiva influisce in minima parte sullo sviluppo dell'area e comunque a discapito di quella che è il vero volano per lo sviluppo: la produzione agricola. Questa è storicamente radicata nell'area in questione anche in virtù dell'abbondanza di risorse idriche presenti e dell'orografia favorevole nell'area di fondovalle.

La simulazione evidenzia un incremento di aree boscate dovuta al peso della componente Excluded. Questo strato, insieme a Slope, è quello che va maggiormente a limitare i processi di crescita simulati. Questo strato tematico è stato realizzato considerando non solo le aree che rendevano fisicamente impossibile la crescita urbana (gli specchi d'acqua ad esempio), ma anche tutta una serie di aree ritenute di pregio naturalistico ed ambientale che risultano di fatto vincolate.

L'espansione delle aree artificializzate rispetta gli stessi trend riscontrati studiando la serie storica dell'edificato: se da una parte i comuni con una buona accessibilità hanno fatto registrare i maggiori incrementi, i comuni con connessioni più carenti, hanno mostrato un lento degrado. Questa eterogenea tendenza si può riscontrare anche nelle immagini di output di SLEUTH (Fig. 60).

I comuni di Marsico e Viggiano, che subiscono l'influenza dell'industria estrattiva in termini di pressione urbanistica ed insediativa fanno registrare i maggiori incrementi di superfici urbanizzate.

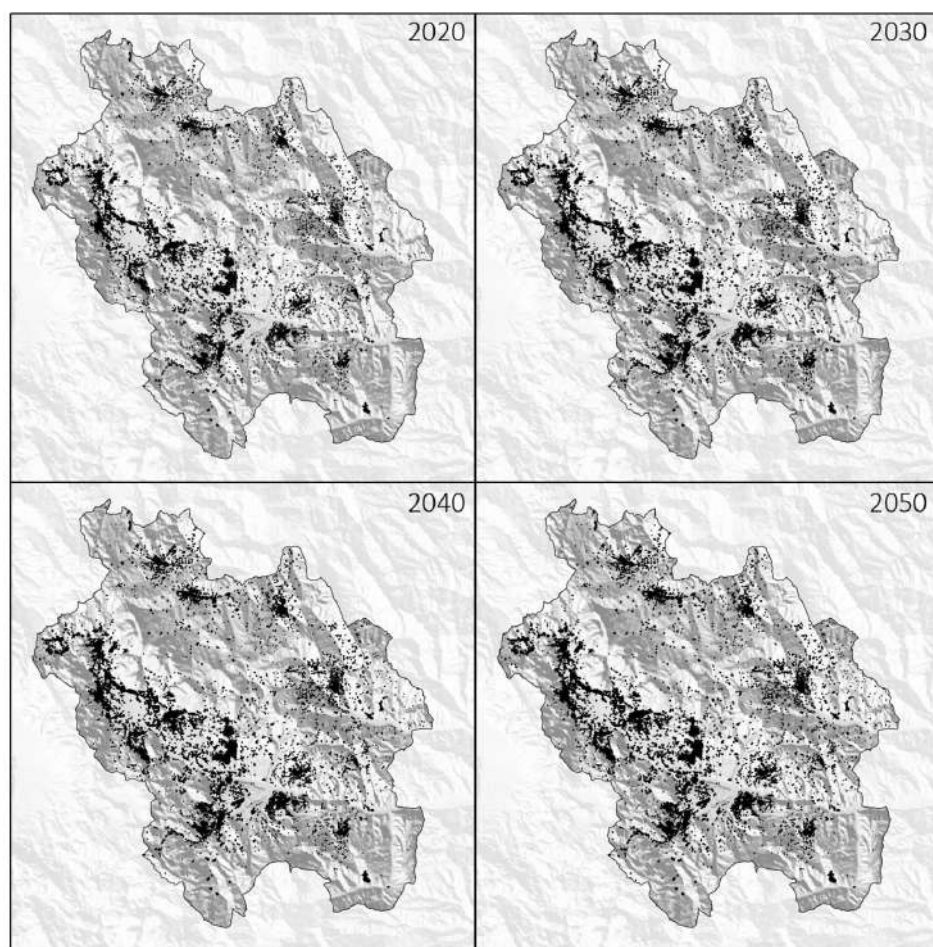


Fig. 60. Superfici artificializzate al 2020, 2030, 2040 e 2050

Nella tabella successiva si riportano gli incrementi di superfici artificiali alle varie date della simulazione.

Tabella 9 Incremento delle superfici artificializzate per ogni Comune e in riferimento a ciascuno degli intervalli temporali analizzati

	Superfici artificiali 2012 (ha)	Superfici artificiali 2020 (ha)	Superfici artificiali 2030 (ha)	Superfici artificiali 2040 (ha)	Superfici Artificiali 2050 (ha)
Abriola	75	80	81	83	85
Armento	38	41	43	44	47
Calvello	93	100	102	103	105
Corleto Perticara	112	121	123	126	129
Grumento Nova	186	200	207	214	225
Guardia Perticara	39	42	44	48	53
Laurenzana	88	93	94	95	96
Marsico Nuovo	301	315	321	330	341
Marsicovetere	224	230	232	235	240
Moliterno	161	167	168	168	169

Montemurro	54	58	59	60	61
San Chirico Raparo	36	36,5	37	37,5	38
San Martino d'Agri	39	40	41	41,5	42
Sarconi	86	89	91	93	94
Spinoso	89	93	93	93	93
Tramutola	143	149	152	156	159
Viggiano	287	299	304	309	315
Paterno	186	196	204	214	228

A partire da questi dati sono stati calcolati diversi indici:

- l'indice di artificializzazione fornito dall'area della superficie urbanizzata rapportata all'estensione comunale:

$$Ia = \frac{\text{area artificiale (km}^2\text{)}}{\text{estensione comune (km}^2\text{)}}$$

- il tasso di crescita delle aree artificiali dato dal rapporto tra la differenza tra le superfici artificializzate relativi a due diverse date e la superficie relativa alla data meno recente:

$$Tca = \frac{\text{area artificiale 1} - \text{area artificiale 2}}{\text{area artificiale 2}}$$

