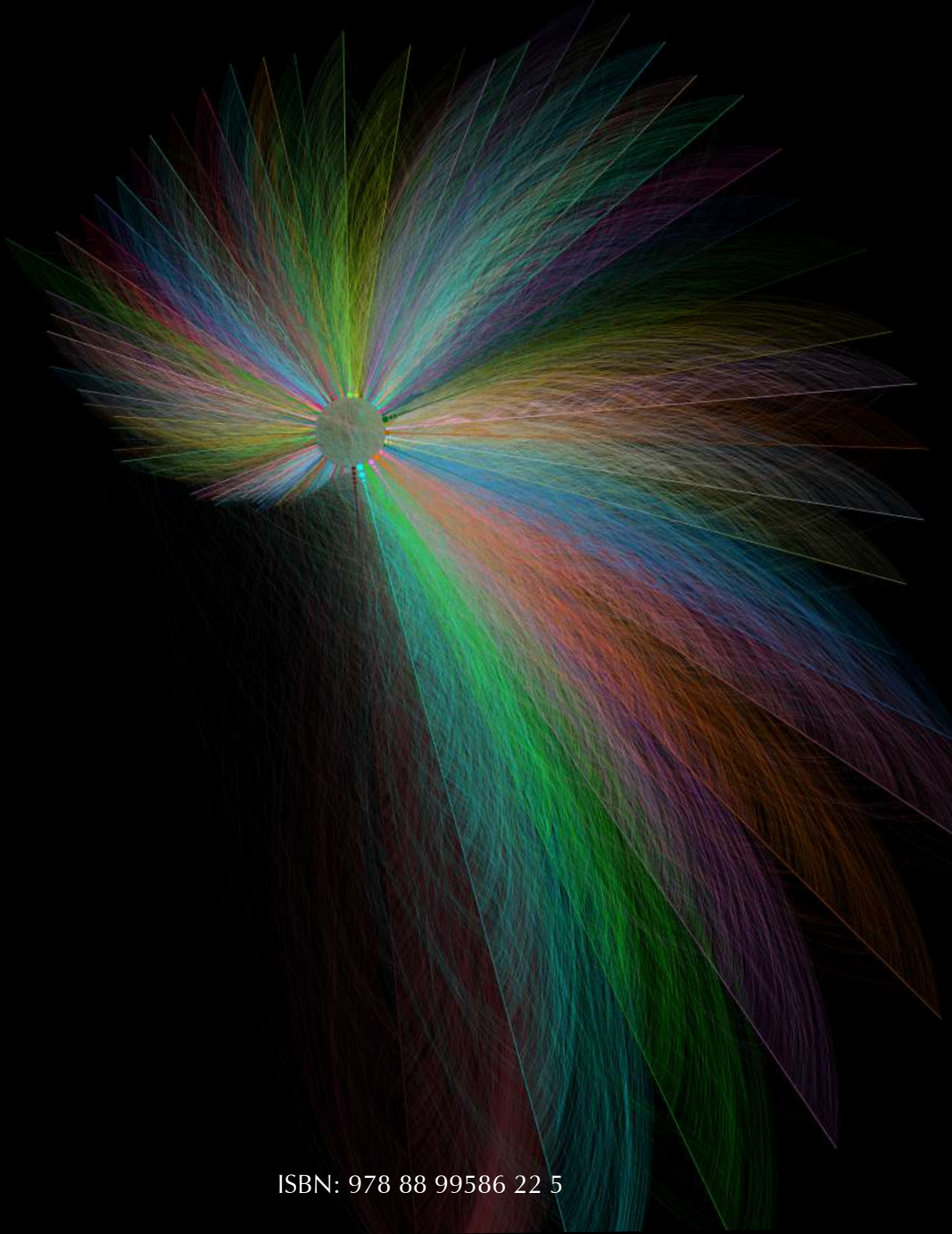


PUBLICA

AMEDEO GANCIU

CYBER MAPPE

LA RAPPRESENTAZIONE DIGITALE
DELLE INFORMAZIONI TERRITORIALI COMPLESSE



ISBN: 978 88 99586 22 5

PUBLICA

COMITATO SCIENTIFICO

Marcello Balbo
Dino Borri
Paolo Ceccarelli
Enrico Cicalò
Enrico Corti
Nicola Di Battista
Carolina Di Biase
Michele Di Sivo
Domenico D'Orsogna
Maria Linda Falcidieno
Francesca Fatta
Paolo Giandebiaggi
Elisabette Gola
Riccardo Gulli
Emiliano Ilardi
Francesco Indovina
Elena Ippoliti
Giuseppe Las Casas
Mario Losasso
Giovanni Maciocco
Vincenzo Melluso
Benedetto Meloni
Domenico Moccia
Giulio Mondini
Renato Morganti
Stefano Moroni
Stefano Musso
Zaida Muxi
Oriol Nel.lo
Joao Nunes
Gian Giacomo Ortu
Giancarlo Paba
Rossella Salerno
Enzo Scandurra
Silvano Tagliagambe

Tutti i testi di PUBLICA sono sottoposti a *double peer review*

PUBLICA
SHARING KNOWLEDGE

P V B L I C A

AMEDEO GANCIU

CYBER MAPPE

LA RAPPRESENTAZIONE DIGITALE
DELLE INFORMAZIONI TERRITORIALI COMPLESSE

INCIPIT

ISBN: 978 88 99586 22 5

AMEDEO GANCIU
CYBER MAPPE.
*LA RAPPRESENTAZIONE DIGITALE DELLE INFORMAZIONI
TERRITORIALI COMPLESSE.*

© PUBLICA, Alghero, 2022
ebook ISBN 978 88 99586 22 5
Pubblicazione Marzo 2022

*In copertina: Amedeo Ganciu, Cyber mappa di una rete bibliografica relativa
all'ambito disciplinare delle scienze grafiche, attraverso l'algoritmo distributivo.*

PUBLICA
Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Design
Università degli Studi di Sassari
WWW.PUBLICAPRESS.IT



INDICE

Introduzione	9
1. Rappresentare e modellare i sistemi territoriali complessi	12
1.1. Rappresentare la dimensione spaziale del territorio	12
1.1.1. BIM, GIS e CityGML	13
1.1.2. Casi di studio	19
1.2. Rappresentare la dimensione reticolare del territorio	26
1.2.1. La rappresentazione delle reti sociali	29
1.2.2. La rappresentazione delle reti urbane	34
2. Modelli digitali per la città e il territorio	41
2.1. Digital Twin e Smart Cities	41
2.1.1. Casi di studio	45
3. Cyber mappe per la rappresentazione dei dati territoriali	55
3.1. Cyber mappe	55
3.1.1. Casi di studio	57
3.2. Standard per la creazione e condivisione delle cyber mappe	76
3.2.1. La direttiva INSPIRE. INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe	76
3.2.2. Il Registro Nazionale dei Dati Territoriali e lo standard GeoDCAT-AP	78
4. Conclusioni	81
Note	84
Bibliografia	89

Introduzione

Nel 1948 Norbert Wiener conia il termine cibernetica per indicare un campo di studi in comune tra ingegneria, biologia e scienze sociali, finalizzato allo studio dei fenomeni biologici, artificiali o misti di autoregolazione. Nella cibernetica il rapporto tra naturale e artificiale rappresenta la caratteristica distintiva, con l'informazione che assume il ruolo di elemento chiave per la corretta interpretazione di tutti i fenomeni della vita. Nel terzo millennio, conseguentemente alla crescente e capillare diffusione, della tecnologia e dei sistemi di informazione e comunicazione, il termine cibernetica si è arricchito di significato trovando applicazioni in numerosi campi di ricerca scientifica e non solo; per esempio, nel 1982 in un racconto di fantascienza dal titolo *Burning Chrome* pubblicato da William Gibson sulla rivista *Omni* apparve per la prima volta il termine *cyberspace*, per identificare un luogo immaginario di fantasticherie e allucinazioni tecnologiche, contrapposto allo spazio reale. Oltre l'interpretazione letteraria, nelle discipline tecnico scientifiche, il ciberspazio si può considerare come un'estensione dello spazio reale, le cui caratteristiche vengono progressivamente ampliate e perfezionate, in particolare nelle tecnologie dell'informazione e della comunicazione. Per esempio, nel ciberspazio è possibile sovrapporre diversi strati di informazione mediante la geolocalizzazione di persone, servizi e altri contenuti informativi, consentendo di modificare la percezione individuale e collettiva dei luoghi e delle rispettive funzioni. Nonostante una geografia del cyberspazio non sia ancora pienamente definita, sia per la vastità del campo da esplorare in continuo ampliamento ed evoluzione, sia per l'inadeguatezza degli strumenti tradizionalmente utilizzati per la descrizione degli spazi fisici, alcuni tentativi hanno cercato di rappresentare i differenti e innumerevoli piani di interconnessione tra informazioni di ogni tipo che popolano il ciberspazio, come il pionieristico *Atlas of cyberspace* del 2002, di Martin Dodge e Rob Kitchin.

Così come lo spazio si è evoluto verso una dimensione digitale, anche i tradizionali strumenti offerti dalla scienza cartografia hanno assecondando la trasformazione tecnologica trasformandosi progressivamente verso una dimensione digitale dominata dalla tecnologia, dalla precisione, della localizzazione e dalla capacità di veicolare massivamente informazioni e dati ad una molteplicità di operatori differenti per finalità applicative e capacità di interpretazione. L'accelerazione verso le nuove tecnologie è stata così marcata da produrre quasi l'obsolescenza dei tradizionali sistemi di rappresentazione e diffusione delle informazioni territoriali. La tradizionale cartografia su supporto cartaceo, di qualsiasi natura, scala e tematismo, sta progressivamente cedendo il passo in favore della modellazione digitale costruita su piattaforme GIS e BIM; due strumenti che se pure in passato sono rimasti saldamente confinati ai propri ambiti progettuali specialistici: territoriale il primo, edilizio e puntuale il secondo, oggi dimostrano una accresciuta maturità integrandosi tra loro, anche attraverso l'implementazione di standard per la geocodifica e condivisione delle informazioni geografiche e di progetto come il *CityGML*. In questo modo, i più recenti ambienti di sviluppo e progettazione risultano capaci di assecondare contemporaneamente differenti necessità di rappresentazione: dalla scala territoriale, tipiche dei GIS, alla rappresentazione e gestione degli elementi di dettaglio particolareggiato tipiche invece degli ambienti BIM. Tra le recenti e più significative esperienze applicative dell'integrazione si possono citare il Geoportale dell'ItalFerr¹ o la progettazione del Sistema Ferroviario Metropolitano Regionale del Veneto, classificabili come InfraBIM, ossia BIM finalizzati alla progettazione delle grandi infrastrutture territoriali e che quindi richiedono una significativa integrazione con le capacità analitiche offerte dai GIS. Se la cybergeografia, come indicato da Martin Dodge e Rob Kitchin, è la scienza con l'obiettivo di studiare le reti costruite dalle comunicazioni digitali, allora la teoria delle reti e i suoi algoritmi si stanno dimostrando tra gli strumenti più idonei con cui raggiungerlo. In particolare, nel merito delle reti sociali, la Social Network Analysis ha mostrato più volte tutte le sue potenzialità nello studio delle reti scientifiche, gestendo gli autori e i loro comportamenti come se si trattasse di un gruppo di soggetti appartenenti ad un social network e le loro interazioni codificate attraverso le citazioni reciproche. La teoria delle reti integrata all'interno delle piattaforme GIS trova numerose applicazioni anche in altri contesti, come nelle reti urbane e infrastrutturali. Per esempio, nell'analisi dei sistemi urbani, con focus sullo studio sulle dinamiche dei pendolari nelle principali aree metropolitane si è ottenuto un metodo per determinare e poi rappresentare la capacità di attrazione dei grandi nuclei urbani.

La contemporanea necessità di possedere il maggiore numero di informazioni e prevedere il funzionamento di un sistema, sia anche territoriale, ha spinto la ricerca nello sviluppo dei Digital Twins, ossia di cloni digitali di sistemi reali, con applicazioni in molti ambiti di ricerca e sviluppo. La loro architettura prevede l'integrazione delle piattaforme BIM-GIS interagenti con algoritmi di

MachineLearning e di Intelligenza Artificiale, con output attraverso tecnologie di Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (RA). Nelle applicazioni territoriali, i diversi casi studio mostrano come il campo di ricerca applicativo dei Digital Twins, per la loro capacità analitico previsionale e le potenzialità offerte dalla loro rappresentazione attraverso la Realtà Virtuale e Aumentata, sia il più promettente nell'ambito dell'architettura, dell'urbanistica e anche del patrimonio culturale.

Indipendentemente dalla tecnologia, i dati territoriali costituiscono l'elemento conoscitivo di base per tutte le politiche per la gestione del territorio. La conoscenza del mondo reale, nei suoi aspetti, è determinante sia come strumento di sviluppo sia come supporto alle decisioni in numerosi campi come le politiche di sicurezza, di protezione civile, la pianificazione territoriale, i trasporti, l'ambiente. La trasformazione digitale in atto non ha interessato solo il supporto su cui tradizionalmente veniva rappresentato il dato ma anche la sua gestione, intesa come archiviazione e condivisione, e altresì la modalità stessa di comunicare il dato. L'utilizzo di mappe basate su tecnologie e metodologie con maggiore capacità di interazione e comunicazione, che si avvalgono delle più sofisticate acquisizioni satellitari o fitte reti di sensori a terra sono alla base del recente sviluppo della cybercartography e delle cyber mappe. Questa nuova generazione di strumenti per la comunicazione dei dati territoriali offre funzionalità dinamiche e di interazione con l'utente, che la cartografia tradizionale non è in grado di assolvere. Superando la tradizionale presentazione statica su supporto cartaceo si sono sviluppati nuovi linguaggi e modalità di comunicazione caratterizzate dalla multimedialità e dalla simultaneità con cui possono essere acquisite informazioni da fonti diverse, dalla velocità con cui possono essere prodotte e infine dalla densità di informazioni della scena osservata in funzione della scala di rappresentazione. In questa direzione, la stessa Unione Europea da qualche anno sta implementando diverse strategie concretizzatesi da una parte nell'avvio del Programma Copernicus per il monitoraggio globale che consente all'utilizzatore di accedere a numerose cyber mappe differenti per tematismo e capacità di interazione con l'utilizzatore, e dall'altra parte assicurando la piena condivisione dei dati territoriali attraverso l'attuazione della Direttiva INSPIRE e dell'infrastruttura tecnologica che la sostiene, basata su standard e procedure comuni su tutto il continente europeo.

1. Rappresentare e modellare i sistemi territoriali complessi

1.1. Rappresentare la dimensione spaziale del territorio

Il territorio, quale perfetto esempio di sistema complesso, inteso come somma non sempre lineare di elementi naturali e antropici, reciprocamente interdipendenti e influenzabili, si caratterizza per la diffusa presenza di insediamenti umani sia di tipo abitativo che produttivo e infrastrutturale che incidono sulle matrici territoriali alterandone gli equilibri e spesso il corretto funzionamento (Mecca et al., 2019). Per limitare quanto possibile le alterazioni e garantire il corretto funzionamento di tutti gli elementi alla base di un sistema territoriale, è necessario operare delle scelte per realizzare o gestire opere e servizi, finalizzati all'armonizzazione delle funzioni (De Luca et al., 2020), in questo senso la progettazione di territori intelligenti sembra essere negli ultimi anni una delle strategie più promettenti. Per sviluppare un territorio o città sostenibile e intelligente, è necessario dotarsi di strumenti di pianificazione urbana intelligente che consentano di affrontare le nuove sfide che includono l'aumento della popolazione, il crescente consumo di energia e risorse e il management delle stesse (Marzouk & Othman, 2020). In accordo con Cheng et al. (2016), le infrastrutture di un'area urbanizzata possono dividersi in cinque categorie: a) Infrastrutture di Trasporto come strade, ferrovie, ponti e gallerie; b) Infrastrutture per la produzione di energia; c) Infrastrutture funzionali al trasporto per esempio dell'acqua, dell'energia, o di qualche altra forma di carburante come i gasdotti o gli oleodotti; d) Infrastrutture ricreative come stadi e parchi; e) Infrastrutture ambientali come le opere di contenimento dei versanti e altre tipologie rientranti nel campo dell'ingegneria ambientale.

Qualsiasi sia il livello decisionale, o la tipologia di infrastruttura da inserire nel territorio, appare sempre più evidente la necessità di saper effettuare

la scelta “giusta” tra due o più alternative caratterizzate per funzioni, localizzazione e tipologia attraverso processi decisionali attuati quasi sempre in condizioni di scarsità di risorse economiche (De Luca et al., 2020). Appare quindi imprescindibile il reperimento di dati sufficienti a descrivere le caratteristiche del sistema territoriale, economico e politico interessato dalla scelta. Le informazioni possono essere reperite consultando banche dati esistenti e certificate come quelle delle amministrazioni pubbliche o degli istituti di ricerca, oppure, in casi molto particolari attraverso l’acquisizione diretta. Considerata la mole e spesso l’eterogeneità delle informazioni sia di contenuto che di tipologia, la loro successiva organizzazione ed elaborazione deve avvalersi necessariamente di strumenti digitali per una gestione efficace e non ridondante delle informazioni, con specialità e obiettivi differenti in funzione delle necessità progettuale richiesta. Negli ultimi decenni, l’incremento della capacità di calcolo degli elaboratori elettronici ha permesso l’espansione della componente software, per esempio lo sviluppo di Sistemi di Gestione dei Database Relazionali (DBMSR), tools per il Disegno Elettronico Assistito (CAD), *Building Information Modeling* (BIM), l’analisi geografica attraverso i Sistemi di Informazione Geografica (GIS) e la *Network Analysis* per lo studio o progettazione delle reti.

1.1.1. BIM, GIS e CityGML

Il BIM è una metodologia per creare una rappresentazione digitale dei caratteri fisici e funzionali di una struttura (Wang et al., 2013) che consente di gestire i dati essenziali del design e del progetto per tutto il suo ciclo di vita (Penttilä, 2006). Attraverso l’integrazione tra un Sistema di Gestione dei Database Relazionali e la componente grafica CAD, è possibile gestire e catalogare tutta la documentazione relativa ad un’opera edilizia incorporando politiche, processi e tecnologie in tre dimensioni (Liu et al., 2017). Il BIM, per esempio, consente di identificare e chiarire le relazioni esistenti tra architettura, layout dei servizi meccanici, elettrici e idraulici, accoppiando sistematicamente le differenti componenti del progetto per una gestione integrale della struttura (Dossick & Neff, 2009). In questo senso, il BIM non può considerarsi come una semplice tecnologia CAD 3D, perché oltre alla capacità di progettare e rappresentare una struttura, consente un arricchimento dell’informazione (Del Giudice & Iacono, 2021; Maietti & Tasselli 2020) considerando per esempio, il costo, i tempi di realizzazione, l’accessibilità, la sicurezza, la logistica, la sostenibilità, l’acustica e l’energia della struttura (Taylor & Bernstein, 2009; Hardin, 2011). Inoltre, attraverso la metodologia BIM, la gestione delle informazioni relative alla struttura nei suoi componenti fisici e funzionali può essere gestita in modo trasparente da tutti gli utenti e per tutto il ciclo di vita del progetto (Wang et al., 2014; Del Giudice & Iacono, 2021). Tuttavia, se il BIM ha la capacità di includere informazioni sull’edificazione ricche e dettagliate, sia dal punto di vista geometrico che

semantico, non consente di includere in modo pienamente soddisfacente le informazioni sul contesto circostante l'opera (Bansal, 2014; Rafiee et al., 2014). La metodologia BIM, infatti, operando a livello di microscala identifica il progetto come un elemento isolato indipendente dal sistema complesso in cui la struttura è inserita (Peters, 2010), non consentendo l'analisi spaziale e la localizzazione di oggetti tramite attributi geografici (Mignard & Nicolle, 2014). Pertanto, una visione più ampia dell'ambiente costruito è essenziale nella moderna gestione dei dati relativi alle costruzioni.

Al pari del BIM, anche il GIS può essere definito come un sistema di supporto alle decisioni, che ha tutte le caratteristiche di un sistema informativo in grado di acquisire, memorizzare, aggiornare, modellizzare, manipolare, estrarre, dati che inglobano la componente geografica rispetto ad un sistema di riferimento (Worboys & Duckham 2004; Stanton-Chapman & Chapman, 2011), caratteristica fondamentale per le ulteriori analisi spaziali e temporali (Liu et al., 2014). Attraverso il modello astratto si rappresenta la realtà, gli elementi che possiedono coordinate e tra questi si stabiliscono delle relazioni definite anche in base ad attributi non geolocalizzati (Xiao, 2007). Alcuni progetti GIS nascono per scopi puramente descrittivi e generali come quelli utilizzati da alcuni Enti Pubblici per scopi di programmazione o di pianificazione delle risorse, altri hanno un carattere specifico derivante dal loro utilizzo in un settore particolare; per esempio, alcuni esempi di GIS descrittivi sono i sistemi informativi territoriali regionali (SITR), mentre tra i secondi si possono classificare specifiche piattaforme gestionali per le reti idriche o fognarie. Tuttavia, se questo ambiente permette di implementare l'analisi spaziale basata sulla relazione spaziale e funzionale dell'ambiente esterno su larga scala non è in grado di gestire le informazioni di dettaglio architeturale ingegneristico tipiche invece all'interno degli ambienti BIM (Amirebrahimi et al., 2015). Inoltre, anche se in molti casi il GIS bidimensionale è sufficiente per la maggior parte degli scopi, alla scala urbana, può permettere la raccolta e gestione delle informazioni su singoli edifici che compongono il modello territoriale, considerando particolari esigenze come nella gestione di siti minerari, edifici e complessi commerciali spingendo lo sviluppo di un modello tridimensionale di maggiore dettaglio (Becker et al., 2009; Boguslawski et al., 2011).

Le basi della scienza del GIS, che comprende principi, metodi e tecniche di analisi, si è sviluppata nel tempo per trovare soluzioni a nuovi quesiti territoriali su ampia scala con complessità crescente (Longley, 2005), se infatti il GIS basato sul computer è stato sviluppato a partire dalla fine degli anni '60, il concetto di GIS e la sua applicazione manuale trovano origine sul finire del XIX secolo; al contrario, la metodologia BIM è molto più giovane; le sue basi metodologiche e concettuali si sviluppano sul finire degli anni '80 inizio '90 del secolo passato. Anche se BIM e GIS sono maturati in modi e tempi diversi la loro crescente sovrapposizione è diventata più evidente con la recente richiesta di fondere applicazioni esterne e interne per scopi diversi e per sviluppare metodi e strumenti applicabili agli edifici in un contesto geospaziale (Maietti & Tasselli, 2020).

