



Citation: G. Mauro, P. De Felice, S. Caiazzo, F. Lodato, C. Sossio De Simone (2023). Telerilevamento mediante l'ausilio di Google Earth Engine per il monitoraggio del consumo del suolo e della riduzione del verde urbano: un caso studio nella piana casertana. *Bollettino della Società Geografica Italiana* serie 14, 6(1): 65-91. doi: 10.36253/bsgi-1900

Copyright: © 2023 G. Mauro, P. De Felice, S. Caiazzo, F. Lodato, C. Sossio De Simone. This is an open access, peer-reviewed article published by Firenze University Press (<https://www.bsgi.it>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

For Italian evaluation purpose: Giovanni Mauro takes responsibility for sections 1 and 6, Pierluigi De Felice and Stefania Caiazzo for section 2, F. Lodato for section 3, Claudio Sossio De Simone for section 4.1, Pierluigi De Felice and Francesco Lodato for sections 4.2 and 4.3, Giovanni Mauro and Claudio Sossio De Simone for sections 4.4 and 5.1, Stefania Caiazzo for section 5.2, Pierluigi De Felice for section 5.3.

Telerilevamento mediante l'ausilio di Google Earth Engine per il monitoraggio del consumo del suolo e della riduzione del verde urbano: un caso studio nella piana casertana

Google Earth Engine (GEE) to Study Land Take and Urban Green Space Area in Caserta Plain (Southern Italy)

GIOVANNI MAURO¹, PIERLUIGI DE FELICE², STEFANIA CAIAZZO³, FRANCESCO LODATO⁴, CLAUDIO SOSSIO DE SIMONE^{5,*}

¹ *Dipartimento di Lettere e Beni Culturali (DILBEC), Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia*

² *Dipartimento di Studi Umanistici (DIPSUM), Università degli Studi di Salerno, Italia*

³ *Architetto urbanista e docente a contratto*

⁴ *Campus Bio-Medico, Facoltà Dipartimentale di Scienze e Tecnologie per lo Sviluppo Sostenibile e One Health, Roma, Italia*

⁵ *Dipartimento di Storia, Patrimonio culturale, Formazione e Società, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Italia*

E-mail: giovanni.mauro@unicampania.it; pdefelice@unisa.it; stefania.caiazzo@virgilio.it; f.lodato@unicampus.it; claudiosossio.desimone@students.uniroma2.eu

Abstract. In the last few decades, the remarkable increase in the number of people living in urban areas around the world has posed new challenges for urban planning. The environmental, economic, and social issues of urban sprawl are well-known also in several metropolitan areas of Italy. In this paper, we consider a southern city of Italy (Campania Region), Caserta and its surroundings. We use several satellite images with different spatial and spectral resolutions (Landsat, Sentinel, and KH-9 Hexagon) within the Google Earth Engine platform, to map the main land use changes of Caserta conurbation from the 1980s till 2021. The results highlight the great land consumption and, at the same time, the relevant urban infill that occurred in this area in this short period, both on topographic and local scale (referring, in this last case, only to the town of Caserta). While at an early stage, the increase in artificial areas responds to a specific demand related to the increase in the resident population, the urban growth of the last two decades has more complex answers. Systematic delays in land use planning and a biased perspective (usually focusing only on the municipal scale) to solve the problems of a significantly larger area means insufficient services to the citizens in their daily lives (mainly in relation to local public transport and the actual availability of urban green areas).

Keywords: Caserta, Land take, Urban sprawl, Urban infill, Remote sensing, Google Earth Engine.

Riassunto. In un mondo dove la prevalenza delle persone vivono in aree urbane, il fenomeno dell'*urban sprawl* costituisce una delle emergenze ambientali, economiche e

sociali del nostro tempo. Tra le numerose realtà italiane in cui si è assistito nelle ultime decadi ad una diffusione urbana alquanto rilevante, il contributo prende in esame il caso di Caserta e del suo territorio contermini. Mediante l'utilizzo di immagini satellitari a media ed elevata risoluzione spaziale (Landsat, Sentinel e KH-9 Hexagon) e con il supporto della piattaforma di Google Earth Engine, si sono analizzati i principali cambiamenti dell'uso del suolo intervenuti nella conurbazione casertana a partire dagli anni Ottanta, fino ad oggi. Lavorando a due scale diverse (topografica e locale), si sono messi in evidenza il rilevante consumo del suolo e la contemporanea "intensificazione urbana" dell'area oggetto di studio; tali fenomeni sono stati prevalentemente determinati dallo sviluppo di zone residenziali, industriali e commerciali, a scapito delle aree coltivate e delle aree verdi poste in prossimità della conurbazione o all'interno della città capoluogo. Se in una prima fase l'incremento delle aree artificiali risponde ad una precisa domanda connessa all'aumento della popolazione residente, la crescita urbana delle ultime due decadi trova risposte più complesse. In un territorio ricchissimo in termini di beni culturali e di eccellenze agroindustriali, i ritardi sistematici della pianificazione territoriale e l'usuale prospettiva comunale per risolvere le priorità di intervento in un'area decisamente più estesa si traducono in un'attenzione insufficiente ai servizi da offrire ai cittadini nella quotidianità, quali trasporto pubblico locale e verde urbano realmente usufruibile.

Parole chiave: Caserta, Consumo del suolo, Urban sprawl, Urban infill, Telerilevamento, Google Earth Engine.

1. Introduzione

Nell'ambito della geografia urbana particolare interesse rivestono le dinamiche di espansione e dispersione del tessuto insediativo con ripercussioni sulla forma della città. I processi di suburbanizzazione, determinati dalla delocalizzazione delle industrie verso aree urbane periferiche e dal successivo decentramento delle attività terziarie, rappresentano talvolta solo la prima fase del più complesso fenomeno della diffusione urbana nelle sue diverse forme (agglomerazione, conurbazione, periurbanizzazione) (Dematteis, Lanza 2014). Tradizionalmente associato ad ambiti territoriali anglosassoni d'oltreroceano, il fenomeno dell'*urban sprawl* sta investendo in modo progressivamente più rilevante anche altre regioni del mondo, tra cui lo stesso continente europeo, dove oltre il 74% delle persone vivono in ambito urbano (UN 2019). Come osserva l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA 2006, 2016), i *drivers* di questi processi sono quanto mai eterogenei e dinamici¹, ma l'orientamento

delle politiche dell'UE cerca di contrastare tali concause già dagli anni Novanta incoraggiando, ad esempio, sistemi di trasporto sostenibili per ridurre l'utilizzo dell'automobile e il progressivo scollamento tra luogo di lavoro e residenza. Mentre la politica italiana ha tardivamente riconosciuto tale problematica e ancora fatica a trovare risposte adeguate (Bencardino 2015), nel territorio nazionale il preoccupante fenomeno della diffusione urbana interessa ormai sia le grandi città della pianura padana (Canedoli et al. 2017), sia le aree metropolitane del centro e del sud Italia (Nolè et al. 2014; 2015).

L'*urban sprawl* comporta conseguenze alquanto eterogenee (ambientali, economiche, sociali, ecc.), che si traducono spesso in degrado territoriale. Perdita di qualità degli habitat (a causa del forte decremento della biodiversità), aumento della frammentazione territoriale, forte indebolimento delle reti ecologiche, incremento della presenza di aree ad elevata densità di copertura artificiale sono solo alcuni degli effetti ad esso correlabili (ISPRA 2022). Già negli anni Ottanta, Cederna denunciava quanto la cementificazione del nostro paese, spesso legata a fenomeni di illegalità diffusa, potesse rappresentare un rischio per il paesaggio di uno dei più bei paesi del mondo (Cederna 1975; 1984). Definito come "l'occupazione di una superficie agricola, naturale o seminaturale con una copertura artificiale" (Munafò 2021, 10) l'*urban sprawl* è spesso correlabile con i fenomeni insediativi urbani. Com'è noto, dai primi anni Duemila, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) monitora ciclicamente questa criticità ambientale che non accenna a rallentare². Nel periodo 2012-2021 il consumo del suolo netto revisionato³ ha assunto valori compresi tra 14 e 17 ha/giorno, molto distanti dagli obiettivi comunitari che prevedono

delle superfici agrarie); sociali (i.e., stile di vita, scelta diffusa di soluzioni abitative indipendenti, uso diffuso delle automobili); demografici (i.e., aumento della popolazione, incremento della popolazione anziana); politici (condizionati dalle legislazioni dei singoli Paesi); geografici (i.e., elevata presenza di territori pianiziali o collinari). Anche lo *smart working* (fattore tecnologico) ricade tra questi *drivers*, ma i suoi effetti (come per altri *drivers*, tra l'altro) appaiono alquanto contraddittori (EEA 2006; EEA 2016).

² A scala nazionale, ISPRA si occupa anche di processi inerenti le dinamiche insediative quali, ad esempio, compattezza, dispersione e diffusione urbana, nonché frammentazione dei margini urbani. Mediante l'analisi di indici specifici, ISPRA conferma – con le dovute differenze su scala locale – quanto siano in atto i processi di saturazione delle città e di dispersione insediativa nelle aree rurali (ISPRA 2018).

³ Il consumo di suolo netto revisionato viene valutato attraverso il bilancio tra il consumo del suolo e l'aumento di superfici agricole, naturali e seminaturali, dovuto ad interventi di recupero o altro. I valori puntuali (espressi in ha/giorno) sono stati i seguenti: 15,1 per il periodo 2012-2015; 14,4 per il periodo 2015-2016; 15,4 per il periodo 2016-2017; 16,7 per il periodo 2017-2018; 16,1 per il periodo 2018-2019 (Munafò 2021, 44).

¹ L'Agenzia Europea per l'Ambiente li classifica in diverse tipologie di fattori: macroeconomici (i.e., aumento del reddito, globalizzazione); microeconomici (i.e., la forte rendita fondiaria urbana, i bassi costi

l'azzeramento del consumo del suolo netto entro il 2050. La stima di suolo consumato in percentuale a livello nazionale è passata dal 6,76% nel 2006 a 7,11% nel 2020, pari a circa 2.150 Km² (Munafò 2021). Tenendo conto che il suolo non è una risorsa resiliente (vista la sua crescita estremamente lenta, circa 10 cm ogni 2000 anni) (Pileri 2022), risulta abbastanza facile comprendere come questa emergenza ambientale metta a rischio, in particolare, le aree pianiziali densamente abitate, come per l'appunto quella della piana campana⁴.

Il consumo del suolo riguarda anche i territori interni alla città: il processo di *urban infill* o densificazione urbana (Schiller et al. 2021), talvolta visto come possibile risposta per contrastare la peri-urbanizzazione (Coppola 2012; Spyra et al. 2021), va però progressivamente a saturare i pochi spazi aperti presenti nella città o nelle frange poste ai limiti urbani (superfici libere, superfici inutilizzate, aree verdi, vuoti urbani, ecc.). Spesso si tratta di aree dismesse per le quali, invece di cogliere l'opportunità per una riqualificazione generale della città (Leone 2005), vengono pianificati usi residenziali o zone per servizi pubblici, talvolta poco giustificati dalla reale pressione demografica. Per cercare di frenare questo fenomeno, già a partire dalla fine degli anni Sessanta la normativa nazionale fissava un valore minimo di verde pubblico per abitante⁵ atto a garantire standard di vivibilità e di qualità della vita. Oggi, la corretta pianificazione del verde urbano diventa componente essenziale per le *smart cities* del futuro, quasi retaggio culturale ispirato alle *garden cities* di Howard (1965). Pur complessa per la propria eterogeneità, la definizione di verde urbano comprende una vasta gamma tipologica che va dal piccolo giardino al grande parco, fino al reticolo dei viali alberati⁶ e che oggi deve venire dettagliatamente monitorata⁷.

⁴ Non a caso, a livello nazionale, la Campania, dopo Lombardia e Veneto, è la terza regione per percentuale di suolo consumato (10,5%), mentre nel caso della provincia di Napoli i valori crescono al 35% (Munafò 2021, 62-80).

⁵ Si fa riferimento al Decreto Interministeriale n. 1444 del 02/04/1968 che assegnava il valore minimo di 9 m²/ab di verde pubblico per il gioco e lo sport.

⁶ Il termine verde urbano fa riferimento alle seguenti tipologie di aree: 1) verde attrezzato, ossia verde circoscritto con giochi per bambini, piste ciclabili, ecc.; 2) parchi urbani ossia, ovvero ville, giardini e parchi, che si distinguono per la loro non comune bellezza; 3) verde storico (ossia ville, parchi e giardini che abbiano interesse artistico o storico); 4) aree di arredo urbano, ossia aree verdi create per fini estetici e/o funzionali, quali ad esempio, zone alberate, rotonde, aree di sosta, aiuole spartitraffico, ecc.; 5) aree speciali, ossia aree verdi che hanno particolari modalità di fruizione (giardini scolastici, orti botanici e vivai, giardini zoologici, ecc.).

⁷ La Legge 10/2013 "Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani" prevede che tutti i Comuni con una popolazione maggiore ai 15.000 abitanti si dotino di un catasto degli alberi per la registrazione e classificazione di tutte le alberature, da quelle monumentali a quelle su aree

In questo quadro, il presente contributo che prende in considerazione il territorio contermina a Caserta si pone un duplice obiettivo: da una parte, valutare il consumo del suolo determinato dalla crescita della conurbazione urbana casertana negli ultimi quarant'anni; dall'altra, analizzare la riduzione del verde urbano, causata dal contemporaneo processo di densificazione urbana. Nel primo caso è stato valutato l'*urban sprawl* di un'area piuttosto estesa posta attorno alla città capoluogo. Nel secondo caso, il fenomeno dell'*urban infill* è stato valutato solo su Caserta, scelta come area campione per una compressione più approfondita del fenomeno. Il lavoro è stato condotto, perciò, considerando una duplice scala territoriale: nel primo caso, si tratta di una scala topografica (circa 1:110.000) e riguarda il Sistema Territoriale di Sviluppo (STS) denominato "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua", così come definito dal Piano Territoriale Regionale (PTR) della Regione Campania (2008); nel secondo caso, lo studio si è focalizzato sul centro urbano di Caserta, operando quindi ad una scala più prossima a quella delle carte tecniche (circa 1:35.000). Relativamente ai dati e alla metodologia, sono state prese in esame fonti eterogenee (immagini satellitari a media ed elevata risoluzione spaziale), per identificare i principali cambiamenti della copertura del suolo dagli anni Ottanta ad oggi. Al fine di poter interpretare correttamente i risultati (certificati da una dettagliata analisi dell'accuratezza), è stato considerato il ruolo giocato dalla pianificazione urbanistica e territoriale nel periodo preso in esame (1985-2020), specie in relazione alle dinamiche territoriali in atto.

Da quando, nel 2008, l'Istituto Geologico degli Stati Uniti (*United States Geological Survey*) ha reso disponibile a titolo gratuito il proprio archivio di immagini satellitari (Woodcock et al. 2008), l'analisi diacronica delle dinamiche urbane e dei fenomeni ad esse connesse (come, per l'appunto, l'*urban sprawl*) mediante l'utilizzo di dati telerilevati è diventata una metodologia piuttosto diffusa (Bhatta et al. 2010; Nolè et al. 2014; 2015; Mohammady, Delavar 2016; Mauro 2020). Questo anche perché tale archivio, ricco di immagini Landsat o di altri satelliti, riguarda gli ultimi cinquant'anni, ossia coincide con un periodo in cui si è assistito ad un forte incremento del fenomeno urbano a scala globale (Dematteis, Lanza 2014). In questo contesto, l'implementazione della piattaforma *cloud* di *Google Earth Engine* (GEE) ha, di fatto, ulteriormente potenziato questo ambito di ricerca (Huang et al. 2017; Liang et al. 2020). Mediante tale piattaforma, si possono utilizzare da remoto risorse di

scolastiche, ai giardini storici, al verde attrezzato includendo anche i filari stradali.

sistema (i.e. memoria virtuale) condivise per processare *online* complesse serie temporali di *dataset* geospaziali (i.e., immagini Landsat, Sentinel 1 e 2, Modis, ecc.), senza doverle scaricare o gestire localmente (Li et al. 2019). GEE implementa metodologie di analisi più innovative che utilizzano algoritmi di *machine learning* come, ad esempio, *Support Vector Machine* (SVM) (Nolè et al. 2015) o di intelligenza artificiale, come le reti neurali U-net (Zarro et al. 2022). Per contro, il fenomeno della diffusione urbana può essere analizzato ovviamente anche con metodologie più “tradizionali”, che integrano dati vettoriali con dati censuari (Losco, Macchia 2014; Pesaresi, Marta 2014; Bencardino 2016).

Il contributo è articolato nel seguente modo: dopo aver identificato le due aree studio prese in esame vengono brevemente illustrate le fonti dei dati e la metodologia riferita ad una scala medio-grande (riferibile al Sistema Territoriale di Sviluppo) e a grande scala (riferibile al centro urbano di Caserta). All’analisi dei risultati relativi alla classificazione delle immagini considerate, segue un approfondimento relativo ai principali cambiamenti intervenuti negli ultimi quarant’anni sia per l’intera conurbazione casertana, sia per la città vanvitelliana. Le conclusioni, infine, mettono in luce criticità passate e attuali ma anche le potenzialità future per l’area studio.