- il tasso di crescita popolazione (questo ottenuto a partire da dati ISTAT) che in maniera analoga al precedente è:

$$Tcp = \frac{\text{popolazione 1} - \text{popolazione 2}}{\text{popolazione 2}}$$

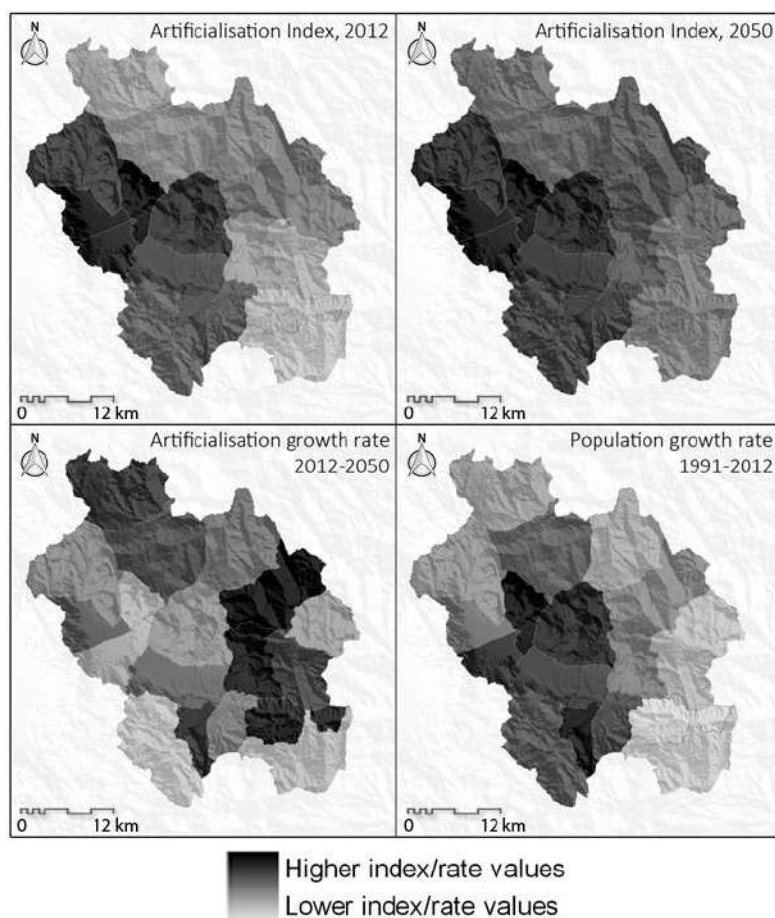


Fig. 61. Indici di artificializzazione, Tasso di crescita delle aree artificializzate e Tasso di crescita della popolazione (graduazione che va dal grigio per i valori minimi al nero per i valori massimi)

Per ogni Comune, il tasso di crescita della popolazione è stato calcolato considerando i dati del Censimento Nazionale del 1991 e del 2011. Attraverso il risultato della simulazione e la mappa dei centri abitati del 2012 sono stati inoltre calcolati il tasso di artificializzazione e gli indici di artificializzazione per il 2012 e il 2050.

La parte occidentale della Valle sembra avere sia nel 2012 che nel 2050 il più alto Indice di Artificializzazione (Amato et al., 2016b). Nella stessa area è valutabile anche il maggior valore del tasso di crescita della popolazione.

I risultati della simulazione hanno mostrato una significativa crescita urbana anche nella parte orientale della Valle; ciò giustifica gli alti valori nell'area del tasso di crescita dell'Artificializzazione. I valori più alti dell'indice di artificializzazione nell'area occidentale possono essere spiegati con l'osservazione degli investimenti realizzati attraverso il Fondo Europeo sviluppata utilizzando i dati del progetto Open Coesione. Questi mostrano che la maggior parte degli investimenti è avvenuta nella

stessa parte della Valle interessata da maggiori livelli di consumo di suolo.

Si confermano inoltre driver del consumo di suolo (Fig. 62), le infrastrutture di trasporto già identificate nella SS 598 e SP 92, che attraversano la Val d'Agri in direzione Nord-Ovest/Sud-Est fiancheggiando di fatto la fondovalle, e la SS 103 che la attraversa in direzione trasversale nella parte meridionale, si confermano come generatori di nuovi centri di edificazione.

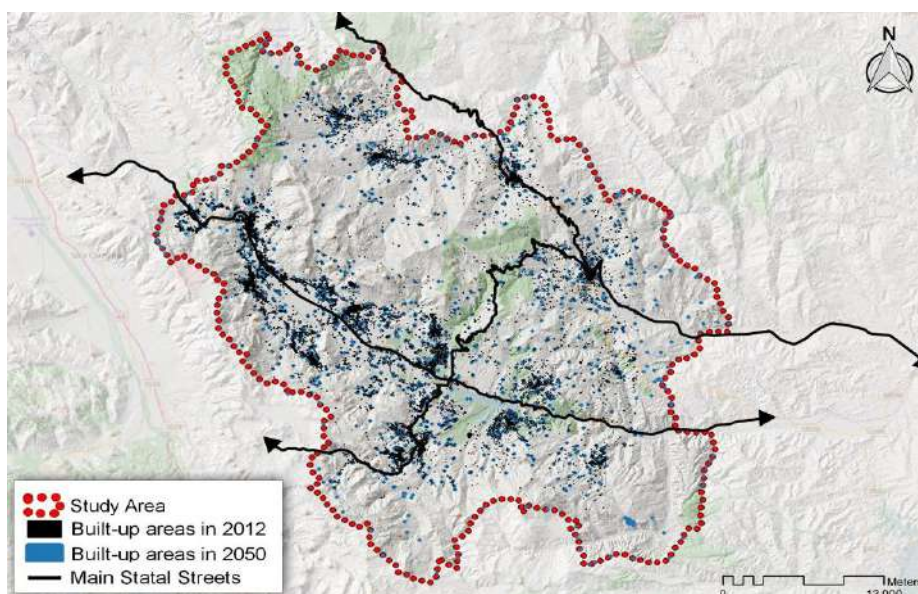


Fig. 62. Simulazione dell'evoluzione insediativa della Valle dell'Agri fino al 2050

Considerazioni conclusive

I risultati evidenziano come le aree soggette a maggiore dispersione urbana siano quelle caratterizzate dalla presenza di strumenti di pianificazione territoriale obsoleti o da un utilizzo mal pianificato dei Fondi strutturali europei (Amato et al., 2016a). Un altro aspetto importante da considerare è il rapporto tra consumo di suolo e pianificazione del paesaggio. All'interno dell'area di indagine esiste un solo Piano Paesaggistico che comprende purtroppo solo una porzione limitata dell'area. Tuttavia le analisi evidenziano come, nonostante questi gravi limiti, il Piano paesaggistico ha contribuito efficacemente a limitare il consumo di suolo (Amato et al., 2016b; Martellozzo et al., 2018). Nelle aree in cui è stato attuato il Piano Paesaggistico, infatti, la crescita urbana è stata inferiore rispetto al resto dell'area di studio.