Infatti, le recenti applicazioni mostrano un'ulteriore evoluzione sia sul versante dei GIS che nella metodologia BIM, verso strumenti sempre più completi per la gestione del progetto a tutte le scale progettuali, dalla territoriale a quella di dettaglio. In particolare, l'ulteriore integrazione tra gli ambienti BIM e GIS è stata identificata come un argomento promettente ma impegnativo, finalizzato alla gestione e trasformazione delle informazioni all'interno di strumenti di nuova generazione che consentano di realizzare una comprensione integrale del progetto e del contesto in cui si colloca (Liu et al, 2017). In questo senso la ricerca è indirizzata verso lo sviluppo di una maggiore integrazione BIM-GIS, per consentire di redigere, gestire e relazionare, per ciascun manufatto, abachi correlati con parametri globali estrapolati da banche dati geografiche.

La necessità di una maggiore integrazione delle informazioni di contesto all'interno dell'ambiente di progetto BIM è stata messa in evidenza in diversi studi, per esempio nella valutazione ambientale, nella gestione delle risorse e l'analisi dei rischi (Yau et al., 2014), oppure per definire la posizione delle gru a torre nei cantieri (Irizarry & Karan, 2012). Altre ricerche si sono sviluppate all'interno del settore trasportistico e della logistica; per esempio, nella progettazione e gestione di un'infrastruttura stradale sicuramente si deve considerare il contesto in cui si localizza ma le autorità competenti possono anche essere interessate ad informazioni di maggiore dettaglio su aspetti costruttivi solitamente memorizzati in un sistema BIM. Altre applicazioni si sono sviluppate per la progettazione e gestione ottimale della rete di condutture del gas e l'intera catena di approvvigionamento (Hijazi et al., 2011), in ultimo, altre ricerche hanno avuto applicazione pratica nella pianificazione del rumore all'interno delle aree urbane dove l'integrazione del sistema BIM e GIS può sviluppare una mappatura senza soluzione di continuità a qualsiasi scala spaziale (Deng et al., 2016). Per esempio, nel particolare dei progetti di infrastrutture lineari complesse che includono un numero significativo di elementi strutturali differenti come strade, gallerie, canali, reti, ponti o opere in terra, è necessario anche tener conto del ruolo di molteplici attori come società di ingegneria, produttori, costruttori, l'amministrazione pubblica che hanno un ruolo spesso decisivo nella realizzazione dell'opera (Tolmer et al., 2017), ma anche le diverse scale di rappresentazione necessarie alla progettazione, dalla territoriale alla scala locale e con differenti gradi di precisione (Borrmann et al., 2012). Quindi con lo scopo di contestualizzare l'opera all'interno del territorio che l'ospiterà, indirizzando la scelta e migliorando la progettazione, i diversi soggetti che operano a differenti scale progettuali, devono poter soddisfare specifiche necessità informative avvalendosi di criteri e strumenti specifici, che consentano di conoscere lo stato di manutenzione delle infrastrutture e/o definire un programma di interventi per garantire la sicurezza dei suoi utilizzatori. In questa direzione, il concetto di Infra-BIM è utilizzato in riferimento all'adozione della metodologia BIM nel settore delle infrastrutture, che di per sé richiede una forte interconnessione disciplinare con i Sistemi Informativi Geografici (GIS) e coinvolge molti altri aspetti, dall'analisi dell'area

analizzata alle relazioni e interferenze con altre infrastrutture (Acampa et al., 2019), attraverso un approccio multidisciplinare che, richiede necessariamente il controllo della coerenza e la qualità delle informazioni utilizzate. Il modello valutativo dovrà quindi incorporare, componenti ambientali e infrastrutturali, matrici relazionali, priorità e strategie. La complessità della simulazione necessariamente realizzata in ambienti ibridi BIM-GIS dovrà anche necessariamente considerare sia l'ordinamento dei dati in entrata che la gerarchizzazione dei risultati, con la visualizzazione degli scenari magari anche attraverso tecnologie per la gestione della realtà virtuale aumentata (AR) (Del Giudice & Iacono, 2021). In particolare, con la AR trasportando nella realtà contenuti virtuali (Ippoliti & Meschini, 2010; Salerno, 2019), è possibile instaurare e visualizzare nuove relazioni spaziali complesse poi utilizzate per lo sviluppo di tecnologie innovative a supporto della progettazione e di questa nuova realtà (Squire & Klopfer, 2011; Stancato & Piga, 2020), ossia, ogni oggetto presente nell'ambientazione reale può essere identificato e connesso all'interno dell'ambiente di progetto per comunicare informazioni con altri oggetti, realizzando un'infrastruttura nella quale la realtà diviene contenitore, strumento di progetto, e risultato di raccolta dati ed esigenze dei diversi utenti (De Luca et al., 2021).

I sistemi integrali basati su tecnologie BIM-GIS con output nella AR sono in grado di supportare gli addetti nella conoscenza e nella catalogazione dei dati degli edifici o del territorio, integrando, se necessario, informazioni provenienti da differenti ed eterogenee banche dati, nel quale ogni singola azione, effettuata tramite sequenza di istruzioni, mette in relazione i dati estrapolati da database esterni e ne riproduce tramite indicizzazioni cromatiche la corretta visualizzazione sul modello geometrico, offrendo la possibilità e lo stimolo per studiare nuove forme di rappresentazioni digitali (Graham et al., 2012; Ippoliti, & Meschini, 2010). Riassumendo, i significativi vantaggi dell'utilizzo di un sistema di gestione basato su ambienti ibridi BIM-GIS si manifestano nell'interoperabilità che i processi BIM offrono ossia accesso simultaneo, trasparenza verso il committente (Hardin 2009; Moglia et al., 2018; Del Giudice & Iacono, 2021), nel fornire un modello tridimensionale digitale dell'infrastruttura, che sintetizzi tutti i dati di monitoraggio ambientale, geologico e geotecnico. Tuttavia, i diversi standard su cui si basano gli strumenti, la diversa modalità di approccio al problema sia nella logica dello strumento che nell'impostazione mentale dell'operatore che li utilizza (Saygi & Remondino, 2013) creano diverse difficoltà nella realizzazione del matrimonio BIM-GIS (Liu et al., 2017) che per concretizzarsi, quindi, richiede necessariamente un atteggiamento maggiormente collaborativo tra tutti gli utenti GIS e BIM, l'applicazione in temi di ricerca comuni su cui indirizzare lo sviluppo parallelo degli strumenti come la progettazione di città intelligenti coadiuvate da particolari iniziative di stampo governativo indirizzate nel promuovere queste forme di integrazione (Liu & Issa, 2012; Månsson, 2016).

I primi tentativi di fusione erano caratterizzati da un approccio rudimentale e non sistemico dei dati (Horrocks, 2008), con gli utilizzatori dei rispettivi

strumenti che cercavano di importare i dati provenienti da altre piattaforme per svolgere le proprie analisi di competenza (De Laat & van Berlo, 2011), ossia gli utenti GIS cercavano di integrare i dati BIM o i dati CAD in un sistema GIS, mentre gli utenti BIM cercavano di utilizzare le informazioni spaziali all'interno del BIM. Ovviamente le differenze, causa delle difficoltà di integrazione tra i sistemi, non riguardano solo la diversa morfologia dei dati che gestiscono, ma più in generale si ritrovano nella diversità degli ambiti applicativi, delle scale spaziali e sistemi di coordinate che utilizzano, nelle diverse rappresentazioni semantiche e geometriche, nei diversi livelli di risoluzione. Più in particolare, la modellazione del mondo reale all'interno del GIS è principalmente rivolta all'esigenza di mappare, mentre la modellazione all'interno del BIM è basata sulla necessità di rappresentare il disegno geometrico e i dettagli di costruzione (El-Mekawy et al., 2012). Inoltre, il GIS si focalizza sulle informazioni geografiche, sulla forma degli edifici ed eventualmente delle componenti edilizie da una prospettiva geografica, al contrario, il BIM si concentra sui dettagliati delle componenti dell'edificio e sulle informazioni del progetto, come i costi e i tempi di realizzazione, da una prospettiva di tipo architeturale e edilizio (Cheng et al., 2015). Inoltre, il BIM è ancora principalmente sviluppato per rappresentare oggetti che non esistono prima della loro edificazione, al contrario, il GIS mira a modellare gli oggetti che già esistono (Volk et al., 2014).

L'attuale sviluppo tecnologico ha permesso un maggiore livello di integrazione per i dati, processi e applicazioni (Liu et al, 2017). Per lo sviluppo di modelli tridimensionali a maggiore densità di informazioni, le relazioni spaziali 3D tra i diversi oggetti nel modello devono essere identificate (Stadler & Kolbe, 2007); in questa direzione, l'implementazione del *City Geography Markup Language* (*CityGML*) rappresenta attualmente un significativo esempio di formato per la modellazione 3D semantica e uno sviluppo significativo della tecnologia verso l'integrazione di BIM e GIS (Amirebrahimi et al., 2015 bis; Hijazi, 2012; Lapierre et al., 2008) attraverso l'utilizzo di standard che consentono l'integrale trasferimento delle informazioni edilizie all'interno del dominio geospaziale (Gröger & Plümer, 2012). Il *CityGML* è anche definito, come un modello comune di informazione semantica che rappresenta gli oggetti 3D nel contesto geospaziale e può essere condiviso da diverse applicazioni (Gröger et al., 2012); il suo scopo è di strutturare le informazioni sulle città e le caratteristiche contestuali come un insieme. Tuttavia, il *CityGML* non è specificamente adattato al processo di progettazione delle strutture, anche se rispetto alla prima generazione, la sua evoluzione nella seconda generazione offre strutture di modellazione più ricche non solo per gli edifici, ma anche per gallerie e ponti, quindi avvicinandosi maggiormente all'ambiente BIM. La gestione degli oggetti e dati attraverso il *CityGML* si basa sul concetto di livello di dettaglio (LOD), dove i diversi livelli specificano una differente complessità e precisione di risoluzione e accuratezza e dimensioni minime di oggetti (Valentini et al., 2014; Kolbe, 2009; Del Giudice, & Iacono, 2021; Maietti, Tasselli, 2020); in

particolare questi si possono definire come il LOD0 per aree molto estese di scala regionale, il LOD1 applicabile alla dimensione urbana, il LOD2 applicabile alla dimensione suburbana, il LOD3 applicabile alla dimensione suburbana fino al modello architettonico esterno e infine il LOD4 specifico per aree molto limitate ma di elevato dettaglio (Tolmer et al., 2013; Gröger & Plümer, 2012). Sul versante opposto, il *Building Smart Industrial Foundation Class* (IFC), si definisce come il più completo e popolare formato di scambio in ambiente BIM (Deng et al., bis 2016) utilizzabile dalla maggior parte dei software. Come formato aperto, IFC è diventato uno degli strumenti interoperabili di maggior successo per scambiare informazioni attraverso diverse piattaforme. Tuttavia, le limitazioni sono state identificate in termini di partizione delle informazioni, e multi-interpolazione sulle stesse informazioni (Pauwels et al., 2011). Appositamente per l'ambiente BIM, il IFC è definito come linguaggio di modellazione dati EXPRESS (Borrmann, 2015), nel quale lo schema dei dati orientato agli oggetti è in gran parte basato sulla tecnologia STEP; questa si occupa della rappresentazione e dello scambio di dati di prodotto tra diversi domini, come la produzione, il petrolio e il gas, la costruzione di edifici, la progettazione meccanica, ecc. Inoltre, alcuni oggetti, per esempio gli oggetti stradali, non sono forniti da IFC; tuttavia, sono disponibili supporti e strumenti per sviluppare nuovi oggetti stradali standardizzati (Bektas et al., 2013).

Contrariamente al *CityGML*, il IFC non nasce con una versione del XML, anche se una sua successiva evoluzione ha visto il lancio del *IfcXML*, basata appunto sul XML per il trasferimento su Internet usando particolari servizi web, tuttavia, risulta non così ampiamente usato come IFC basato su EXPRESS. Anche l'IFC definisce il proprio livello di dettaglio (LOD), ma ovviamente il concetto di LOD in IFC è diverso da quello di *CityGML* (Tolmer et al 2013), infatti la sua descrizione presenta il LOD 100 per un solo un simbolo o altra rappresentazione generica; il LOD 200 per un sistema generico, oggetto, o con informazioni di assemblaggio approssimative; il LOD 300 per un sistema specifico, oggetto, o con informazioni di montaggio dettagliate; il LOD 400 per un sistema, un oggetto, o con informazioni di assemblaggio di fabbricazione e installazione; e infine il LOD 500 per una rappresentazione verificata sul campo con tutte le informazioni indicate nel LOD 400. Anche se nella progressiva integrazione degli ambienti BIM-GIS si sono fatti diversi progressi anche per il IFC, dove nell'ultima versione, IFC 4, si sono inclusi nuovi elementi geografici, come "*IfcGeographicElement*" e "*IfcGeographicElementType*" per una maggiore interoperabilità con il GIS, rimangono comunque molte differenze tra gli ambienti BIM GIS (Liu et al 2017), in generale derivanti dal come questi due ambienti interpretano la modellazione 3D, mentre il GIS si concentra di più sulla modellazione mondo reale, il BIM è più focalizzato sul processo di progettazione; quindi, in *CityGML*, per esempio, un muro è rappresentato come superficie per ogni stanza separatamente, mentre, in IFC, un muro è un oggetto di volume, che è condiviso tra le stanze e l'involucro esterno (Nagel et al., 2009).

1.1.2. Casi di studio

La rappresentazione delle aree rurali

Negli ultimi anni, il paesaggio ha acquisito un ruolo sempre più importante nella disciplina e nella pratica della pianificazione, in seguito al riconoscimento della sua natura di “bene pubblico”, come elemento che riassume gli aspetti strategici per il mantenimento e lo sviluppo della qualità territoriale, e del benessere individuale e collettivo (Clementi, 2002; Turri, 2008). La consapevolezza che i paesaggi forniscono una moltitudine di funzioni ha generato un’ampia letteratura sui “servizi del paesaggio” e sulla loro gestione (Termorshuizen & Opdam, 2009; Gulickx et al., 2013; Bastian et al., 2014), con la visione puramente estetica del paesaggio, basata sui concetti di bellezza e unicità superata dalla necessità di riconoscere la complessità e il significato di un paesaggio e delle sue caratteristiche ambientali sociali e naturali. In particolare, la Convenzione Europea sul Paesaggio del 2000 ha riconosciuto il paesaggio come una componente essenziale della vita delle persone, un’espressione della diversità del loro patrimonio culturale e naturale e fondamento della loro identità. In questa direzione, si è verificata una rigogliosa produzione scientifica su studi, analisi, letture e interpretazioni del paesaggio per identificare e sviluppare azioni e piani in grado di massimizzare la risorsa (Domon, 2011), come lo sviluppo della metodologia interpretativa VASA (Valutazione Storico Ambientale) per il riconoscimento dei paesaggi rurali storici italiani e il loro successivo inserimento nell’apposito Registro

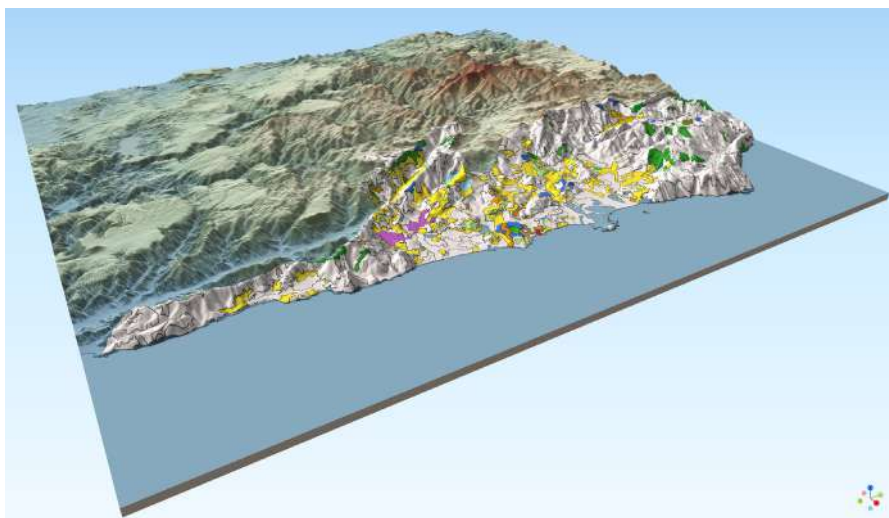


Figura 1: Analisi morfologico territoriale all’interno della procedura VASA svolta sulla regione storica dell’Ogliastra in Sardegna. Immagine da Ganciu et al., 2021.

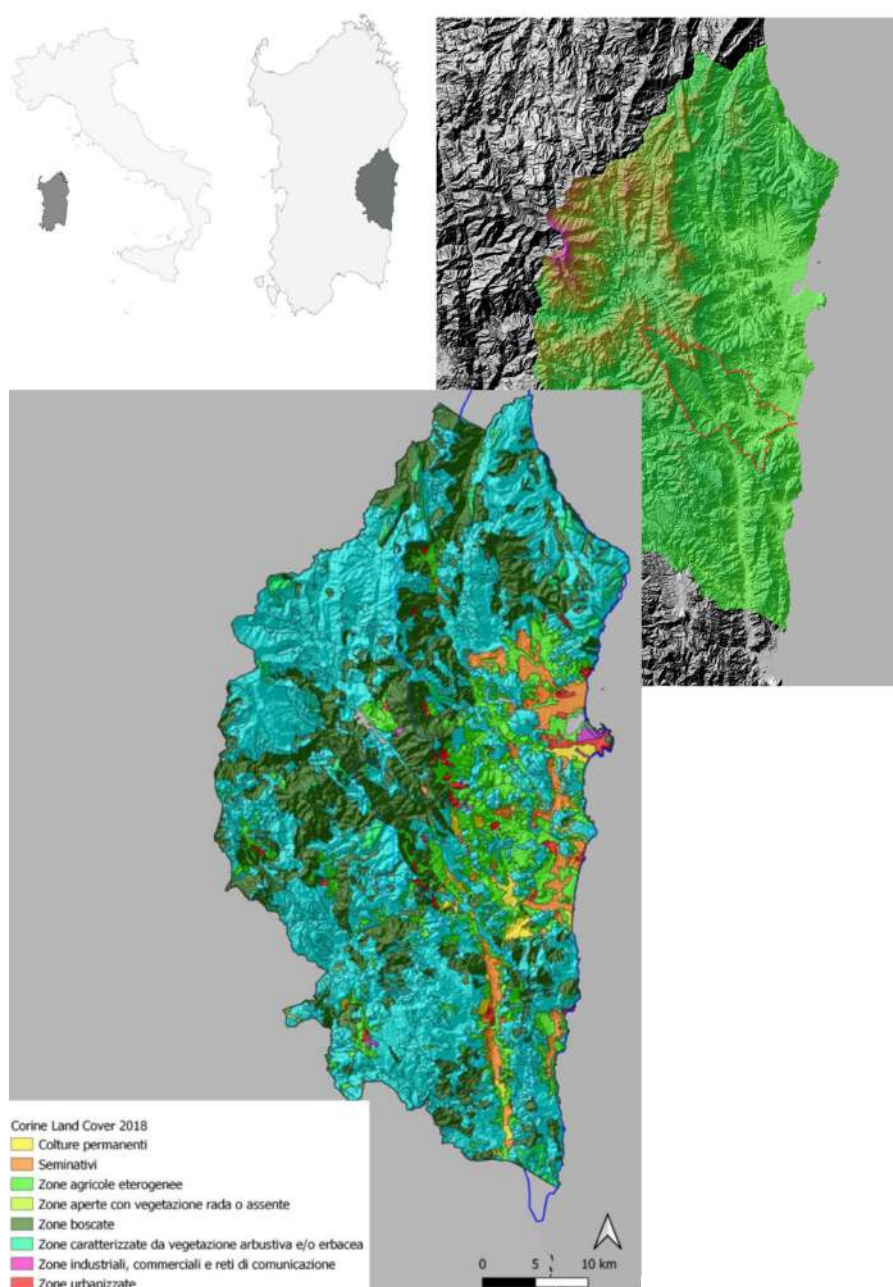


Figura 2: Analisi morfologico territoriale con indicazione delle classi di Uso del Suolo all'interno della procedura VASA svolta sulla regione storica dell'Ogliastra in Sardegna. Immagine da Ganciu et al., 2021.

Nazionale dei Paesaggi Rurali gestito dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (fig. 1, 2). Tuttavia, la componente rurale è stata spesso lasciata ai margini del dibattito, anche se copre la quasi totalità del territorio nazionale e per via di una serie di dinamiche e processi trasformativi anche la parte più sensibile e vulnerabile (Tassinari et al., 2013; Agnoletti, 2014).

Gli attuali problemi del paesaggio rurale si spiegano con l'allentamento del rapporto armonico tra comunità-territorio-economia e pratiche culturali che formavano il paesaggio storico, dovuto sia ad una serie di fenomeni (contaminazione, separazione tra luoghi, persone e produttori, ecc.) che rendono più difficile riconoscere le connessioni e il radicamento delle comunità territoriali e la loro relazione bidirezionale con le terre e i paesaggi, e contemporaneamente l'esplosione della città oltre i confini tradizionali, le difficoltà del settore primario,

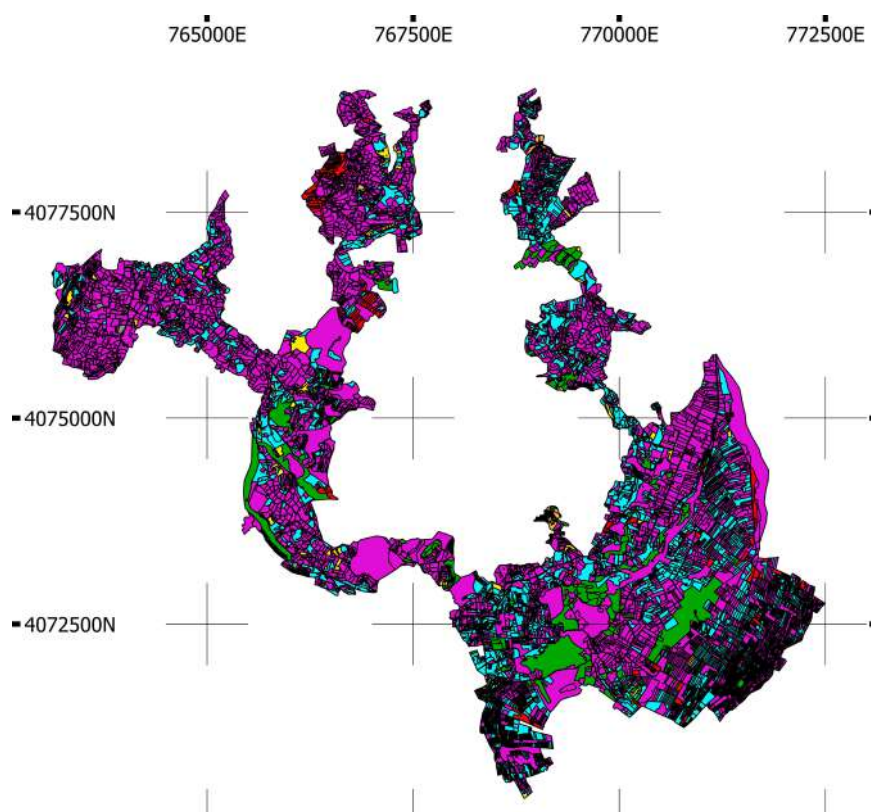


Figura 3: Carta delle Dinamiche di Trasformazione del Paesaggio per la candidatura al Registro Nazionale dei Paesaggi Rurali Storici dei terrazzamenti sull'Isola di Pantelleria. Immagine dell'Autore all'interno del Dossier di candidatura <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17752>.

lo spopolamento delle aree rurali e l'emergere di modelli intensivi associati ad alti livelli di meccanizzazione della produzione, che mettono in discussione la sopravvivenza del paesaggio rurale (Palang et al., 2005) (fig. 3).