2. L’area di studio

La piana casertana è caratterizzata da una morfologia prevalentemente pianiziale. È delimitata a nord dalle alture dei Monti Tifatini, la cui massima altezza è pari a circa 600m slm; essi sono caratterizzati dalla presenza di boschi di leccio, gariga e prati sui versanti più elevati e oliveti e frutteti nelle fasce pedemontane (TCI 2013). A sud, la piana si allarga nelle aree densamente urbanizzate che da Capua arrivano a Caserta e a Maddaloni quasi senza soluzione di continuità (Pellicano 2006), nelle quali si incuneano le zone rurali residuali con presenza di arboreti promiscui e seminativi (Ruocco 1965; 1970). A differenza delle aree naturali, che sono state complessivamente preservate dall’intervento antropico – ad eccezione delle attività di cava, che segnano in modo deciso alcuni tratti del paesaggio alla base delle alture (Buondonno 2001) – le aree agricole, pur rappresentando ancora una percentuale non del tutto trascurabile del territorio della piana, da decenni sono soggette a pressione urbana. La realizzazione di nuove zone di espansione per fini eterogenei (residenziali, industriali, terziari, ecc.) determina il crescente consumo di suolo che comporta l’incremento della frammentazione dovuto alla costruzione di nuovi assi infrastrutturali (Uniontra-

sporti 2009), l’abbandono delle aree agricole periurbane, l’aumento del rischio di dissesti idrogeologici, la dispersione insediativa suburbana.

Per comprendere, a partire dal dopoguerra, i caratteri distintivi e l’attuale complessità della piana, bisogna ripercorrere le vicende relative all’assetto e allo sviluppo del territorio tra Napoli e Caserta (Rigillo 2001; Sciaudone 2010). Questo processo di espansione spiega la logica delle trasformazioni e permette di riconoscere negli attuali caratteri della piana casertana l’esito strutturato del lungo processo di riequilibrio territoriale tentato negli ultimi decenni soprattutto a favore dell’area metropolitana napoletana e delle sue problematiche (Ronza 2019).

La strategia di pianificazione promossa, a partire dagli anni Settanta e Ottanta del XX secolo, ha orientato il processo di sviluppo territoriale verso le aree interne promuovendo un’inversione di tendenza alla concentrazione dell’area napoletana. Ciò è avvenuto attraverso il rafforzamento delle direttrici di sviluppo e degli “elementi propulsivi e vitalizzanti”⁸, degli assi infrastrutturali di collegamento a lungo raggio, dei grandi insediamenti industriali e terziari, attraverso nuove dinamiche e processi di distribuzione della popolazione. Di contro, nei recenti piani territoriali regionali e provinciali si è tentato di sanare e mitigare gli effetti negativi della precedente pianificazione. Tale tentativo ha riguardato il profilo ambientale (consumo di suolo e abbandono delle aree agricole che generano perdita della biodiversità e favoriscono i processi di dissesto idrogeologico), territoriale (problemi di sostenibilità e crisi climatica, perdita di biodiversità, assenza di manutenzione e aumento dei rischi idrogeologici) ed economico (fragilità, scarsa valorizzazione delle risorse locali). Pur restando centrali e rilevanti le questioni legate alla dipendenza della piana casertana all’area metropolitana napoletana, nella pianificazione a grande scala oggi diventa prioritaria e pressante l’esigenza di ristabilire una significativa qualità ambientale e di dare massimo valore agli elementi di attrattività locale. L’obiettivo, dunque, è quello di tendere ad un nuovo assetto territoriale ed economico, più stabile e competitivo, complementare a quello di Napoli.

In questo contesto, sono stati individuati due ambiti territoriali a diversa scala come casi studio particolarmente significativi per leggere le trasformazioni territoriali in termini di consumo del suolo e di intensificazione urbana. Il primo ambito corrisponde all’area della piana casertana che si estende da Capua fino a Maddaloni, delimitata a nord dalle alture dei Monti Tifatini e

⁸ Si cfr. Comitato Regionale per la Programmazione Economica della Campania 1970.

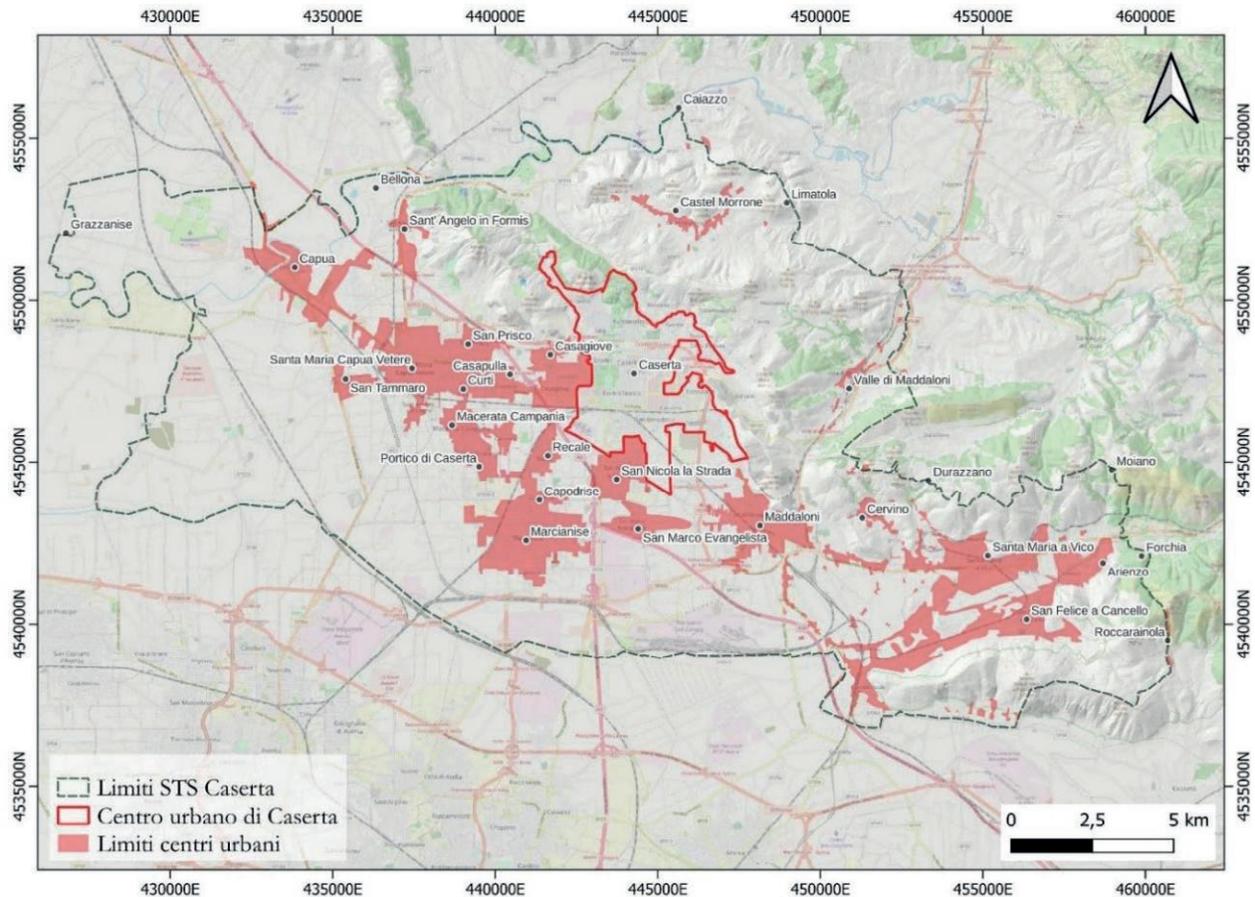


Figura 1. Inquadramento dell'area di ricerca alla scala STS, dei principali centri urbani e della città di Caserta (Pianificazione Territoriale Regionale). Cartografia di base: OpenStreetMap. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

riconosciuta nella pianificazione regionale (Piano Territoriale Regionale 2008) come STS del “Sistema Urbano Caserta e Antica Capua”⁹ (Fig. 1) (Rigillo et al. 2001). Essa comprende ventidue comuni (pari ad un'estensione di circa 360 Km²), localizzati attorno al capoluogo e in cui ricadono paesaggi urbani, periurbani e rurali. Tuttavia, il territorio compreso tra Santa Maria Capua Vetere e Maddaloni è una vera e propria conurbazione, sviluppatasi sull'antico tracciato della Via Appia (Ronza 2019). Dal secondo dopoguerra, profonde trasformazioni territoriali stanno fagocitando lo spazio rurale a fronte di un forte incremento, a partire soprattutto dagli anni Settanta, delle aree urbane. Le problematiche condizioni di congestione dell'area metropolitana partenopea e l'attivazione delle Aree di Sviluppo Industriale (ASI) in prossimità del centro casertano – al punto di attribuire

a Caserta negli anni sessanta la qualifica della “piccola Brianza del Sud” – furono fattori che determinarono in meno di cinquant'anni una crescita rilevante dei centri urbani limitrofi (Capua, Santa Maria Capua Vetere, Maddaloni, Marcanise, Capodrise, ecc.), che si sono parzialmente fusi in un'unica area edificata, lasciando alle aree agricole un limitato spazio residuale.

Si è scelto, inoltre di analizzare il processo di densificazione urbana ad una scala di maggiore dettaglio (par.1): pur non coincidendo con i limiti amministrativi del comune di Caserta¹⁰, essa riguarda principalmente l'area urbana del capoluogo. Sviluppatosi nel XVIII secolo a ridosso della Reggia dove insisteva il villaggio

⁹ PTR – Piano Territoriale Regionale, Sistemi Territoriali di Sviluppo. D4 – Sistema urbano di Caserta e Antica Capua.

¹⁰ Come area d'indagine relativa al centro urbano di Caserta si è considerato il territorio comunale classificato “centro abitato” nel PTR della Regione Campania (2008), nonché un'area oltre i limiti comunali, ossia la zona a sud-est in località Saudina dove oggi sorge il cantiere del c.d. nuovo policlinico (opera alquanto rilevante in un'analisi transcalare come quella sviluppata in questo contributo).

Torre, il centro urbano di Caserta si caratterizzava per un'importante presenza di spazi verdi e agricoli: fino alla prima metà del Novecento, si presentava come una città giardino, contraddistinta non solo dal parco vanvitelliano e dall'annesso giardino all'inglese, ma anche dalle numerose corti interne ai palazzi storici che si erano andati costruendo a ridosso della Reggia, il nuovo fulcro attrattore. A partire dagli anni Settanta, l'area urbana si è notevolmente espansa a causa del suo incremento demografico: in origine prevalentemente ad est della Reggia vanvitelliana, per poi occupare progressivamente gli spazi posti ad ovest e a sud (anche rispetto all'attuale linea ferroviaria), saldando l'ambito urbano lungo la cintura meridionale (Cirillo 2018).

3. Dati e metodologia per il monitoraggio dell'uso del suolo a diversa scala geografica

Nell'ambito degli studi relativi ai cambiamenti dell'uso e della copertura del suolo il telerilevamento è uno strumento di grande efficacia, in continua evoluzione che spesso determina un miglioramento della qualità dei dati prodotti in termini di risoluzione spaziale, temporale e radiometrica¹¹. In tale ambito l'enorme quantità di dati geospaziali generati garantisce un'accurata e puntuale rilevazione di come è cambiato il territorio, tramite algoritmi di tipo *machine-learning* (Pollino, Modica 2013). Nell'ambito degli studi relativi alla diffusione urbana, l'utilizzo di dati telerilevati si rivela particolarmente utile per riuscire a delimitare l'area urbana anche di estese aree metropolitane, questione geografica certamente non di secondo piano.

Tuttavia, permangono alcune criticità nel processo di classificazione di uso del suolo tramite le immagini multispettrali. La qualità delle immagini utilizzate, ad esempio, è spesso compromessa da fattori di disturbo quali la copertura nuvolosa, foschie e ombre. Inoltre, a causa della grande varietà di materiali di costruzione utilizzati dalle comunità locali e della variabilità intrinseca propria degli elementi geologici, della vegetazione o delle colture (e della loro stagionalità) di uno specifico territorio, la classificazione finale può talvolta essere caratterizzata da un significativo errore di commistione¹². Attualmente, i miglioramenti tecnologici dei sof-

ware dedicati, rendono possibile analizzare una composizione di immagini satellitari in un dato intervallo di tempo (fotointerpretazione multi-temporale), anche se questa operazione può presentarsi complessa e *time-consuming*. L'avvento di piattaforme *cloud*, come, ad esempio, GEE, garantisce un supporto rilevante per la gestione ed elaborazione di grandi quantità di dati (Zhang et al. 2019). Senza dover scaricare dati su un computer in locale, tutti i dati telerilevati disponibili su tale piattaforma possono essere analizzati e classificati direttamente in ambiente web (Phan et al. 2020). Inoltre, le tecnologie *cloud* consentono di mettere in condivisione modelli personalizzati e adattati a specifici task tra un gruppo di lavoro facilitando il trasferimento dei suddetti modelli e favorendo la collaborazione all'interno del gruppo.

3.1 Le fonti dei dati e la metodologia in ambiente Google Earth Engine

Per ricostruire i cambiamenti di uso del suolo nel STS casertano, nel presente lavoro sono state utilizzate immagini multispettrali acquisite dai sensori del noto programma Landsat, la cui selezione è stata realizzata mediante il catalogo dati della piattaforma GEE. Applicando la funzione `ee.Reducer.median` (Phan et al. 2020), partendo da una serie di immagini acquisite nel ciclo annuale¹³, si è ottenuta una singola immagine composita, basata sui valori mediani delle bande, priva di nuvole ed in grado di differenziare i suoli sottoposti a lavorazioni cicliche. Tale algoritmo si rivela particolarmente affidabile per migliorare la qualità dei dati da sottoporre alla successiva classificazione (Pu et al. 2020).

Per l'analisi diacronica si è scelto di valutare i mutamenti di uso del suolo partendo dalle prime immagini satellitari disponibili ad elevata risoluzione spaziale, riferibili al sensore TM del vettore Landsat. Le immagini di riferimento iniziali si riferiscono al 1984 (Landsat 5); esse sono state confrontate con quelle del 2002 (Landsat 7 ETM+) e del 2021 (Landsat 8 OLI), coprendo così un arco temporale di circa quarant'anni, con una risoluzione spaziale a terra di 30 metri per le bande del blu, verde, rosso, NIR (infrarosso vicino), SWIR 1 e 2 (infrarosso onda corta). Su ogni singola immagine mediana composita priva di nuvole¹⁴, si è poi proceduto a identificare e raccoglie-

¹¹ Solo a titolo esemplificativo, si possono citare i miglioramenti tecnologici delle immagini acquisite dalla serie di satelliti appartenenti alla costellazione Landsat, dagli anni Settanta ad oggi. Ci sono stati miglioramenti relativi alla risoluzione spaziale (da 80 a 15m), alla profondità radiometrica (da 8 a 11 bit) e alla risoluzione spettrale (da 3 a 11 bande) (Lillesand et al. 2015).

¹² Tale tipo di errore è dovuto alle difficoltà di separabilità delle classi

sulla base della distanza spettrale.

¹³ Le immagini prese in esame sono state rispettivamente 20 per il 1984, 75 per il 2002 e 80 per il 2021.

¹⁴ Le immagini vengono filtrate preventivamente dall'operatore in ambiente GEE sulla base del parametro copertura nuvolosa, assicurando così un'elevata qualità del prodotto finale.

re le *features* con un campionamento stratificato, raccogliendo circa 500 punti di controllo a terra per ogni singola immagine mediana (anno di campionamento). La raccolta delle *features* è stata effettuata tramite fotointerpretazione manuale di immagini composite in falsi colori su GEE coadiuvate da servizi WMS (immagini satellitari e cartografia storica in QGIS), esportando i punti di campionamento come *features collection* in ambiente QGIS e reintegrandoli in quello di GEE. Tale attività è stata eseguita ipotizzando come riferimento una classificazione con le medesime categorie del Livello 2 del progetto *Corine Land Cover 2006* (CLC)¹⁵ (Iovino 2014). La scelta delle categorie è giustificata essenzialmente dalla particolare tipologia di ambito territoriale analizzato e dall'obiettivo principale del caso di studio che si prefigge di valutare il consumo di suolo in un contesto preminentemente urbano. Per la classificazione supervisionata si è utilizzato l'algoritmo *Random Forest (RF)* in GEE, in quanto ritenuto affidabile, efficiente e di semplice implementazione e interpretazione per l'analisi di immagini multispettrali per la mappatura dell'uso del suolo, specie in ambiti urbani, come ampiamente attestato in letteratura (Patel et al. 2015; Clemente et al. 2020; Shafizadeh-Moghadam et al. 2021).

Tale algoritmo classificatore è composto da più classificatori detti alberi decisionali¹⁶. Nel caso specifico, l'algoritmo RF è stato impostato a $n = 20$ alberi decisionali, con n variabili utilizzate per il taglio dei *root-nodes* impostate in default sulla radice quadrata del numero di variabili. Le immagini classificate sono state esportate in ambiente QGIS dove, tramite fotointerpretazione manuale, si sono potuti differenziare ulteriormente specifici elementi territoriali.

Sulla scorta di queste indicazioni, per il STS del "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua" sono state distinte le seguenti sei classi di uso del suolo:

- (0) Zone urbane di tipo residenziale e aree industriali (1.1 e 1.2 CLC)

¹⁵ Acronimo di "Coordination of information on the environment", CORINE Land Cover è un progetto internazionale iniziato nel 1985 relativo a diverse tematiche ambientali. Uno dei risultati più rilevanti è un "inventario" della copertura del suolo classificato in 44 classi e distribuito come prodotto cartografico a scala 1:10.000 disponibile per la maggior parte del territorio dell'Unione Europea (EEA 1995).

¹⁶ Nel *Machine Learning*, un albero decisionale è un modello predittivo di tipo gerarchico, costituito da nodi correlati da archi o rami. Ogni nodo verifica una condizione su una particolare proprietà dell'ambiente (detta variabile) e può avere due o più diramazioni verso il basso. Ciascuna regola di predizione è rappresentata dal cammino dal nodo radice (root) al nodo foglia. L'algoritmo di *Random-Forest* tramite la tecnica di *bagging* (termine sintetico che sta per: *bootstrap + aggregation*), utilizza una moltitudine di singoli alberi decisionali, il cui output può essere un modello di classificazione o regressione.