Confrontando la simulazione dell'espansione urbana e con il piano paesaggistico è evidente che gran parte dell'espansione urbana avviene al di fuori dell'area coperta da questo piano. Inoltre, gran parte

degli interventi definiti dai documenti di programmazione sono concentrati al di fuori del limite del piano paesaggistico “Sellata-Vulturino”. Ciò dimostra che anche un vecchio piano paesaggistico può avere un certo livello di efficacia, e che una corretta attuazione della Legge Regionale di Governo del Territorio potrebbe garantire uno sviluppo più sostenibile del territorio (Las Casas et al., 2016b).

Il paradosso è che buona parte dei comuni non rientra nei piani paesaggistici ma si trova all'interno del Parco Nazionale dell'Appennino Lucano.

Questo scollamento tra pianificazione e investimenti del Programma Operativo da un lato contribuisce a generare consumo di suolo, dall'altro contribuisce allo sviluppo di insediamenti attraverso tessuti disomogenei e poco vivibili. La maggior parte degli interventi, infatti, sono realizzati in totale assenza di un quadro strategico complessivo in grado di mettere in relazione i propri investimenti sul territorio con le reali esigenze dei cittadini (Hersperger et al., 2018).

L'analisi condotta in questo lavoro mostra l'importanza dell'aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistica (Martellozzo et al., 2018) considerando la riduzione del consumo di suolo, oggi non più giustificato dalla reale domanda di abitazioni, e la salvaguardia dei sistemi naturali e ambientali. La pianificazione, di fatto, gioca un ruolo importante sia nella sua capacità di convogliare gli investimenti pubblici, compresi quelli derivanti dai Programmi Operativi, sia nella tutela delle risorse del suolo che, per le ragioni esposte in questo documento, devono essere considerate limitate e quindi considerate come un bene comune (Casas et al., 2014; Scorza, 2013).

L'assenza ad oggi di una legge in materia di consumo di suolo porta ad avere, anche in una regione tra le più piccole e meno popolate d'Italia, ad una crescita ingiustificata delle aree artificializzate (Cosentino et al., 2018; Romano et al., 2019b; Saganeiti et al., 2018a; Scorza et al., 2020c).

WP9 – Linee di indirizzo per una riduzione del fenomeno del consumo di suolo in Basilicata

Il risultato dei precedenti WP viene recepito e collocato all'interno di un quadro più ampio di raccomandazioni che, basate sulle evidenze dei fenomeni di consumo di suolo e sull'implementazione di un adeguato sistema di monitoraggio, risultino efficaci nel tutelare le risorse territoriali ma anche a condizionare i settori produttivi e culturali nella prospettiva dello sviluppo sostenibile. Tali raccomandazioni, strumento utile a supportare lo sviluppo di nuovi piani territoriali alla scala regionale o subregionale, consentono una piena integrazione tra crescita urbana, espansione insediativa e produttività agricola con le esigenze di limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo. Il fine ultimo è quello di fornire strumenti utili ad implementare buone pratiche che superino il concetto di suolo permeabile/impermeabile e si esprimano in termini di servizi ecosistemici, frammentazione insediativa, e performance ambientali allo scopo di indirizzare le nuove politiche di sviluppo (insediativo, relazionale, produttivo e naturalistico) verso un principio di sostenibilità ad impatto contenuto.

I trend relativi alle dinamiche connesse al consumo di suolo (tra cui la perdita di servizi ecosistemici, l'incremento della frammentazione territoriale, la land degradation) evidenziano la necessità di riorganizzare il governo del territorio, recependo i principi dello sviluppo sostenibile, e fissando le basi per un miglior coordinamento tra le materie di esclusiva competenza statale (i.e. ambiente) e le competenze concorrenti tra Stato e Regioni (i.e. governo del territorio nella sua attuale declinazione). Tale istanza è resa ancor più urgente alla luce dei cospicui investimenti legati all'approvazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), previsti dalla programmazione del Next Generation EU, ed alle prevedibili e rilevanti trasformazioni territoriali connesse alle relative prospettive di rilancio.

Riguardo alla redazione dei PNRR, la stessa Commissione Europea ha ribadito l'importanza di canalizzare le risorse verso riforme strutturali che necessitano quindi a livello centrale di una visione strategica ed integrata, nonché di strumenti per la valutazione dell'efficacia e della coerenza degli investimenti a livello territoriale.

I risultati ottenuti nell'ambito dei singoli WP evidenziano che la Regione Basilicata, pur configurandosi come una realtà a bassa densità abitativa, non è stata esente da estesi e diffusi fenomeni di trasformazione che nel corso dei decenni ne hanno plasmato la struttura fisica e funzionale sulla scorta di politiche di sviluppo talvolta poco affini alle autentiche peculiarità locali.

A più di venti anni dall'entrata in vigore della Legge Regionale su "Tutela, governo ed uso del territorio" (L.R. 23/99), la sua attuazione risulta ancora parziale e frammentata aggravando ulteriormente gli effetti di una cospicua parte di edificazione avvenuta precedentemente alla sua approvazione. A tal proposito, è utile ricordare che l'approvazione dello strumento urbanistico da

parte dei Comuni della Basilicata è avvenuta in modo molto graduale nel tempo: prima del 1968 nessun Comune lucano aveva un piano approvato; tra il 1968 e il 1978 sono stati 15 i comuni a dotarsi di uno strumento urbanistico mentre nel 1985 tale numero si era incrementato di soli ulteriori 9 Comuni.