Tralasciando le diverse definizioni di paesaggio rurale che si possono dare (Claval, 2005; Balestrieri, 2015), è emersa su più fronti la necessità di capire, a livello locale, come sta cambiando il paesaggio rurale e quali legami esistono tra i cambiamenti e le politiche adottate, con il fine di prendere coscienza dei cambiamenti in atto, capire le tendenze che sono in corso e gestirle meglio o, se necessario, contrastarle in futuro. Anche se vari studi hanno affrontato il tema di ricerca da diversi punti di vista, il lato economico del paesaggio rurale non è stato approfondito sufficientemente (Ustaoglu et al., 2016). La determinazione del valore dei terreni agricoli è, di per sé, un campo di analisi piuttosto complesso che è stato studiato a lungo da vari autori, ed è ancora oggetto di indagine e analisi (Plantinga et al., 2002). Il paesaggio rurale italiano in particolare ha subito drastiche alterazioni come risultato di dinamiche di trasformazione complesse e spesso contraddittorie, e la mappatura di queste trasformazioni assume quindi un ruolo strategico in particolar modo per regioni caratterizzate da un elevato indice di ruralità come la Sardegna (Balestrieri, 2014; Zoppi & Lai, 2010). In questa direzione la ricerca svolta da Balestrieri e Ganciu (2018), valuta le trasformazioni nelle aree rurali della Sardegna attraverso il confronto tra le mappe di uso del suolo in differenti periodi consentendo di identificare le caratteristiche dominanti del paesaggio rurale della regione e le trasformazioni che l'assetto paesaggistico ha subito nel corso del tempo. L'analisi geografica è stata declinata su tre scale geografiche: regione, province e "regioni agrarie", associando il parametro economico del Valore Agricolo Medio (VAM) come entità di stima monetaria/superficiale delle trasformazioni che hanno caratterizzato il territorio regionale; in altri termini il bilancio economico globale delle trasformazioni del paesaggio è stato calcolato a partire dal valore attribuito ai tipi di uso del suolo sulla base delle indennità (indennità di espropriazione) fornite dalle autorità locali (Commissioni provinciali) (fig. 4).

Sotto un profilo metodologico l'analisi geografica si è basata sui dati presenti sul *CORINE (COOrdination of INformation on the Environment) Land Cover (CLC)* creato dopo l'adozione della decisione 85/338/CEE del Consiglio della Comunità Europea in formato vettoriale relativi al 2000, 2006 e 2012, confrontati tra loro utilizzando il *software open source QGIS*. I risultati ottenuti confermano parzialmente la tendenza generale nazionale ed europea di perdita di terreni agricoli quando vengono convertiti a nuove forme di sfruttamento, con l'espansione progressiva delle aree artificiali, la conversione dell'agricoltura verso forme di produzione intensiva ad alto reddito in. La tendenza regionale è confermata anche a livello provinciale, con poche differenze tra le quattro province storiche, ma l'analisi condotta a diverse scale geografiche ha, in alcuni casi, rivelato dati contrari alla tendenza generale, soprattutto per alcuni prodotti agricoli dimostrando quindi la necessità di un'approfondita valutazione ex post degli effetti delle politiche rurali regionali e comunitarie.

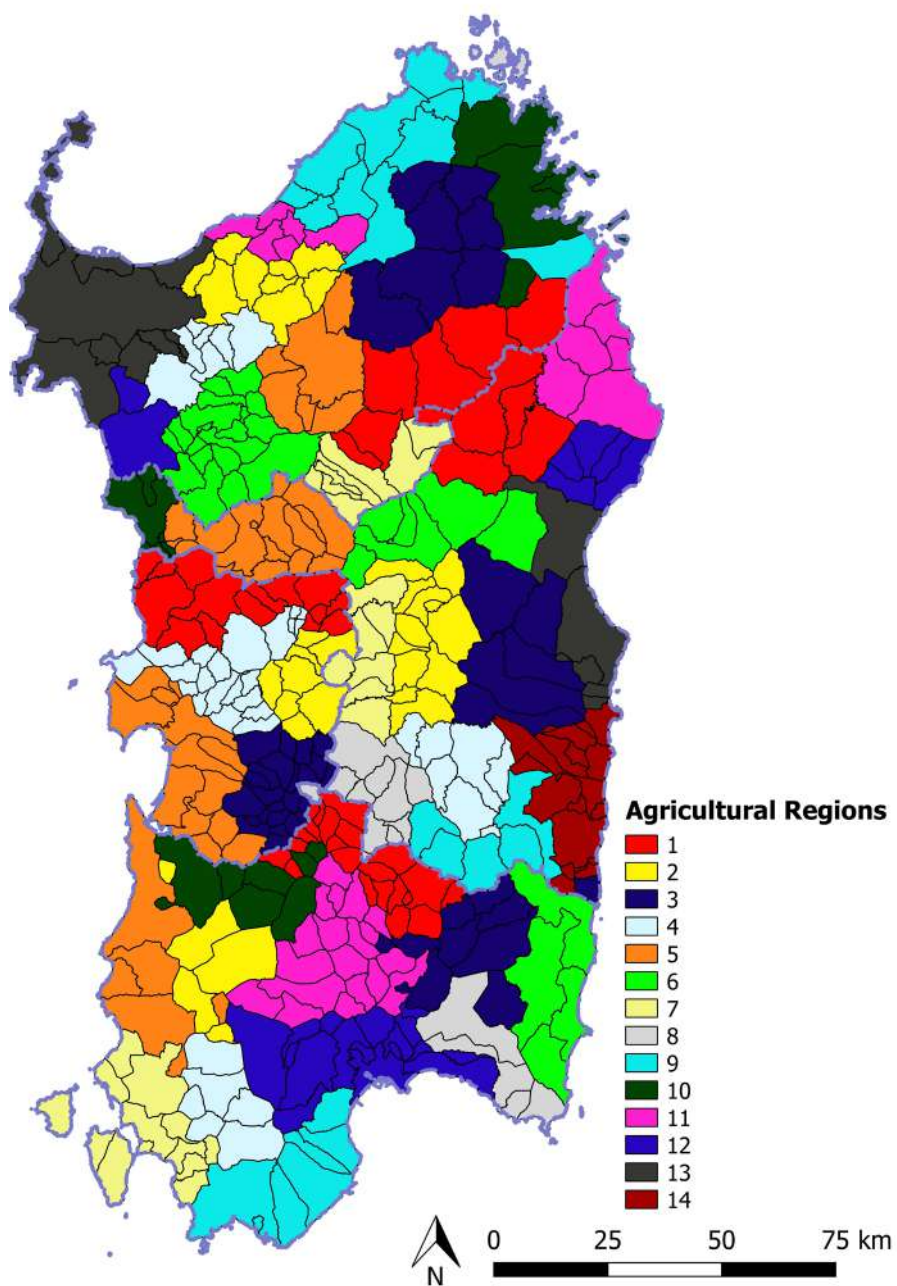


Figura 4: Carta delle regioni agricole in Sardegna. Immagine dell'Autore in Balestrieri & Ganciu, (2017).

Il Geoportale di Italferr

La progettazione di opere all'interno di modelli digitali informativi basati su metodologia BIM consente il risparmio di tempo e costi soprattutto durante la costruzione dell'opera ma anche durante la sua manutenzione. L'incremento nella capacità gestionale del progetto consente infatti la prevenzione di tutti i problemi che con metodologia tradizionale vengono normalmente risolti durante la realizzazione attraverso costose varianti di progetto. Le aziende come Italferr¹ conoscono l'importanza di contestualizzare territorialmente il progetto, sviluppando modelli digitali basati su tecnologie BIM e GIS e una loro integrazione attraverso un workflow sia tecnologico che di processo per poter gestire agevolmente in un unico ambiente sia i dati di progetto che i dati GIS e soprattutto di poterli correlare tra di loro. Nel settore delle infrastrutture lineari caratterizzate dalla necessità di definire gli elementi progettuali dalla scala territoriale fino agli elementi di dettaglio puntuale lungo il tracciato, l'integrazione tra BIM e GIS permette di avere il dettaglio necessario e dove è necessario. In questo ambito quindi mettere insieme i dati del modello con i dati GIS del contesto ambientale, permette di usufruire di tutti i vantaggi della metodologia BIM finora utilizzati solo per opere puntuali.

La soluzione adottata da Italferr, nata da una stretta collaborazione con Autodesk e ESRI consiste in un flusso di lavoro che si stabilisce tra le rispettive piattaforme ESRI GIS e il modello BIM progettato con i software Autodesk utilizzato nell'intera gestione del ciclo di vita dell'infrastruttura a partire dalla fattibilità e dal progetto preliminare, fino alla consegna dell'opera e alla sua manutenzione. Il progetto condotto da un gruppo multidisciplinare con professionisti provenienti dalle 3 aziende è iniziato a settembre 2017, per sviluppare soluzioni innovative basate sull'integrazione continua delle piattaforme ArcGIS e Autodesk. Attraverso il Geoportale di Italferr è possibile condividere l'intero set informativo come mapper del rischio idrogeologico, vincoli ambientali e dati provenienti dai progetti. Utilizzando inizialmente ArcGIS Pro si inseriscono gli strati informativi relativi all'ultimo censimento Istat, individuando le aree non coperte da trasporto pubblico, i punti di interesse e le aree con più richiesta ipotetica e sulle risultanze di queste indagini preliminari è possibile individuare le potenziali future stazioni. Utilizzando gli strumenti di *ArcGIS Network Analyst* si evidenziano le aree servite intorno alle fermate/stazioni ipotizzate e si esegue con lo *Spatial Analysis tool* una intersezione tra i "census block" e i poligoni delle aree servite, per una conferma o una variante della scelta effettuata. I risultati sono esportati in formato shape insieme agli strati contenenti le curve di livello verso Autodesk Civil 3D, per la progettazione della prima bozza del tracciato e la modellazione del solido ferroviario. Il Facility Management dell'opera trae un enorme vantaggio dal fatto di integrare i dati GIS con il modello informativo dell'opera. I dati sono tutti salvati su cloud ESRI e Autodesk. Come Common Data Environment (Del Giudice, & Iacono, 2021) viene utilizzato *BIM 360* e su

ArcGIS online vengono pubblicati i dati di progetto necessari per una manutenzione dell'opera. Tramite ArcGIS online è possibile condividere i dati con gli addetti alla manutenzione utilizzando le app ArcGIS Navigator e Augeo (figg. 5, 6).

Il Sistema Ferroviario Metropolitano Regionale del Veneto

Il progetto Sistema Ferroviario Metropolitano Regionale del Veneto (SFMR) è stato elaborato dalla società di progettazione ingegneristica NET Engineering, come un sistema integrato di trasporto pubblico concettualmente simile ad una



Figura 5: Immagine della modellazione del tratto ferroviario di circa 18 km ad alta velocità Apice-Hirpinia ($v > 200 \text{ km/h}$), nel quale il BIM è stato utilizzato per la progettazione dell'intero tracciato e non solo per opere puntuali. Immagine da <https://www.italferr.it/content/italferr.it/innovazione/bim/infrastrutture-ferroviarie-di-linea.html>.

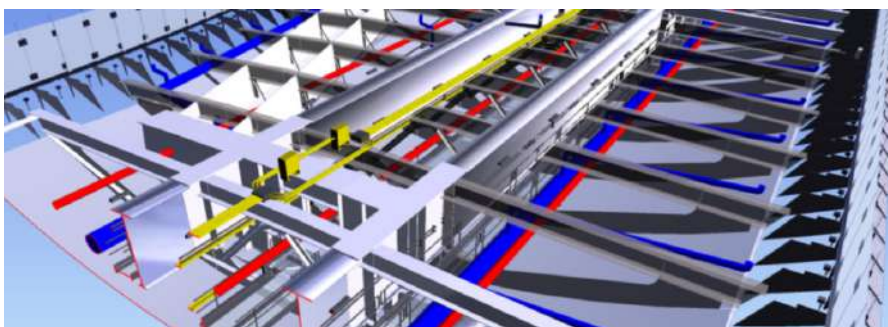


Figura 6: Particolare Tecnologico in ambiente BIM del Nuovo Viadotto sul Polcevera in corrispondenza dell'innesto Rampa basata sul progetto architettonico dello studio Renzo Piano. Immagine da <https://www.italferr.it/content/italferr.it/innovazione/bim/il-bim-per-il-nuovo-viadotto-sul-polcevera.html>.

metropolitana urbana. Attraverso lo sviluppo del sistema ferroviario metropolitano si vuole favorire lo spostamento su ferro di importanti quote di traffico dal mezzo individuale e pubblico su gomma comportando importanti benefici per il territorio, i suoi abitanti e le attività economiche, come la riduzione dell'inquinamento, la diminuzione della congestione e dell'incidentalità sulla rete stradale ed un'ottimizzazione della mobilità a livello regionale.

NET Engineering ha utilizzato un "approccio metodologico di sistema", ossia un processo logico che ha origine dall'individuazione dei fabbisogni di mobilità di persone e merci che vengono generati dal territorio con lo scopo di determinare le sole infrastrutture necessarie e sufficienti per il soddisfacimento delle esigenze di mobilità manifestate. Si tratta di interventi lungo le linee ferroviarie (nuove tratte, raddoppio dei binari di alcune tratte esistenti, potenziamento degli apparati tecnologici per altre tratte) e di interventi puntuali distribuiti nel territorio regionale (eliminazione di PL con sottopassi o cavalcavia ferroviaria, creazioni di nuove stazioni ferroviarie, ristrutturazione di stazioni esistenti). È un insieme geograficamente ampio di opere, ma ognuna fisicamente separata dalle altre e con un proprio iter tecnico, amministrativo e realizzativo. Per questo progetto si è adottato un approccio integrato BIM-GIS. Inizialmente si è proceduto secondo le classiche regole della "buona pratica progettuale", raccogliendo tutte le informazioni sullo stato di fatto dei luoghi interessati dall'opera attraverso rilievi topografici, l'analisi degli strumenti di pianificazione urbanistica, uso del suolo, idrografia, planimetrie, visure catastali e altro ancora. Alcune informazioni sono messe a disposizione nei siti ufficiali degli enti territoriali, prima tra tutti la Regione Veneto, altre derivano da attività ad hoc poste in atto dalla stessa NET Engineering. Successivamente, si sono raccolte e organizzate tutte le informazioni all'interno di un unico contenitore BIM-GIS tanto in termini di grafica quanto in termini di database collegati all'interfaccia grafica. Ogni categoria di informazione diviene così uno strato informativo sovrapponibile agli altri per analizzare le interdipendenze ed i condizionamenti reciproci rispetto all'obiettivo generale. Sono stati utilizzati gli strumenti GIS ArcGIS PRO e ArcGIS Online, con l'intento di rendere le informazioni consultabili ai vari stakeholder di progetto. Per ogni layer è possibile accedere, oltre alle informazioni, anche alla visualizzazione degli elaborati di progetto. Nella piattaforma GIS sono inoltre rappresentati l'infrastruttura ferroviaria e gli elementi di progetto 3D derivanti dalla modellazione con software Autodesk. Tutti i progetti sono georeferenziati e sono visibili anche le principali alternative progettuali esaminate. Il progetto dell'opera diventa così esso stesso uno strato (o più strati) di elementi sovrapposti ai dati di partenza.

1.2. Rappresentare la dimensione reticolare del territorio

In parallelo allo sviluppo degli ambienti GIS, BIM e di una loro progressiva integrazione verso piattaforme integrali per la gestione del territorio e del progetto, la modellazione tramite il paradigma reticolare sta acquisendo una crescente

attenzione da parte della comunità scientifica e dei professionisti. La teoria delle reti, inizialmente diffusa e utilizzata nel settore delle scienze sociali attraverso la *Social Network Analysis*, sta trovando diverse applicazioni anche nelle scienze fisiche (Borgatti et al., 2008), obbligando una tempestiva ma necessaria rivalutazione del suo potenziale anche nella pianificazione territoriale (Dempwolf & Lyles, 2012). All'interno della stessa disciplina urbanistica, esiste da diverso tempo un acceso dibattito per comprendere se la teoria delle reti rappresenti un nuovo paradigma per il settore, idoneo per comprendere come si relazionano all'interno del sistema territoriale spazio, tempo e processi di governance (Albrechts & Mandelbaum, 2005), e capace di superare i problemi generati dal tradizionale processo di pianificazione "razionale", dall'alto verso il basso, guidato da esperti e spesso non rappresentativo (Dempwolf & Lyles, 2012). Tuttavia, anche se la ricerca ha iniziato ad occuparsi dell'applicazione del paradigma reticolare da molteplici angolazioni e diversi scopi, per quello che riguarda le scienze sociali, la conoscenza empirica di come gli attori interagiscono nei processi di pianificazione attraverso le proprie reti sociali e di come queste strutture consentano di inibire o promuovere l'azione individuale è poco sviluppata. Newman (2003) identifica quattro categorie di reti: reti sociali, come le forme di contatto o interazione tra gli individui o le reti di citazioni accademiche; reti di informazione, come i collegamenti nel World Wide Web; reti tecnologiche, come i sistemi idrici, di trasporto e di energia; e reti biologiche, come le reti alimentari con predatori e prede. In tutti e quattro i casi, gli algoritmi che consentono le analisi delle reti possono essere fatti risalire allo sviluppo della teoria dei grafi da parte di Eulero nel 1736, che per primo pose le basi della disciplina indicata come Teoria dei Grafi (fig. 7).

Questa particolare branca della matematica, associata alla crescita esponenziale della capacità di calcolo dei computer, offre strumenti di analisi e gestione

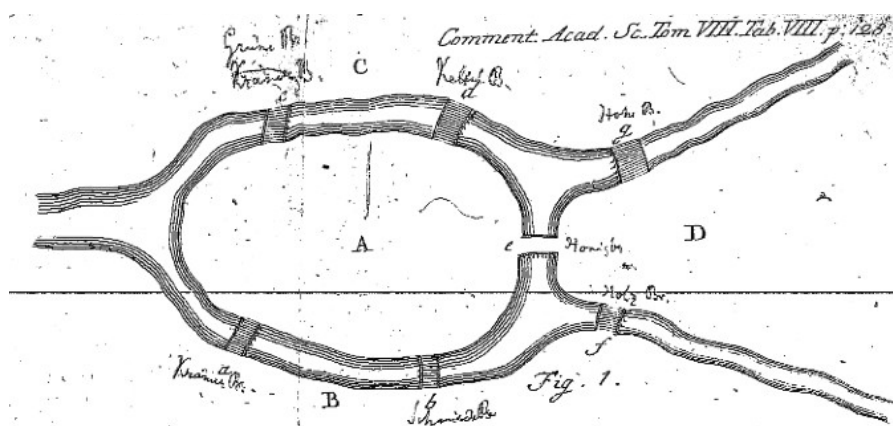


Figura 7: Mappa della cittadina di Königsberg realizzata da Eulero per la risoluzione del problema.

delle informazioni assenti in altre metodologie. Gli algoritmi basati sulla teoria dei grafi, sono stati applicati in numerosi campi di ricerca relativi all'analisi di sistemi dinamici complessi² (Newman & Girvan, 2004; Boccaletti et al., 2006), come le interazioni nei sistemi economici e sociali (Robins, 2013; Ganciu et al., 2016) nell'analisi delle infrastrutture di trasporto e della mobilità dei pendolari (Porta et al., 2006; Xie & Levinson 2011; Derrible & Keendy, 2011), nella pianificazione urbana e territoriale e l'analisi dei sistemi ecologici (Cook, 2002; Estrada & Bodin, 2008; Urban, 2009, Green, 2007). In particolare, la loro efficacia nell'analisi dei flussi pendolari (Ganciu et al., 2018; Lo & Tung, 2003; Patuelli et al., 2007; Salas-Olmedo & Nogués, 2012) ha permesso di valutare e dimostrare i cambiamenti nelle nuove geografie urbane, oltre a fornire risultati più leggibili su queste dinamiche (Balestrieri & Ganciu, 2019). Nel linguaggio matematico un grafo G è una tripla costituita da un insieme non vuoto di vertici $V(G)$ (chiamati anche nodi), un insieme di archi $E(G)$ disgiunti dall'insieme $V(G)$ e una relazione di incidenza ψ , che associa ogni arco in una coppia di vertici, detti estremi dell'arco. Nel merito della disciplina matematica e delle sue applicazioni, con gli algoritmi attuali è possibile calcolare l'influenza reciproca tra i diversi nodi della rete considerando centinaia di migliaia di relazioni ognuna con peso e direzione diversi (Mathis, 2013). Un grafo può essere rappresentato in tre modi diversi: attraverso la sua formalizzazione matematica; attraverso la sua rappresentazione grafica; attraverso la sua rappresentazione in forma di matrice, cioè attraverso la sua matrice di adiacenza $A(G)$ e la sua matrice di incidenza $M(G)$ che sono strutture binarie che rappresentano rispettivamente l'assenza o la presenza di un arco tra i vertici $v(G)$ nel primo caso, e l'incidenza degli archi $e(G)$ sui vertici $v(G)$ nel secondo caso (fig. 8). Inoltre, un grafo può essere definito in termini geografici se i nodi sono georeferenziati, altrimenti come nello studio delle reti cibernetiche la metrica euclidea perde di significato. Un grafo si definisce orientato se ci sono obblighi o regole che determinano la direzione o percorribilità di un arco (come nella strada a senso unico) oppure bidirezionale o non orientato in caso contrario. In ultimo, un grafo può essere pesato se è possibile assegnare un'importanza diversa agli archi (Caldarelli, 2007), come espressione di costi di attraversamento, oppure intensità delle relazioni tra i nodi etc.