- (1) Superfici agricole (2.x CLC) e aree verdi urbane (1.4 CLC)¹⁷
- (2) Superfici rade – Suolo nudo (3.3 CLC e 1.3.3 CLC)
- (3) Corpi idrici (5.1 CLC)
- (4) Zone estrattive (1.3.1 CLC)
- (5) Territori a copertura prevalentemente boschiva (3.1 – 3.2 – 2.4.3 – 2.4.4 CLC)¹⁸

Analogamente a quanto fatto per il STS del "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua", anche per il centro urbano di Caserta sono state individuate le seguenti classi di uso del suolo, riconducibili al secondo livello di classificazione CLC 2006, ossia:

- (1) Zone urbane residenziali ed industriali (1.1 e 1.2 CLC)
- (2) Superfici rade – Suolo (3.3 CLC e 1.3.3 CLC)
- (3) Superfici agricole (2.x CLC) e zone verdi artificiali (1.4 CLC)
- (4) Zone estrattive (1.3.1 CLC)
- (5) Corpi idrici (5.1 CLC)

La selezione di tali classi è basata sugli elementi identificabili all'interno della tessitura urbana del centro di Caserta, in cui la componente boschiva può essere assimilata al concetto di verde urbano.

Per l'analisi diacronica relativa al processo di intensificazione urbana o, di converso, al verde urbano residuo nel centro storico di Caserta, si è scelto di operare a maggiore risoluzione spaziale e in un intervallo di tempo adeguato che va dagli anni Settanta ai giorni nostri, utile ad evidenziare le trasformazioni territoriali registrate in questo arco temporale nell'area oggetto di studio.

Per questo motivo, è stata utilizzata un'immagine acquisita dal satellite spia del programma americano Hexagon (nome in codice Key Hole 9 o KH-9). Si stima che tale programma, operante tra il 1972 e il 1980 e per il quale sono stati spediti in orbita 20 satelliti, abbia raccolto quasi 30.000 immagini per un'area totale pari a circa 3.400 Km² (Burnett 2012). All'alba degli anni 2000 tali immagini sono state declassificate e, quindi, oggi è possibile utilizzarle anche per studi scientifici. Nel caso specifico, l'immagine utilizzata è datata 05/01/1976 e ha una risoluzione inferiore ai 5 m. L'immagine originale,

¹⁷ Considerata l'estrema eterogeneità delle aree verdi urbane si è ritenuto, in considerazione degli obiettivi di ricerca, di considerare in un'unica categoria sia le aree realmente messe a coltura che i terreni permeabili vegetati sebbene non strettamente destinati all'agricoltura (verde urbano, aree ricreative e sportive).

¹⁸ Sono state incluse nella categoria aree boschive, tenuto conto sempre delle finalità della ricerca, anche le aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti e le aree agroforestali poiché quantitativamente poco rilevanti.

la cui risoluzione spettrale è minima (si tratta di un'immagine con un'unica banda), copre un'area che va da Gaeta fino a Salerno. Essa è stata opportunamente ritagliata e georiferita in ambiente QGIS. Successivamente è stata classificata in GEE basandosi sulle intensità nella scala di grigio, tramite l'algoritmo SVM (Pal, Mather 2005) che è risultato maggiormente performante tra gli algoritmi testati (RF, *Minimum Distance*) in termini di accuratezza generale.

Relativamente al presente, sono state prese in esame immagini multispettrali del sensore Sentinel-2A (*Surface reflectance*) riferibili al 2021¹⁹. La selezione del presente dataset è stata determinata dalla rilevante quantità di informazioni in esso contenute, a causa della elevata risoluzione temporale e spettrale. In aggiunta, va rilevato come tale scelta sia stata motivata anche dalla disponibilità del dataset in libera distribuzione. Tramite le funzioni ee.Reducer si sono desunti i valori medi e le relative deviazioni standard dell'indice vegetazionale NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Lillesand et al. 2015). Si è utilizzato tale indice in quanto quello più tradizionalmente utilizzato nel telerilevamento per valutare lo "stato di salute" della vegetazione. Di conseguenza, sono state individuate aree caratterizzate da coperture vegetative omogenee mediante l'applicazione di valori soglia specifici (NDVI > 0,25) (Walz et al. 2021) che risultano coerenti con le categorie individuate anche nell'immagine del 1976.

4. Risultati

4.1 Accuratezza della classificazione

Definire l'accuratezza di una carta non è solo importante per valutare le metodologie di classificazione e le fonti impiegate, ma è fondamentale per stimare se una carta prodotta sia adatta allo scopo della ricerca (Zimmerman et al. 2013). Generalmente, l'accuratezza degli algoritmi di classificazione avviene con la produzione di una matrice di confusione, ovvero una tabella che confronta dati puntuali relativi alle classificazioni ottenute con i corrispondenti dati "reali". Questi ultimi vengono raccolti mediante l'individuazione di una serie di punti (*Ground Control Points*, GCP) su fonti cartografiche differenti, che possono essere immagini satellitari²⁰, carte prodotte con rilievi a terra (Morales-

Barquero et al. 2019) o carte topografiche, come la cartografia IGM.

Nel caso specifico, i dati classificati, sono stati confrontati con le ortofoto in scala 1.10.000 disponibili per il periodo 1988-2012 e con la Carta Topografica d'Italia serie 25V prodotta dall'IGM, entrambi fruibili tramite il servizio *Web Map Service* (WMS) del Geoportale Nazionale²¹.

Per la classificazione dei dati satellitari del 2021 sono state, inoltre, prese in esame anche le immagini ad elevata risoluzione spaziale di Google Earth. Sono stati considerati cento GCP nell'area d'indagine a scala STS e cinquanta GCP per l'area del centro urbano di Caserta. In entrambi i casi, i punti sono stati distribuiti, per quanto possibile, in modo uniforme e causale. Mediante uno specifico algoritmo di Orfeo ToolBox, accessibile dal pannello degli strumenti di processing del software QGIS²², è stata calcolata una matrice di confusione per ciascuna classificazione (1976, 1984, 2002 e 2021).

Inoltre, è stata valutata la precisione media delle diverse classi di uso del suolo della classificazione e un indice statistico di accuratezza generale²³, per cui valori prossimi o superiori all'80% sono ritenuti accettabili (Congalton 2001; Fichera et al. 2011)²⁴.

Essi variano tra l'82 e l'89 % nel caso delle classificazioni fatte per l'area del "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua" (Tab.1), mentre si registrano valori tra il 77% (1976) e il 90 % (2021) per l'indagine relativa all'area urbana di Caserta (Tab. 2). La classe relativa alle "superfici rade o suolo nudo" è, in entrambi i casi²⁵, quella più critica per la natura stessa di questa classe, a causa della sua indeterminatezza: per superfici rade o suolo nudo si possono intendere, infatti, superfici costantemente non coperte da vegetazione o da edifici, ma che possono essere aree agricole (i.e., suoli arati), aree edificate in dismissione, spazi pubblici (aree per il mercato settimanale, impianti sportivi, ecc.), aree prossime a insediamenti commerciali, aree in fase di prossima edificazione, ecc. Per contro, la classificazione delle zone urbane e

²¹ <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>

²² https://www.orfeo toolbox.org/CookBook/Applications/app_ComputeConfusionMatrix.html?highlight=matrix

²³ La stima di precisione viene definita come rapporto tra il numero di campioni che sono classificati correttamente e il numero totale di GCP impiegati per il confronto (Congalton, Green 2009).

²⁴ Nel caso della classificazione dell'immagine satellitare del 1976, visti i limiti della fonte, raggiungere una percentuale del 78% di accuratezza generale è ritenuto essere un buon risultato.

²⁵ Nel caso dell'immagine del 1976, il valore di accuratezza per questa classe non è soddisfacente (60%). Oltre alle caratteristiche poco definite di questa tipologia di uso del suolo, si deve anche evidenziare che l'immagine satellitare non è multispettrale (par. 3.1). In questo caso specifico, nemmeno l'uso dell'algoritmo SVM riesce a supplire a questa carenza.

¹⁹ Le immagini prese in esame per il 2021 sono state 290.

²⁰ Si considera valida anche la cartografia satellitare di Google Earth.

Tabella 1. Analisi dell'accuratezza per le classificazioni supervisionate per la STS. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

	1984	2002	2021
(0) Zone urbane di tipo residenziale e aree industriali	92%	90%	98%
(1) Superfici agricole e aree verdi urbane	80%	80%	89%
(2) Superfici rade – Suolo nudo	93%	44%	80%
(3) Corpi idrici	95%	95%	95%
(4) Zone estrattive	95%	95%	95%
(5) Territori a copertura prevalentemente boschiva	78%	89%	85%
<i>Indice di accuratezza generale</i>	84%	82%	89%

Tabella 2. Analisi dell'accuratezza per le classificazioni supervisionate del centro urbano di Caserta. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

	1976	2021
(1) Zone urbane residenziali ed industriali	90%	98%
(2) Superfici rade – Suolo nudo	60%	76%
(3) Superfici agricole e zone verdi artificiali	91%	100%
(4) Zone estrattive	95%	95%
(1) Zone urbane residenziali ed industriali	95%	95%
<i>Indice di accuratezza generale</i>	77%	90%

industriali e delle aree di cava è qualitativamente elevata, viste le relative accuratèzze pari o superiori al 90%.

4.2 Il Sistema Territoriale di Sviluppo Caserta e Antica Capua

La classificazione delle immagini satellitari del 1984, del 2002 e del 2021 (rispettivamente, Figg. 2, 3 e 4) restituisce la copertura di due ambiti geografici ben distinti: l'area collinare montuosa dei Monti Tifatini, che va da Santa Maria Capua Vetere fino a Santa Maria a Vico; l'area pianiziale della Piana Campana, che comprende parte della fertile *Terra Laboris*, oggi solcata da numerose infrastrutture viarie (l'Appia e l'autostrada del Sole), strategiche per lo sviluppo socioeconomico dell'area.

Nel periodo preso in esame, l'area dei Monti Tifatini presenta una formazione boschiva maggiormente integra nei versanti posti a nord, in grado di garantire migliori condizioni di umidità. Per contro, nei versanti a sud, le aree boschive si presentano più frammentate e si alternano a superfici prative o, talora, a vegetazione rada. Tale situazione rischia di minare l'integrità del paesaggio forestale, soprattutto nelle aree periurbane poste a

ridosso delle colline. Nell'arco temporale preso in esame si assiste, infatti, ad un processo incrementale di consumo di suolo con un'invasiva riconversione di tali aree in edificato extraurbano. In questa area, posta nella parte liminare dei Monti Tifatini, notevole è anche la presenza delle cave di calcare e tufo (D'Argenio et al. 1973; Astarita 2017). Tuttavia, l'incremento quasi esponenziale della pressione antropica, cui si è assistito negli ultimi decenni sia nella piana casertana sia nella vicina area metropolitana partenopea, ha reso tale attività molto più impattante da un punto di vista ambientale e territoriale. Erodendo l'integrità sistemica della collina, le cave rappresentano un importante fattore di consumo del suolo in grado di compromettere valori culturali e paesaggistici di questo ambito regionale. In tal senso, osservando le classificazioni, mentre si assiste ad uno sviluppo dell'attività estrattiva tra il 1984 e il 2002 dovuta alla concomitante crescita della domanda di materiale da costruzione e alle carenze della pianificazione territoriale, di rinaturalizzazione si registrano, altresì, in tempi più recenti, processi spontanei di rinaturalizzazione dovuti all'abbandono delle cave.

L'area pianeggiante si connota per estese zone agricole, testimonianza di un'antica vocazione rurale, su cui insistono diverse infrastrutture (assi viari e ferroviari) e un tessuto urbano sempre più esteso e compatto. A partire dal 1984 gli insediamenti vanno sviluppandosi lungo le direttrici stradali della Via Appia e dell'autostrada del Sole (A1), estendendosi in modo lineare e compatto tanto da determinare un *continuum* urbano tra i diversi centri che fagocitano le aree permeabili. Relativamente alle aree agricole, si nota la forte variabilità in termini di estensione nell'arco temporale considerato. Eterogeneità dimensionale, colturale e stagionale giustificano queste marcate differenze. Il territorio agricolo appare caratterizzato da una tessitura alquanto diversificata, determinata dalla contemporanea presenza di aree rurali a dimensione molto variabile; se le superfici piccole sono generalmente interessate da agricoltura specializzata (come, ad esempio, orticoltura, frutticoltura, olivicoltura, tabacco, ecc.), seminativi cerealicoli (prevalentemente granoturco e soia) investono le superfici più estese²⁶. La stagionalità climatica, inoltre, influenza in modo alquanto marcato la loro identificazione: le situazioni del 1984 e del 2021 possono essere giustificate da un'ampia presenza di superfici arate che talvolta si confondono con altre tipologie di superfici nude (par. 4.1).

²⁶ Questa situazione è alquanto evidente mediante un'analisi visuale delle immagini multispettrali originali; in questo caso, come già rilevato con l'analisi dell'accuratezza (par. 4.1), l'algoritmo di classificazione mette in evidenza i suoi limiti.

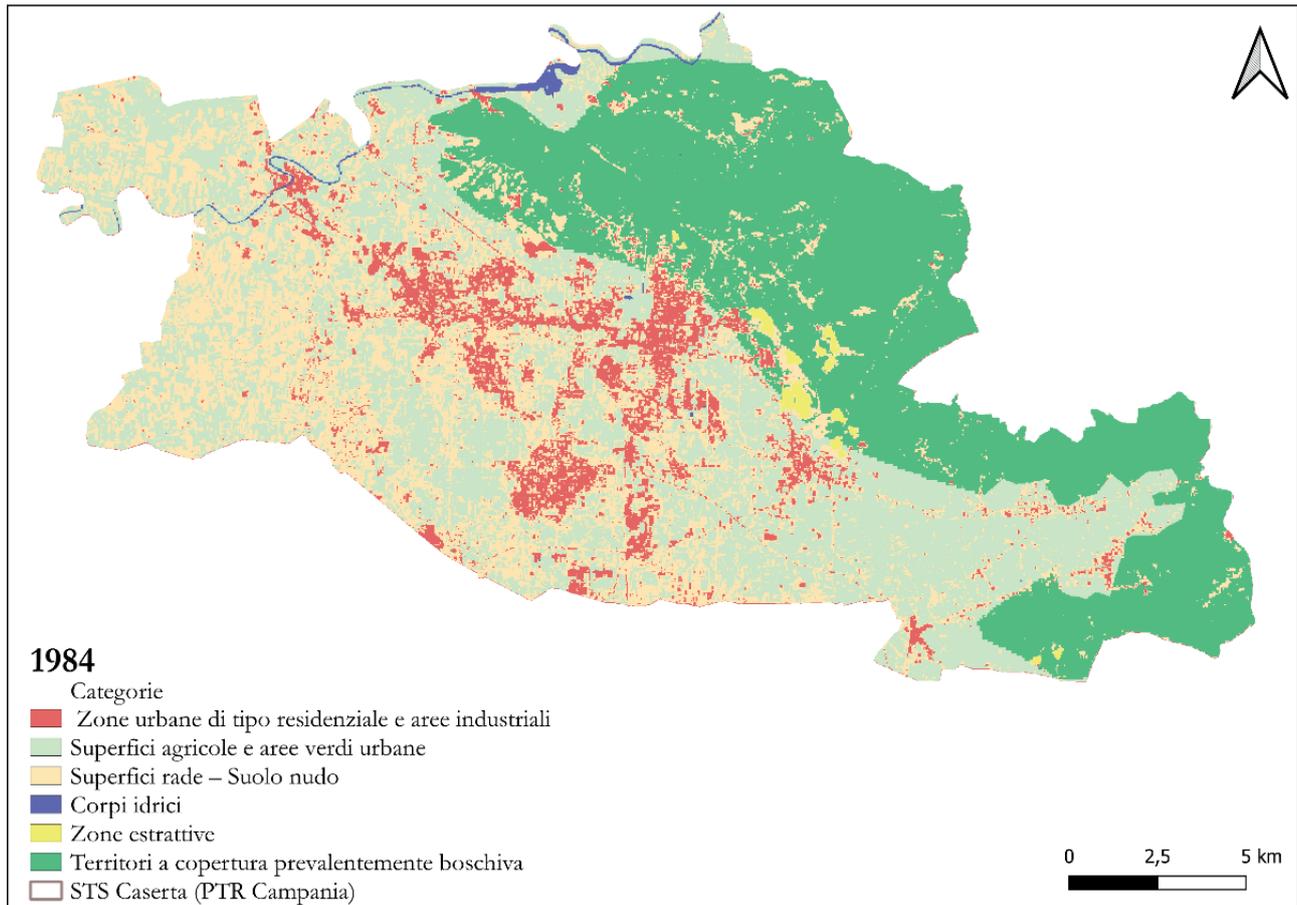


Figura 2. Carta dell'uso e della copertura del suolo per il STS, anno 1984. Fonte: elaborazione di F. Lodato.