Ciò significa che il periodo di massima espansione degli insediamenti residenziali e industriali è avvenuto in una situazione di generale carenza di strumenti di regolamentazione, andando a contribuire all'elevato incremento del grado di frammentazione territoriale registrato tra il 1950 e il 1989.

Nel corso degli ultimi decenni, ulteriori driver del consumo di suolo si sono aggiunti alle tradizionali dinamiche di espansione insediativa: si tratta prevalentemente dello sviluppo tecnologico e infrastrutturale legato allo sfruttamento di risorse energetiche rinnovabili, avvenuto in assenza del Piano Paesaggistico Regionale e sulla sola base del Piano di Indirizzo Energetico Ambientale Regionale (PIEAR) che fissava obiettivi di produzione energetica senza approfondire le alterazioni che a livello territoriale tali nuove componenti avrebbero prodotto.

A ciò è inoltre corrisposto, in Basilicata ma conformemente a quanto generalmente avvenuto a livello italiano, un atteggiamento nella redazione dei piani urbanistici e dei relativi documenti attuativi in cui continua a prevalere un modello di sviluppo orientato a sostenere dinamiche di nuova urbanizzazione non coerenti con i reali trend demografici e occupazionali.

E' questo il caso, ad esempio, del Piano Operativo adottato a Potenza nel 2018 che consente nuove edificazioni a fronte di una contrazione demografica, e che ha già comportato effetti non trascurabili sul valore del patrimonio immobiliare esistente, oltre che impatti in termini di consumo di suolo e impermeabilizzazioni.

All'interno di questo quadro, emerge dunque la necessità di adottare un approccio strategico che integri programmazione, pianificazione e sviluppo sostenibile, soprattutto alla luce del cospicuo patrimonio naturale e paesaggistico e dei conflitti ambientali già in atto che riguardano la compatibilità delle attività estrattive e delle nuove componenti insediative (ad esempio le installazioni FER) con i suddetti valori ambientali.

La dimensione della pianificazione strategica alla scala vasta/sovracomunale potrebbe favorire, soprattutto nelle aree interne che costituiscono gran parte del territorio regionale, il conseguimento di più elevati standard di vita per la popolazione locale, contribuendo inoltre a limitare i fenomeni di

spopolamento e ad innescare processi di sviluppo socio-economico facendo leva sulle caratteristiche ambientali e paesaggistiche.

Il principio della tutela del suolo quale risorsa non rinnovabile e fonte di molteplici servizi ecosistemici, dovrebbe dunque combinarsi con procedure e strumenti di governo del territorio atti a perseguire obiettivi di riduzione dei trend del consumo di suolo e a garantire una più dettagliata valutazione dei processi di trasformazione territoriale ed il monitoraggio dei relativi impatti.

L'opportunità di rinnovamento dovrebbe dunque esser colta affiancando al tradizionale approccio prettamente regolativo (orientato alla limitazione delle potenzialità edificatorie), una componente performativa che consenta di selezionare e valutare qualitativamente gli effetti dei processi di antropizzazione sulla base delle reciproche interazioni tra le componenti territoriali, delle quali costituiscono espressione la frammentazione territoriale e la (multi)funzionalità ecosistemica.

Discrasia tra trend demografici e incremento del consumo di suolo

I fenomeni di urbanizzazione e impermeabilizzazione del suolo sono considerati tra le principali cause di degrado del suolo con effetti sull'erogazione di diversi servizi ecosistemici tra cui la produzione del cibo, la qualità dell'aria, la disponibilità di acqua potabile e per l'irrigazione, la regolazione dei tassi erosivi e, più in generale, sulle azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Tale tema dovrebbe dunque rivestire un ruolo centrale nel quadro della pianificazione e, a maggior ragione, in un contesto quale quello della Regione Basilicata, in cui i fenomeni di regressione demografica ed economica sono tali da parlare di un vero e proprio “decoupling” tra il trend di decrescita della popolazione e il consumo di suolo.

Come è possibile notare dall'allegato contenente i trend demografici e le piramidi dell'età per ciascuno dei Comuni lucani, la regressione in termini di popolazione residente risulta piuttosto evidente nella maggior parte del territorio lucano. Allo stesso modo, la struttura per classi d'età della popolazione mostra i risultati di un processo di invecchiamento che andrà presumibilmente intensificandosi nei prossimi anni.

Un trend negativo si registra anche a Potenza, città capoluogo di Regione, a partire dal 2001 in poi. A questo corrisponde tuttavia un trend di crescita di alcuni territori dell'hinterland, quali Tito e Pignola.

La città di Matera fa invece registrare un trend positivo, in crescita dagli anni '40 e che certamente ha trovato nuovo impulso in seguito alla sua affermazione in quanto meta turistica e alla designazione quale Capitale della Cultura Europea 2019.

Un aumento della popolazione si registra in alcuni Comuni lungo la Costa Jonica (Bernalda, Nova Siri, Policoro, Scanzano Jonico), molti dei quali sede di significative nuove espansioni edilizie guidate dalla rilevante crescita del settore turistico. Il Comune di Maratea, invece, non evidenzia rilevanti cambiamenti nel trend demografico nonostante si sia anch'esso affermato come meta affermata del turismo estivo.

Per quanto riguarda l'area del Vulture-Melfese e dell'Alto Bradano, sede di intense e diffuse trasformazioni territoriali dovute sia all'aumento della superficie edificata sia alla crescente domanda di installazione di impianti per la produzione energetica da fonti rinnovabili, il trend demografico risulta sostanzialmente stabile con lievi cenni di crescita. Il Comune che mostra l'aumento di popolazione più significativo è Melfi, seguito da Lavello, Rionero ed Atella che, pur essendo centri di minore importanza, risentono positivamente delle opportunità occupazionali connesse all'indotto dell'automotive.

I comuni dell'Appennino Lucano mostrano trend demografici in calo, alcuni con tassi di decrescita particolarmente marcati: è il caso ad esempio di Abriola, Calvera, Cersosimo, Noepoli, Rapone, San Costantino Albanese e San Giorgio che hanno registrato un dimezzamento della popolazione residente nell'arco di pochi decenni.

L'osservazione delle piramidi delle età mostra per la maggioranza dei Comuni lucani una prevalenza delle fasce di popolazione di età superiore ai 40 anni. La fascia d'età prescolare (0-4 anni) risulta d'altro canto la meno popolosa un po' ovunque.