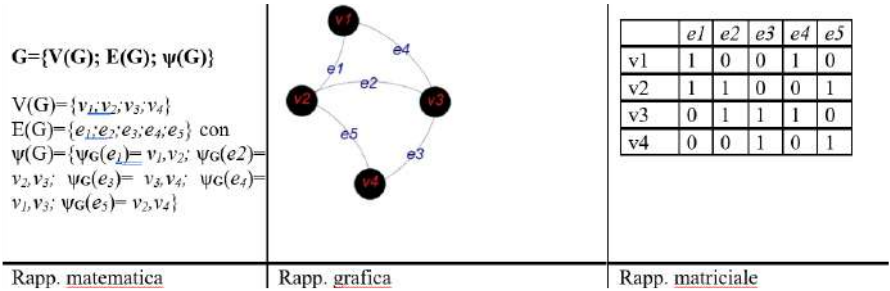


Figura 8: Esempio delle tre rappresentazioni dello stesso grafo. Immagine dell'Autore.

numerosi esempi applicativi fornendo gli strumenti per una migliore comprensione del fenomeno (Balestrieri & Ganciu, 2019) (figg. 9, 10).

I sistemi automatizzati di supporto alla conoscenza per lo studio delle reti bibliografiche sono stati sviluppati da Eugene Garfield (Garfield et al., 1964) per ricostruire e analizzare il progresso e l'evoluzione della ricerca nella genetica umana dopo la scoperta del DNA (Batagelj, 2003; Börner et al., 2003). Da allora, le tecniche di analisi e mappatura delle reti scientifiche si sono evolute considerevolmente e sono state applicate in molte aree di ricerca come lo sviluppo delle *R&D Network*, ossia delle *Research & Development Network* (Jin et al., 2011). Le reti bibliografiche, rappresentano un valido esempio di rete non spazializzata, ossia, quella particolare tipologia in cui la posizione geografica di nodi e archi perde di significato a discapito dell'importanza che i nodi assumono in funzione delle relazioni che questi stabiliscono tra loro, in altre parole del numero di citazioni che ricevono. Infatti, il numero di citazioni che riceve un articolo o documento da altri articoli o documenti, è il fattore che determina la sua permanenza o la sua transitorietà nella finestra di visibilità di una rete citazionale. In effetti, fin dai lavori pionieristici degli anni '70 (Garfield et al., 1964; Batagelj, 2003; Börner et al., 2003; Luigini, 2021b), all'interno del cyberspazio scientifico è stato possibile identificare strutture di citazioni ricorrenti basate su lavori con un alto numero di citazioni, circondate da altri lavori, invece, che tendono ad essere marginali e ad avere una natura transitoria nel panorama scientifico (Price, 1965).

In questa direzione, la ricerca svolta da Ganciu et al. (2016) analizza la rete bibliografica riguardante il tema della percezione del paesaggio, mappando una struttura reticolare composta da 19658 articoli (i nodi) e 29470 citazioni tra questi (gli archi). I dati sulle pubblicazioni sono stati prelevati dal database Web of Science gestito dalla Clarivate Analytics³, nello specifico si sono ricercati gli ISI.file di ciascun articolo, questi sono una sorta di scheda metadati contenente tutte le informazioni principali del documento come gli autori, le *keywords* della ricerca, la rivista o libro su cui è stato pubblicato, e aspetto fondamentale i documenti che cita tra le sue voci di references. La certa identificazione di ciascun documento all'interno della rete è garantita dalla presenza del codice DOI⁴ (*Digital Object Identifiers*) univoco per ciascun ISI.file. Per la costruzione della rete si sono selezionati inizialmente una rosa molto ristretta di lavori, 14 pubblicazioni scelte da un gruppo di esperti della tematica di ricerca perché considerate come particolarmente importanti; successivamente, per ciascuna di queste si sono cercati i rispettivi ISI.file per poi passare alle voci di references citate da ciascuno dei 14 lavori e eseguire per ognuno di questi la medesima ricerca della scheda metadati, per proseguire ed estendere l'estensione delle rete eseguendo lo stesso lavoro di analisi e cernita fino agli articoli, citati dagli articoli che sono citati dalle 14 pubblicazioni iniziali.

La base dati composta da tutti gli ISI.file è stata pre-processata all'interno della piattaforma *Sci2Tool*⁵, realizzata dalla *Cyberinfrastructure for the Network*

Science Center - Indiana University (USA) che permette di creare diversi tipi di reti, differenti per contenuto informativo, come le reti di citazioni tra articoli, tra gli autori e la rete delle *keywords*, oppure incrociando queste categorie permette di costruire per esempio la rete delle parole chiave più utilizzate da un autore o più utilizzate su un genere di rivista. Nello specifico della ricerca di Ganciu et al. (2016) sono stati estratti dai rispettivi ISI.file i dati sulle voci di references indicate da ciascuna pubblicazione e le *keywords* presenti su ognuna, ottenendo quindi le corrispondenti reti di citazioni tra articoli e le reti delle *keywords* contenute negli articoli. Successivamente, nell'ultima fase della ricerca si sono sviluppate le analisi quantitative e applicati differenti algoritmi per la visualizzazione delle reti; queste procedure sono state implementate attraverso il software *opensource Gephi*⁶ che ha permesso in entrambe le reti di calcolare il grado di ogni nodo, ossia la somma del numero di archi che convergono su ciascun nodo della rete (Foulds, 2012), e successivamente eseguire l'analisi per individuare le *Community* all'interno della sola rete di citazioni tra articoli attraverso l'applicazione dell'algoritmo di Louvain (Blondel et al., 2008). Quest'ultima analisi permette di determinare la presenza dei *cluster* all'interno di una rete, questi sono caratterizzati per avere al loro interno la densità di citazioni tra gli articoli maggiore che altrove, in altre parole la rete viene scomposta in diverse *Community* dove è massima la densità di citazioni tra articoli all'interno di ciascun cluster e contemporaneamente minima tra articoli appartenenti a *Community* differenti (De Meo et al., 2011) (fig. 11).

L'analisi ha permesso di raggiungere diversi risultati confermando alcune ipotesi iniziali; innanzitutto ha permesso di determinare quali sono gli articoli che più influenzano il panorama scientifico, consentendo però di individuare l'emergere di nuovi documenti ancora più rilevanti di quelli scelti nelle fasi iniziali, cioè i 14 articoli, poi si conferma comunque come ottimale la scelta iniziale degli articoli basata sul parere di esperti del settore, infatti i risultati indicano

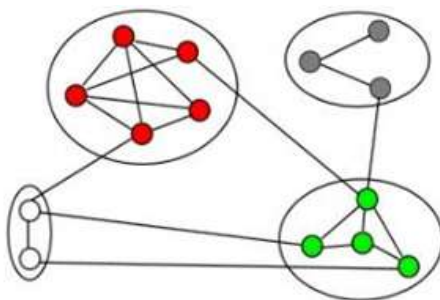


Figura 11: Esempio della scomposizione di una rete in tre *Community* sulla base della densità di connessioni tra i nodi. Immagine del Caldarelli G., 2007.

come 4 di questi sono tra i primi 10 più citati in una rete di quasi 20.000 pubblicazioni. La successiva *Community Detection* ha permesso di clusterizzare la rete in gruppi di articoli che tendono a citarsi tra loro più frequentemente e consentendo di avere prime e sommarie indicazioni sui principali temi di ricerca all'interno dell'ambito riguardante la percezione paesaggistica (fig. 12). Nello specifico l'analisi ha individuato 14 comunità composte da un numero diverso di articoli, e successivamente ad un approfondimento nel merito di ciascun cluster attraverso un esame degli articoli principali all'interno di ciascun gruppo si sono individuati i temi di ricerca più significativi, come le preferenze visive individuali e collettive, l'estetica e la valutazione visiva. Questi risultati sono stati confermati dall'analisi sul grafo delle parole chiave complessivamente, composto da 1614 nodi e 5362 archi, dove la dimensione di un nodo è proporzionale alla

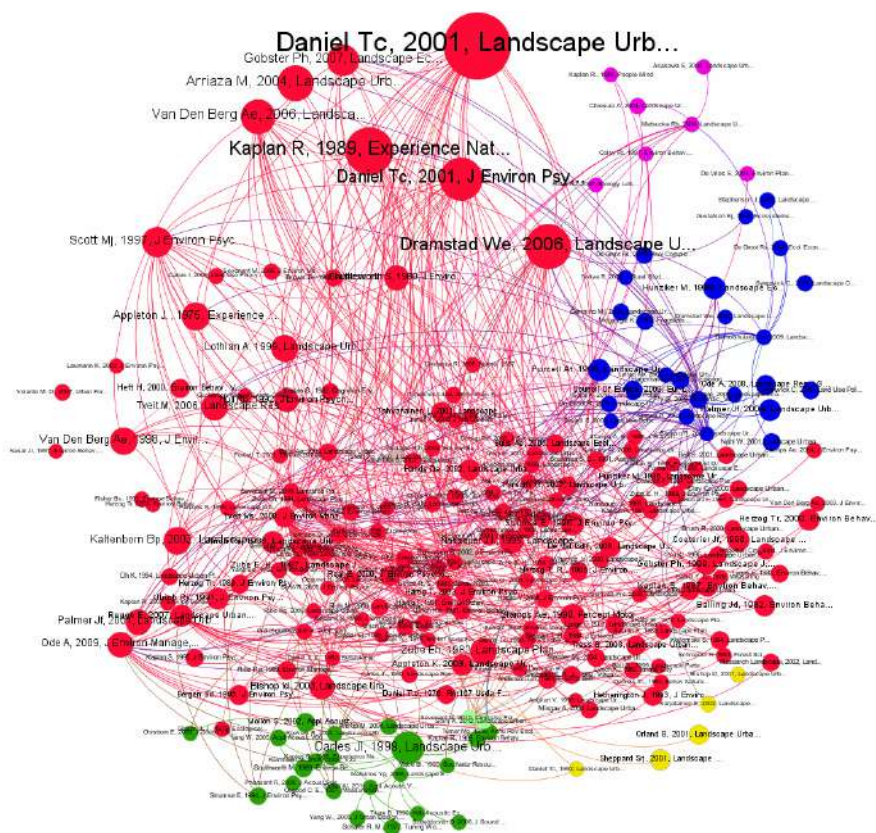


Figura 12: Rete di articoli con almeno 10 citazioni nelle principali 5 Community distinte da colori. La dimensione dei nodi è proporzionale al numero di citazioni. Immagine dell'Autore da Ganciu et al., 2016.

la visualizzazione di reti con un massimo di 1'000'000 di nodi, però il ForceAtlas2 permette scegliere se usare il peso degli archi per ottenere una migliore visualizzazione delle reti, cosa che invece non computa lo Yifan Hu Multilevel layout. Infine, tra gli algoritmi che enfatizzano il ranking si è scelto di utilizzare il Radial Axis Layout, nativo all'interno di Gephi e sviluppato da Matt Groening, consente di creare ordinamenti per elementi caratterizzati da proprietà omofile come l'appartenenza alla stessa *community* o altra caratteristica, anche lui è capace di gestire reti con complessità fino ad 1'000'000 di nodi (fig. 14).

1.2.2. La rappresentazione delle reti urbane

La teoria delle reti, inizialmente diffusa e utilizzata nel settore delle scienze sociali attraverso la *Social Network Analysis* (Borgatti et al., 2008), sta trovando diverse applicazioni anche nelle scienze fisiche, e per lo studio e rappresentazione delle reti tecnologiche (Newman, 2003), come per l'analisi della vulnerabilità delle reti di trasmissione dell'energia (Bompard et al., 2009), nell'analisi

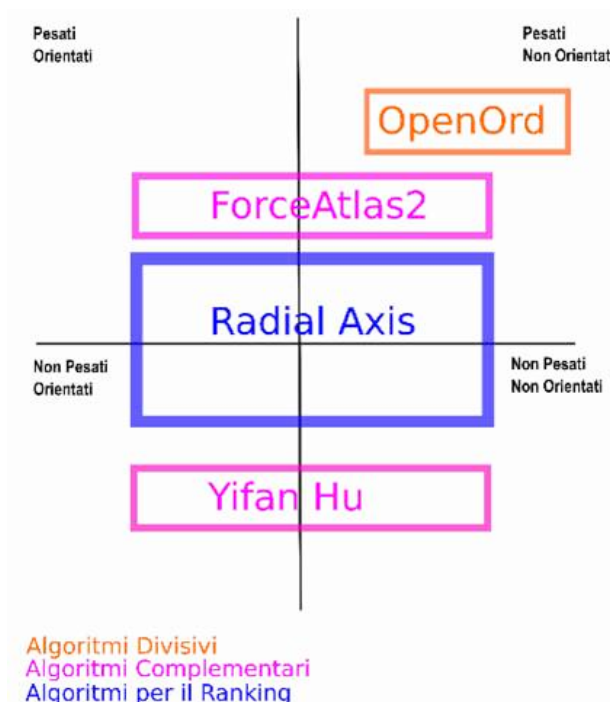


Figura 14: Algoritmi di layout in funzione delle loro capacità operative. Elaborazione dell'Autore.

dei sistemi idrologici per mitigare il rischio di alluvione nelle aree costiere densamente urbanizzate (Ogie et al., 2017), in generale per studiare e visualizzare la forma e il funzionamento delle grandi aree metropolitane mondiali (Liu et al., 2020). In particolare, il paradigma reticolare sta trovando applicazione nelle ricerche sui flussi di pendolari nelle mega-metropoli come base per la rappresentazione delle nuove geografie economiche, politiche e sociali a scala regionale e continentale (Ehlers & Krafft, 2001; Goudie, 2013; Bourdeau-Lepage & Huriot, 2006), motivato dalle recenti ricerche che indicano tassi di urbanizzazione crescenti causati da uno spostamento massivo della popolazione dalle aree rurali ed emarginate verso le città (UNHSP, 2017). Se infatti, nel 1800 solo il 2% della popolazione mondiale viveva in aree urbane, questa percentuale è salita al 14% nel 1900, al 29% nel 1950, al 47% nel 2000 e oltre il 50% nel 2008 (Wu et al., 2014), stimando che questa quota possa raggiungere il 70% entro il 2050 e il 100% entro fine secolo (Batty, 2011). Il pendolarismo è un fenomeno molto complesso che caratterizza la vita urbana (Sohn, 2005), la cui motivazioni di base, cioè le ragioni di base per cui una persona si sposta, non si possono ricondurre esclusivamente ad una generalizzata maggiore qualità della vita, in termini di migliori opportunità di lavoro e possibilità di percepire redditi più alti, oppure la migliore qualità di servizi come salute e istruzione, perché sul rovescio della medaglia il “potere delle città” si manifesta sempre più spesso con profonde e croniche crisi ambientali, sociali e culturali che investono territori e fasce di popolazione sempre più ampie (UNHSP, 2017; Ravetz, 2013). Per gestire questi flussi e controllare gli effetti negativi che ne derivano, come il congestionamento e la crescente entropia dei sistemi urbani, è necessario acquisire una migliore comprensione delle dinamiche che caratterizzano il processo di urbanizzazione, cioè una migliore interpretazione delle strutture urbane e di come le persone interagiscono con loro e tra loro (Batty, 2005; Horner, 2004; Münter & Volgmann, 2014), in questa direzione, il disegno dei flussi può fornire tutti gli elementi per agevolare la loro comprensione per una efficace e più corretta gestione delle energie di un territorio.

Nella comunità scientifica resta ancora aperta la questione di come valutare le nuove dinamiche insediative, diversi autori hanno studiato l'aspetto morfologico della policentricità, fondamentalmente indirizzati sulla dimensione dei centri urbani nel territorio attraverso l'utilizzo di modelli gravitazionali (De Goei et al., 2010; Van Oort et al., 2010), mentre altri hanno preso in considerazione le relazioni funzionali tra i centri (Burger & Meijers, 2012; Taubenböck et al., 2017). Diversi indici sono stati proposti per misurare la centralità e identificare i sub-centri e ovviamente metodi diversi hanno fornito risultati diversi (Veneri, 2013; Roca Cladera et al., 2009; Krehl, 2016; Limtanakool et al., 2007). Le reti della mobilità si differenziano dalle reti sociali per l'attribuzione dell'informazione geografica agli elementi che le compongono attraverso coordinate georiferite, associate ai nodi delle reti. La crescente applicazione del paradigma reticolare si spiega anche nella progressiva crisi della città industriale tipicamente

basato su una struttura monocentrica e adesso sostituito da strutture sempre più complesse e maggiormente relazionate tra loro (Vasanen, 2012; Zong et al., 2015), dove è possibile identificare le centralità delle relazioni tra gli agglomerati urbani attraverso una loro schematizzazione in nodi e connessioni analizzabili con la teoria dei grafi (Veneri, 2010).

In questa direzione, la ricerca coordinata da Cancian nel 2018, valuta e visualizza l'intensità e la direzione dei flussi dei pendolari nelle principali aree metropolitane italiane con lo scopo di determinare e comprendere le polarizzazioni e i principali attrattori di risorse e persone all'interno delle aree studio. Lo studio si concentra sull'identificazione delle caratteristiche, la distribuzione e la direzione delle principali forze attrattive delle città, all'interno dei vasti sistemi regionali in cui si trovano; sull'identificazione delle principali differenze nelle dimensioni e nella struttura delle reti di pendolarismo tra le due aree metropolitane e tra i due sistemi regionali che le includono; e infine identificare le principali differenze nelle dimensioni e nella struttura delle reti di pendolarismo differenti per modalità di trasporto (privato, pubblico, mobilità non motorizzata) e tempi necessari allo spostamento. Nello specifico, lo studio basato sui dati del 15 censimento dei pendolari eseguito dal ISTAT, elabora varie reti di flusso differenti per modalità e tempi di spostamento nelle due principali aree metropolitane italiane, Roma e Milano, ottenendo informazioni sui processi dinamici che avvengono in questi due macro-sistemi urbani, sulle forze di attrazione che le città madri (come città dominanti in grado di influenzare il territorio circostante e di attrarre importanti flussi da esso) hanno sulle città figlie e sui territori da cui dipendono per l'approvvigionamento di risorse ed energia. Per la realizzazione della Matrice del Pendolarismo l'ISTAT ha intervistato 28.871.447 cittadini che fanno quotidianamente i pendolari tra la loro residenza e il luogo di studio o di lavoro; le loro risposte sono state elaborate ed aggregate per omogeneità di informazioni quali il Comune di Origine e Destinazione, il tipo di trasporto e il tempo necessario per raggiungere la destinazione, all'interno di un database composto da 4.876.242 record. Le informazioni della matrice sono state convertite in forma di grafo rappresentando ciascuna municipalità con un nodo e attraverso una connessione tra questi un flusso di pendolari tra Comuni, il numero di pendolari che si spostano tra due Comuni è associato all'arco come peso (figg. 15, 16).

I grafi elaborati nella ricerca si possono quindi definire come spazializzati, pesati e orientati, perché definiti geograficamente, le connessioni tra i nodi hanno importanza differente e proporzionale al numero di pendolari e infine non tutti i Comuni hanno flussi in entrata e in uscita, inoltre, anche in presenza di flussi bidirezionali, il numero di pendolari che viaggiano in ogni direzione potrebbe non essere uguale. Per ottenere i risultati auspicati sono state elaborate differenti analisi, quali il calcolo del grado pesato dei nodi identificato in letteratura come la somma di tutti i pesi di tutti gli archi connessi ad un nodo, il quale può poi essere disgiunto in grado in entrata e grado in uscita dove il

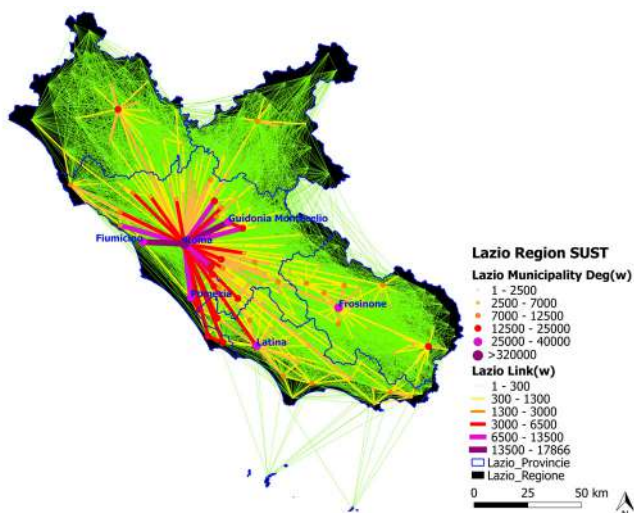


Figura 15: Network dei pendolari nella regione Lazio considerando tutte le tipologie di mezzi e tempi necessari allo spostamento. Ogni nodo rappresenta un Comune e la sua dimensione è proporzionale al numero di pendolari in entrata e in uscita ogni giorno; lo spesso degli archi è proporzionale al numero di pendolari che si spostano tra due comuni. Immagine dell'Autore da Ganciu et al., 2018.