4.3 Il centro urbano di Caserta

Osservando la figura 5, relativa all'uso del suolo nel centro urbano di Caserta del 1976, emergono alcune criticità in merito al processo di classificazione da addebitarsi principalmente alla fonte dati, trattandosi di un'immagine con un'unica banda (par. 3.1). Tali criticità portano probabilmente a sovrastimare la classe suolo rado/soilo nudo a scapito della classe relativa all'edificato. Malgrado tali limiti, è evidente quanto fosse rilevante, fino a pochi decenni or sono, la componente più "naturale" del capoluogo ossia ampie superfici agricole e rade, verosimilmente dedite all'agricoltura. Essa era l'espressione di una storia territoriale che si legava alla vocazione agricola di questo centro, ubicato nel cuore della *Campania felix*, terra fertile e ferace, a cui si aggiungeva l'esteso giardino del Palazzo Reale borbonico e i cortili interni dei palazzi storici. Nelle zone periferiche del centro storico insistevano ampie porzioni di terreni coltivati che si estendevano diffusamente verso le aree collinari

a nord e verso la Piana Campana a sud. L'elevata risoluzione spaziale dell'immagine scelta (par. 3.1) ha permesso di valutare dettagliatamente la parcellizzazione delle aree coltivate. Il tessuto urbano si sviluppava prevalentemente ad est del Palazzo reale lungo le arterie stradali principali che rappresentavano il motore di sviluppo residenziale e industriale.

L'esito della classificazione effettuata sull'immagine satellitare risalente al 2021 (situazione attuale) restituisce (Fig. 6), uno sviluppo dell'edificato che si estende prevalentemente ad est della Reggia e a sud lungo il Viale che porta al centro città (Viale Carlo III). Da un punto di vista procedurale, i limiti del processo di classificazione, di cui sopra, comportano una sottostima della classe relativa all'edificato nel 1976, sovrastimando di conseguenza la crescita di questa classe nel periodo considerato. Tuttavia, appare abbastanza evidente come, nel centro di Caserta, il tessuto urbano abbia fagocitato le aree permeabili, depauperandole degli ampi spazi verdi presenti solo pochi decenni fa, se si fa eccezione per

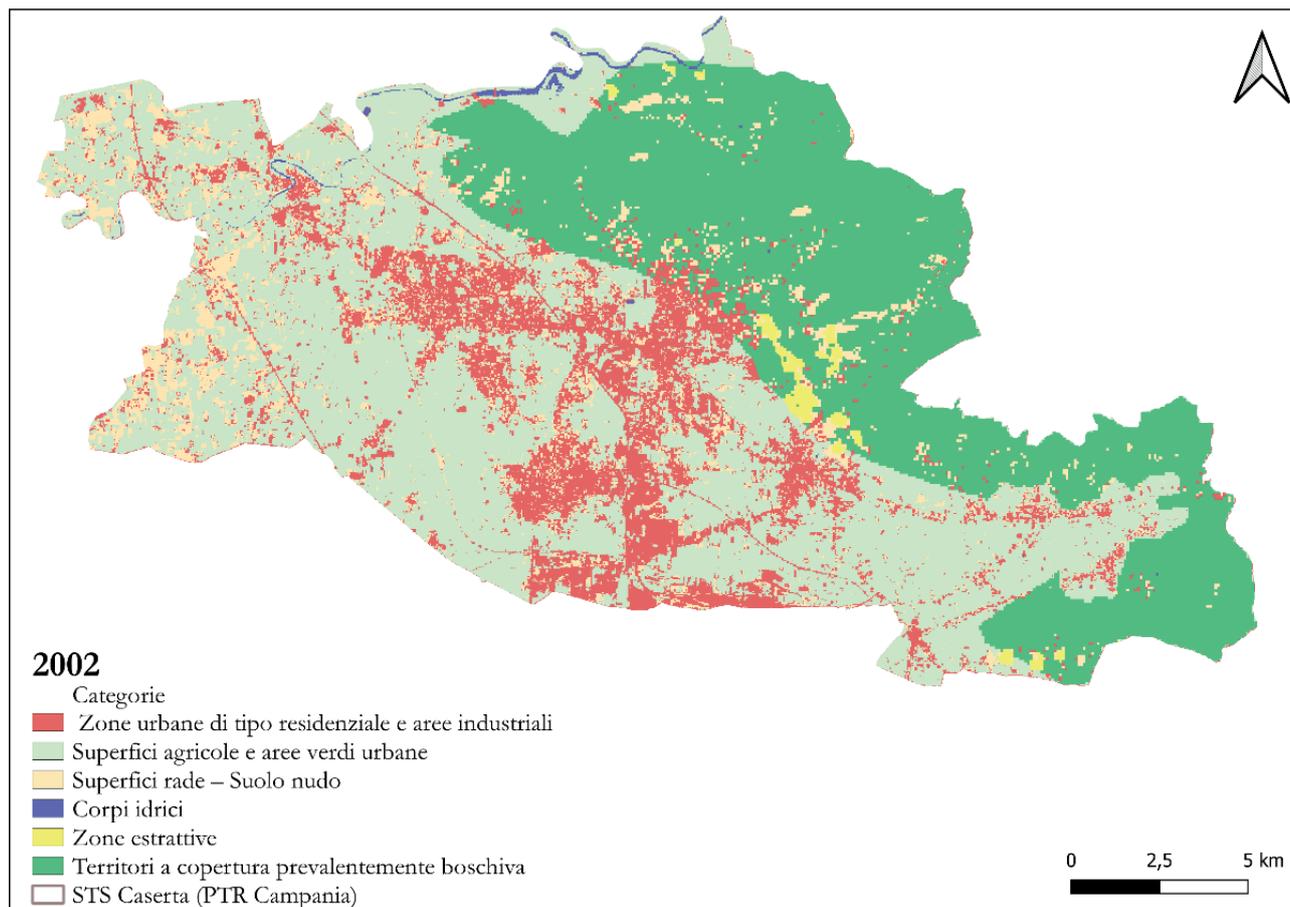


Figura 3. Carta dell'uso e della copertura del suolo per il STS, anno 2002. Fonte: elaborazione di F. Lodato.

il giardino storico di Palazzo Reale e di un'area militare in disuso (l'area denominata "Macrico", acronimo di Magazzino Centrale Ricambi Mezzi Corazzati).

4.4 Principali cambiamenti dell'uso del suolo nel periodo 1984-2021

Per definire i principali cambiamenti intervenuti nelle aree di studio prescelte, nelle tabelle 3 e 4 vengono riportati i dati in termini assoluti (espressi in km²) e in termini relativi (espressi in percentuale) relativi alle diverse classi di uso del suolo relativamente agli anni presi in esame. Attraverso l'impiego di processi di *map algebra* e *overlay* dei dati ottenuti dalle classificazioni (Lu et al. 2004; Fichera et al. 2011), sono state elaborate le relative cartografie a scala STS (Fig. 7) e per il centro urbano di Caserta (Fig. 8).

Se si considera il "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua", i dati tabellari evidenziano come le due classi che si sono principalmente modificate nell'ultimo tren-

tennio sono quella relativa all'edificato (principalmente per funzioni residenziali e industriali) e alle superfici vegetate (agricole e aree verdi urbane)²⁷. In linea generale, si nota all'incremento delle zone urbane (dall'8 al 25 %, con un incremento di oltre 62 km²) sia corrisposta una contrazione delle superfici vegetate (dal 31 al 18%, ossia una perdita di circa 50 km²). In particolare, in figura 7 è possibile cogliere come l'aumento delle superfici edificate sia avvenuto o a ridosso delle infrastrutture viarie (ad esempio, a sud di Maddaloni o in corrispondenza di S. Maria a Vico) o in corrispondenza le aree più esterne dei centri urbani già preesistenti (ad esempio, è il caso di Marcianise, Capodrise, Recale e Santa Maria Capua Vetere). Se la Via Appia rimane l'infrastruttura principale, attorno alla quale si sviluppa la "città continua" (Ronza 2019, 132), il processo di conurbazione della provincia di Caserta (Cardarelli 2001) segue, dunque,

²⁷ Più difficile l'interpretazione delle dinamiche relative alla classe "Superfici rade – suolo nudo" per la sua indeterminatezza (par. 4.1).

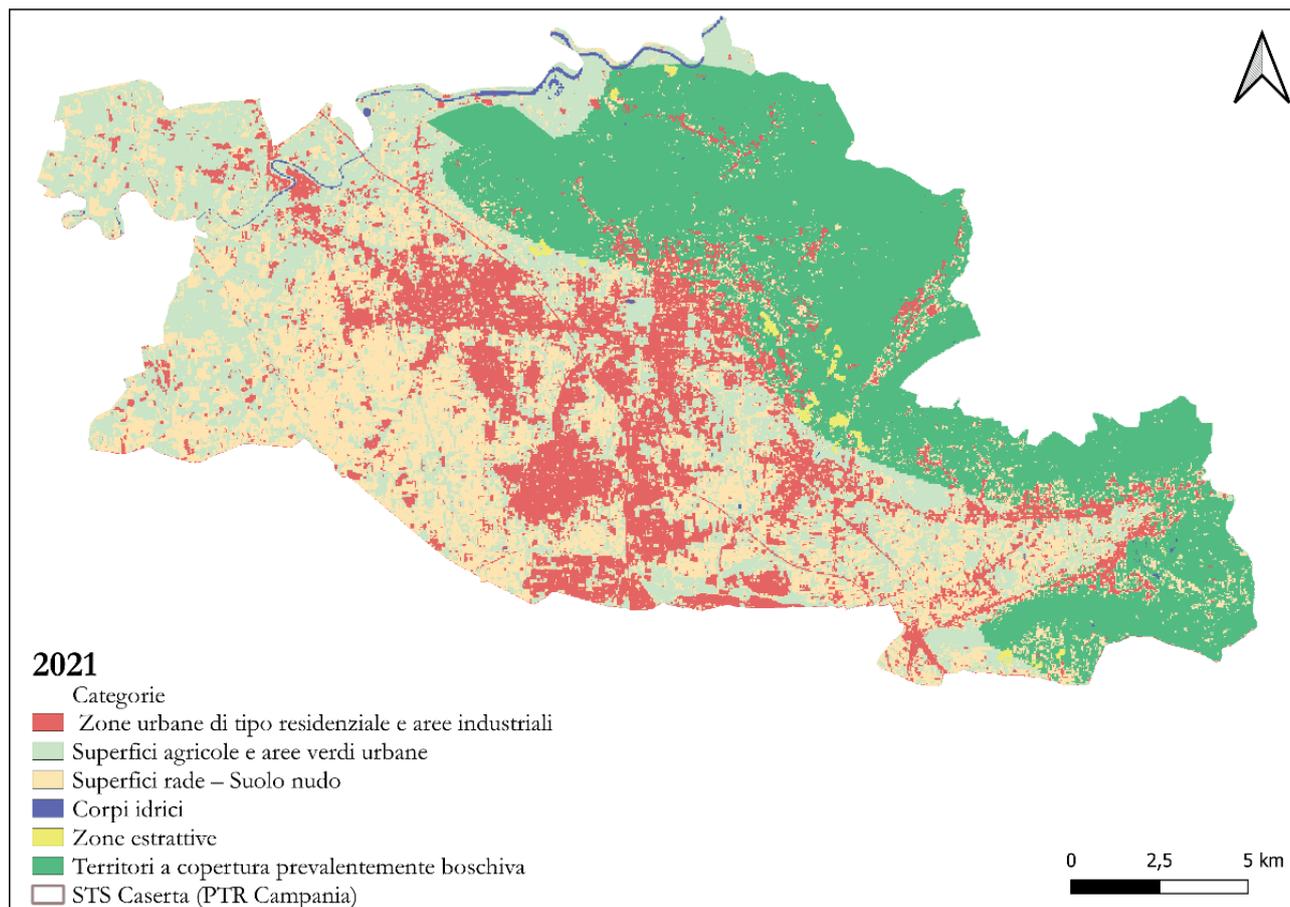


Figura 4. Carta dell'uso e della copertura del suolo per il STS, anno 2021. Fonte: elaborazione di F. Lodato.

anche altre direzioni a scapito delle aree agricole e naturali. È il caso dell'area posta a sud di Marcianise e San Marco Evangelista, dove nelle ultime decadi si è assistito allo sviluppo di agglomerati industriali, centri commerciali e aree interportuali, nonché al passaggio della linea alta velocità. Si è così delineato un profilo urbano frammentario tipico delle aree a diffusione urbana (Prokop et al. 2011), che ha compromesso le specificità rurali della zona, generando diseconomie ambientali e paesaggistiche (Coppola 2004).

Seppur limitata dalle difficoltà relative alla classificazione dell'immagine satellitare del 1976, l'analisi dei cambiamenti relativa al centro urbano di Caserta evidenzia dinamiche simili. Come evidenziato in tabella 4, anche in questo caso si assiste ad un forte incremento delle aree residenziali ed industriali (+25%), a discapito delle superfici agricole e delle aree verdi (-22,4%)²⁸. Le

²⁸ Le leggere discrepanze tra le classi considerate sono probabilmente da ascrivere per lo più alle diverse caratteristiche tecniche delle fonti dati utilizzate (par. 3 e par. 4.1).

aree maggiormente interessate da questo processo (Fig. 8) riguardano il centro storico di Caserta (par. 6.2). A questo quadro, si sovrappone la frammentarietà di alcuni spazi industriali dismessi (ad esempio, la c.d. area industriale Saint Gobain e l'agglomerato industriale della Titagarh Firema, poste a ridosso dei limitrofi comuni di Recale e San Nicola La Strada), nonché la contemporanea scarsa presenza di spazi verdi urbani.

5. Discussione dei risultati

5.1 Dinamiche demografiche e territoriali a confronto

Per meglio comprendere le recenti dinamiche territoriali, che hanno visto crescere in modo consistente (+17,2%) le aree edificate (principalmente residenziali, industriali e commerciali), sono stati presi in analisi i dati relativi alla popolazione residente nell'intero periodo di indagine (1984-2021) nei ventidue comuni della

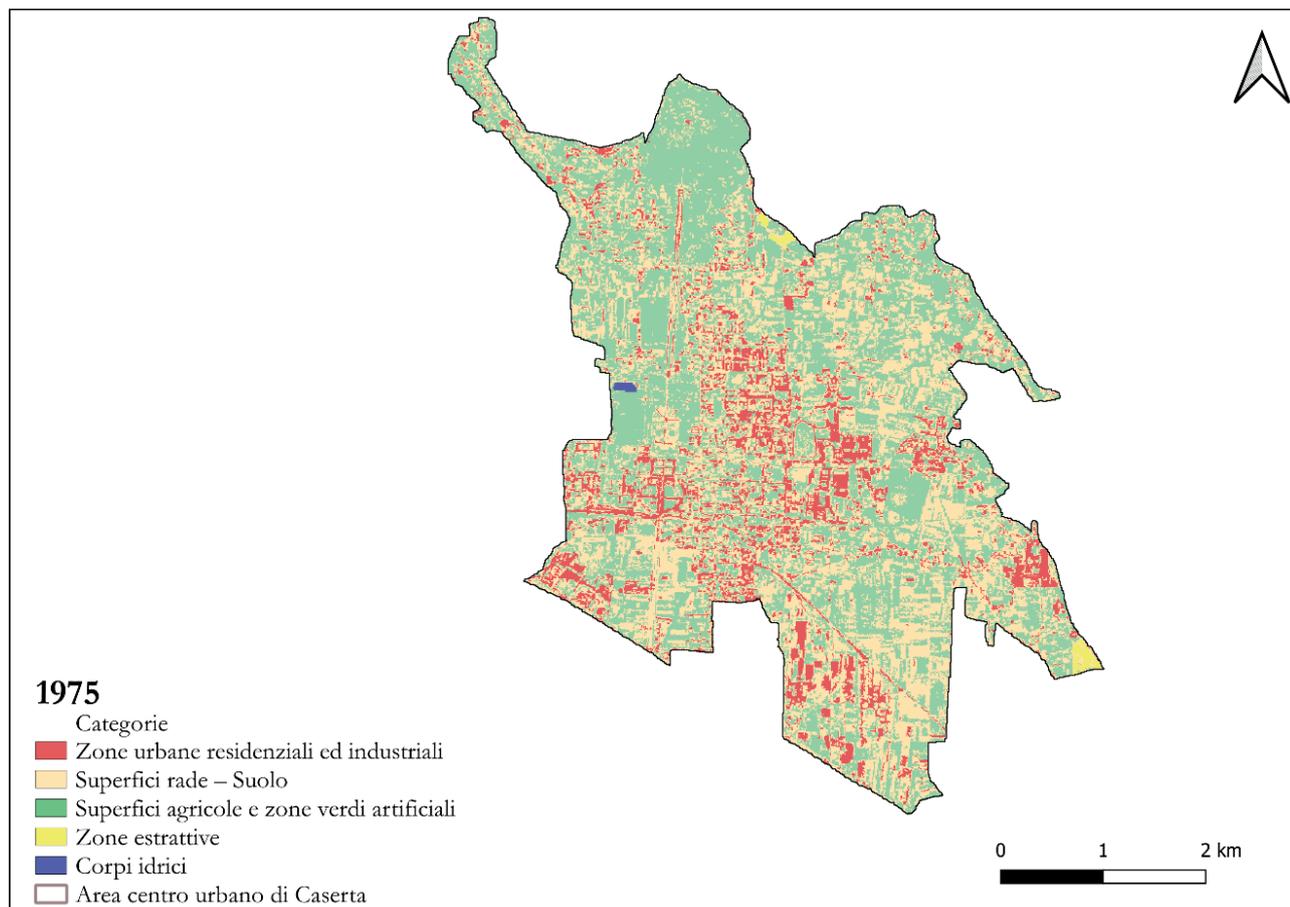


Figura 5. Carta dell'uso e della copertura del suolo per il centro urbano di Caserta, anno 1975. Fonte: elaborazione di F. Lodato.