La discrasia tra le previsioni contenute negli strumenti urbanistici e lo spopolamento richiede una profonda innovazione nell'approccio alla pianificazione a scala vasta e nella definizione degli assetti strategici. Il decremento demografico e l'invecchiamento della popolazione forniscono inoltre basi per ripensare le strategie attinenti alle politiche sociali e alla redistribuzione dei servizi sul territorio.

Il monitoraggio dei processi in corso

Le analisi condotte a livello territoriale e descritte nei precedenti WP, evidenziano gli effetti di trasformazioni avvenute in un contesto di complessiva deregolamentazione. La crescita degli insediamenti urbani, anche laddove stimolata da un effettivo fabbisogno abitativo, è avvenuta secondo dinamiche essenzialmente ascrivibili allo sprinkling. Le nuove componenti legate invece all'esigenza di produzione energetica da fonti rinnovabili hanno seguito iter procedurali differenti a seconda della potenza installata ma, in linea generale, in assenza di una visione globale delle trasformazioni in atto. Soprattutto la diffusione di impianti e turbine di piccola taglia, ha assunto il

carattere di interventi puntuali ed episodici, il cui impatto cumulato è sfuggito ad ogni sistema di controllo e valutazione delle dinamiche di trasformazione.

Tali evidenze pongono la necessità di strutturare un sistema di monitoraggio che persegua i seguenti obiettivi:

- Contribuire alla conoscenza del territorio, rendendo esplicite le relazioni reciproche tra le varie componenti del sistema territoriale;
- Supportare i processi di governance contribuendo a superare la frammentazione settoriale di norme e strumenti e competenze che talvolta non favorisce la piena comprensione della complessità che caratterizza i fenomeni insediativi;
- Rendere trasparenti le decisioni in materia di governo del territorio evidenziando, anche a mezzo di opportuni indicatori di sintesi, gli effetti connessi ai processi di trasformazione
- Misurare la sostenibilità dei processi con riferimento al quadro interpretativo offerto dai Servizi Ecosistemici che permette di approcciarsi al tema del consumo di suolo e, più in generale della valutazione delle trasformazioni territoriali, in termini di riduzione delle performance ambientali e della (multi)funzionalità ecosistemica.

Le implicazioni normative

Il quadro normativo regionale in materia di governo del territorio appare debole in riferimento a diversi aspetti, tra cui il mancato completamento della gerarchia degli strumenti previsti dalla legge regionale. La norma su “Tutela, governo ed uso del territorio” n. 23 del 11 agosto 1999 risulta infatti solo parzialmente attuata: la Carta Regionale dei Suoli (CRS) ed il Quadro Strutturale Regionale (QSR) non sono stati approvati dalla Regione; solo la Provincia di Potenza ha approvato nel 2013 il proprio Piano Strutturale Provinciale (PSP); numerosi sono ancora i Comuni che non hanno approvato il Regolamento Urbanistico (RU), definito quale strumento ordinario per il governo e la gestione del territorio comunale e delle trasformazioni; solo il comune di Potenza ha approvato il Piano Operativo (PO), secondo modalità e previsioni non unanimemente condivise da urbanisti e pianificatori.

Risultano inoltre carenti i processi di pianificazione alla scala sovracomunale che nel quadro di riferimento normativo costituiva la dimensione territoriale ottimale per la gestione di servizi e per la promozione di politiche di settore maggiormente sinergiche in riferimento alle specifiche peculiarità locali. In assenza di quadri strategici di riferimento e degli strumenti di pianificazione regionale,

provinciale e di area vasta, l'iniziativa dei Comuni si è sviluppata in modo disarmonico e frammentario.

A ciò si aggiunge l'assenza all'interno degli strumenti urbanistici approvati di norme e regole che includano specificamente le forme contemporanee della trasformazione dell'uso del suolo, determinate ad esempio dagli impianti FER, e si avvalgano di un efficace sistema di monitoraggio che supporti la valutazione complessiva degli effetti delle dinamiche in atto.

In questo contesto abbiamo misurato una crescita progressiva del consumo di suolo frutto di processi di trasformazione che hanno inoltre dato luogo a fenomeni quali la perdita di servizi ecosistemici e l'aumento del grado di frammentazione.

Pertanto definiamo raccomandazioni di carattere generale:

1. Definire una piattaforma per il monitoraggio dei processi di uso e trasformazione del suolo basata su tecnologie e modelli near-realtime come preconditione alla adozione di programmi e norme di sostenibilità dello sviluppo regionale. Ciò presuppone una attività di valutazione che integri i prodotti delle agenzie territoriali attive in regione (FARBAS, ARPAB, ALSIA), il sistema della ricerca attivo in Basilicata (UNIBAS, CNR, AGROBIOS, ENEA), i centri di competenza degli enti con responsabilità in materia di gestione e governo del territorio. Renda disponibili ai cittadini indicatori sintetici di sostenibilità/qualità ambientale. Rappresenti sul territorio programmi infrastrutturali, investimenti e politiche di sviluppo.
2. Una revisione normativa indirizzata alla semplificazione dei contenuti e delle procedure per la redazione di piani e programmi non più orientati all'espansione degli insediamenti (alla luce delle attuali dinamiche demografiche) "Consumo di suolo 0" ma piuttosto al riuso e alla riqualificazione del patrimonio pubblico e privato disponibile in quanto non connesso ad un uso specifico. Coordinamento intersettoriale delle politiche di sviluppo secondo un principio di esplicitazione delle componenti territoriali e spaziali connesse all'implementazione di specifici obiettivi: es. sviluppo FER; protezione ambientale; gestione delle risorse naturali; contaminazioni e bonifiche; gestione delle risorse fossili e monitoraggio ambientale; transizione ecologica; ecc.
3. Implementare azioni che abbiano come obiettivo la riduzione del consumo di suolo, la densificazione dei centri urbani ed il riuso di aree dismesse o abbandonate in ambito urbano o in aree artigianali e industriali, seguendo le linee guida sulle migliori pratiche per limitare, mitigare o compensare l'impermeabilizzazione dei suoli, così come proposto nel documento della

Commissione Europea del 2012¹ e le Linee guida sulla riduzione del consumo di suolo “*FUTURE BRIEF: No net land take by 2050*”²;

4. Adottare la Strategia dell’UE sulla biodiversità per il 2030³ mediante la riduzione della perdita di servizi ecosistemici;
5. Avviare programmi di rigenerazione urbana promossi dalla regione, in analogia con quanto già attuato da altre regioni⁴, che considerino centrali la realizzazione di sistemi di parchi e di infrastrutture per la mobilità sostenibile, la riorganizzazione dei servizi, privilegiando la localizzazione di attività alla scala di quartiere, e l’incremento del mix funzionale nei quartieri. È opportuno che questi programmi possano stimolare, mediante criteri di premialità, l’utilizzo di risorse private e che siano complementari con altri programmi in fase di realizzazione.