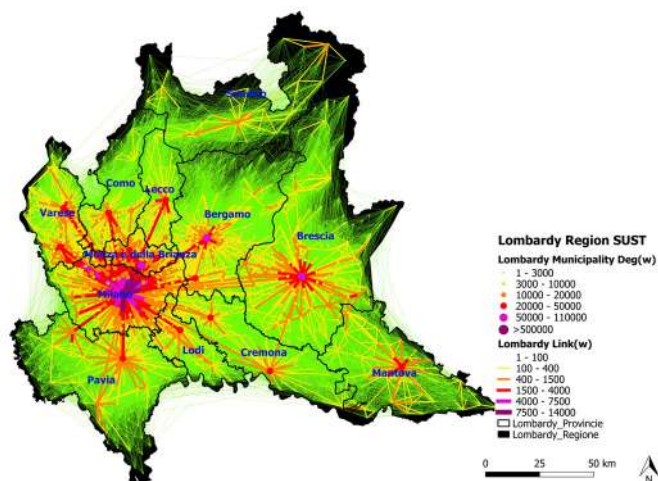


Figura 16: Network dei pendolari nella regione Lombardia considerando tutte le tipologie di mezzi e tempi necessari allo spostamento. Ogni nodo rappresenta un Comune e la sua dimensione è proporzionale al numero di pendolari in entrata e in uscita ogni giorno; lo spesso degli archi è proporzionale al numero di pendolari che si spostano tra due comuni. Immagine dell'Autore da Ganciu et al., 2018.

primo indica il numero di passeggeri che entrano nel Comune e il secondo il numero di passeggeri che partono da questi. Densità e Diametro sono due misure strutturali utilizzate per indentificare la morfologia della rete, la prima è una misura che ci permette di valutare la connettività interna della struttura e prende in considerazione il grado di centralizzazione, la molteplicità e la diffusione dei collegamenti all'interno della rete come rapporto tra il numero effettivo di archi presenti nella rete con il numero massimo di archi potenzialmente possibili nella stessa rete se ogni suo nodo fosse connesso a tutti gli altri nodi della rete; la seconda misura il percorso più breve (cammino minimo) tra i due nodi della rete più distanti tra loro, in altre parole il cammino minimo massimo di una rete. Infine, per l'analisi svolta a scala regionale, si è eseguita l'analisi delle *community* per identificare la forza di attrazione delle città madri sul territorio circostante. Per una più efficace determinazione delle sub-strutture reticolari il flusso di pendolari associato a ogni arco è stato ponderato considerando la distanza che separa i Comuni, cioè ipotizzando che a parità di flusso di pendolari la forza di attrazione tra due Comuni aumenti con la riduzione della distanza tra questi. L'analisi dimostra i due sistemi regionali mostrano differenze significative per quanto riguarda la dimensione del fenomeno inteso come numero di pendolari, e la complessità del fenomeno ossia numero di connessioni tra Comuni; in Lombardia rispetto al Lazio, si registra un totale di pendolari e connessioni rispettivamente 4 e 10 volte superiori. Il pendolarismo regionale in Lombardia è incentrato su diverse "città madri", come Brescia e Mantova oltre a Milano, caratterizzate da un alto grado di attrazione territoriale e sono in grado di limitare l'influenza territoriale della principale città madre di Milano; contrariamente, nella regione Lazio, c'è una polarizzazione dei flussi dei pendolari sulla città di Roma, che è il principale nucleo dominante, mentre altri centri urbani come Viterbo e Frosinone hanno flussi di pendolarismo molto ridotti senza capacità di bilanciare la forza d'attrazione di Roma. I risultati si confermano analizzando densità, diametro e soprattutto *Community*, con la rete lombarda più frammentata con la presenza di un numero quasi doppio di centri di gravitazione (*community*) rispetto alla regione Lazio. In altri termini, questo valore evidenzia la presenza di numerosi insediamenti urbani diffusi all'interno della Lombardia con un'alta capacità di polarizzare i flussi, portando alla frammentazione della rete regionale in 22 sub-strutture, mentre, nella regione Lazio il minor numero di sub-strutture e la minore qualità del clustering può essere spiegato da due fattori: la presenza della città madre di Roma, che è in grado di attrarre consistenti flussi anche dai comuni periferici della Regione, e l'assenza di altri grandi centri urbani che possano contrastare questa capacità (fig. 17, 18).

La ricerca conferma quanto già ottenuto anche da altri ricercatori che hanno studiato i due sistemi metropolitani ma con metodologie differenti in particolare Balducci et al., 2017; Pucci, 2017 e Veneri, 2013. Riassumendo, i risultati dell'analisi sembrano indicare per la Lombardia l'esistenza di una più

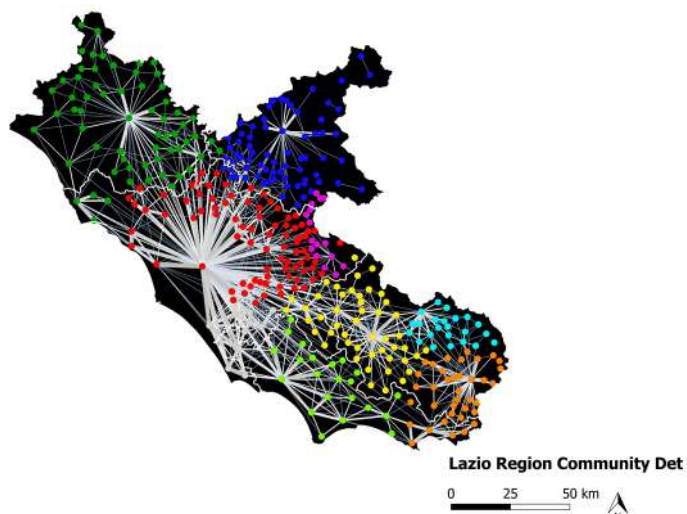


Figura 17: Risultato grafico della Community Detection nella regione Lazio attraverso l'algoritmo di Leuven. Immagine dell'Autore da Ganciu et al., 2018.

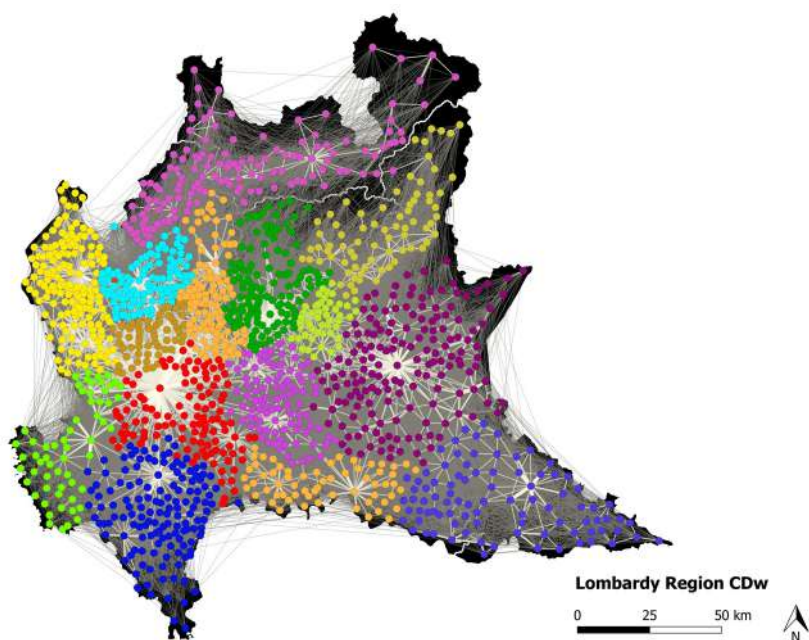


Figura 18: Risultato grafico della Community Detection nella regione Lombardia attraverso l'algoritmo di Leuven. Immagine dell'Autore da Ganciu et al., 2018.

ampia città regionale con un'organizzazione funzionale policentrica; mentre, la regione Lazio ha una struttura funzionale monocentrica grazie alla città di Roma, che sviluppa capacità attrattive molto più estese. Inoltre, i risultati ottenuti indicano che contrariamente a quanto sostengono diversi ricercatori la tipologia urbana monocentrica continua a persistere in diversi contesti rispetto ad una tendenza policentrica generalizzata (Hall & Pain, 2006), questo non è necessariamente buono o cattivo di per sé, infatti, se alcuni autori hanno evidenziato i vantaggi dei sistemi policentrici rispetto ai sistemi monocentrici (Susilo & Maat, 2007), non c'è un completo consenso (Næss, 2012).

2. Modelli digitali per la città e il territorio

2.1. *Digital twin e Smart Cities*

Durante il corso di Product Lifecycle Management tenutosi presso il Florida Institute of Technology nel 2001 svolto da Michael Grieves, fu usato per la prima volta il concetto di Digital Twin (Grieves & Vickers, 2017), inteso come gemello digitale ossia l'equivalente virtuale e digitale di un prodotto fisico (Moglia G., et al., 2019), basato su un Mirrored Spaces Model di tipo dinamico nel quale la dimensione reale e virtuale, rimangono collegate durante l'intero ciclo di vita del prodotto: creazione, produzione (fabbricazione), e smaltimento (Grieves, 2014). Concettualmente un digital twin contiene tutte le informazioni dell'oggetto fisico attraverso una sua rappresentazione delle sue componenti meccaniche, elettroniche, software, dati di prodotto, dati associati a sensori e attuatori (Semeraro et al., 2021; Boje et al., 2020), che permettono di sviluppare l'attività sperimentale, ragionando in modalità predittiva, evitando la realizzazione di un costoso prototipo fisico, anticipando comportamenti anomali, rischi ed errori (Graessler & Poehler, 2017), e risolvendo i problemi prima della loro insorgenza (Lee et al., 2013; Bohlin et al., 2017; Damiani et al., 2018).

I Digital Twin, configurandosi quindi come una significativa evoluzione rispetto ai modelli bidimensionali o alla realizzazione di costosi modelli fisici, permettono di riunire l'intero sistema in uno spazio virtuale per risolvere conflitti e criticità in modo più economico e rapido (Tao et al., 2018b; Semeraro et al., 2021), attraverso differenti tecnologie che operano simultaneamente su un unico database nel quale sono contenuti tutti i dati di progettazione e i dati in tempo reale dall'ambiente e molto altro, simulando il comportamento dei sistemi e i prodotti che si vogliono realizzare in un'ampia varietà di condizioni (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), consentendo di sviluppare nuove

opportunità, pianificare i business futuri, ottimizzare le operazioni attraverso una maggiore efficienza produttiva (Cimino et al., 2019). Gli elementi fondamentali per la realizzazione e funzionamento di un Digital Twin sono essenzialmente i prodotti fisici presenti nello spazio reale, i prodotti presenti nello spazio virtuale, i sistemi di collegamento dei flussi di dati e informazioni che uniscono lo spazio fisico a quello virtuale (Grieves, 2014); tuttavia, esistono alcune differenze nel modo di interpretare l'architettura elementare indicata in precedenza, per esempio, secondo Tao et al., (2018a) i Digital Twins si compongono da Entità Fisiche, Entità Virtuali, Servizi per le Entità sia Fisiche che Virtuali, i Dati e infine le connessioni tra tutti i precedenti elementi.

La sistematica ed estesa ricerca bibliografica in merito alla loro applicazione rivela numerosi settori di interesse, come salute, applicazioni marittime, produzione industriale, edilizia e pianificazione territoriale, attività aerospaziali (Semeraro et al., 2021). In ambito medico, i Digital Twins permettono lo sviluppo di ambienti di visualizzazione e progettazione dinamica delle realtà ospedaliere per creare ambienti sicuri ed efficienti e valutare preventivamente l'impatto di potenziali cambiamenti sulle prestazioni del sistema; oppure, la loro applicazione può riguardare la simulazione di una specifica procedura per determinare l'opzione terapeutica migliore per un paziente specifico, attraverso la registrazione dei dati di una persona, e la loro elaborazione all'interno di un ambiente artificiale gestito da forme di Intelligenza Artificiale (Bruynseels et al., 2018). Nel settore marittimo e delle spedizioni sono utilizzati come supporto per la progettazione, sviluppando e testando modelli analitici per simulare il comportamento e il corretto funzionamento di tutte le componenti strutturali e funzionali della nave (Arrichiello, V., Gualeni, P., 2019). Nelle attività di sviluppo industriale a qualsiasi livello e indirizzo di produzione si sono sviluppate differenti applicazioni che seguono e coordinano lo sviluppo del prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, dalla produzione alla gestione e il suo potenziale riuso o riciclo (Dasisti et al., 2017a; 2017b). Per esempio, Fameccanica, tra i principali produttori mondiali nell'industria delle macchine per la produzione di pannolini e assorbenti igienici, ha sviluppato un intero ambiente virtuale all'interno del proprio stabilimento per riprodurre in dimensioni reali e in 3D i propri macchinari, per migliorare lo sviluppo del prodotto, ma anche per formare i manutentori. L'azienda Oil & Gas Chevron, prevede di risparmiare entro il 2024 milioni di dollari in costi di manutenzione di piattaforme petrolifere e raffinerie. L'americana General Electric da alcuni anni ha esteso l'utilizzo dei digital twin ai sistemi eolici risolvendo così anche tutta la fase di manutenzione e controllo post-vendita; in altre parole, alla vendita di una turbina, si associa un suo gemello digitale che riceve informazioni dai sensori localizzati sul prodotto fisico e trasmettono quasi in tempo reale dati e informazioni alla turbina virtuale. I Digital Twins applicati alla pianificazione territoriale supportano le attività in diversi modi migliorando la qualità dell'ambiente urbano e di vita delle persone, attraverso simulazioni che studiano il movimento delle persone durante le evacuazioni d'emergenza,

supportando la progettazione di edifici e infrastrutture intelligenti, riducendo gli errori e massimizzano gli investimenti (Mohammadi & Taylor, 2017). Le aziende aerospaziali hanno iniziato a utilizzare i Digital Twins per raggiungere l'obiettivo di ridurre i tempi di inutilizzo degli aeromobili e dei sistemi per minimizzare i costi di esercizio; inoltre, i Digital Twin, nel settore aeronautico consentono di programmare differenti scenari di volo che considerino numerose variabili tra cui critiche condizioni meteorologiche, o altro tipo di emergenza (Tuegel et al., 2011). Il settore dell'Entertainment rappresenta un potenziale campo di sviluppo ugualmente promettente al pari degli esempi visti in precedenza; per esempio in Cina la società ObEN, durante lo Spring Gala Festival in onda sulla CCT (China Central Television), i quattro ospiti umani sono stati clonati nei loro avatar sfruttando l'Intelligenza Artificiale; oppure, l'apprendimento automatico con un'elaborazione del linguaggio naturale unitamente a tecniche di visione artificiale può consentire lo sviluppo di insegnanti virtuali il cui comportamento sociale è regolato da algoritmi di Intelligenza Artificiale. Nello sport i digital twin sono spesso utilizzati per perfezionare le automobili che gareggiano nei campionati più esclusivi come la Formula1, usare la simulazione può aiutare il guidatore e la squadra nel sapere quali regolazioni possono contribuire a migliorare le prestazioni prima della gara.

L'attuale evoluzione tecnologica dei Digital Twin sembra essere indirizzata verso una vera e propria replica digitale di risorse fisiche e potenziali, di processi, persone, luoghi, infrastrutture, sistemi e dispositivi che possono essere utilizzati per vari scopi, incrementando la possibilità di nuove opportunità di collaborazione tra esperti di prodotto e analisti il cui compito è analizzare i dati raccolti da una pluralità di fonti interpretando le tendenze per generare modelli interpretativi con nuovo valore aggiunto. In questo senso, l'evoluzione verso il paradigma produttivo dei Digital Twin potrebbe anche considerarsi come inevitabile considerando altri fattori determinanti che stanno assumendo con maggiore forza un ruolo determinante nello sviluppo tecnologico come la crescente diffusione della Internet of Things, del cloud, delle tecnologie mobile, dell'Intelligenza Artificiale e della Blockchain nel quale i vantaggi offerti dal gemello digitale sono più evidenti (Deng et al., 2021; Sepasgozar, 2021). In altri termini, l'impatto delle nuove tecnologie in tutti i settori, dall'agricoltura alla salute passando per la produzione industriale metalmeccanica, conferma lo sviluppo dei digital twin come un naturale percorso di sviluppo per le organizzazioni indirizzate verso l'Industria 4.0 (Aheleroff et al., 2021; Del Giudice & Iacono, 2021; Giordano, & Huffman, 2018). Allo stato attuale si stima che siano operativi circa 21 miliardi di sensori collegati che rendono possibile lo sviluppo di un ampio caleidoscopio di servizi e oggetti attraverso diverse piattaforme sviluppate dalle maggiori software house, tra cui spiccano per importanza colossi come Sap, Dassault Systèmes, Siemens, Cisco, Oracle, Intel (Semeraro et al., 2021). Esistono due tipologie di gemelli digitali: i Digital Twin Prototype (DTP) e i Digital Twin Instance (DTI) e vengono gestiti attraverso un Digital

Twin Environment (DTE) (Grieves & Vickers, 2017; Singh et al., 2021), dove il primo contiene l'insieme di dati/informazioni che sono essenziali per creare o produrre una copia fisica partendo dalla versione virtuale, includendo file di progettazione, modelli CAD, ecc. Il ciclo del prodotto inizia utilizzando un DTP, che può essere sottoposto a diversi test, prima di creare il suo gemello fisico, agevolando l'identificazione e previsione di scenari imprevedibili o ostili difficilmente computabili con la prototipazione tradizionale. Successivamente alla convalida del prodotto virtuale si può procedere alla realizzazione del prodotto nel mondo reale, dove l'accuratezza della simulazione/modello determinerà la qualità del gemello fisico. Invece il DTI si sviluppa e applica durante la fase produttiva nel mondo reale ed è connesso durante tutto il suo ciclo di vita al suo gemello virtuale. Successivamente alla realizzazione del prodotto nel mondo reale, i dati vengono inviati allo spazio virtuale e viceversa per monitorare e prevedere il comportamento del sistema, verificando se questo è in linea con le previsioni oppure sta manifestando comportamenti indesiderati. Poiché il collegamento tra entrambi i sistemi, reale vs virtuale, è bidirezionale, qualsiasi cambiamento in uno sarà duplicato sull'altro.

L'attuale sviluppo di Città e Territori intelligenti è indicato da molte Nazioni come la migliore strategia per limitare la crescente crisi ecologica del pianeta (Del Giudice & Iacono, 2021) che come noto, si manifesta principalmente con il progressivo aumento della temperatura e la riduzione delle risorse necessarie al soddisfacimento di una popolazione umana sempre più numerosa (Deng et al., 2021). Tuttavia, la progettazione di un territorio intelligente comporta numerose sfide. Sul finire del XX secolo lo sviluppo tecnologico - computer, strumenti di simulazione, Internet e reti wireless (Giordano & Huffman, 2018) - ha permesso la crescita di un ambiente virtuale parallelo alla realtà fisica con la possibilità della loro integrazione all'interno di un unico ambiente (Hermann et al., 2016), con il fine di consentire una migliore flessibilità e scalabilità del progetto, sia che esso riguardi un oggetto puntuale, sia che si faccia riferimento a un'intera città (Pirola et al., 2020). Lo sviluppo dei gemelli digitali - abbinato all'Internet of Things (Wortmann & Flüchter, 2015), ai sistemi wireless di quinta generazione, alla Blockchain, al Collaborative Computing Systems (Zhang et al., 2008) e allo sviluppo dell'intelligenza artificiale (Qin & Chiang, 2019) offre un grande potenziale nella trasformazione dell'attuale paradigma della governance urbana (Giordano & Huffman, 2018; De Luca et al., 2020). Le forme di città e territori intelligenti (Deng et al., 2021) permettono di creare nuove potenzialità al fine di migliorare la produzione e di beni e di servizi richiesti dai cittadini (Büchi et al., 2020; Cocchia, 2014). Alcuni gemelli digitali in associazione a schemi di Intelligenza Artificiale mirano a migliorare il consumo di energia, le comunicazioni, la prevenzione dei disastri, la costruzione di edifici e la pianificazione urbana, agevolando il lavoro degli amministratori territoriali attraverso un monitoraggio in tempo reale di supporto ad un processo decisionale più efficace (Fan et al., 2021; De Luca et al., 2020).

Ad esempio, la piattaforma sviluppata per Atlanta contiene il gemello digitale dell'intera città modellata in tre dimensioni, consentendo un'interazione reciproca tra spazio fisico e virtuale in tempo reale, con i numerosi sensori, localizzati sul territorio, che raccolgono i dati che consentono di monitorare le prestazioni dinamiche, il funzionamento e l'allocazione delle risorse e il loro consumo, simulando molteplici scenari per individuare il più efficiente (Mohammadi & Taylor, 2020). Di seguito e in modo sintetico si illustrano alcune esperienze significative nello sviluppo del nuovo paradigma tecnologico.

2.2.1. Casi di studio

Virtual Singapore

Virtual Singapore è una piattaforma di dati collaborativi all'interno del quale è presente un modello tridimensionale della città, che una volta completato, sarà la piattaforma digitale 3D destinata all'uso da parte dei settori pubblico, privato, delle persone e della ricerca. Consentirà agli utenti di diversi settori di sviluppare strumenti sofisticati e applicazioni per testare beni e servizi, programmi di sviluppo e processi decisionali per risolvere le emergenti e complesse sfide dello sviluppo metropolitano. Il progetto è sostenuto dalla National Research Foundation (NRF), dal Prime Minister's Office di Singapore, dalla Singapore Land Authority (SLA) e dalla Government Technology Agency of Singapore (GovTech). La NRF coordina lo sviluppo del progetto, mentre SLA proprietario della tecnologia lo supporta con i suoi dati di mappatura topografica 3D. GovTech affianca il progetto fornendo le competenze nella tecnologia dell'informazione e della comunicazione. L'avvio del programma ha avuto un costo di 73 milioni di dollari per lo sviluppo della piattaforma e delle tecnologie più avanzate; operativa dal 2018, sarà distribuita e sviluppata progressivamente attraverso diverse collaborazioni in corso con agenzie governative, università e partner che utilizzano Virtual Singapore per le loro esigenze di modellazione e simulazione. Virtual Singapore include la modellazione 3D semantica, che comprende informazioni dettagliate come texture, rappresentazione dei materiali degli oggetti geometrici, attributi del terreno, come corpi idrici, vegetazione, infrastrutture di trasporto, ecc. All'interno della piattaforma i modelli degli edifici vengono codificati nelle loro geometrie includendo i componenti strutturali, come muri, pavimenti e soffitti, fino ai dettagli più fini. La tecnologia avanzata per la gestione dell'informazione consentirà di realizzare la modellazione del gemello digitale includendo diverse fonti dati e informazioni statiche e dinamiche e in tempo reale sulla città, per esempio demografia, pendolarismo e clima; le informazioni saranno fornite da varie agenzie pubbliche, integrando diverse fonti dati per descrivere la città con la necessaria ontologia dinamica dei dati.

Con un ricco ambiente di dati, Virtual Singapore è una piattaforma olistica e integrata per sviluppare applicazioni analitiche; reso disponibile alla comunità di ricerca, può permettere ai ricercatori di innovare e sviluppare nuove tecnologie 3D avanzate per la collaborazione tra più parti, analisi complesse e test-bedding. Sfruttando l'ambiente dei big data e aggregando le informazioni dal settore pubblico e privato, i potenziali usi di Virtual Singapore nell'affrontare i problemi di vivibilità sono praticamente illimitati, con diverse capacità analitiche: può essere usato per il test-bedding virtuale o la sperimentazione; per esempio, per esaminare le aree di copertura delle reti 4G/5G, fornire una visualizzazione realistica delle aree di scarsa copertura, ed evidenziare le aree che possono essere migliorate; può essere usato come una piattaforma di test per convalidare la fornitura di servizi, per esempio, il modello 3D di un nuovo Sport hub con informazioni semantiche per modellare e simulare la dispersione della folla o per stabilire le procedure di evacuazione durante un'emergenza, o per analizzare i flussi di trasporto. Virtual Singapore può essere usato dalle agenzie pubbliche, dal mondo accademico e alla comunità di ricerca, e il settore privato, per svolgere l'analisi delle politiche territoriali e di sviluppo economico, o la simulazione di processi decisionali attraverso il test-bedding di idee, con la collaborazione della comunità. La tecnologia può avere un forte impulso nelle strategie di pianificazione territoriale, per esempio, Virtual Singapore permette di visualizzare il paesaggio esistente rispetto ai progetti di riqualificazione o ristrutturazione in corso/futuri, il che permetterà alle agenzie di collaborare tra loro per armonizzare i rispettivi progetti e ottimizzare il design e l'implementazione generale. Per esempio, i percorsi intorno ai nuovi servizi potrebbero essere costruiti per reindirizzare il flusso di persone e di traffico durante la riqualificazione per ridurre al minimo i disagi per i cittadini, in questo modo, gli urbanisti possono visualizzare gli effetti della costruzione

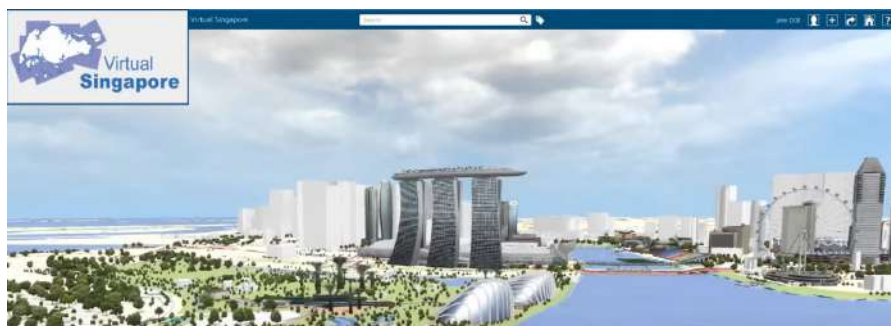


Figura 19: Digital Twin della città di Singapore realizzato sotto il coordinamento del National Research Foundation Singapore. Immagine da: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtualsingapore#:~:text=Virtual%20Singapore%20is%20a%20dynamic,private%2C%20people%20and%20research%20sectors>.