STS. Come già accennato (par. 2), le dinamiche demografiche delle ultime decadi devono essere considerate a scala regionale, ossia nell'ambito di un quadro decisamente più complesso nel quale è necessario valutare i processi di abbandono delle aree interne (*in primis*, Sannio e Irpinia) ma, contemporaneamente, anche quelli di disurbanizzazione dell'area metropolitana partenope (Amato 2007; Bencardino 2016; Bencardino, Nesticò 2017). Il forte incremento della popolazione nell'area oggetto di studio, registrato soprattutto delle ultime decadi dello scorso secolo (Fig. 9), può essere imputato a tali dinamiche. Dall'analisi puntuale dei dati demografici emerge come tale crescita investa in modo più rilevante (soprattutto in termini relativi) i piccoli centri rurali²⁹ posti a ridosso del capoluogo o in prossimità di aree già densamente abitate, anche in analogia a quanto

evidenziato dall'analisi dei cambiamenti territoriali (Fig. 7). Tuttavia, si può facilmente osservare come tale crescita demografica sia oggi in forte rallentamento (Fig. 10): numerose sono, infatti, le località in cui la popolazione è sostanzialmente stabile o, addirittura, in leggero decremento, come nel caso di Capua³⁰.

Le elaborazioni fatte sulle immagini satellitari (par. 4.2 e 4.4) hanno messo in rilievo il forte incremento delle aree urbane (Fig. 11), spesso a discapito delle limitrofe aree rurali. Nel primo periodo (1984-2002), tale crescita trova la sua giustificazione soprattutto nella costruzione di nuove aree residenziali. A partire dai primi anni Duemila, la realizzazione di nuove aree commerciali a sud del capoluogo e la contemporanea intensificazione urbana hanno determinato di fatto un ulteriore incremento di quasi il 10% delle aree edificate in un territorio in cui la pressione demografica è fortemente rallentata. La rin-

²⁹ Solo a titolo esemplificativo, si riporta il caso di San Nicola La Strada che passa da circa 8.000 ab. nel 1970 a oltre 22.600 ab. nel 2017 (registrando un tasso di crescita di oltre il 123 %).

³⁰ Capua è passata da 19.040 abitanti nel 2001 a 18.480 ab. nel 2017, segnando un decremento di quasi il 3%.

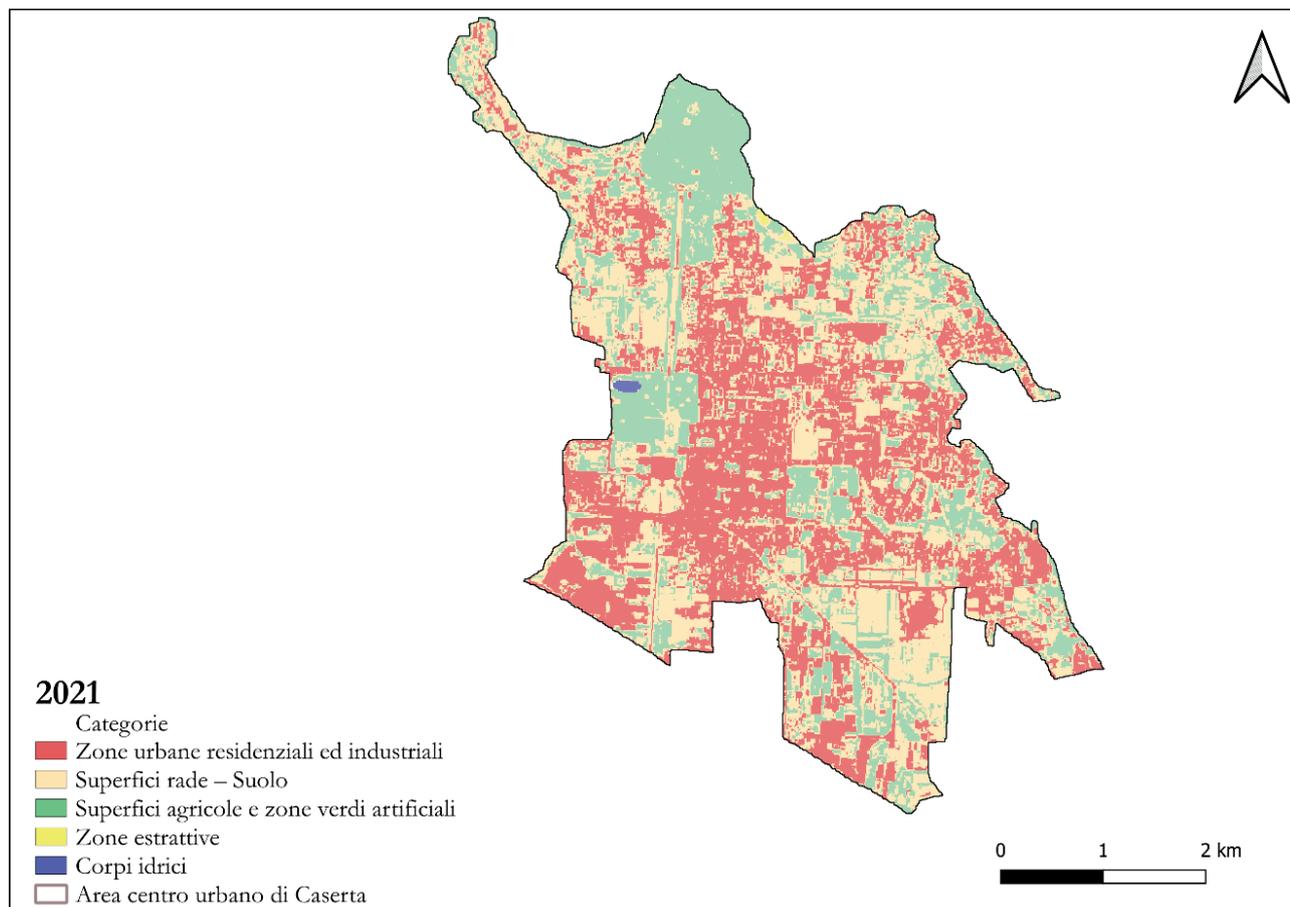


Figura 6. Carta dell'uso e della copertura del suolo per il centro urbano di Caserta, anno 2021. Fonte: elaborazione di F. Lodato.

novata distribuzione commerciale, si traduce in concreto con la costruzione di nuove aree commerciali sia nelle parti più periferiche delle aree urbane, sia all'interno delle aree centrali, determinando un forte decremento delle aree verdi (quasi sempre residue aree agricole) nei "centri urbani", così come classificati negli strumenti della pianificazione regionale (PTR Campania 2008). Tale fenomeno è piuttosto evidente nel caso di Caserta (par. 5.3) la cui popolazione nel periodo considerato cresce complessivamente di quasi il 20% (da 62.710 ab. nel 1970 a 75.560 ab. nel 2017), ma che negli ultimi vent'anni ha una popolazione sostanzialmente stabile (nel 2001 era di circa 75.200 ab.).

5.2 Il ruolo della pianificazione urbanistica e territoriale

L'analisi condotta mediante il confronto delle immagini satellitari a media e a grande scala (par. 3 e 4) ha evidenziato come, a differenza delle aree naturali (com-

pletivamente preservate dall'intervento antropico³¹), le aree agricole, pur rappresentando ancora una percentuale non del tutto trascurabile del territorio della Piana, siano da decenni interessate da consistenti e diversificate dinamiche di trasformazione. Esse riguardano principalmente l'incremento del consumo di suolo per la realizzazione di nuove espansioni urbane, la frammentazione delle reti ecologiche derivante dalla costruzione di nuovi assi infrastrutturali, l'abbandono delle aree agricole periurbane, la dispersione insediativa suburbana, il degrado ambientale dovuto ad usi impropri (discariche, edilizia abusiva, ecc.).

Nella Piana Casertana è dunque possibile riconoscere sia i caratteri naturali e insediativi di eccellenza peculiari del STS "Sistema urbano di Caserta e Antica Capua" (aree naturali protette, risorse archeologiche e culturali, tessuti storici stratificati) che i complessi

³¹ Ad eccezione delle attività di cava che segnano in modo deciso alcuni tratti del paesaggio montuoso e collinare.

Tabella 3. Estensione in termini assoluti (km²) e in termini relativi (%) delle classi di uso del suolo, anni 1984, 2002 e 2021 nell'area STS. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

	1984 km ²	2002 km ²	2021 km ²	1984 %	2002 %	2021 %	2021-1984 %
(0) Zone urbane di tipo resid. e aree industr.	28,91	56,34	91,32	8,0	15,5	25,1	17,2
(1) Superfici agricole e aree verdi urbane	115,11	153,73	66,35	31,7	42,3	18,3	-13,4
(2) Superfici rade – Suolo nudo	101,20	34,23	89,70	27,9	9,4	24,7	-3,2
(3) Corpi idrici	1,80	1,38	1,52	0,5	0,4	0,4	-0,1
(4) Zone estrattive	1,73	2,68	1,44	0,5	0,7	0,4	-0,1
(5) Territori a copertura prevalent. boschiva	114,45	114,87	112,87	31,5	31,6	31,1	-0,4
<i>Superficie totale STS Caserta</i>		363,21			100		-

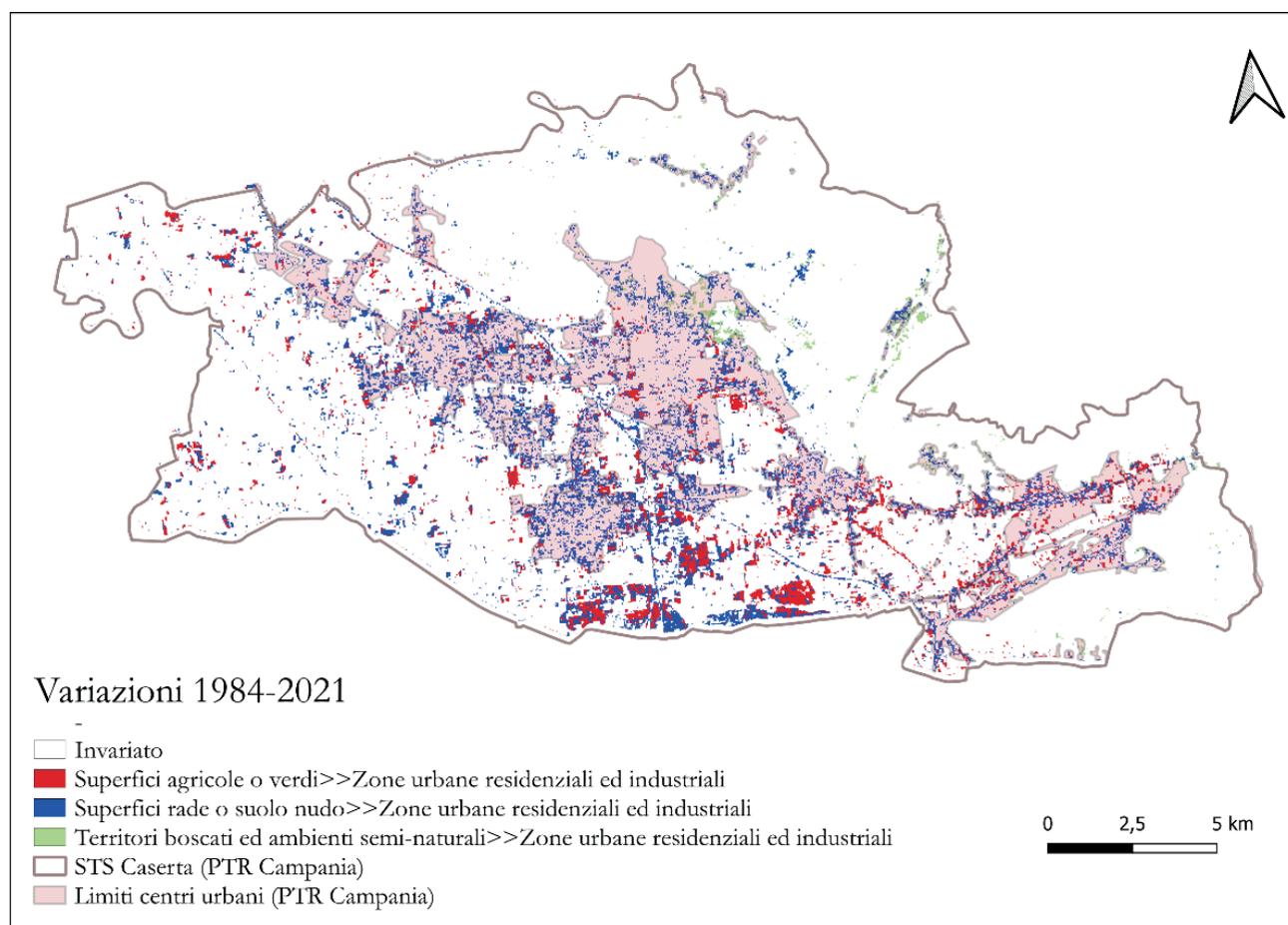


Figura 7. Principali cambiamenti territoriali (periodo 1984-2021) nell'area STS. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

caratteri di tipo conurbativo, derivanti dalle più recenti espansioni urbanizzative.

Lungo i tracciati storici di carattere territoriale (Via Appia, assi centuriali, viabilità storica di carattere locale, ecc.) è possibile seguire l'evoluzione degli insediamenti:

ai nuclei storici principali che ancora negli anni Sessanta si presentavano compatti e indipendenti in un contesto territoriale connotato dall'attività agricola, negli anni Ottanta e Novanta sono sopravvenuti processi trasformativi consistenti e rapidi che hanno progressivamen-

Tabella 4. Estensione in termini assoluti (km²) e in termini relativi (%) delle classi di uso del suolo, anni 1976 e 2021 – centro urbano di Caserta. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

	1976 km ²	2021 km ²	1976 %	2021 %	2021-1976 %
(1) Zone urbane residenziali ed industriali	2,70	8,00	12,6	37,1	24,5
(2) Superfici rade – Suolo nudo	8,85	8,55	41,4	39,7	-1,7
(3) Superfici agricole e zone verdi artificiali	9,75	4,95	45,6	23,0	-22,6
(4) Zone estrattive	0,07	0,02	0,3	0,1	-0,2
(5) Corpi idrici	0,02	0,02	0,1	0,1	0,0
<i>Superficie totale centro abitato di Caserta</i>		21,40		100,0	-

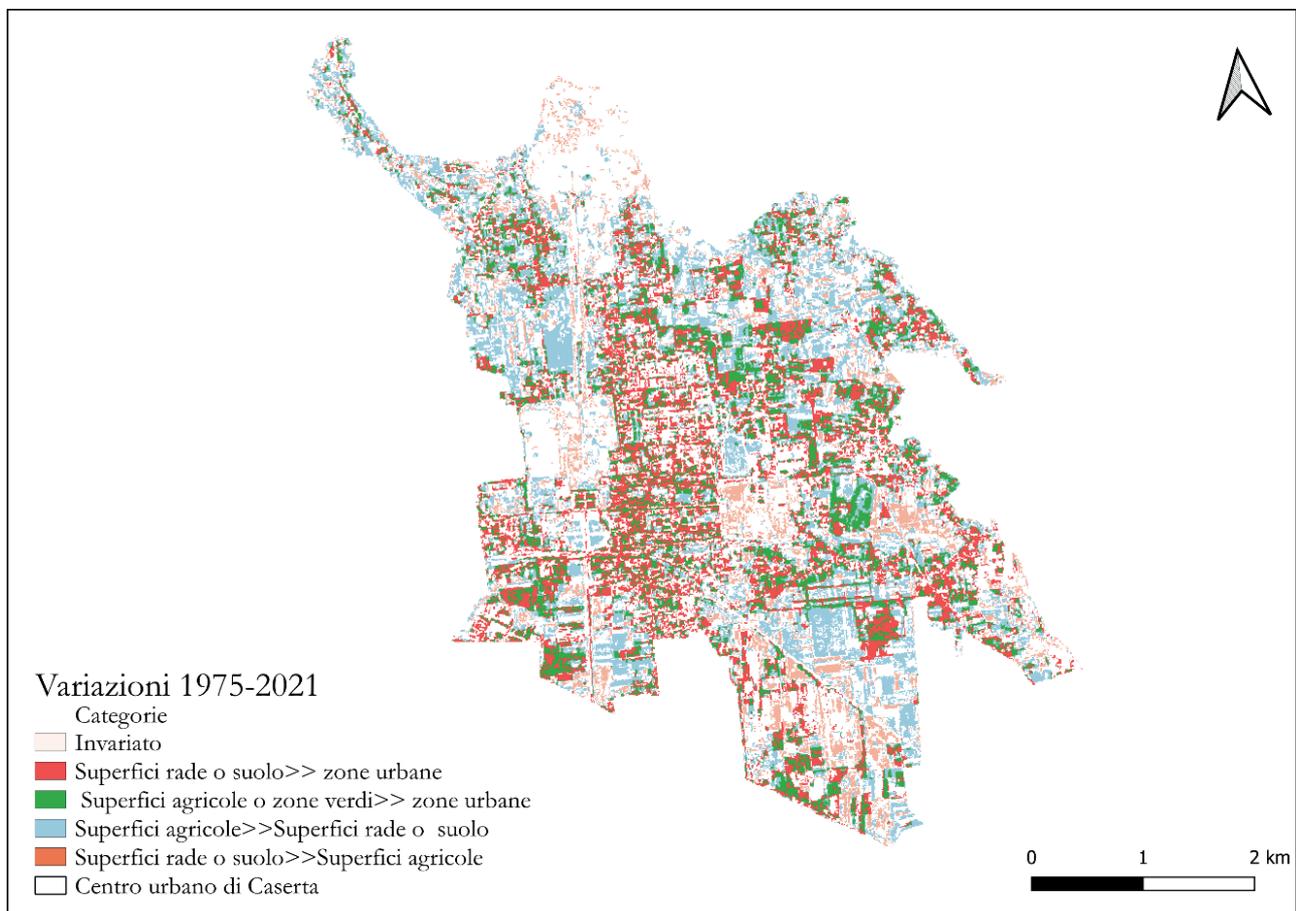


Figura 8. Principali cambiamenti territoriali (periodo 1976-2021) nel centro urbano di Caserta. Fonte: elaborazione di C.S. De Simone.

te dilatato le aree urbanizzate con abitazioni, industrie, grandi attività commerciali e con la realizzazione di infrastrutture viarie (Dal Piaz 1995).