Si tratta di riflessioni preliminari che considerano l’esito della ricerca e che dovrebbero essere oggetto di confronto interistituzionale per definire ambiti di prima sperimentazione e prototipi procedurali preliminari alla revisione normativa.

¹ https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_en.pdf

² https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/no_net_land_take_by_2050_FB14_en.pdf

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0380&from=EN>

⁴ http://www.inu.umbria.it/inu/attachments/article/63/RinUrb_1-5.pdf; http://www.inu.umbria.it/wordpress/wp-content/uploads/2017/01/RinUrb_1-8.pdf

Publicazioni scientifiche prodotte nell'ambito del progetto di ricerca:

- Scorza, F.; Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Murgante, B.; Pontrandolfi, P. Comparing the territorial performances of renewable energy sources' plants with an integrated ecosystem services loss assessment: A case study from the Basilicata region (Italy). *Sustain. Cities Soc.* **2020**, 56.
- Scorza, F.; Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Murgante, B. Ghost planning: the inefficiency of energy sector policies in a low population density region. *Arch. di Stud. Urbani e Reg.* **2020**, 34–55.
- Saganeiti, L.; Favale, A.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. Assessing urban fragmentation at regional scale using sprinkling indexes. *Sustain.* **2018**, 10.
- Faruolo, G.; Santopietro, L.; Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. *The Design of an Urban Atlas to Spread Information Concerning the Growth of Anthropic Settlements in Basilicata Region*; 2020; Vol. 12255 LNCS; ISBN 9783030588199.
- Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Scorza, F.; Murgante, B. *Ecosystem Services Approach to Evaluate Renewable Energy Plants Effects*; 2019; Vol. 11624 LNCS; ISBN 9783030243104.
- Dotoli, G.; Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. *Modeling the Determinants of Urban Fragmentation and Compaction Phenomena in the Province of Matera (Basilicata Region - Italy)*; 2020; Vol. 12252 LNCS; ISBN 9783030588106.
- Saganeiti, L.; Mustafa, A.; Teller, J.; Murgante, B. Modeling urban sprinkling with cellular automata. *Sustain. Cities Soc.* **2021**, 65, 102586.
- Muzzillo, V.; Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Santarsiero, V.; Scorza, F.; Murgante, B. *Impact of Renewable Energy Installations on Habitat Quality*; 2020; Vol. 12253 LNCS; ISBN 9783030588137.
- Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Mussuto, G.; Murgante, B. *Spatial indicators to evaluate urban fragmentation in basilicata region*; 2018; Vol. 10964 LNCS; ISBN 9783319951737.
- Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Faruolo, G.; Scorza, F.; Murgante, B. Energy Landscape Fragmentation: Basilicata Region (Italy) Study Case. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*; 2019; Vol. 11621 LNCS ISBN 9783030243012.
- Ieluzzi, A.; Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. *Analyzing the Driving Factors of Urban Transformation in the Province of Potenza (Basilicata Region-Italy)*; 2020; Vol. 12252 LNCS; ISBN 9783030588106.
- Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Scorza, F.; Murgante, B. *Assessing the Impact of Land Use Changes on Ecosystem Services Value*; 2020; Vol. 12253 LNCS; ISBN 9783030588137.
- Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Scorza, F.; Murgante, B. *Soil Ecosystem Services and Sediment Production: The Basilicata Region Case Study*; 2020; Vol. 12253 LNCS; ISBN 9783030588137.
- Pilogallo, A.; Scorza, F. Mapping regulation ecosystem services (ReMES) specialization in Italy. *J. Urban Plan. Dev.* **2021**.
- Nolè, L.; Pilogallo, A.; Saganeiti, L.; Scorza, F.; Santos, L.; Murgante, B. *Habitat Degradation: A Comparative Study Between Tomar (PT) and Potenza (IT)*; 2020; Vol. 12253 LNCS; ISBN 9783030588137.

- Saganeiti, L.; Favale, A.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. Assessing urban fragmentation at regional scale using sprinkling indexes. *Sustain.* **2018**, *10*.
- Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Faruolo, G.; Scorza, F.; Murgante, B. Territorial Fragmentation and Renewable Energy Source Plants: Which Relationship? *Sustain.* *2020*, *Vol. 12*, *Page 1828* **2020**, *12*, 1828.
- Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Faruolo, G.; Scorza, F.; Murgante, B. Energy Landscape Fragmentation: Basilicata Region (Italy) Study Case. In; Springer, Cham, 2019; pp. 692–700
- Amato, F., Maimone, B.A., Martellozzo, F., Nolè, G., Murgante, B., 2016. The effects of urban policies on the development of urban areas. *Sustain.* *8*, 297. <https://doi.org/10.3390/su8040297>