Figura 20: Digital Twin della città di Singapore realizzato sotto il coordinamento del National Research Foundation Singapore. La modellazione virtuale consente l'interrogazione degli elementi contenuti. Immagine da: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtualsingapore#:~:text=Virtual%20Singapore%20is%20a%20dynamic,private%2C%20people%20and%20research%20sectors.>

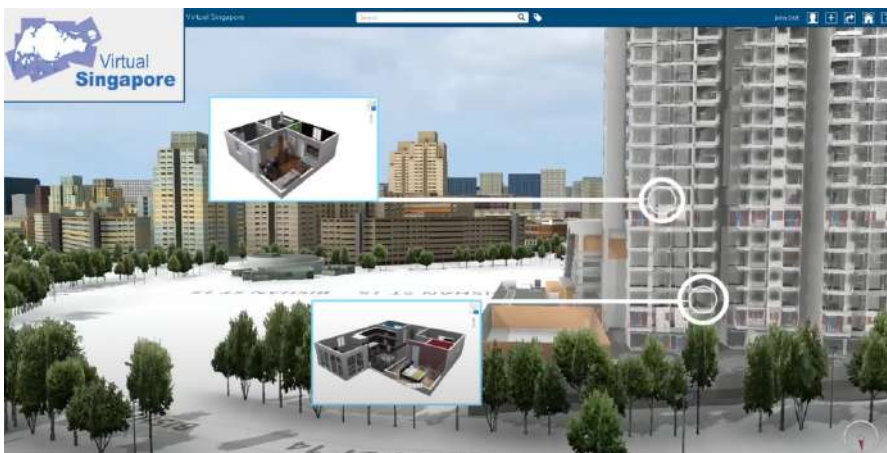


Figura 21: Digital Twin della città di Singapore realizzato sotto il coordinamento del National Research Foundation Singapore. La modellazione virtuale consente l'interrogazione degli elementi contenuti. Immagine da: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtualsingapore#:~:text=Virtual%20Singapore%20is%20a%20dynamic,private%2C%20people%20and%20research%20sectors.>



Figura 22: Digital Twin della città di Singapore realizzato sotto il coordinamento del National Research Foundation Singapore. Applicazione della modellazione digitale per lo studio della mobilità sostenibile. Immagine da: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtualsingapore#:~:text=Virtual%20Singapore%20is%20a%20dynamic,private%2C%20people%20and%20research%20sectors.>



Figura 23: Digital Twin della città di Singapore realizzato sotto il coordinamento del National Research Foundation Singapore. Applicazione della modellazione digitale per lo studio della produzione energetica da fonti rinnovabili. Immagine da: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtualsingapore#:~:text=Virtual%20Singapore%20is%20a%20dynamic,private%2C%20people%20and%20research%20sectors.>

di nuovi edifici o installazioni; per esempio gli effetti sulla temperatura dall'installazione dei tetti verdi, oppure attraverso un overlay tra mappe di calore e di rumore è possibile simulare la modellazione per facilitare scelte urbanistiche indirizzate a creare un ambiente di vita più confortevole e più fresco per i residenti (figg. 19-23).

Virtual Helsinki

Virtual Helsinki è il modello digitale implementato dalla città di Helsinki, con l'obiettivo di fare della metropoli, una delle principali capitali del cyberspazio. Il rilascio del progetto si può considerare come la fase culminante di una lunga collaborazione con lo studio Zoan¹ di Helsinki che si è servito della piattaforma Unreal Engine per la modellazione tridimensionale utilizzando gli opendata forniti dalla città. All'interno del modello digitale si fondono assieme disegni, modelli e immagini per creare una delle esperienze di realtà virtuale più realistiche del mondo. Il modello digitale Virtual Helsinki permette di ricreare un'esperienza simulata dei più famosi punti di riferimento della città attraverso la realtà virtuale per fornire l'opportunità di conoscere Helsinki anche alle persone che non possono raggiungerla fisicamente. Il tour inizia dal famoso punto di riferimento di Helsinki, la Piazza del Senato in stile impero e la Cattedrale di Helsinki, per poi continuare verso la casa dell'architetto Alvar



Figura 24: Digital Twin della città di Helsinki, particolare della cattedrale. Immagine da <https://virtualhelsinki.fi/>.

Aalto, infine attraverso il viaggio virtuale si potrà ammirare lo skyline della città e addentrarsi all'interno dell'isola di Lonna. Mentre la VR e i video a 360 gradi sono usati come strumento di marketing da molte destinazioni, Virtual Helsinki fa un passo avanti, permettendo ai visitatori di muoversi liberamente nella simulazione digitale di Helsinki per esplorare al proprio ritmo e creare le proprie esperienze nel tempo passato, presente e futuro. Attraverso questa città virtuale, gli utenti possono sperimentare la vita ad Helsinki, nonché partecipare ad attività come concerti, mostre, incontri ed eventi (fig. 23-26).



Figura 25: Digital Twin della città di Helsinki, particolare dell'interno dell'abitazione dell'architetto Alvar Aalto. Immagine da <https://virtualhelsinki.fi/>.



Figura 26: Digital Twin della città di Helsinki vista sulla città dall'isola di Lonna. Immagine da <https://virtualhelsinki.fi/>.

Programma LEAD EU

Il programma LEAD² (Low-Emission Adaptive last mile logistics supporting on demand economy through Digital Twins), è un progetto nell'ambito dell'iniziativa CIVITAS.

Finanziato dall'UE ha l'obiettivo di rendere la mobilità sostenibile e intelligente una realtà per tutti, con particolare attenzione agli aspetti connessi alla logistica. Con il programma LEAD si stanno sviluppando diversi gemelli digitali relativi alle reti logistiche urbane di sei nodi urbani europei: Madrid, L'Aia, Lione, Budapest, Oslo, Porto, per sostenere la sperimentazione e il processo decisionale delle operazioni di logistica on-demand in un contesto urbano pubblico-privato.

Le differenti soluzioni logistiche cittadine saranno rappresentate all'interno di diversi scenari nei quali si affronta i requisiti dell'economia on-demand e le pressioni causate dall'aumento della logistica, allineando gli interessi in competizione a beneficio di tutte le diverse parti interessate per supportare la progettazione e l'implementazione di sistemi logistici urbani integrati sostenibili ed economicamente vantaggiosi. All'interno dei gemelli digitali di ciascuna città, si combinano una serie di eventi e variabili in linea con le rispettive LEAD Strategies per assicurarsi che l'intera dinamica e complessità delle sfide logistiche siano adeguatamente rappresentate all'interno del rispettivo gemello digitale.

Il Digital Twin diventa quindi una piattaforma di valutazione dell'impatto delle strategie per la logistica cittadina, misurando all'interno del gemello digitale l'impatto degli interventi delle decisioni e politiche di mobilità.

Come detto il programma LEAD è testato su sei aree di intervento: Madrid, L'Aia, Lione, Budapest, Oslo, Porto, scelte per via della loro eterogeneità nelle condizioni urbane, sociali e di governance, coinvolgendo tutti gli attori nell'esplorazione e definizione di combinazioni di criteri e indicatori per identificare le soluzioni logistiche ottimali.

Riassumendo, l'obiettivo finale dell'introduzione dei Digital Twins nella logistica è quello di migliorare il funzionamento e l'efficienza della consegna, ridurre i costi e le esternalità attraverso la previsione delle dinamiche metropolitane future, supportare il processo decisionale avanzato attraverso l'analisi e simulazione dell'intero ciclo di vita della logistica, favorendo anche la partecipazione degli stakeholder attraverso informazioni affidabili e reali. L'implementazione dei modelli digitali richiede lo sviluppo della modellazione, dell'analisi predittiva e dei metodi decisionali, e la conoscenza del ciclo di vita della logistica supportata da dati operativi storici e acquisiti in tempo reale. Un Dynamic Data-Driven Application System (DDDAS) gestirà il coordinamento in tempo reale di modelli e la gestione dei dati, interfacciandosi con piattaforme digitali, API e sensori e integrando i dati della città all'interno dei cloni digitali (fig. 27).

Budapest

Il nodo europeo di Budapest è un'importante area logistica dove risiede il 20% della popolazione del Paese e convergono i corridoi Orient East Med e Mediterranean TEN-T. Considerato che la modellazione dei trasporti è uno strumento vitale per un mobility manager all'interno del processo decisionale, lo sviluppo del gemello digitale è indirizzato alla valutazione preventiva degli impatti della e-mobilità e dei regolamenti nei differenti scenari di trasporto merci. Attraverso lo strumento digitale e la sua capacità di analisi multi-obiettivo è possibile prevedere i benefici associati a diversi scenari o configurazioni di trasporto nel quale si considerano la riduzione delle distanze, l'uso efficiente del tempo, la riduzione dei costi, e in generale il miglioramento dei servizi. Nel particolare della vita dei privati cittadini, lo sviluppo di un clone digitale può avere come risultati la riduzione dell'inquinamento atmosferico, una migliore mobilità e una città in generale più vivibile.

Lione

Negli ultimi 20anni, il caratteristico quartiere di Confluence che comprende il centro storico di Lione, ha subito una progressiva e significativa espansione in termini di superficie edificata che supera il milione di metri quadri. Lo sviluppo del clone digitale supporta le politiche urbane indirizzate ad uno sviluppo dell'area urbanizzata riducendo l'impatto della logistica e del traffico in generale



Figura 27: Interfaccia di accesso al programma LEAD dell'Unione Europea. Immagine da <https://www.leadproject.eu/>.

e contemporaneamente aumentando la percentuale e la qualità degli spazi pubblici. In particolare, lo strumento digitale consente di sperimentare differenti soluzioni logistiche basate su hub localizzati all'esterno dell'area storica collegati a centri di raccolta e smistamento minori localizzati invece all'interno del quartiere storico tramite navette; i clienti finali sono infine raggiunti tramite mezzi elettrici come cargo bike elettriche e robot di consegna autonomi.

Madrid

Madrid è tra i più importanti hub logistici sul continente europeo, interessato dai corridoi TEN-T dell'Atlantico e del Mediterraneo. Tra gli obiettivi strategici dell'Amministrazione si considera prioritario il miglioramento della qualità dell'aria, attraverso per esempio la limitazione del traffico nel centro della città. Il gemello digitale, ha quindi lo scopo di sperimentare e valutare preventivamente i potenziali impatti generati dal movimento delle merci in condizioni di derivanti restrizioni del traffico. In particolare, tra le diverse strategie si prevede la creazione di un centro di consolidamento urbano (UCC) localizzato in prossimità di "Madrid Central" vicino all'autostrada M-30, insieme ad altri centri più piccoli per consegnare/raccogliere le merci, utilizzando cargo bike e furgoni elettrici.

Oslo

Il progetto su Oslo si concentra su un sistema di crowdshipping verde, che solitamente soddisfa le richieste attraverso l'uso di piccoli veicoli motorizzati privati. Questo tipo di soluzione non è sempre in grado, di per sé, di ridurre la congestione e le emissioni inquinanti, per cui il progetto, sviluppa una soluzione più integrale considerando anche l'uso di mezzi pubblici in particolar modo gli elettrici. Il target principale, ma anche la criticità del sistema è rappresentato dalle consegne a domicilio effettuate durante il normale orario d'ufficio, con potenzialmente incremento nelle consegne mancate che a cascata hanno un impatto negativo sia da un punto di vista finanziario che ambientale. In questa direzione, il clone digitale supporta la valutazione economica delle strategie di logistica, considerando aspetti sociali, ambientali, le preferenze dei mittenti, dei portatori, e dei clienti.

Porto

Il progetto per la città di Porto prevede l'utilizzo della densa rete di negozi al dettaglio come punto di ricarica per i veicoli elettrici da destinarsi sia al trasporto privato che la logistica; in questo modo si creano ulteriori possibilità derivanti dall'espansione del settore che comprende distribuzione dell'energia, vendita al dettaglio, logistica e trasporto, sfruttando e integrando le loro sinergie. Il gemello digitale, attraverso una ottimizzazione dei percorsi di consegna e ricarica, consente

anche di sviluppare proiezioni sull'utilizzo di veicoli elettrici come mezzo di trasporto di massa, con l'obiettivo di ridurre del 25% le emissioni di CO2 e del 10% i costi per km.

Aia

Il gemello digitale applicato alla città dell'Aia permette di sperimentare la creazione di un servizio logistico sostenibile basato su una piattaforma che ingloba i dettaglianti e i grossisti locali, consentendo una consegna rapida compresa tra le 2 ore e la giornata. Per la consegna a breve distanza sono previsti due approcci: il primo basato su un importante e storico fornitore di servizi con una forte esperienza nel trasporto urbano sostenibile (DHL) utilizzando una nuova piattaforma dedicata, interna alla città, la seconda è basata su una nuova piattaforma per le piccole e medie imprese (Nimber) recentemente sviluppata in Norvegia e basata sui principi del crowd-shipping. L'area di sperimentazione è il Central Innovation District (CID), il distretto commerciale a forma di triangolo, all'interno del quale lavorano circa 100.000 persone, ed è situato tra le tre attuali stazioni ferroviarie principali della città. Il gemello digitale considera inoltre le attuali politiche di ristrutturazione e sviluppo urbano fornendo ulteriori indicazioni sulle politiche da attuare per lo sviluppo di insediamenti socialmente inclusivi e nuove forme di mobilità urbana sostenibile, compreso il trasporto delle merci. In particolare, l'amministrazione vuole sviluppare modelli di business che migliorano la coesione sociale, come il crowd-shipping e contemporaneamente essere in grado di capire meglio e anticipare gli impatti sociali delle nuove piattaforme di servizi logistici.

3. Cyber mappe per la rappresentazione dei dati territoriali

3.1. Cyber Mappe

Dall'invenzione della stampa che ha reso possibile la riproduzione della Geografia di Tolomeo nel XV secolo e la pubblicazione del primo atlante nel XVI secolo, la scienza cartografia ha progressivamente inglobato una considerevole quantità di conoscenze e tecniche progressivamente consolidate col passare del tempo (Reyes, 2005; Brusaporci, 2020), accompagnate nel più recente periodo da un significativo miglioramento nella raccolta dati, attraverso sensori a terra, droni e acquisizioni satellitari (Engler et al., 2019) che hanno permesso di incrementare la velocità e qualità di mappatura per soddisfare le richieste sempre più urgenti di diverse tipologie di utenti. La cartografia contemporanea nella sua nuova forma più olistica è una struttura unica, istintiva e multidimensionale (Wood, 2003) dove una mappa è un modello grafico delle caratteristiche geospaziali della realtà, o meglio, uno strumento utilizzato per visualizzarle, esplorarle e analizzarle (Ormeling, 2010; Kraak, 2004). Le tradizionali mappe cartacee non sono interattive e non permettono la personalizzazione dell'utente (Salerno, R. 2022), che preferisce sempre più spesso l'utilizzo di nuovi sistemi interattivi e dinamici a cui si può accedere da una varietà di fonti, come provider online, dispositivi di assistenza alla navigazione, e altri (Biocca et al., 2001; Clarke, 2001). In questa direzione, la rivoluzione digitale che ha interessato anche il settore delle scienze cartografiche (Scandiffio, 2021), con i rapidi progressi nella tecnologia dell'informazione e della comunicazione possono allora spiegare l'emergere di un nuovo paradigma disciplinare, che sta trasformando il modo in cui una mappa è concepita, prodotta e utilizzata (Reyes, 2005). Anche se all'inizio non vi era una piena unanimità scientifica sull'emergere del nuovo approccio (Clarke, 1995), con autori che sostenevano l'immutabilità della disciplina e della sua

teoria indipendentemente dalla tecnologia usata per “fabbricare” una particolare mappa, altri ricercatori sostenevano già sul finire del secolo passato, che la rivoluzione informatica associata alle discipline cartografiche, ha posto le basi per l’emergere di una nuova scienza cartografica che si differenzia dal passato per metodologie e indirizzi disciplinari (Taylor, 2019).

Il nuovo approccio metodologico indicato con il termine *Cybercartography* definisce l’organizzazione, la presentazione, l’analisi e la comunicazione di informazioni spazialmente referenziate su un’ampia varietà di argomenti di interesse e utilità per la società in un formato interattivo, dinamico, multimediale, multisensoriale e multidisciplinare (Taylor, 2003). In questa definizione, anche se molto generalista si possono tuttavia individuare alcuni elementi cruciali che suggeriscono il punto di svolta della cartografia tradizionale verso la *Cybercartography*, non più considerabile come un prodotto a sé stante come la mappa tradizionale, ma parte di un pacchetto informativo/analitico, caratterizzato da una poliedricità applicativa ad una vasta gamma di argomenti non confinati alla sola ricerca fisico-ambientale, che coinvolge differenti discipline e ricercatori per creare nuove partnership tra università, governo, società civile e settore privato, nel quale la multisensorialità, basata sull’utilizzo della vista, dell’udito, del tatto e, eventualmente, dell’olfatto e anche del gusto, si avvale dell’utilizzo di formati multimediali (Ippoliti, E., & Meschini, A., 2010) e di nuove tecnologie di telecomunicazione, come il World Wide Web, per una maggiore interazione e coinvolgimento degli utenti (Taylor, 2014).

Questi sistemi di mappe dinamiche e interattive alta intensità di dati, stanno diventando sempre più popolari con nuove funzionalità che permettono all’utente di sfogliare, navigare e percepire informazioni da display, inoltre, attraverso il miglioramento dei parametri di ricerca si permette agli utenti di recuperare e filtrare le informazioni a loro piacimento (Fishkin & Stone, 1995; Trbovich et al., 2005). L’attuale tipologia di mappe offre un ulteriore potenziale nella riduzione dei tempi di ricerca, sfruttando il coinvolgimento di esperienze anche uditive e tattili (Jacobson et al., 2002). In altre parole, l’obiettivo ultimo prefisso dal recente indirizzo disciplinare è far evolvere la cartografia tradizionale dalla sua classica e dura rappresentazione cartacea a forme in cui siano maggiormente coinvolti i sensi e/o una combinazione tra questi (Trbovich et al., 2005), per agevolare gli utenti nell’usabilità delle applicazioni informatiche, come le mappe elettroniche, attraverso modi più efficienti, naturali, e facili da imparare (Benoit et al., 2000; Oviatt & Cohen, 2000), con interfacce sempre più potenti e integrate con le capacità percettive dell’essere umano (Hedley, 2003). Su un piano metodologico differenti autori, nel corso del tempo hanno proposto alcuni standard che i cartografi dovrebbero applicare durante il processo di produzione di una mappa, per esempio Bertin (1983) ha descritto le variabili visive che i cartografi dovrebbero usare che includono, posizione geografica nel piano, dimensione, valore, struttura, colore, orientamento e forma, formulando una proposta metodologica sia che i dati fossero quantitativi o ordinali; oppure,

in risposta all'impatto delle innovazioni tecnologiche, MacEachren (1995) ha aggiunto le seguenti variabili visive: tonalità, saturazione, nitidezza, risoluzione e trasparenza, migliorando la corrispondenza tra gli obiettivi del progettista di mappe e le capacità percettive dell'utente. Quindi, è importante sviluppare una sintassi di variabili visive comunemente accettata per la cartografia, come base per promuovere un uso coerente dei simboli che agevoli l'interpretazione tra cartografi e gli utenti delle mappe (Trbovich et al., 2005). Lo sviluppo del 'Web cartografico' rappresenta un ampliamento generale nelle procedure di raccolta, distribuzione e uso dell'informazione geografica; si sta infatti passando da un'attività tradizionalmente dominata da una ristretta comunità di utenti esperti di software come i sistemi informativi geografici (GIS), ad una che coinvolge diverse tipologie di produttori e consumatori di informazioni geografiche (Budhathoki et al., 2008; Hardy, 2008).

Nella nuova era dell'interattività cartografica, tuttavia, nuove forme di informazione geografica sono generate direttamente e indirettamente attraverso la routine quotidiana degli individui, come il pendolarismo in una automobile dotata di sistemi di posizionamento globale (GPS), o la cattura di contenuti multimediali di un evento locale con smartphone o altri dispositivi portatili consapevoli della posizione (Goodchild e Glennon, 2010). Queste informazioni vengono utilizzate per popolare atlanti stradali collaborativi (ad esempio OSM), per aiutare la segnalazione, il monitoraggio e il coordinamento dei soccorsi in caso di disastri naturali (ad esempio Twitter) (Goodchild e Glennon, 2010), per coordinare e rispondere a rivolte, proteste e altri raduni politici (ad esempio Ushahidi) (Liu e Palen, 2010), per aumentare gli archivi esistenti di contenuti multimediali basati sulla posizione (ad esempio Flickr) (Kobben et al., 2012), e per condividere informazioni tra comunità di hobbisti (ad esempio l'Annual Christmas Bird Count della Audubon Society) (Elwood, 2008).