Analogamente alle elaborazioni fatte con le immagini satellitari, anche il confronto tra le cartografie storiche³² e

quelle più recenti³³ (a titolo di esempio, si veda la figura

1817-1819, foglio n. 2 (Nucleo Bibliotecario di Geografia); IGM, *Caserta*, foglio 2, 1875.

³³ IGM, *Carta d'Italia*, scala 1:25.000 (tavole 172 II SE, *Caserta*, 1957; 172 II SO, *Santa Maria Capua Vetere*, 1957; *Capua*, 172 II NO, 1957); IGM, *Carta d'Italia*, Serie 50 (fogli *Caserta Est*, *Caserta Ovest*, 1985); Regione Campania. Servizio Agricoltura Caccia e Pesca, *Carta regiona-*

³² Ad esempio, la *Carta topografica ed idrografica dei dintorni di Napoli*,

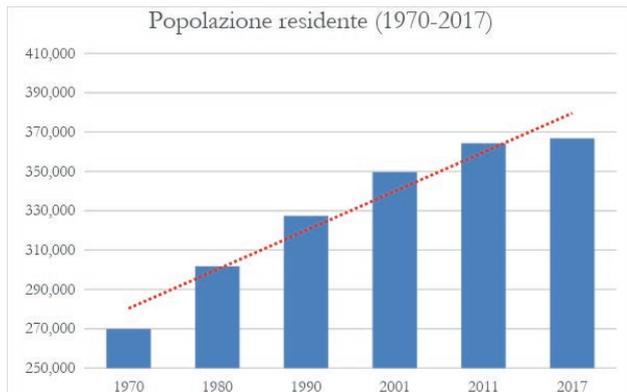


Figura 9. Andamento della popolazione residente (periodo 1970-2017) nella STS "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua". Fonte: dati.istat.it., elaborazione di G. Mauro.



Figura 10. Andamento del tasso di crescita della popolazione (1980-2017) nella STS "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua". Fonte: dati.istat.it., elaborazione di G. Mauro.

12) permette di riconoscere in modo chiaro il processo di espansione nel territorio: le edificazioni dalle aree centrali progressivamente si diramano verso il territorio agricolo, in un primo tempo attraverso la densificazione lungo la viabilità locale e l'ampliamento degli insediamenti centrali; negli ultimi decenni si diffondono invece in modo più casuale nelle aree agricole e lungo le strade di collegamento intercomunale e di interesse territoriale (autostrada A1 Milano-Napoli, SS 7, SS 700) verso i comuni limitrofi fino a saldare quasi gli insediamenti.

Come in altri sistemi di pianura campani, nel Casertano si è passati in meno di cinquant'anni da un assetto complessivamente equilibrato nel quale i diversi elementi strutturanti il territorio erano interagenti e organici, ad una forma di conurbazione con scarsa presenza di rego-

le dell'utilizzazione agricola del suolo, foglio 172, Caserta, 1980; Regione Campania, Carta Tecnica Regionale, 2004-2005.

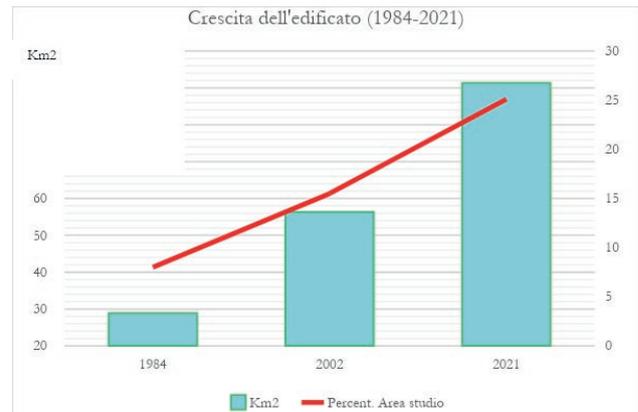


Figura 11. Crescita dell'edificato (periodo 1984-2021) sia in termini assoluti (km²) che relativi (%) nella STS "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua". Fonte: elaborazione di G. Mauro.

le e di bassa qualità, segnata a tratti da forti caratteri di perifericità e da una diffusa crescita consumo di suolo (Ronza 2019).

Negli ultimi anni, d'altronde, né la normativa regionale sul governo del territorio né la conseguente pianificazione territoriale e urbanistica sono riuscite a contenere le espansioni urbane ed il consumo di suolo nella Piana Casertana.

I comuni, ricompresi nel STS casertano, infatti, non avendo aggiornato e adeguato la pianificazione urbanistica alle disposizioni di legge (L.R. 16/2004) e agli indirizzi e alle prescrizioni dei piani degli enti sovraordinati di Regione (PTR – Piano Territoriale Regionale) e Provincia (PTCP – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) hanno continuato a fare riferimento a piani regolatori vecchi di trenta o quaranta anni nei quali continuano ad essere ammissibili espansioni e trasformazioni consistenti del suolo che risultano totalmente incompatibili con gli orientamenti fondamentali, che guidano attualmente la pianificazione delle città e che puntano alla sostenibilità ambientale, alla conservazione del suolo naturale, al riuso, al recupero e alla riqualificazione dell'esistente.

Nell'area casertana, come nella maggior parte dei comuni campani inadempienti nel rispettare i termini prescritti per l'approvazione dei nuovi strumenti, al Piano Urbanistico Comunale (PUC) e alla nuova pianificazione prevista dalla legge regionale 16/2004 – che si occupa di definire le strategie complessive di sviluppo sostenibile, la salvaguardia e la tutela, la promozione dell'uso razionale del territorio urbano ed extraurbano mediante il minimo consumo di suolo, valutando le ricadute ambientali complessive anche attraverso l'attivazione di strumenti specifici come la valutazione

ambientale strategica – si sceglie di utilizzare ancora la vecchia pianificazione del Piano Regolatore Generale (PRG) che nella maggior parte dei casi non considera affatto centrali le problematiche ambientali di riduzione del consumo di suolo.

Al contrario della pianificazione comunale, risultano invece aggiornati e coerenti con le problematiche ambientali gli strumenti di pianificazione sovraordinati.

Il PTR, approvato il 13 ottobre 2008 – riconoscendo come problematiche urgenti e significative per la Piana Campana il consumo del suolo dovuto all'intensa infrastrutturazione per la realizzazione di grandi interventi orientati all'accrescimento dell'attrattività territoriale ed economica (agglomerati industriali ASI, centri commerciali di Marcianise, interporto di Maddaloni-Marcianise, linea alta velocità, ecc.), alla forte espansione del sistema insediativo, alle compatte conurbazioni territoriali ad alta densità abitativa, alla riduzione delle aree agricole, allo *sprawl* edilizio, al degrado ambientale e all'inquinamento – propone un nuovo modello di sviluppo ponendo come centrale una concezione dello sviluppo sostenibile concretamente basata sulla tutela, la valorizzazione e la riqualificazione funzionale del territorio attraverso il minor consumo di suolo possibile, sulla difesa del territorio naturale ed agricolo, sulla riduzione drastica dei rischi ambientali, sulla riorganizzazione e riqualificazione degli insediamenti esistenti.

Anche nel Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Caserta (PTCP) gli obiettivi e le strategie generali fanno riferimento in modo significativo alla necessità di arrestare il consumo di suolo favorendo il riuso di aree già urbanizzate, dismesse, sottoutilizzate e degradate; frenando la dispersione insediativa e la frammentazione del territorio rurale; tutelando gli spazi agricoli periurbani; favorendo il recupero ambientale delle aree degradate. In questo senso, il piano suddivide il territorio non urbanizzato in diversi ambiti e per ognuno definisce specifici indirizzi di tutela: molto significativo è l'ambito che riguarda il *territorio rurale e aperto complementare alla città* che viene individuato per le aree aperte intercluse nella conurbazione della Piana Casertana. Gli obiettivi del piano in questi ambiti riguardano la necessità di evitare la saldatura dei preesistenti centri e nuclei edificati, di conservare gli edifici e i manufatti del paesaggio rurale storico; per questo il PTCP prescrive che i piani urbanistici comunali destinino queste aree ad attività rurali in regime di inedificabilità, recuperando l'edilizia esistente senza incremento del carico urbanistico.

Anche per la città di Caserta, che non ha ancora né adottato né approvato il piano urbanistico comunale, il PTCP prevede che le aree non edificate intercluse o articolate lungo gli insediamenti esistenti siano tutelate

come *territorio rurale e aperto complementare alla città*, come aree naturali e agricole destinate all'inedificabilità. L'obiettivo del PTCP, anche per l'area urbana casertana, è quella di bloccare la progressiva espansione delle superfici urbanizzate e impermeabilizzate che dal 1985 al 2010 sono aumentate di circa 460 ettari³⁴ e dal 2015 al 2020 di circa 180 ettari³⁵ con un netto consumo di suolo agricolo soprattutto nelle aree prossime al nucleo urbano centrale e un significativo abbandono delle zone agricole periurbane.

A Caserta restano sostanzialmente inalterati dal punto di vista del consumo di suolo i territori boscati e gli ambienti seminaturali dei Monti Tifatini e del bosco di S. Silvestro, inseriti come siti di importanza comunitaria nella Rete Natura 2000 e protetti dal Piano Territoriale Paesistico dell'ambito di Caserta e San Nicola La Strada (2001) insieme alle colline che da S. Leucio arrivano all'altopiano di Caserta Vecchia, così come resta inalterato il verde urbano e monumentale della Reggia, dell'asse Vanvitelliano, della Peschiera, del Giardino all'italiana e di quello inglese.

All'interno delle aree urbane centrali di Caserta di particolare interesse ambientale è l'area denominata ex "Macrico" dismessa dal Ministero della Difesa e attualmente di proprietà della Curia. L'area del Macrico, da decenni in stato di totale abbandono, ha una superficie complessiva di circa 33 ettari: è di estremo interesse sia dal punto di vista ambientale, configurandosi come una grande area verde all'interno di una urbanizzazione densa, sia dal punto di vista storico e documentale. Negli ultimi anni, per tutelare l'area sono stati apposti una serie di vincoli da parte della Direzione Regionale per i beni culturali e paesaggistici della Campania.

5.3 Caserta: città giardino assediata dal consumo di suolo

La carta delle variazioni dell'uso e copertura del suolo ottenuta dall'analisi multitemporale delle riprese satellitari (par. 3 e 4) mette ben in evidenza, come anche confermato dai dati statistici³⁶ (Tab. 5) l'importante processo di trasformazione che ha investito la città di Caserta, storicamente caratterizzata da significative emergenze naturali e culturali. La monumentalità del settecentesco palazzo vanvitelliano domina lo spazio trasformandolo

³⁴ Comune di Caserta (2014), Preliminare PUC, *Relazione illustrativa dell'uso del suolo in atto ai fini agricoli e forestali*.

³⁵ SNPA/ISPRA, Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, edizioni 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021.

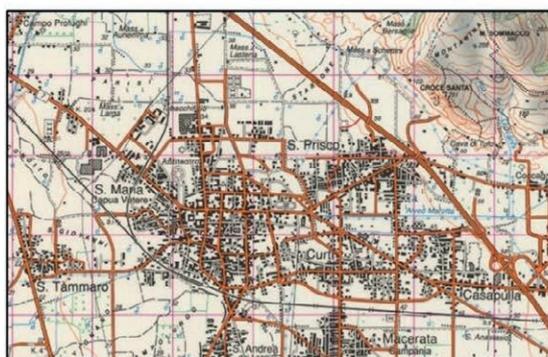
³⁶ Per ogni abitante ci sono a disposizione solo 17,8 m² di verde urbano, valore che pone Caserta al 72° posto nella graduatoria nazionale (Lauri, Trentin 2021).



Capua 1985



2021



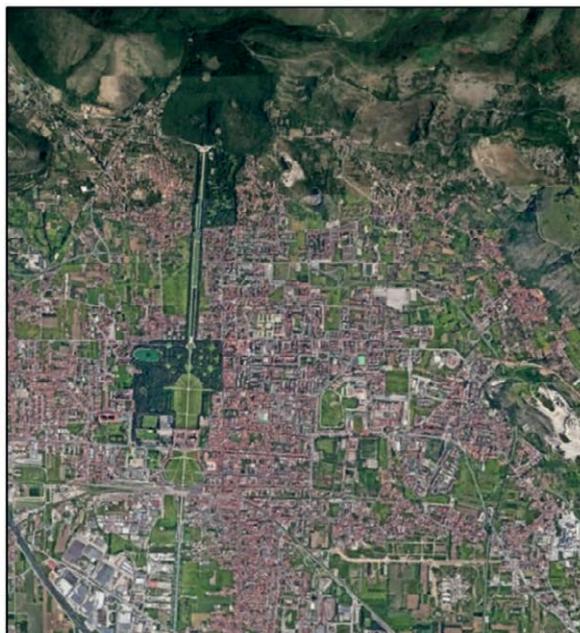
S. Maria Capua Vetere 1985



2021



Caserta 1985



2021

Figura 12. Capua, S. Maria Capua Vetere e Caserta. Confronto tra carta topografica IGM Serie 50 del 1985 e ortofoto dello stato di fatto al 2021. Fonte: elaborazione di S. Caiazzo.

Tabella 5. Il verde urbano presente nella città di Caserta distinto per tipologia (2019). Fonte: dati.istat.it., elaborazione di P. De Felice.

Disponibilità di verde urbano nel comune di Caserta (m ² /ab.)	Disponibilità di verde urbano nel comune di Caserta (m ²)	Densità del verde urbano (incidenza percentuale sulla superficie comunale)	Verde storico (vincolato ai sensi del D.lgs 42/2004 e s.m.i.) (composizione percentuale)	Grandi parchi urbani (composizione percentuale)	Verde Attrezzato (composizione percentuale)	Aree di arredo urbano (composizione percentuale)	Giardini scolastici (composizione percentuale)	Aree sportive all'aperto (composizione percentuale)
17,9	1.330.963	2,46	61,74	2,46	2,70	0,11	4,14	2,70

in un *genius loci*, dove la rigogliosa vegetazione e le fertili terre coltivate testimoniano l'importante valore ambientale di questo territorio, vocato all'agricoltura.

La Reggia segna e condiziona, tra il XVIII e XIX secolo, la storia e lo sviluppo urbano del comune di Caserta, formatosi all'ombra del bastione del Palazzo degli Acquaviva, da cui il toponimo Torre, indicante il villaggio seicentesco sviluppatosi nella pianura campana di *Terra Laboris*.

La città pianificata dal Vanvitelli (Fig. 13) che si sarebbe dovuta sviluppare ai lati della Reggia secondo un preciso ordine³⁷ non venne mai realizzata e come testimonia la dettagliata “pianta della città di Caserta levata nell'anno 1857 dall'Ingegnere Vincenzo di Carlo e disegnata nel R.le Ufficio Topografico” (Fig. 14) andò estendendosi, in seguito anche alle sue nuove funzioni amministrative (capoluogo di Provincia), verso est a partire dal nucleo fondativo del villaggio Torre, rappresentato dalla Piazza Mercato, oggi Piazza Vanvitelli.

La dettagliata pianta ottocentesca restituisce in modo lenticolare l'organizzazione dello spazio urbano testimoniando la presenza del verde che è rappresentato non solo dal Real Bosco, (giardino del palazzo reale), ma anche dai vasti terreni messi a coltura (La Starza grande a nord-est, l'area di Ponticello a sud-est, la Starza di Sant'Agostino a sud ovest, la tenuta di Capriola, di Miranda) e dai numerosi giardini che abbellivano le corti interne dei palazzi lungo gli importanti assi viari che si sviluppano ad ovest della Reggia, quali “la strada di Sant'Antonio” (oggi Corso Giannone), che costituiva il cardo, e il Corso Ferdinando Secondo (oggi Corso Trieste) che costituiva il decumano (Carafa 2001).

Fino alla prima metà del Novecento, come testimonia la cartografia IGM (F. 172, II, S.E.), permane



Figura 13. Luigi Vanvitelli, Tavola XIV – Veduta del gran parterre del Giardino secondo la prima idea, con il palazzo in lontano, giardini pensili e città nuova. Fonte: L. Vanvitelli, 1756.

la *forma urbis* della Caserta di fondazione borbonica, nonostante il piano regolatore, mai realizzato, a firma dell'Ing. Vincenzo Memma (1920), avesse previsto un riassetto generale del centro urbano, potenziando l'espansione della città verso est, a partire dall'ampliamento di Via Giannone, sacrificando i giardini reali, e verso ovest, in direzione Casagiove.

Il Regolamento Edilizio del 1946 e del 1986 e i Piani Regolatori Generali (PRG) del 1954 e del 1987, ancora oggi vigente, in attesa dell'approvazione del Piano Urbanistico Comunale (PUC), con le numerose deroghe – ricordiamo, in particolare, l'osservazione n. 211 che stravolse il PRG ideato dal Prof. Beguinot – segnano e disegnano lo sviluppo urbano della città di Caserta che agli inizi degli anni Ottanta del Novecento registra un importante aumento delle concessioni edilizie (nel 1987 ne furono accordate 343, 251 nel 1988 e 297 nel 1989) non giustificate da un aumento della popolazione residente (i dati ISTAT attestano una variazione percentuale della popolazione tra il 1971 e il 1981 del 6,4%) (Infante 1993; 1994a; 1994b).