Bibliografia di riferimento

- Albert, C., Galler, C., Hermes, J., Neuendorf, F., Von Haaren, C., Lovett, A., 2016. Applying ecosystem services indicators in landscape planning and management: The ES-in-Planning framework. *Ecol. Indic.* 61, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.029>
- Amato, F., Maimone, B.A., Martellozzo, F., Nol , G., Murgante, B., 2016a. The effects of urban policies on the development of urban areas. *Sustain.* 8, 297. <https://doi.org/10.3390/su8040297>
- Amato, F., Maimone, B.A., Martellozzo, F., Nol , G., Murgante, B., 2016b. The effects of urban policies on the development of urban areas. *Sustain.* 8, 297. <https://doi.org/10.3390/su8040297>
- Bagstad, K.J., Johnson, G.W., Voigt, B., Villa, F., 2013. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services. *Ecosyst. Serv.* 4, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.012>
- Casas, G. Las, Lombardo, S., Murgante, B., Pontrandolfi, P., Scorza, F., 2014. Open Data for Territorial Specialization Assessment Territorial Specialization in Attracting Local Development Funds: an Assessment. Procedure Based on Open Data and Open Tools. *Tema. J. L. Use, Mobil. Environ.* 0. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/2557>
- Clarke, K.C., Hoppen, S., Gaydos, L., 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 24, 247–261. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Comino, E., Bottero, M., Pomarico, S., Rosso, M., 2014. Exploring the environmental value of ecosystem services for a river basin through a spatial multicriteria analysis. *Land use policy* 36, 381–395. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.09.006>
- Cosentino, C., Amato, F., Murgante, B., 2018. Population-Based Simulation of Urban Growth: The Italian Case Study. *Sustainability* 10, 4838. <https://doi.org/10.3390/su10124838>
- Dotoli, G., Saganeiti, L., Pilogallo, A., Scorza, F., Murgante, B., 2020. Modeling the Determinants of Urban Fragmentation and Compaction Phenomena in the Province of Matera (Basilicata Region - Italy), in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 566–574. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58811-3_41
- Elliot, T., Bab  Almenar, J., Niza, S., Proen a, V., Rugani, B., 2019. Pathways to Modelling Ecosystem Services within an Urban Metabolism Framework. *Sustainability* 11, 2766.

<https://doi.org/10.3390/su11102766>

- European Commission, 2011. Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy. Brussels.
- Gasparini, P., Di Cosmo, L., Pompei, E., TEMI, T., 2013. Il contenuto di carbonio delle foreste italiane : inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio INFC2005 : metodi e risultati dell'indagine integrativa. [Roma].
- Haase, D., Schwarz, N., Strohbach, M., Kroll, F., Seppelt, R., 2012. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: An integrated multiscale framework applied to the leipzig-halle region, Germany. *Ecol. Soc.* 17. <https://doi.org/10.5751/ES-04853-170322>
- Haines-Young, R., Potschin-Young, M.B., 2018. Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5.1): A policy brief. *One Ecosyst.* 3. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
- Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., Mueller, C., 2015. A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. *Sci. Total Environ.* 524–525, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.027>
- Hersperger, A.M., Oliveira, E., Pagliarin, S., Palka, G., Verburg, P., Bolliger, J., Grădinaru, S., 2018. Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Glob. Environ. Chang.* 51, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001>
- Howe, C., Suich, H., Vira, B., Mace, G.M., 2014. Creating win-wins from trade-offs? Ecosystem services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Glob. Environ. Chang.* 28, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.005>
- Ieluzzi, A., Saganeiti, L., Pilogallo, A., Scorza, F., Murgante, B., 2020. Analyzing the Driving Factors of Urban Transformation in the Province of Potenza (Basilicata Region-Italy), in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 425–434. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58811-3_31
- Keesstra, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J.N., Pachepsky, Y., Van Der Putten, W.H., Bardgett, R.D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., Fresco, L.O., 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals 2, 111–128. <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>

- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- Las Casas, G., Murgante, B., Scorza, F., 2016a. Regional local development strategies benefiting from open data and open tools and an outlook on the renewable energy sources contribution. *Green Energy Technol.* 275–290. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31157-9_14
- Las Casas, G., Murgante, B., Scorza, F., 2016b. Regional local development strategies benefiting from open data and open tools and an outlook on the renewable energy sources contribution. *Green Energy Technol.* 275–290. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31157-9_14
- Lonsdorf, E., Kremen, C., Ricketts, T., Winfree, R., Williams, N., Greenleaf, S., 2009. Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Ann. Bot.* 103, 1589–1600. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp069>
- Manganelli, B., Murgante, B., Saganeiti, L., 2020. The social cost of urban sprinkling. *Sustain.* 12, 2236. <https://doi.org/10.3390/su12062236>
- Martellozzo, F., Amato, F., Murgante, B., Clarke, K.C., 2018. Modelling the impact of urban growth on agriculture and natural land in Italy to 2030. *Appl. Geogr.* 91, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.12.004>
- Mazzariello, A., Pilogallo, A., Scorza, F., Murgante, B., Las Casas, G., 2018. Carbon stock as an indicator for the estimation of anthropic pressure on territorial components, in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, pp. 697–711. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95174-4_53
- Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Piroton, M., Dewals, B., Teller, J., 2018a. Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. *J. Environ. Manage.* 225, 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.090>
- Mustafa, A., Heppenstall, A., Omrani, H., Saadi, I., Cools, M., Teller, J., 2018b. Modelling built-up expansion and densification with multinomial logistic regression, cellular automata and genetic algorithm. *Comput. Environ. Urban Syst.* 67, 147–156. <https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2017.09.009>
- Mustafa, A., Van Rompaey, A., Cools, M., Saadi, I., Teller, J., 2018c. Addressing the determinants of built-up expansion and densification processes at the regional scale. *Urban Stud.* 55, 3279–3298. <https://doi.org/10.1177/0042098017749176>

- Muzzillo, V., Pilogallo, A., Saganeiti, L., Santarsiero, V., Murgante, B., Bonifazi, A., 2021. Res and habitat quality: Ecosystem services evidence based analysis in basilicata area, in: *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 1714–1721. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_162
- Muzzillo, V., Pilogallo, A., Saganeiti, L., Santarsiero, V., Scorza, F., Murgante, B., 2020. Impact of Renewable Energy Installations on Habitat Quality. Springer, Cham, pp. 636–644. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_50
- NatCap, 2020. InVEST | Natural Capital Project [WWW Document]. URL <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (accessed 6.17.21).
- Nolè, L., Pilogallo, A., Saganeiti, L., Scorza, F., Santos, L., Murgante, B., 2020. Habitat Degradation: A Comparative Study Between Tomar (PT) and Potenza (IT), in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 645–654. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_51
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C., 2015a. Rainfall erosivity in Europe. *Sci. Total Environ.* 511, 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L., 2015b. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land use policy* 48, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C., 2015c. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environ. Sci. Policy* 51, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.012>
- Paquit, J., 2017. Modeling the Spatial Pattern of Carbon Stock in Central Mindanao University using InVEST Tool . *J. Biodivers. Environ. Sci.* 10, 103–113.
- Pascual, U., Termansen, M., Hedlund, K., Brussaard, L., Faber, J.H., Foudi, S., Lemanceau, P., Jørgensen, S.L., 2015. On the value of soil biodiversity and ecosystem services. *Ecosyst. Serv.* 15, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.06.002>
- Pilogallo, A., Saganeiti, L., Scorza, F., Murgante, B., 2020. Soil Ecosystem Services and Sediment Production: The Basilicata Region Case Study. Springer, Cham, pp. 421–435.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_30