3.1.1 Casi Studio

Il programma di monitoraggio globale Copernicus

L'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) ha tra i suoi principali scopi l'analisi degli scenari tendenziali dei cambiamenti climatici, l'analisi sulla vulnerabilità degli ecosistemi e il monitoraggio dei progressi verso gli obiettivi concordati nell'ottica della sostenibilità sia per ogni Stato membro che per l'intera Unione Europea (Schoenefeld et al., 2019). Per assolvere agli scopi menzionati l'Agenzia necessita della sistematica e integrale conoscenza tra le azioni politiche e le tendenze economiche, ambientali e sociali, attraverso l'acquisizione di informazioni pertinenti, tempestive, verificate e facilmente accessibili al fine di agevolare il lavoro degli apparati decisionali nell'agire di conseguenza (Moldan et al., 2012). In questa direzione la Commissione Europea, in cooperazione con l'Agenzia Spaziale

Europea come partner principale e coordinatore della componente spaziale, insieme all'Organizzazione europea per l'utilizzo dei satelliti meteorologici, il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio raggio, l'Agenzia Europea dell'Ambiente e altre istituzioni europee come Enti incaricati per i servizi di base, hanno sviluppato il programma europeo di osservazione della terra Copernicus, come evoluzione del precedente Global Monitoring for Environment & Security (GMES) lanciato nel 1998 dalla Commissione Europea e da un pool di agenzie spaziali europee, per contribuire al più vasto progetto per lo sviluppo di un Sistema dei Sistemi per l'osservazione Globale della Terra conosciuto anche come Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

Copernicus, come primo programma di monitoraggio globale interamente sviluppato dall'Unione Europea ma a beneficio dell'intera popolazione mondiale è la risposta al fondamentale obiettivo di garantire l'indipendenza nel rilevamento e nella gestione dei dati sullo stato di salute del pianeta, supportando le diverse politiche pubbliche europee attraverso la fornitura di servizi precisi e affidabili per la gestione delle minacce globali, tra cui cambiamento climatico, crisi energetica, crescita della popolazione, maggiore frequenza e intensità dei disastri naturali come conseguenze dello sviluppo delle attività antropiche e rafforzando il ruolo di "soft power" dell'UE all'interno dello scenario internazionale sostenendo la posizione dell'UE nei negoziati internazionali sul clima, l'ambiente e la biodiversità (Jutz & Milagro-Pérez, 2020). Precedentemente all'avvio dei programmi comunitari l'attività di monitoraggio terrestre svolta dai Paesi membri dell'Unione Europea era condotta con modalità frammentarie e costose attraverso l'implementazione di programmi spesso insostenibili per lungo periodo per una singola nazione; in questo senso Copernicus è quindi il risultato di uno sforzo comune di lungo termine dell'Unione Europea per fornire informazioni continue, comparabili, sostenibili e di alta qualità, per rispondere direttamente alle esigenze dei suoi utenti attraverso i suoi prodotti e le sue applicazioni, e indirettamente attraverso i suoi benefici sociali, economici e ambientali da questo generati¹.

Gli Stati membri dell'Unione Europea contribuiscono in diversi modi: partecipando allo sviluppo dei satelliti, fornendo dati provenienti dalle rispettive infrastrutture spaziali o anche quelli ottenuti da misurazioni attraverso sensori localizzati a terra (in situ), oppure partecipando sotto il coordinamento della Commissione europea, ai "segmenti terrestri collaborativi", in cui gli Stati finanziano e sviluppano le proprie strutture, come stazioni di ricezione, centri di elaborazione e archiviazione, o altre applicazioni specifiche. Il Programma si articola in due rami principali: i Servizi e la Componente Spazio. La Componente Spazio comprende i satelliti, l'acquisizione dei dati da fornitori terzi (satelliti commerciali), le infrastrutture di terra per l'acquisizione ed elaborazione dati. L'acquisizione dati avviene tramite la costellazione di satelliti appartenenti alla famiglia dei Sentinel specificamente progettati per soddisfare le esigenze dei diversi servizi di Copernicus e dei loro utenti. L'inizio del programma spaziale è

iniziato con il lancio dei Sentinel -1A nel 2014 e si prevede il suo completamento con la messa in orbita di una costellazione di quasi 20 satelliti entro il 2030. La responsabilità principale della branca spaziale appartiene all'ESA con il supporto dell'Organizzazione Europea per l'utilizzazione dei Satelliti in Meteorologia; in questa direzione il ruolo dell'Ente Spaziale Europeo si configura come architetto generale per il coordinamento tecnico della costellazione dei satelliti. Attualmente sono presenti in orbita sei famiglie di satelliti chiamati Sentinel dotati di telecamere multi-spettrali, sistemi di imaging radar e sensori specializzati per le misurazioni della topografia, della composizione atmosferica e la temperatura della superficie.

La famiglia dei Sentinel-1, composta da due satelliti è dotata di sensori specificamente pensati per il monitoraggio dell'estensione del ghiaccio marino artico e i suoi movimenti, la sorveglianza dell'ambiente marino compreso il monitoraggio delle fuoriuscite di petrolio e il rilevamento delle navi per la sicurezza marittima, il monitoraggio della superficie terrestre per i rischi idrogeologici, supporto alle azioni di aiuto umanitario e le azioni di soccorso in caso di crisi. Il primo veicolo spaziale è stato lanciato nel 2014 e il secondo nel 2016 con un periodo di rivoluzione di 6 giorni.

I satelliti appartenenti alla famiglia dei Sentinel-2, sono dotati di sensori ottici multispettrali ad alta risoluzione (13 bande), per fornire dati di tipo SPOT e Landsat utilizzati per i servizi connessi per esempio, alla gestione del territorio da parte di istituti europei e nazionali, agricoltura e silvicoltura, oppure il controllo delle catastrofi e delle operazioni di soccorso umanitario. Il primo satellite è stato messo in orbita nel 2015 seguito dalla sua unità gemella nel 2017, con un periodo di rivoluzione terrestre pari a giorni.

I satelliti appartenenti alla famiglia dei Sentinel-3, lanciati in orbita rispettivamente nel 2016 e nel 2018, sono dotati di strumenti specificamente sviluppati per le misure oceaniche, infatti, sono dotati di sensori per il rilevamento di parametri come il moto ondoso e la temperatura del mare; inoltre sono dotati di sensori ottici ad alta risoluzione per l'acquisizione di immagini marine e terrestri utilizzate nei servizi di monitoraggio ambientale e climatico.

Le missioni Sentinel 4 e 5 sono state progettate per fornire dati ad alta risoluzione spettrale e temporale utilizzati nel monitoraggio della qualità dell'aria, comprendendo misurazioni relative allo strato d'ozono e la radiazione solare; la loro messa in orbita è avvenuta nel 2017. Infine, con i Sentinel-6, saranno disponibili immagini radar ad alta risoluzione per misure topografiche ed oceaniche più accurate. Queste informazioni saranno poi utilizzate attraverso i servizi per il monitoraggio del cambiamento climatico. Il primo satellite della famiglia è stato lanciato nel novembre del 2020 e si prevede l'affiancamento dell'unità gemella entro il 2025.

I dati raccolti dai satelliti e dalle reti di sensori a terra sono processati e forniti attraverso specifiche piattaforme, specializzate in particolari tematiche che forniscono complessivamente e in modo totalmente gratuito e pienamente accessibile circa 55Pb (55.000.000 Gbyte) di dati ed elaborazioni. Queste piattaforme sono

Servizi



Figura 28: Home page per accedere ai diversi servizi e prodotti del monitoraggio globale Copernicus. Immagine da <https://www.copernicus.eu/it/servizi>.

alla base della seconda branca del programma Copernicus, ossia la componente servizi, che è articolata in aree tematiche chiamate Core Services, attraverso cui gli utenti possono accedere direttamente alle informazioni raccolte dai satelliti e dai sensori a terra o alle differenti elaborazioni svolte di default dal sistema utilizzate in molteplici applicazioni, come la gestione delle aree urbane, lo sviluppo sostenibile e la protezione della natura, la pianificazione regionale e locale, l'agricoltura, la silvicoltura e la pesca, la sanità, la protezione civile, le infrastrutture, i trasporti e la mobilità, e il turismo. In particolare, la componente servizi comprende i seguenti settori: il monitoraggio del territorio, del mare e degli oceani, dell'atmosfera, cambiamenti climatici, la gestione delle emergenze, la sicurezza (fig. 28).

Territorio

Il servizio di monitoraggio del territorio viene fornito attraverso la piattaforma Copernicus Land Monitoring System. I principali servizi riguardano informazioni su copertura del suolo e relativi cambiamenti, utilizzo del suolo, vegetazione, ciclo dell'acqua ed energia. Le sue applicazioni interessano settori come la pianificazione territoriale, la pianificazione e gestione forestale, pianificazione idrica, agricoltura e sicurezza alimentare, la conservazione e ripristino degli ecosistemi, sviluppo rurale, contabilità ambientale e mitigazione/adattamento al cambiamento climatico. La sua attuazione e gestione è affidata congiuntamente al Agenzia Europea per l'Ambiente e il Joint Research Center ed è operativo dal 2012.

Ambiente marino

Il servizio di monitoraggio dell'ambiente marino viene fornito attraverso la piattaforma Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Attraverso questo e i suoi principali servizi è possibile acquisire e fornire informazioni di riferimento

periodiche e sistematiche sullo stato fisico e biogeochimico dei mari, sulla variabilità e sulle dinamiche degli ecosistemi di tutti gli oceani del mondo e i mari della regione europea. Le sue applicazioni interessano settori come la sicurezza in mare, la gestione delle risorse marine, meteo e clima marino. Attraverso l'acquisizione satellitare dei sensori del sentinel 3, il servizio CMEMS fornisce dati sulle correnti, sui venti e sui movimenti dei ghiacci marini aiutando a migliorare i servizi di organizzazione del traffico marittimo, le operazioni offshore oppure le operazioni di ricerca e salvataggio per una maggiore sicurezza in mare. Attraverso il servizio si fornisce la relazione annuale sullo stato degli oceani che descrive la situazione e le tendenze attuali della salute degli oceani derivanti dai cambiamenti climatici. La realizzazione di questo servizio è stata affidata al Mercator Ocean International ed è operativa dal 2015.

Atmosfera

Il servizio di monitoraggio atmosferico viene fornito attraverso la piattaforma Copernicus Atmosphere Services. Questa fornisce continuamente dati e informazioni sulla attuale composizione atmosferica consentendo di prevedere la sua evoluzione; inoltre, attraverso il servizio è possibile analizzare i dati pregressi degli ultimi anni al fine di individuare delle particolari dinamiche. Le sue applicazioni hanno ricadute in svariati ambiti tra cui ovviamente la salute, più in generale il monitoraggio ambientale, la possibilità di sfruttamento delle energie rinnovabili, la meteorologia e la climatologia. In particolare, il servizio fornisce informazioni in cinque settori principali: qualità dell'aria e composizione atmosferica; strato di ozono e radiazioni ultraviolette; emissioni e flussi superficiali; radiazione solare. Più nello specifico fornisce informazioni quotidiane riguardanti la composizione dell'atmosfera globale mediante il monitoraggio e la previsione delle sue componenti (anidride carbonica e metano, monossido di carbonio, composti ossidati di azoto, biossido di zolfo), ozono e altri aerosol. Inoltre, fornisce analisi quasi istantanee delle condizioni atmosferiche con capacità previsionale che si spinge fino ai 4 giorni successivi. Tramite il servizio è possibile ottenere informazioni utili sulla stima della produzione energetica da fonti rinnovabili, in particolare l'energia solare.

Cambiamenti climatici

Il servizio relativo ai cambiamenti climatici Copernicus Climate Change Service sostiene la società e i professionisti fornendo informazioni autorevoli e tempestive sul clima passato, presente e futuro in Europa e in tutto il mondo. Attraverso il servizio si sostiene l'implementazione di tutte le politiche di adattamento e mitigazione dell'Unione europea fornendo informazioni coerenti e autorevoli sui cambiamenti climatici, affiancando la ricerca sul clima condotta nell'ambito del Programma mondiale di ricerca (WCRP) e rispondendo alle

esigenze dei diversi utenti definite dal Sistema globale di osservazione del clima (GCOS).

Il servizio attivo dal 2018 è coordinato dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine per conto della Commissione europea, questa è un'organizzazione intergovernativa indipendente, al servizio dei suoi membri, degli Stati cooperanti e della comunità in generale.

Emergenze

Il servizio di gestione delle emergenze Copernicus Emergency Management Service, attivo dal 2012, si occupa di fornire informazioni riguardanti i disastri naturali, situazioni di emergenza di origine antropica, e crisi umanitarie attraverso una mappatura degli eventi tempestiva e accurata. Il servizio, rivolto principalmente a tutti gli operatori e Soggetti che partecipano alla gestione di calamità naturali e di origine antropica (principalmente autorità di protezione civile e agenzie di aiuto umanitario), si suddivide in due componenti principali mappatura e allerta rapida entrambe basate comunque su telerilevamento satellitare e integrate da fonti disponibili *in situ* o *open source*.

In particolare, attraverso la mappatura si dispone di una copertura mondiale che fornisce agli attori sopra citati, tutti gli strumenti per sostenere tutte le fasi del ciclo di gestione delle emergenze, ossia preparazione, prevenzione, riduzione del rischio di catastrofi, risposta alle emergenze e recupero. Il sistema di allerta, invece, si basa su tre sistemi diversi: il sistema europeo di allarme inondazioni (EFAS), riguardante le inondazioni in atto o previste in Europa fino a 10 giorni in anticipo, il sistema europeo di allerta sugli incendi boschivi (EFFIS), che fornisce informazioni quasi in tempo reale e storiche sugli incendi boschivi e sui regimi degli incendi boschivi nelle regioni europee, medio orientali e nord africane, infine l'osservatorio europeo sulla siccità (EDO), che fornisce informazioni sulla siccità. I sistemi di allarme si integrano a livello globale attraverso il sistema mondiale di allarme inondazioni (GloFAS), il sistema mondiale di informazione sugli incendi (GWIS) e l'osservatorio mondiale sulla siccità (GDO) (figg. 29-31).

Sicurezza

Copernicus offre i suoi servizi anche nell'ambito della sicurezza europea fornendo informazioni per risposte rapide nell'ambito della prevenzione preparazione e gestione di diverse tipologie di crisi principalmente politico-umanitarie. Il suo scopo è sostenere le politiche dell'Unione europea fornendo informazioni in risposta alle sfide in materia di sicurezza a livello europeo riguardanti la sorveglianza delle frontiere, la sorveglianza marittima e il sostegno all'azione esterna dell'UE. Nella sorveglianza delle frontiere, gli obiettivi principali sono la riduzione del tasso di mortalità dei clandestini in

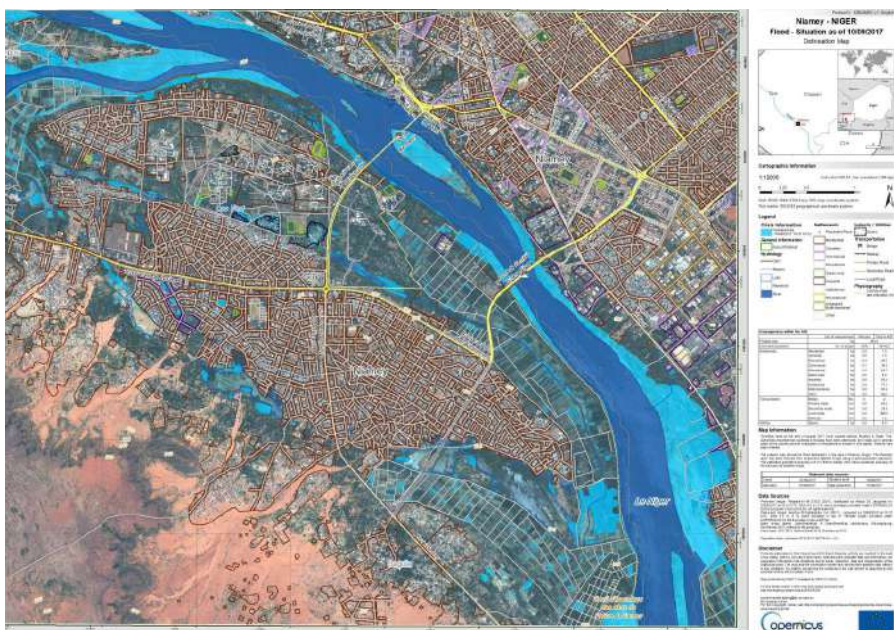


Figura 29: Prodotto cartografico che descrive l'alluvione e relativa esondazione a Niamey nello stato del Niger verificatesi il 10/09/2017, l'elaborazione del prodotto è basata su dati del Copernicus Emergency Management Service. Immagine da <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR235>.



Figura 30: Web Service con geolocalizzati gli incendi in Europa negli ultimi 30 giorni basata su dati su dati del Copernicus Emergency Management Service. Accesso alla risorsa 23/03/2022. Immagine da https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/.

mare, l'aumento della sicurezza interna dell'Unione Europea e la lotta alla criminalità transfrontaliera. Con un accordo firmato il 10 novembre 2015, la Commissione europea ha affidato a FRONTEX² la responsabilità di gestire il servizio di sicurezza Copernicus in merito alla sorveglianza delle frontiere. L'obiettivo è quello di sostenere il quadro di scambio di informazioni sulla sorveglianza delle frontiere esterne dell'UE (EUROSUR), fornendo dati quasi in tempo reale su ciò che accade sulla terra e sul mare intorno ai confini dell'UE. Nel settore della sorveglianza marittima, l'obiettivo generale dell'Unione europea è quello di sostenere gli obiettivi di sicurezza marittima dell'Europa e le attività connesse al settore marittimo. Gli obiettivi riguardano principalmente il miglioramento della sicurezza della navigazione, il sostegno al controllo della pesca, la lotta contro l'inquinamento marino e l'applicazione della legge in mare. In questa direzione con un accordo firmato il 3 dicembre 2015, la Commissione europea ha affidato all'EMSA³ la gestione della componente di sorveglianza marittima del servizio di sicurezza Copernicus. In base all'accordo, l'EMSA utilizza i dati spaziali di Copernicus Sentinel 1 e di altri satelliti integrati di altre fonti di informazioni marittime per monitorare efficacemente le aree marittime di interesse.

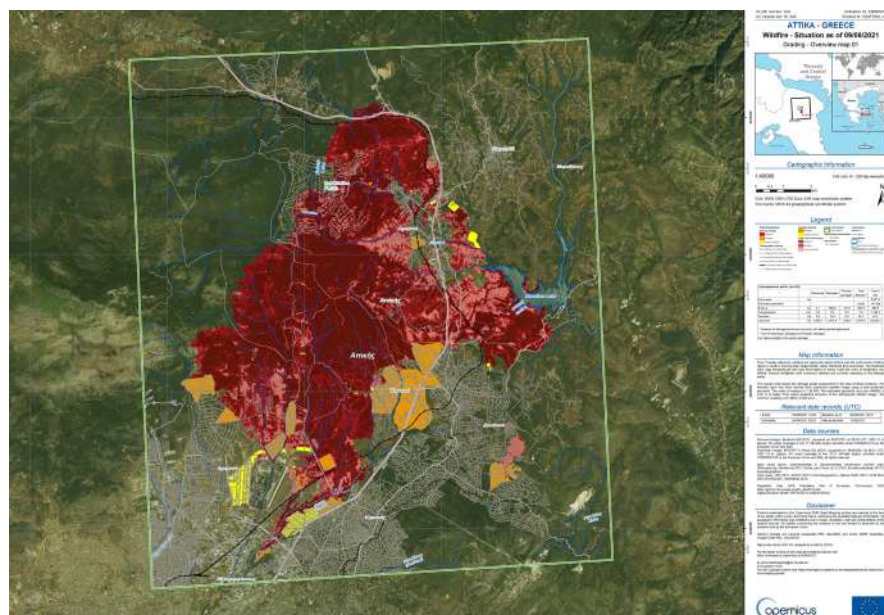


Figura 31: Prodotto cartografico che analizza nel particolare l'estensione e la gravità dell'incendio che ha interessato la Grecia il 09/08/2021 basata su dati del Copernicus Emergency Management Service. Immagine da <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR527>.

I Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)

Il suolo è una delle risorse più importanti per le attività umane, ma il suo eccessivo sfruttamento causato dalla globalizzazione dell'economia mondiale sta producendo conseguenze sempre più gravi sulla qualità generale dell'ambiente (Lambin & Meyfroidt, 2011; Cherlet et al., 2018; Tesfaw et al 2018). Per comprendere pienamente le conseguenze della crescente antropizzazione e definire le risposte più appropriate nell'ottica della sostenibilità è essenziale disporre di una precisa mappatura della copertura del suolo e delle sue trasformazioni e per questo motivo che l'utilizzo satellitare nel monitoraggio terrestre ha trovato applicazione fin dai primi anni 70 (Fensholt et al., 213). Le reti di rilevamento basate su sistemi come i Landsat o del National Oceanic & Atmospheric Administration's (NOAA) misurando la riflettanza della superficie terrestre su scala globale hanno consentito di produrre le prime mappature sulla copertura dell'uso del suolo generalmente con risoluzioni medio-bassa (Pedelty et al., 2007; Ju & Masek, 2016; Vogelmann et al., 2016; Congalton et al., 2014), solo nel 2013 è stata realizzata la prima mappatura della copertura del suolo su scala globale ad alta risoluzione (Gong, 2013). Spesso però queste elaborazioni avevano il punto debole nella classificazione troppo rigida della copertura del suolo e nella difficoltà del loro aggiornamento costante che rendeva il loro uso particolarmente complicato in particolari utilizzi come la pianificazione forestale, o più in generale il monitoraggio nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità (Buchhorn et al., 2020).

Il Copernicus Land Monitoring Service, sviluppato sotto la responsabilità dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) e dal Centro Comune di Ricerca (JRC) della Commissione europea, è operativo dal 2012, e fornisce elaborazioni a scala globale, europea e locale con risoluzione sempre più accurata. All'interno del Land Monitoring Core Service il Copernicus Global Land Service rappresenta il programma faro europeo sull'osservazione della Terra, attraverso il monitoraggio sistematico di numerose variabili biofisiche con cadenza dall'istantaneo a ogni dieci giorni in funzione della specifica elaborazione che dipende dalla famiglia di satelliti e dai sensori che è necessario utilizzare. L'obiettivo del Global Land Service è quello di sostenere e consolidare le politiche e gli impegni dell'Unione Europea a livello internazionale per una vasta gamma di applicazioni come il monitoraggio delle produzioni agricole e la sicurezza alimentare sia all'interno che all'esterno dell'Europa, il monitoraggio della biodiversità, delle aree protette e della copertura forestale, la valutazione della siccità e della desertificazione, il ciclo del carbonio, l'uso del suolo e il cambiamento della copertura del suolo (Lacaze et al., 2015). I prodotti forniti attraverso il servizio globale possono distinguersi in tre famiglie: la prima riguardante lo stato della vegetazione che include mappature basate sul calcolo dell'indice fogliare (LAI), la frazione di radiazione fotosintetica attiva assorbita dalla vegetazione (FAPAR), la frazione di copertura vegetale verde (FCover), la produttività di materia secca (DMP),

il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), l'indicatore di Condizione della Vegetazione (VCI), l'Indice di Produttività Vegetativa (VPI), e le mappatura degli incendi (figg. 32, 33). La seconda famiglia include calcoli sul bilancio energetico complessivo tra l'interfaccia superficie e atmosfera con mappature che mostrano indici come il Top Of Canopy (TOC-ref), l'albedo di superficie (SA) e

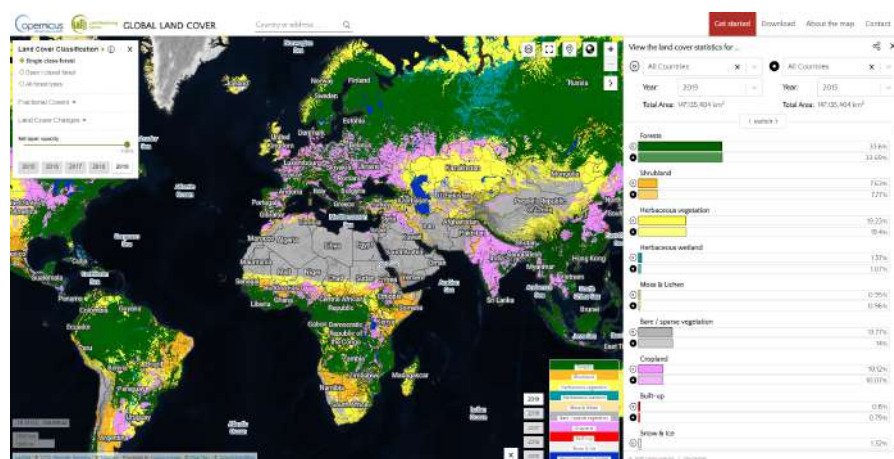


Figura 32: Web Service del Copernicus Global Land Service - Vegetation con indicate le variazioni di copertura vegetale tra il 2019 e il 2015 su scala globale. Immagine da <https://lcviewer.vito.be/2019>.