³⁷ «Questa nuova città edificarsi doveva di pianta innanzi la grande piazza ellittica del Real Palazzo dalla parte di mezzogiorno. Mostrata si sarebbe dalla Reggia in un semicircolo, quasi un vasto anfiteatro, avendo quattro grandi strade, oltre la principale di mezzo, la quale conduceva a Napoli» (Vanvitelli 1823).

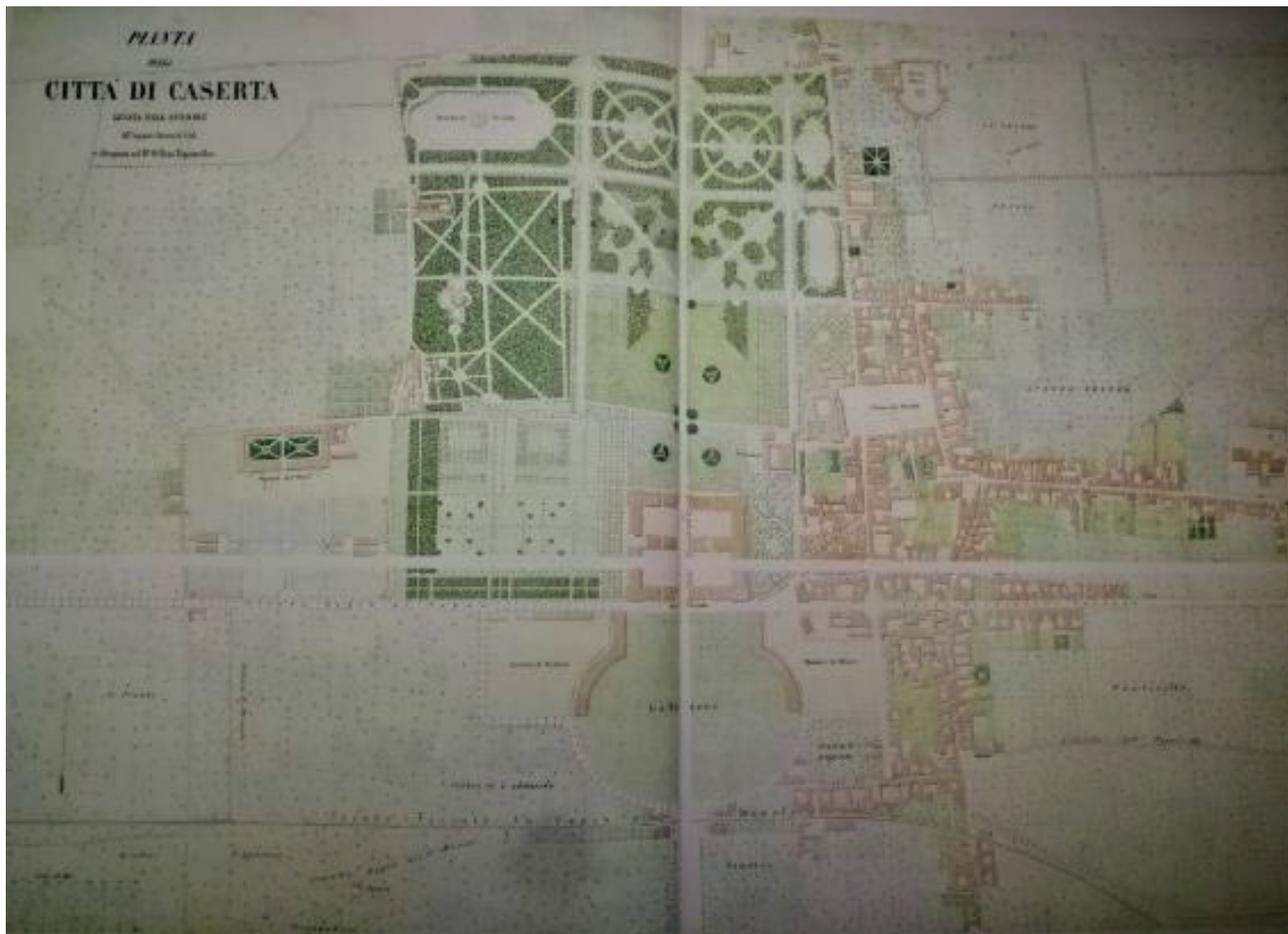


Figura 14. Pianta della città di Caserta levata nell'anno 1857 dall'Ing. V. di Carlo e disegnata nel Reale Ufficio Topografico. Fonte: Vincenzo di Carlo, *Pianta della Città di Caserta*, 1857 (Istituto Geografico Militare, Archivio cartografico, Firenze).

La città di Caserta vocata, secondo il PRG del 1987, ad una progettualità di riqualificazione residenziale, a partire dal centro storico, per accogliere nuova popolazione proveniente in gran parte dal congestionato capoluogo napoletano, venne ad essere stravolta, a causa, in particolare, delle osservazioni accolte al PRG del 1987, da un processo caotico di cementificazione andando a compromettere gli assetti funzionali e territoriali della città.

In questi anni si registrano, dunque, le trasformazioni più significative del tessuto urbano a partire dalla perdita di aree agricole e di rispetto nonché di verde pubblico.

La città incomincia a partire dagli anni '80 del XX secolo ad estendersi in un *continuum* urbano, fagocitando gli spazi rurali e le aree verdi che si interponevano tra i diversi centri tanto da compromettere la morfologia policentrica che connotava storicamente questo territorio (Ronza 2019).

Troviamo conferma di questo processo di trasformazione dell'uso del suolo nelle carte tematiche che restituiscono diacronicamente – 1976/2021 – attraverso il colore intenso del rosso, l'aumento quantitativamente rilevante delle aree residenziali ed industriali a discapito delle superfici agricole e delle aree verdi (Figg. 5 e 6).

Malgrado i limiti procedurali (cfr. paragrafo 3), la classificazione dell'immagine satellitare del 1976 (Fig. 5) restituisce una fotografia della città di Caserta caratterizzata dalla presenza significativa del verde, forte iconema di questo centro urbano tanto da potersi meritare l'appellativo di città giardino, dove oltre al "polmone" verde del parco all'italiana, progettato da Luigi Vanvitelli e di quello all'inglese del palazzo Reale borbonico nonché del Macrico insistono ancora terreni arativi, superfici agricole e il verde delle corti interne dei palazzi.

A partire dagli anni '80 del Novecento la crescente richiesta di aree edificabili, espressione di una vera e

propria speculazione edilizia, fagocita lentamente ma costantemente i terreni destinati alle coltivazioni e le aree verdi sia ad ovest che ad est della Reggia. Vengono fortunatamente risparmiati i giardini del parco reale e l'area del Macrico, faticosamente sottratta alla speculazione anche grazie all'attivismo delle associazioni e alla sensibilità della comunità locale.

La recente carta, elaborata a partire dall'immagine satellitare del 2021 (Fig. 6), testimonia l'esito di questo pervasivo processo di consumo del suolo. Il rosso che a macchia d'olio si estende nell'immagine ci restituisce la dimensione urbana della città di Caserta, soffocata dall'edilizia e dal cemento. Ad essere maggiormente colpite da questo processo di urbanizzazione sono le aree ad est della Reggia, delimitate da Via Tescione, Corso Giannone, Via Mazzini, Via Battisti, fino ad arrivare al Viale Carlo di Borbone. Stessa sorte anche per l'area ad ovest della Reggia, in particolare nel quadrilatero delimitato a nord da Via Mondo, a sud dalla Via Appia antica, ad est da Viale Carlo di Borbone.

Si registra non solo la forte contrazione del verde e delle aree agricole ma anche la cancellazione dei segni storici dell'urbanizzazione a partire dalla centuriazione romana, nonostante gli strumenti di riqualificazione, tutela e valorizzazione urbana (PTCP e il preliminare del PUC) ne abbiano riconosciuto i valori ambientali e culturali³⁸.

A conferma di queste importanti trasformazioni, richiamiamo un'ulteriore elaborazione cartografica che restituisce visivamente e quantitativamente la portata di questo processo paligenetico di impatto territoriale. Il colore verde che campisce gli spazi della cartografia tematica (Fig. 8) registra il cambiamento di uso del suolo da aree agricole (vegetazione) a zone urbane (cemento), così come il colore rosso ci avverte che i terreni arativi sono stati sacrificati per le aree residenziali. Un ulteriore dato che deve fare riflettere è anche la trasformazione del terreno agricolo a suolo nudo. Il colore celeste, che rappresenta quest'ultimo fenomeno, fotografa in questo caso un cambiamento di uso del suolo da coltivato a non coltivato. In quest'ultimo caso sarebbe necessario approfondire i processi che hanno portato queste aree a cambiare la destinazione dell'uso del suolo perché potrebbero celarsi azioni speculative e illegali trasformando i terreni da suoli coltivabili a suo-

li edificabili e spesso anche a discariche abusive come ci ha insegnato la terribile esperienza della terra dei fuochi (Corona, Sciarrone 2012). I dati quali-quantitativi, fin qui raccolti, testimoniano che la città di Caserta che aveva una vocazione al verde è stata negli anni fagocitata da una pervasiva cementificazione che ha compromesso i quadri ambientali, storici e culturali.

Il verde a Caserta risulta essere, dunque, compromesso in nome e per conto di una presunta necessità insediativa che spesso si è rivelata essere figlia della speculazione piuttosto che di una pianificazione coerente con le istanze demografiche.

Questo *status quo* richiama in causa gli amministratori affinché attuino, attraverso gli strumenti pianificatori dedicati, a partire dall'approvazione del PUC, una gestione sostenibile dell'uso del suolo. Sono chiamati in causa, altresì, i portatori di interesse, i cittadini, le associazioni affinché diventino osservatori e sentinelle della tutela di quegli spazi verdi che sono garanti non solo della qualità ambientale e di vita migliore³⁹ ma rappresentano anche la strategia vincente per una gestione e programmazione sostenibile degli spazi urbani in linea con le direttive internazionali (Obiettivi di sviluppo sostenibile) europee (Strategia sulla Biodiversità e sull'Adattamento ai cambiamenti climatici) e nazionali (PNRR), volte a mitigare i rischi ambientali (aumento dei gas climalteranti, perdita della biodiversità, incremento del dissesto idrogeologico, compromissione della qualità delle acque) e sociali (sviluppo delle malattie, accrescimento dei danni economici, deterioramento della qualità della vita) (cfr. par. 1).

6. Conclusioni

Concettualmente nato in ambiente anglosassone, il fenomeno dell'*urban sprawl* è diventato uno dei temi geografici più dibattuti per le rilevanti conseguenze che esso comporta – inquinamento atmosferico, sviluppo di aree commerciali esterne al centro urbano, ridotto trasporto pubblico, dipendenza dall'auto, aumento dei costi per la realizzazione di nuove infrastrutture viarie, ecc. Pure se di natura profondamente diversa rispetto al fenomeno nel contesto nord-americano⁴⁰, anche in Italia numero-

³⁸ Sia il PTCP che il preliminare del PUC della città di Caserta riconoscono il valore "degli impianti di colture legnose tipiche del paesaggio agrario storico" e dei "margini verdi" dove si registrano attività di un'agricoltura multifunzionale garante non solo della biodiversità ma anche di quei valori racchiusi e sedimentati nei paesaggi rurali storici dove tecniche agropastorali tradizionali rafforzano l'identità dei luoghi generando unicità e qualità (Vallante 2011a, 2011b).

³⁹ "conservazione della natura significa soltanto, alla fine, conservazione dell'uomo e del suo ambiente, incolumità e salute pubblica e quindi anche, proprio per questo, progresso economico, culturale e sociale" (Cederna 1975).

⁴⁰ Nel contesto nord-americano il fenomeno si riferisce molto frequentemente a aree urbane inizialmente a ridotta densità inserite in territori alquanto estesi, spesso caratterizzati da forte naturalità (Nechyba, Walsh 2004). Nel caso italiano, come nel più ampio contesto europeo, la situa-

si sono gli esempi di diffusione urbana, dall'insieme dei centri urbani localizzati lungo la maglia centuriale della Pianura Veneta (Ferrario 2009; Fregolent et al. 2019) a città come Palermo e Catania in Sicilia (Restivo et al. 2019). La Regione Campania non è certamente esente da questa problematica: oltre all'area metropolitana partenopea, non mancano, infatti, importanti conurbazioni nell'area di Caserta o di Aversa (Losco, Macchia 2014), risultato del processo di *urban sprawl* cui si è assistito nelle ultime decadi in questo territorio.

Il presente contributo ha preso in esame la conurbazione sviluppatasi in corrispondenza della Via Appia, tra Capua e Maddaloni, per valutare il consumo del suolo e la contestuale perdita di aree verdi in prossimità o all'interno della città di Caserta. Per perseguire questo obiettivo sono state poste a confronto immagini satellitari a media risoluzione spaziale. La scelta di utilizzare questo tipo di fonte cartografica è stata condizionata dall'inadeguatezza della risoluzione spazio-temporale di altre potenziali fonti (cartografia IGM, cartografia digitale regionale, ortofoto aeree, ecc.), nonché dalla loro indisponibilità. Nello specifico, sono state utilizzate immagini satellitari Landsat acquisite nel 1984, nel 2002 e nel 2021 per elaborare le relative classificazioni dell'uso del suolo. Per uno studio ad una scala maggiore, relativo al solo centro urbano di Caserta, sono state analizzate, inoltre, un'immagine spia datata 1976 e immagini recenti del satellite Sentinel. Mediante GEE, sono state considerate serie annuali di immagini satellitari, al fine di ottimizzare il processo automatico di classificazione. Sono così emerse le potenzialità della piattaforma GEE: essa ha garantito, la selezione delle immagini a minor copertura nuvolosa e il processamento di una elevata quantità di immagini per ottenere una stima dell'indice NDVI maggiormente robusta rispetto a quanto ottenibile utilizzando una sola immagine. Ad esclusione dell'immagine satellitare del 1976 (in cui sono emersi i limiti di questa metodologia, da imputarsi per lo più alle caratteristiche di questa tipologia di dati telerilevati), l'analisi di accuratezza ha evidenziato l'elevata qualità di tutte le classificazioni di copertura del suolo elaborate, mediamente con valori di affidabilità superiori all'80%. Si sono, tuttavia, rilevate alcune criticità sulla classe relativa al suolo nudo e superfici rade per la natura scarsamente definibile della stessa che spesso tende a confondersi con altre tipologie di copertura del suolo (par. 3.1).

Sia nell'indagine a scala topografica (relativa alla STS "Sistema Urbano Caserta e Antica Capua"), sia in

zione di partenza è quasi sempre profondamente diversa: si tratta infatti di aree già densamente abitate e alquanto concentrate che si vanno ad estendere sui territori limitrofi, generalmente coltivati.

quella locale (riguardante il centro urbano di Caserta), i principali cambiamenti tracciati sono contrassegnati da una forte espansione delle aree edificate, il cui aumento è compreso tra il 17%, se riferito al territorio della STS, e quasi il 25%, se riferito al centro di Caserta (dato leggermente sovrastimato a causa delle criticità connesse alla classificazione dell'immagine del 1976). Questo incremento è avvenuto a discapito delle limitrofe aree rurali o delle residue aree verdi urbane: nel primo caso si trattava generalmente di zone particolarmente fertili per la natura vulcanica del suolo e in cui, spesso, si praticava agricoltura di peculiare valenza (i.e., viticoltura associata alla pioppicoltura, coltivazione del tabacco, orticoltura); nel secondo caso, invece, si trattava di residue aree rurali presenti in contesti urbani, oggi praticamente scomparse. È il caso, ad esempio, di Caserta dove – ad eccezione del Giardino Reale e delle aree militari in disuso – la presenza di aree non impermeabilizzate o aree verdi pubbliche è del tutto marginale, come evidenziato anche dalla posizione infelice nella graduatoria nazionale (vedasi nota 36).

Le dinamiche demografiche nelle ultime decadi dello scorso secolo, caratterizzate da una forte crescita di popolazione, sono tendenzialmente correlabili all'espansione delle aree residenziali (avvenuta prevalentemente nelle aree più periferiche degli originali centri urbani o a margine degli assi viari più rilevanti), in un territorio che era in grado di garantire al contempo occasioni di lavoro (lo sviluppo delle ASI è precedente agli anni Ottanta) ed elevata accessibilità alla vicina area metropolitana partenopea. Più complessa è, invece, l'interpretazione di quanto avvenuto negli ultimi vent'anni. Ritardi strutturali nell'aggiornamento e nell'adeguamento degli strumenti di pianificazione agli strumenti legislativi regionali (L.R. 16/2004) e alle prescrizioni dei piani degli enti sovraordinati (PTR 2008) hanno determinato riflessi evidenti anche nell'approvazione e nell'aggiornamento dei piani urbanistici dei singoli comuni dell'area studio. Data questa situazione, la pianificazione avviene spesso ancor'oggi per deroghe delle norme regionali o mediante singoli interventi non strutturati (Caiazza 2021). Mentre i piani urbanistici stentano a concludere il loro iter procedurale, si costruiscono nuove aree per servizi infrastrutturali, industriali e commerciali, facendo riferimento a piani ormai datati (talvolta più vecchi di cinquant'anni). Crescono così capannoni e industrie sia in ambito urbano (all'interno della città o nelle aree ai margini dei centri urbani) sia all'esterno delle aree urbanizzate, com'è il caso delle zone industriali e dei centri commerciali realizzati a sud del capoluogo in corrispondenza dell'uscita autostradale, impermeabilizzando e frammentando di fatto le residue aree rurali della Piana Campana.