- Pilogallo, A., Saganeiti, L., Scorza, F., Murgante, B., 2019. Ecosystem Services Approach to Evaluate Renewable Energy Plants Effects, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1_20
- Pilogallo, Angela, Saganeiti, L., Scorza, F., Murgante, B., 2019a. Ecosystem Services' Based Impact Assessment for Low Carbon Transition Processes. *TeMA - J. L. Use, Mobil. Environ.* 12, 127–138. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6117>
- Pilogallo, Angela, Saganeiti, L., Scorza, F., Murgante, B., 2019b. Ecosystem Services Approach to Evaluate Renewable Energy Plants Effects. Springer, Cham, pp. 281–290. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1_20
- Pilogallo, A., Scorza, F., 2021. Mapping regulation ecosystem services (ReMES) specialization in Italy. *J. Urban Plan. Dev.*
- Poelmans, L., Van Rompaey, A., 2009. Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders-Brussels region. *Landsc. Urban Plan.* 93, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.018>
- Puertas, O.L., Henríquez, C., Meza, F.J., 2014. Assessing spatial dynamics of urban growth using an integrated land use model. Application in Santiago Metropolitan Area, 2010-2045. *Land use policy* 38, 415–425. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.11.024>
- Romano, B., Fiorini, L., Marucci, A., 2019a. Italy without urban “sprinkling”. A uchronia for a country that needs a retrofit of its urban and landscape planning. *Sustain.* 11. <https://doi.org/10.3390/SU11123469>
- Romano, B., Zullo, F., 2014. The urban transformation of Italy's Adriatic coastal strip: Fifty years of unsustainability. *Land use policy* 38, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.10.001>
- Romano, B., Zullo, F., Fiorini, L., Marucci, A., 2019b. Molecular No Smart-Planning in Italy: 8000 Municipalities in Action throughout the Country. *Sustainability* 11, 6467. <https://doi.org/10.3390/su11226467>
- Romano, B., Zullo, F., Fiorini, L., Marucci, A., Ciabò, S., 2017. Land transformation of Italy due to half a century of urbanization. *Land use policy* 67, 387–400. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.006>
- Roy Haines-Young, by, Potschin, M., 2018. Common International Classification of Ecosystem

Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure.

- Saganeiti, L., Favale, A., Pilogallo, A., Scorza, F., Murgante, B., 2018a. Assessing urban fragmentation at regional scale using sprinkling indexes. *Sustain.* 10. <https://doi.org/10.3390/su10093274>
- Saganeiti, L., Favale, A., Pilogallo, A., Scorza, F., Murgante, B., 2018b. Assessing urban fragmentation at regional scale using sprinkling indexes. *Sustain.* 10. <https://doi.org/10.3390/su10093274>
- Saganeiti, L., Mustafa, A., Teller, J., Murgante, B., 2021. Modeling urban sprinkling with cellular automata. *Sustain. Cities Soc.* 65, 102586. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102586>
- Saganeiti, L., Pilogallo, A., Faruolo, G., Scorza, F., Murgante, B., 2019. Energy Landscape Fragmentation: Basilicata Region (Italy) Study Case. Springer, Cham, pp. 692–700. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9_50
- Saganeiti, L., Pilogallo, A., Scorza, F., Mussuto, G., Murgante, B., 2018c. Spatial Indicators to Evaluate Urban Fragmentation in Basilicata Region, in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. pp. 100–112. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95174-4_8
- Salata, S., Garnero, G., Barbieri, C., Giaimo, C., 2017. The Integration of Ecosystem Services in Planning: An Evaluation of the Nutrient Retention Model Using InVEST Software. *Land* 6, 48. <https://doi.org/10.3390/land6030048>
- Scorza, F., 2013. Improving EU Cohesion Policy: The Spatial Distribution Analysis of Regional Development Investments Funded by EU Structural Funds 2007/2013 in Italy, in: *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. pp. 582–593. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39646-5_42
- Scorza, F., Pilogallo, A., Saganeiti, L., Murgante, B., 2020a. Natura 2000 Areas and Sites of National Interest (SNI): Measuring (un)Integration between Naturalness Preservation and Environmental Remediation Policies. *Sustainability* 12, 2928. <https://doi.org/10.3390/su12072928>
- Scorza, F., Pilogallo, A., Saganeiti, L., Murgante, B., Pontrandolfi, P., 2020b. Comparing the territorial performances of renewable energy sources' plants with an integrated ecosystem services loss assessment: A case study from the Basilicata region (Italy). *Sustain. Cities Soc.* 56. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102082>
- Scorza, F., Saganeiti, L., Pilogallo, A., Murgante, B., 2020c. Ghost planning: the inefficiency of

energy sector policies in a low population density region. *Arch. di Stud. Urbani e Reg.* 34–55.
<https://doi.org/10.3280/ASUR2020-127-S1003>

Sediment Delivery Ratio — InVEST 3.6.0 documentation [WWW Document], n.d. URL
<http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/sdr.html#quantitative-valuation> (accessed 3.27.20).

Spyra, M., La Rosa, D., Zasada, I., Sylla, M., Shkaruba, A., 2020. Governance of ecosystem services trade-offs in peri-urban landscapes. *Land use policy* 95, 104617.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104617>

Stringer, L., 2008. Can the UN Convention to Combat Desertification guide sustainable use of the world's soils? *Front. Ecol. Environ.* 6, 138–144. <https://doi.org/10.1890/070060>

Udawatta, R.P., Gantzer, C.J., Jose, S., 2017. Agroforestry Practices and Soil Ecosystem Services, in: *Soil Health and Intensification of Agroecosystems*. Elsevier Inc., pp. 305–333.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805317-1.00014-2>