Rimane ancora scarsa la percezione, da parte dei cittadini, di vivere nell'ambito di una conurbazione di oltre 350.000 abitanti, che dovrebbe portare ad un salto di qualità della pianificazione. Le cause possono essere additate alla velocità repentina in cui sono avvenute le trasformazioni territoriali che hanno portato i borghi rurali a costituire un *unicum* urbano con la città capoluogo, ma anche al congenito campanilismo delle diverse comunità locali. Ciò determina, almeno in parte, una scarsa domanda da parte dei cittadini di servizi essenziali per un'area urbana di queste dimensioni. A titolo di esempio, manca quasi del tutto un trasporto pubblico efficiente all'interno della conurbazione. Anche la presenza di parchi urbani pubblici, realmente usufruibili⁴¹, è attualmente del tutto insufficiente. Malgrado l'azione insistente delle associazioni locali, atta a sottolineare carenze nella pianificazione degli interventi sul patrimonio ambientale e culturale, i cittadini rivolgono ancora un'attenzione piuttosto scarsa a queste problematiche. Da parte delle Pubbliche Amministrazioni, continuare a ragionare secondo la sola scala comunale rischia di generare solo ulteriore degrado territoriale a tutti i livelli (ambientale, infrastrutturale, sociale, ecc.). L'azione combinata tra scarsa domanda da parte dei cittadini di servizi atti a migliorare l'ambiente urbano e la capacità ancora insufficiente di fare rete da parte delle singole amministrazioni comunali si traduce nel concreto in una qualità della vita piuttosto scadente, come evidenziato ormai purtroppo da diversi anche dalle relative classifiche⁴². Dopo anni di crescita demografica, il (seppur minimo) calo della popolazione residente nei centri più importanti della conurbazione è, forse, ascrivibile anche a queste criticità, oltre che alle scarse politiche per il lavoro, che hanno visto la recente dismissione o riduzione di alcuni degli impianti produttivi dell'area (Ronza 2019).

Una possibile risposta a tali problematiche potrebbe derivare solo da un'unione o una convenzione tra i comuni della conurbazione casertana. L'auspicata collaborazione istituzionale, sancita dalla Carta costituzionale all'art.120 e richiamata anche dal PNRR, potrebbe favorire nuove forme di *governance* territoriale. Esse sono necessarie per cercare di arginare le criticità emergenti e per cercare di rivalorizzare un territorio particolarmente ricco in termini di beni culturali, di cui la Via Appia – che attraversa l'intera area studio – costituisce elemento iconico unificante. In tal senso, l'iscrizione del-

la *Regina viarum* nel registro della Lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO potrebbe rappresentare il primo passo di una sfida ardua, ma al contempo alquanto affascinante: la riscoperta di un ambito che, spesso, alle cronache nazionali viene declinato solo in termini negativi, come un territorio che, invece, rappresenta un *unicum* per eccellenze storiche, culturali e geografiche, nel senso più ampio del termine.

Riferimenti bibliografici

Amato, F. (2007). Dall'area metropolitana di Napoli alla Campania plurale. In Viganoni, L. (a cura di). *Il Mezzogiorno delle città. Tra Europa e Mediterraneo*. Milano, FrancoAngeli, 175-221.

Astarita, N. (2017). Tifare Tifata, per quei colli con un'idea di recupero. In Iorio, P. (a cura di). *Terra di Lavoro. Ripartire con la cultura*. San Felice a Cancellò (CE), Edizioni Melagrana, 91-94.

Bencardino, M. (2015). Consumo di suolo e sprawl urbano. *Drivers* e politiche di contrasto. *Bollettino della Società Geografica Italiana*, serie 13, 8(2), 217-237.

Bencardino, M. (2016). Un'analisi comparativa dello sprawl nei sistemi urbani di Avellino e Benevento. *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 157, 27-40. <https://doi.org/10.13137/2282-572X/13569>

Bencardino, M., Nesticò, A. (2017). Demographic Changes and Real Estate Values. A Quantitative Model for Analyzing the Urban-Rural Linkages. *Sustainability*, 9 (4), 536, 1-14. <https://doi.org/10.3390/su9040536>

Bhatta, B., Saraswati, S., Bandyopadhyay, D. (2010). Urban sprawl measurement from remote sensing data. *Applied geography*, 30(4), 731-740. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.02.002>

Buondonno, A. (2001). Le aree di cava della città di Caserta: dal dissesto geopedologico alla riqualificazione ambientale. In Rigillo, A., Trupiano, G., Persico, G., Pignataro, G., Di Meo, E., Rigillo, G. (a cura di). *La Città continua. Il sistema urbano da Capua a Maddaloni*. Caserta, L'Aperia editore, 77-84.

Burnett, M. (2012). *Hexagon (KH-9) mapping camera Program and evolution (national reconnaissance Office (NRO))*. Chantilly, VA: Center for the Study of National Reconnaissance (CSNR).

Caiazza, S. (2021). *Colli di bottiglia*. Napoli, Clean Edizioni.

Canedoli, C., Crocco, F., Comolli, R., Padoa-Schioppa, E. (2018). Landscape fragmentation and urban sprawl in the

⁴¹ Gli attuali indici relativi al verde urbano sono in parte falsati dalla presenza del Giardino Reale, bene culturale UNESCO che talvolta, però, risulta scarsamente usufruibile dai locali principalmente per motivi gestionali.

⁴² A titolo di esempio, la recente classifica (anno 2022) sulla qualità della vita nelle aree urbane de *Il Sole 24 ore*, pone Caserta tra le ultime posizioni in Italia (<https://lab24.ilssole24ore.com/qualita-della-vita/tabelle/>).

- urban region of Milan. *Landscape Research*, 43 (5), 632-651. <https://doi.org/10.1080/01426397.2017.1336206>
- Carafa, R. (2001). Caserta: storia urbana dalla restaurazione borbonica al secondo conflitto mondiale. In Assessorato alla Cultura della Città di Caserta (a cura di). *Caserta. Dalla Restaurazione alla Repubblica 1815-1946*. Napoli, Paparo Edizioni, 15-61.
- Cardarelli, U. (2001). La conurbazione casertana: ruoli, funzioni, significati. In Rigillo, A., Trupiano, G., Persico, G., Pignataro, G., Di Meo, E., Rigillo, G. (a cura di). *La Città continua. Il sistema urbano da Capua a Maddaloni*. Caserta, L'Aperia editore, 47-48.
- Cederna, A. (1975). *La distruzione della natura in Italia*. Torino, Einaudi.
- Cederna, A. (22 aprile 1984). Mattone selvaggio. *L'Espresso*. https://espresso.repubblica.it/attualita/2021/08/27/news/mattone_selvaggio_antonio_cederna-315507430/
- Cirillo, O. (2018). Caserta, l'altra città. In Amirante G., Cioffi R., Pignatelli G. (a cura di). *Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli'*. Napoli, Giannini Editore, 151-159.
- Clemente, J.P., Fontanelli, G., Ovando, G.G., Roa, Y.L.B., Lapini, A., Santi, E. (2020). Google Earth Engine: Application of algorithms for remote sensing of crops in Tuscany (Italy). In *2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)*, 195-200.
- Colgantón, R.G. (2001). Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 321-328.
- Colgalton, R.G., Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, CRC Press.
- Comitato Regionale per la Programmazione Economica della Campania (1970). *Risoluzioni per l'elaborazione del Piano territoriale di coordinamento della regione*.
- Coppola, E. (2012). Densificazione vs dispersione urbana. *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 5(1), 130-144.
- Coppola, P. (2004). Agglomerati urbani. IGM (a cura di). *Atlante dei tipi geografici*, 469-475.
- Corona, G., Sciarrone, R. (2012). Il paesaggio delle ecomorre. *Meridiana*, 73/74, 13-35. <http://www.jstor.org/stable/23302349>
- D'Argenio, B., Pescatore, T., Scandone, P. (1973). Schema Geologico dell'Appennino Meridionale (Campania e Lucania). In *Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 49-72.
- Dal Piaz, A. (1995). *La Campania verso il duemila. Assetto e sviluppo dopo la fine dell'intervento straordinario*. Napoli, Edizioni Graffiti.
- Dematteis, G., Lanza, C. (2014). *Le città del mondo. Una geografia urbana*. Torino, UTET.
- European Environment Agency (EEA) (2006). Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. *EEA Report*, 10, 1-60.
- European Environment Agency (EEA) (2016). Urban sprawl in Europe. *EEA Report*, 11, 1-140.
- European Environment Agency (EEA) (1995). CORINE Land Cover. <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- Ferrario, V. (2009). Countryside and Urban Sprawl in the Veneto Region. *Journal for Geography*, 4 (2), 129-142.
- Fichera, C.R., Modica, G., Pollino, M. (2011). GIS and remote sensing to study urban-rural transformation during a fifty-year period. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*. Berlin-Heidelberg, Springer, 237-252.
- Fregolent, L., Tonin, S., Zambon, I. (2019). Urban shrinkage and sprawl: two dynamics in comparison in central Veneto region. *International Journal of Urban Planning*, 12(1), 82-112. https://doi.org/10.6092/2281-4574/6258_
- Howard, E. (1965). *Garden Cities of To-Morrow*. Cambridge (MA), MIT Press.
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021>
- Infante, V. (1994a). Quindici anni di politica urbanistica a Caserta (prima parte). *Architetti Caserta*, VI, 1(2), 6-15.
- Infante, V. (1993). Quindici anni di politica urbanistica a Caserta (prima parte). *Architetti Caserta*, V, 3 (4) 8-17.
- Infante, V. (1994b). Quindici anni di politica urbanistica a Caserta (seconda parte). *Architetti Caserta*, VI, 3 (4), 10-18.
- Iovino, G. (2014). Le fonti informative per il monitoraggio del consumo di suolo. *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 152, 36-55.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (2018). *Qualità dell'ambiente urbano. XIV Rapporto. Edizione 2018*. ISPRA, Roma, 82/2018.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (2022). *Annuario in Cifre. Annuario dei dati ambientali*. ISPRA, Roma, 97/2022.

- Laurenti, M., Trentin, M. (2021). *Ecosistema urbano. Rapporto sulle performance ambientali delle città 2021*. Roma, Legambiente. <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/EcosistemaUrbano2021.pdf>
- Leone, U. (2005). *Aree dismesse e verde urbano. Nuovi paesaggi in Italia*. Bologna, Patron Editore.
- Li, H., Wan, W., Fang, Y., Zhu, S., Chen, X., Liu, B., Hong, Y. (2019). A Google Earth Engine-enabled software for efficiently generating high-quality user-ready Landsat mosaic images. *Environmental Modelling & Software*, 112, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.004>.
- Liang, J., Xie, Y., Sha, Z., Zhou, A. (2020). Modelling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE). *Computers, Environment and Urban Systems*, 84, 101542. <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2020.101542>
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, Wiley Ed.
- Losco, S., Macchia, L. (2014). Il consumo di suolo nella Conurbazione Aversana e Casertana. *Urbanistica Informazioni*, 257, 69-74.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Mauro, G. (2020). Rural-Urban Transition of Hanoi (Vietnam): Using Landsat Imagery to Map Its Recent Peri-Urbanization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9, 669. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110669>.
- Mohammady, S., Delavar, M. R. (2016). Urban sprawl assessment and modeling using Landsat images and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0209-4>
- Morales-Barquero, L., Lyons, M.B., Phinn, S.R., Roelfsema, C.M. (2019). Trends in remote sensing accuracy assessment. Approaches in the context of natural resources. *Remote Sensing*, 11, 2305. <https://doi.org/10.3390/rs11192305>
- Munafò, M. (a cura di, 2021). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Roma, ISPRA.
- Nechyba, T.J., Walsh, R.P. (2004). Urban Sprawl. *Journal of Economic Perspectives*, 18 (4), 177-200.
- Nolè, G., Lasaponara, R., Lanorte, A., Murgante, B. (2014). Quantifying urban sprawl with spatial autocorrelation techniques using multi-temporal satellite data. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 5(2), 19-37.
- Nolè, G., Murgante, B., Calamita, G., Lanorte, A., & Lasaponara, R. (2015). Evaluation of Urban Sprawl from space using open source technologies. *Ecological Informatics*, 26, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.05.005>
- Pal, M., Mather, P.M. (2005). Support Vector Machines for Classification Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1007-1011. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>
- Patel, N.N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F.R., Tatem A.J., Trianni G. (2015). Multi-temporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation*, 2015, 35, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>
- Pellicano, A. (2006). Santa Maria Capua Vetere. Individualità storica nella città diffusa casertana. *L' Universo*, 4, 436-459.
- Pesaresi, C., Marta, M. (2014). Applicazioni GIS per l'analisi dell'urbanizzazione nella provincia di Napoli. Un'analisi multitemporale in aree esposte a elevato rischio vulcanico. *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 150, 34-51. <https://doi.org/10.13137/2282-472X/9953>
- Phan, T.N., Kuch, V., Lehnert, L.W. (2020). Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier: The Role of Image Composition. *Remote Sensing*, 12 (15), 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>
- Pileri, P. (2022). *L'intelligenza del suolo. Piccolo atlante per salvare dal cemento l'ecosistema più fragile*. Milano, Altreconomia.
- Pollino, M., Modica, G. (2013). *Le trasformazioni del territorio urbano ed agroforestale*. Lecce, Edizioni Youcanprint.
- Prokop, G., Jobstmann, H., Schönbauer, A. (2011). *Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27: final Report*. Luxembourg, Publications Office UE.
- Pu, D. C., Sun, J. Y., Ding, Q., Zheng, Q., Li, T. T., & Niu, X. F. (2020). Mapping urban areas using dense time series of landsat images and google earth engine. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 403-409.
- Restivo, V., Cernigliaro, A., & Casuccio, A. (2019). Urban sprawl and health outcome associations in Sicily. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1350. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081350>
- Rigillo, A. (2001). La città continua. In Rigillo, A., Trupiano, G., Persico, G., Pignataro, G., Di Meo, E., Rigillo,

- G. (a cura di). *La Città continua. Il sistema urbano da Capua a Maddaloni*. Caserta, L'Aperia editore, 25-30.
- Rigillo, A., Trupiano, G., Persico, G., Pignataro, G., Di Meo, E., Rigillo, G. (2001). *La Città continua. Il sistema urbano da Capua a Maddaloni*. Caserta, L'Aperia editore.
- Ronza, M. (2019). *Dalla via Appia alla città policentrica: Caserta e il suo territorio*. Trieste, EUT.
- Ruocco, D. (1965). *Campania*. Torino, UTET.
- Ruocco, D. (1970). *Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo della Campania*. Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Schiller, G., Blum, A., Hecht, R., Oertel, H., Ferber, U., Meinel, G. (2021). Urban Infill Development Potential in Germany: Comparing Survey and Gis Data. *Buildings and Cities*, 2(1), 36-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.5334/bc.69>
- Sciaudone, M.C. (2010). Città in trasformazione e processi di riqualificazione urbana. Il caso di Caserta. In Viganoni, L. (a cura di). *A Pasquale Coppola. Raccolta di scritti*. Roma, Società Geografica Italiana ("Memorie della Società Geografica Italiana", 89), 533-544.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Khazaei, M., Alavipannah, S. K., Weng, Q. (2021). Google Earth Engine for large-scale land use and land cover mapping: an object-based classification approach using spectral, textural and topographical factors. *GIScience & Remote Sensing*, 58(6), 914-928. <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1947623>
- Spyra, M., Kleemann, J., Furst, C. (2021). Protection of peri-urban open spaces at the level of regional policy-making: Examples from six European regions. *Land Use Policy*, 107, 105480, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105480>
- Touring Club Italia (TCI) (2013). *Caserta e il suo territorio. Capua, Aversa, il litorale, Sessa Aurunca e il Matese*. Milano, Touring Editore.
- Uniontrasporti (2011). *Il sistema infrastrutturale e logistico campano*. <http://www.uniontrasporti.it>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York, United Nations.
- Vanvitelli, L. (1756). *Dichiarazione dei disegni del reale palazzo di Caserta alle sacre Reali Maestà di Carlo re delle due Sicilie e di Gerus., infante di Spagna, Duca di Parma e di Piacenza Gran Principe Ereditario di Toscana e di Maria Amalia di Sassonia Regina*. Napoli, nella Regia Stamperia.
- Vanvitelli, L. J. (1823). *Vita dell'Architetto Luigi Vanvitelli. Descrizione delle reali delizie di Caserta*. Napoli, Coi tipi di Angelo Trani.
- Vellante, S. (2011a). Biodiversità senza diversità. *Economia e Ambiente*, 30(1-2), 9-16.
- Vellante S. (2011b). Bioeconomia e questione energetica. In Carra L. (a cura di), *Energie. Il punto di vista di Italia Nostra. Quaderni di Italia Nostra*, 28. Roma, Gangemi editore, 37-44.
- Walz, J., Weber, K. (2021). *Identifying actively growing vegetation using NDVI threshold values*. Final Technical Report: NASA Idaho Space Grant Consortium HEG 2021. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.18166.93769>
- Woodcock, C.E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Goward, S.N., Helder, D., Helmer, E. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, 320, 1011. <https://doi.org/10.1126/science.320.5879.1011>
- Zarro, C., Cerra, D., Auer, S., Ullo, S.L., Reinartz, P. (2022). Urban Sprawl and COVID-19 Impact Analysis by Integrating Deep Learning with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(9), 2038. <https://doi.org/10.3390/rs14092038>
- Zhang, D., Liu, G., Hu, W. (2019). Mapping Tidal Flats with Landsat 8 Images and Google Earth Engine: A Case Study of the China's Eastern Coastal Zone circa 2015. *Remote Sensing*, 11(8), 924. <https://doi.org/10.3390/rs11080924>
- Zimmerman, P.L., Housman, I.W., Perry, C.H., Chastain, R.A., Webb, J.B., Finco, M.V (2013). An accuracy assessment of forest disturbance mapping in the western Great Lakes. *Remote Sensing of Environment*, 128, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.017>