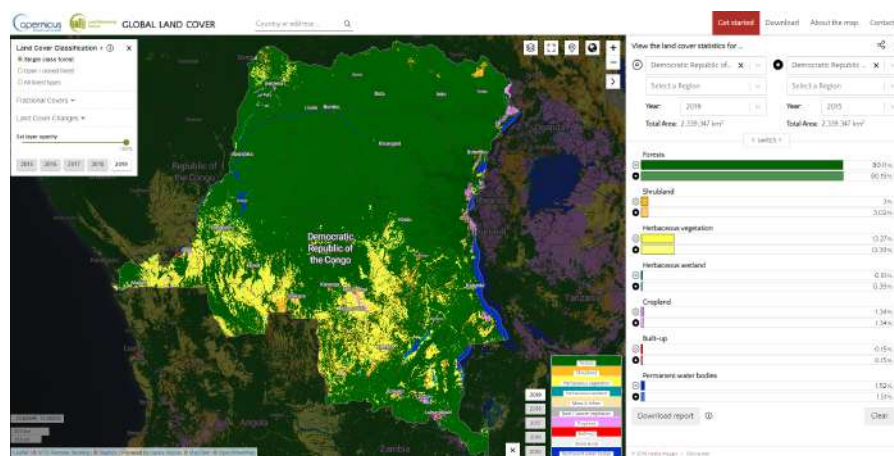


Figura 33: Web Service del Copernicus Global Land Service - Vegetation con indicate le variazioni di copertura vegetale tra il 2019 e il 2015 nella Repubblica Democratica del Congo. Immagine da <https://lcviewer.vito.be/2019/Democratic%20Republic%20of%20the%20Congo>.

egie di gestione e di pianificazione sostenibile del territorio, per fornire gli elementi informativi a supporto dei processi decisionali a livello comunitario, nazionale e locale. In questo senso con un maggiore livello di dettaglio della scala globale, la scala di monitoraggio europea (Pan European Service) fornisce prodotti come il CORINE Land Cover, i prodotti High Resolution Layers e High Resolution Snow as Ice. In particolare, la mappatura rappresentata nel CORINE Land Cover (COoRdination of INformation on the Environment) rappresenta la copertura del suolo intesa come la copertura biofisica della superficie terrestre⁴, un concetto collegato ma distinto dall'uso del suolo. Il Corine Land Cover nasce quindi a livello europeo come progetto specificamente pensato per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura del territorio, con particolare attenzione alle necessità di tutela ambientale. Una particolare attenzione è quindi rivolta al rilevamento dell'impermeabilizzazione del suolo e alle altre forme di copertura artificiale del suolo, con la conseguente mappatura del consumo di suolo sia in forma definitiva che parziale, più o meno rimediabile nella sua funzionalità di risorsa territoriale a causa di contaminazione, presenza di infrastrutture o particolari manufatti.

La prima edizione del progetto CORINE Land Cover risale al 1985 successivamente alla decisione del Consiglio delle Comunità Europee, (Decisione 85/338/EEC), per dotare l'Unione Europea, gli Stati associati e i Paesi limitrofi dell'area mediterranea e balcanica di informazioni territoriali omogenee sullo stato dell'ambiente. Lo sviluppo e realizzazione del progetto CORINE ha inevitabilmente richiesto l'adozione di sistemi di nomenclatura e metodologie di lavoro standardizzati per l'intero continente europeo creando un'architettura del database omogenea tra tutti gli Stati membri. La prima elaborazione è stata rilasciata nel 1990 con il CORINE Land Cover 90 (CLC90), con i successivi aggiornamenti negli anni 2000, 2006, 2012, 2018. In particolare, l'aggiornamento del 2006 è stato realizzato nel quadro del GMES Fast Track Service on Land Monitoring (Global Monitoring for Environment & Security) con l'obiettivo principale di garantire all'Europa una sostanziale indipendenza nel rilevamento e nella gestione dei dati di osservazione della terra, supportando le necessità delle politiche pubbliche europee attraverso la fornitura di servizi precisi e affidabili sugli aspetti ambientali e di sicurezza. Il successivo aggiornamento del 2012 conformemente al Reg. 911/2010 UE relativo all'iniziativa GMES, ha previsto la realizzazione dei servizi di Land Monitoring nell'ambito del GIO (GMES Initial Operations) Land Monitoring Implementation Plan 2011–2013, con l'acquisizione della copertura satellitare europea e la produzione di 5 strati ad alta risoluzione relativi all'impermeabilizzazione del suolo, alle foreste, ai prati-pascoli, alle aree umide e ai corpi idrici. Le mappature del CORINE Land Cover sono ottenute sulla base di fotointerpretazione delle acquisizioni satellitari da parte dei team Nazionali degli Stati che vi partecipano (Stati membri dell'Unione Europea e Stati che cooperano), seguendo una metodologia e una nomenclatura standard⁵ (fig. 36).

Gli strati ad alta risoluzione (HRL) sono complementari ai set di dati di mappatura della copertura del suolo e sono cinque famiglie di datasets con serie temporale 2006, 2009, 2012, 2015 e 2018 e derivano da algoritmi di classificazione semi-automatica su immagini satellitari ad alta risoluzione, in particolare immagini Sentinel-1 e Sentinel-2, integrati da informazioni in-situ. La produzione degli HRL è coordinata dall'Agenzia Europea dell'Ambiente e coinvolge i National Reference Centre on Land Cover della rete Eionet, per l'Italia, rappresentato dall'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA). Gli HRL descrivono alcune delle principali caratteristiche di copertura del suolo come le superfici impermeabili (Imperviousness) ad esempio strade e aree edificate, aree forestali, praterie, acqua e zone umide (fig. 37).

Dal 2016 nell'ambito degli High Resolution Snow as Ice sono stati sviluppati quattro prodotti ad alta risoluzione: Fractional Snow Cover, Persistent Snow Area, River & Lake Ice Extent e Aggregated River & Lake Ice Extent, derivati da sensori su Sentinel-2. In particolare, gli High Resolution Layers relativi all'Imperviousness rappresentano le aree caratterizzate dalla sostituzione della copertura naturale o semi-naturale con copertura artificiale e sono stati prodotti utilizzando algoritmi di classificazione semi-automatica derivati dal Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). I datasets interessano le serie temporali 2006, 2009, 2012, 2015 e 2018 e sono costituiti da due tipi di prodotti: gli 'status layers' che comprendono l'Imperviosness Density (IMD) e l'Imperviosness Built-up (IBU). I datasets dell'Imperviosness Density stimano la copertura impermeabile (soil sealing) a livello di pixel e sono mappati come grado di impermeabilizzazione espresso in valori percentuali da 0 a 100, i datasets dell'Imperviosness Built-up

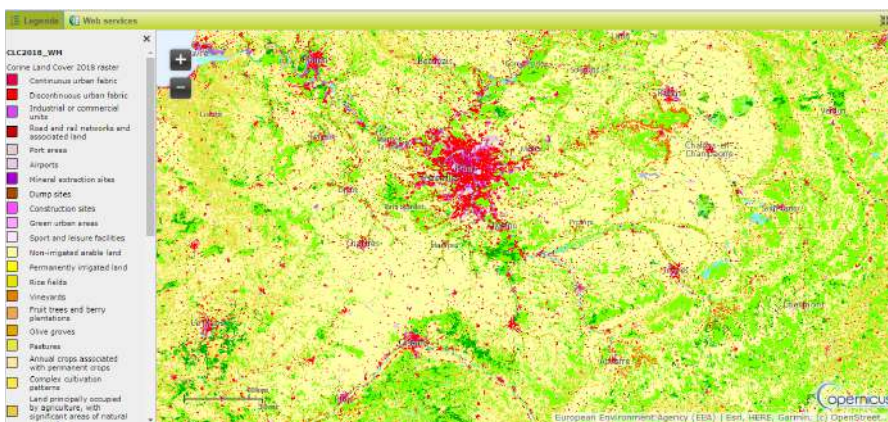


Figura 36: Web Service della componente Pan-Europea del Copernicus Land Service - Corine Land Cover, nel particolare l'area geografica del nord della Francia nel 2018, i diversi colori indicano le differenti classi di copertura del suolo. Immagine da <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>.

rappresentano un sottogruppo del precedente in quanto individuano le aree di built-up e quindi quelle in cui la parte artificiale ha un'altezza sul terreno, la loro risoluzione è di 20 metri per la serie del 2015 e di 10 metri per quelle successive al 2018. Gli High Resolution Layers - Forest sono datasets costituiti dalle serie temporali 2012, 2015 e 2018 e sono stati prodotti utilizzando dati satellitari multitemporali e multispettrali ad alta risoluzione, in particolare Sentinel-2A (ESA) e Landsat 8 (USGS). I datasets del Forest sono costituiti da diversi tipi di prodotti: gli 'status layers' che comprendono Tree Cover Density (TCD), Dominant Leaf Type (DLT) e il Forest type product (FTY)⁶ e i 'change layers' che comprendono il Tree Cover Change Mask (TCCM) e il Dominant Leaf Type Change (DLTC). Il dataset Tree Cover Density viene definito come 'proiezione verticale delle chiome degli alberi sulla superficie terrestre' e fornisce informazioni sulla quantità di copertura della chioma all'interno del pixel espressa in valori percentuali da 0 a 100; i due change layers Tree Cover Change Mask e Dominant Leaf Type Change, rappresentano rispettivamente la maschera dei cambiamenti della tree cover e del leaf type. Gli High Resolution Layer - Grassland fanno riferimento alle serie temporali 2015 e 2018, e sono stati prodotti utilizzando dati satellitari multitemporali e multispettrali ad alta risoluzione, provenienti da diversi tipi di sensori, oltre a dati ausiliari disponibili. Il layer Grassland (GRA) costituisce il prodotto principale e fornisce informazioni sulla presenza o non presenza della copertura di grassland definita come vegetazione erbacea con almeno il 30% di specie graminacee. Due prodotti aggiuntivi completano il set: il Grassland Vegetation Probability Index (GRAVPI) che fornisce una misura dell'affidabilità della



Figura 37: Web Service della componente Pan-Europea del Copernicus Land Service - HLR Imperviousness, nel particolare l'area geografica di East-London nel 2018, i diversi colori indicano i diversi livelli (espressi in percentuale) di impermeabilità del suolo. Immagine da <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018>.

classificazione (valori bassi indicano che la serie temporale dei dati di input è limitata) e il Ploughing Indicator (PLOUGH) che si concentra su serie storiche della copertura del suolo allo scopo di indicare le attività di aratura negli anni precedenti. In ultimo è presente anche il dataset Grassland change relativo alla serie 2015-2018 (GRAC1518). I prodotti del 2015 unitamente al GRAC1518 hanno una risoluzione spaziale di 20 metri, quelli del 2018 hanno invece una risoluzione spaziale di 10 metri. Gli High Resolution Layers – Water & Wetness (WAW) fanno riferimento alle serie temporali 2015 e 2018, è stato prodotto utilizzando dati satellitari multitemporali e multispettrali ad alta risoluzione, in particolare Sentinel-2A, Sentinel-1A, Landsat 5, 6, 7 e 8 come base per il calcolo degli indici mNDWI, NDWI, NDVI, oltre a dati ausiliari disponibili. Il Water & Wetness layer (WAW), che rappresenta il prodotto principale, definisce classi con copertura che va da zone sempre asciutte a zone coperte da acqua permanente, temporanea, oppure zone umide permanenti e/o temporanee. Un prodotto aggiuntivo è rappresentato dal Water & Wetness Probability Index (WWPI) che indica l'occorrenza di acque o aree umide durante la maggior parte dell'anno rispetto a un numero di anni. Il prodotto relativo al 2015 ha una risoluzione spaziale di 20 metri, mentre quello relativo al 2018 di 10 metri. L'High Resolution Layer – Small Woody Features (SWF) rappresenta un nuovo prodotto dei servizi di monitoraggio della copertura e uso del suolo del programma Copernicus e fa riferimento al momento al solo 2015 poiché il 2018 sarà disponibile a fine 2021. È stato prodotto utilizzando dati satellitari multitemporali e multispettrali ad alta risoluzione oltre a dati ausiliari disponibili. Il prodotto Small Woody Features include strutture lineari legnose come siepi, arbusti o filari di alberi lungo i confini dei campi, vegetazione ripariale e lungo la strada. Il prodotto è disponibile sia in formato vettoriale che in formato raster, quest'ultimo con una risoluzione spaziale di 5 metri.

Molto nel dettaglio, all'interno della sezione Local Component, i prodotti e le attività coordinate dall'Agenzia Europea dell'Ambiente forniscono informazioni specifiche e dettagliate diversi hotspot, ovvero aree che sono soggette a problemi ambientali specifici. I risultati sono immagini ad altissima risoluzione 2,5 m x 2,5 m in combinazione con altri set di dati disponibili (immagini ad alta e media risoluzione) derivanti dai prodotti PanEuropei. La produzione dei dati è successivamente articolata in Urban Atlas, Riparian Zones, Natura2000, Coastal Zones. Attraverso il dataset Urban Atlas (UA) si forniscono dati relativi alla copertura del suolo all'interno delle Aree Funzionali Urbane (FUA) con intervallo temporale 2006, 2012, 2018 e i relativi cambiamenti all'interno delle finestre 2006-2012 e 2012-2018. Il dato del 2006 comprende 319 FUAs che rappresentano le aree con più di 100.000 abitanti, quello del 2012 comprende 785 FUAs con più di 50.000 abitanti, mentre quello del 2018 è costituito da 788 FUAs. Dalla produzione del dataset del 2012 in poi la nomenclatura identifica 17 classi urbane con unità cartografica minima di 0,25 ha e 10 classi rurali con unità cartografica minima di 1 ha, con una frequenza di aggiornamento ogni 6 anni (figg. 38, 39).

Con i Riparian Zones (RZ) si rappresentano le zone ripariali che si trovano tra ecosistemi terrestri e d'acqua dolce e che si distinguono per particolari caratteristiche idrologiche, del suolo e biotiche. I prodotti appartenenti alla famiglia NATURA 2000 (N2K) rappresentano i siti inclusi all'interno della rete Natura 2000, questi sono particolari habitat naturali in via di estinzione ricchi di specie protette sia a mare che a terra con riferimento agli anni 2006, 2012 e 2017.



Figura 38: : Web Service della componente Local del Copernicus Land Service - Urban Atlas, particolare del centro di Budapest. Immagine da <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>.



Figura 39: Web Service della componente Local del Copernicus Land Service - Street Tree Layer anno 2018, particolare del centro di Roma. Immagine da <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/street-tree-layer-stl-2018>.

In ultimo i datasets Coastal Zones (CZ) sono i prodotti più recenti del CLMS, derivati da una collaborazione stretta con Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), identificano la fascia costiera considerando un buffer di 10 km verso l'entroterra ed includono i due status layers Coastal Zones 2012 e Coastal Zones 2018 e il change layer Coastal Zones 2012-2018 (fig. 40).

Provider Nazionali

Nel corso degli ultimi decenni, la maggiore attenzione dell'Unione Europea nel formulare specifiche politiche indirizzate alla protezione ambientale è stata agevolata dalla crescente disponibilità di dati territoriali quali efficaci strumenti per la pianificazione territoriale e delle risorse ambientali, consentendo un più efficace monitoraggio sia degli impatti derivanti dalle attività antropiche che degli effetti prodotti dalle strategie implementate per compensarli o mitigarli (Costabile, 2010). Considerata la crescente richiesta di informazione geografica sia da parte di enti pubblici centrali e periferici sia da parte dei privati cittadini, si è manifestata con forza la necessità di una regolamentazione nel reperire, catalogare e fornire i dati agli interessati. La soluzione a livello mondiale, europeo e interno ai singoli Stati è stata individuata, con non poche difficoltà, nella realizzazione di infrastrutture di dati ambientali e territoriali intese quindi come catalogo disponibile e condivisibile di conoscenza a supporto delle politiche ambientali e degli interessi della collettività in generale (Crompvoets et al., 2008; Rosario Michel et al., 2022). Per il caso italiano con il D.Lgs 32/10 si sono definite le strategie e la governance per lo sviluppo e la gestione della Infrastruttura



Figura 40: Web Service della componente Local del Copernicus Land Service - Riparian Zone anno 2018, particolare del delta del fiume PO. Immagine da <https://land.copernicus.eu/local/riparian-zones/riparian-zones-2018>.

nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale in linea con quanto indicato dalla direttiva INSPIRE.

La funzione dell'informazione territoriale quale strumento per le politiche ambientali, già manifestata dalla Direttiva INSPIRE è stata recepita dal Legislatore Nazionale richiamando espressamente la Comunicazione della Commissione Europea SEIS (Shared Environmental Information System) indirizzata a rendere omogenee e condivisibili, all'interno dell'Unione europea, le informazioni geo-referenziate di carattere ambientale, affinché queste siano di supporto alle politiche ambientali o per ogni altra attività che possa avere ripercussioni sull'ambiente⁷. In termini più semplici, la Direttiva europea suggerisce l'implementazione di un'infrastruttura assimilabile a un grande contenitore in grado di raccogliere i dati territoriali, archivarli secondo determinati standard per renderli condivisibili a livello europeo, consentendo ad uno Stato membro di effettuare una ricerca, attraverso il web, nell'archivio cartografico di un altro Stato membro, ed utilizzare i dati trovati secondo le proprie finalità.

L'infrastruttura nazionale nasce sotto la responsabilità dell'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare oggi diventato Ministero per la Transizione Ecologica, sulla base della ristrutturazione e unificazione del Portale Cartografico Nazionale e del Sistema Cartografico Cooperante, oggi indicato come Geoportale Nazionale. Attraverso lo sviluppo di tecnologie webGIS è possibile accedere all'intero patrimonio cartografico Nazionale, per pubblicare, ricercare e accedere ai differenti servizi che offre. Complessivamente, si tratta di una infrastruttura in grado di raccogliere tutti i dati geo-spaziali creati da diversi Soggetti Pubblici e renderli disponibili senza inutili duplicazioni o trasferimenti di materiali o supporti. Attraverso un insieme di interfacce tematiche disponibili via web, si garantisce una maggiore disponibilità di dati, trasversali all'intero sistema Paese, con l'obiettivo di ridurre la spesa complessiva, poiché tutti gli Enti possano accedere a una maggiore quantità di dati, anche a dataset e cataloghi di metadati pubblicati da altri Enti.

Con il potenziamento e aggiornamento del catalogo dei metadati, avvenuto a maggio del 2011, si è ottenuta un'ulteriore razionalizzazione della spesa attraverso l'implementazione di un sistema di ricerca più organizzato che consente di navigare tra i metadati, adesso catalogati per temi ambientali e territoriali, valutare le informazioni ed eventualmente pianificare anche un loro acquisto se non liberamente fruibili (per esempio la cartografia storica IGM). All'interno dei server del Geoportale Nazionale sono allocati un insieme di strati informativi e database a copertura nazionale, denominato Base Cartografica di Riferimento, mentre gli Enti cooperanti ospitano gli strati informativi e i database a copertura locale, raggiungibili attraverso la consultazione nel catalogo dei metadati. L'architettura dell'infrastruttura permette ai soggetti fornitori di mantenere il controllo e la gestione dei propri dati e servizi, rendendoli poi consultabili dagli utenti a partire dai metadati associati. Attraverso il Geoportale è possibile visualizzare o elaborare dati territoriali ed ambientali, utilizzando i servizi Web Map Service e

Web Feature Service⁸. Attraverso il Web Map Service che richiama una semplice interfaccia HTTP si possono richiedere immagini di mappe definendo quali sono i layer geografici e l'area di interesse da processare. La risposta alla richiesta è fornita solitamente come GeoTIFF, JPEG o PNG con estensione spaziale, con la possibilità di definire se l'immagine restituita debba essere trasparente, in modo da poter combinare tra loro layer provenienti da server differenti. Invece, attraverso lo standard Web Feature Service, è possibile richiedere oggetti geografici di natura vettoriale caratterizzati da coordinate spaziali ed eventualmente altri attributi alfanumerici (<https://www.ogc.org/>).

Il Geoportale nazionale si interfaccia con gli altri nodi periferici cooperanti che ospitano i dati geografici di propria competenza attraverso National Data Infrastructure; questa architettura informativa progettata secondo i criteri di un Sistema Informativo Cooperante nell'ottica della creazione di un *network* tra Enti cooperanti più complessa e articolata finanziata, progettata e sviluppata dal Ministero per la Transizione Ecologica a quindi il compito di far dialogare i dati geografi archiviati su server differenti senza però avere un trasferimento fisico dei dati stessi. L'Infrastruttura Dati Nazionali consente per esempio, di sviluppare applicazioni e prevedere interfacce con altre tipologie di infrastrutture dati per rispondere a particolari esigenze, attraverso una rete di database collegati via internet mediante standard e protocolli che assicurano compatibilità e l'interoperabilità dei dati e dei servizi. Oltre ai servizi di ricerca precedentemente indicati all'interno del Geoportale Nazionale sono presenti gli strumenti di visualizzazione 2D che consente di sovrapporre strati raster e vettoriali, ed è stato aggiunto un visualizzatore 3D, attraverso il quale l'utente simula il sorvolo impostando e controllando la navigazione attraverso gli strumenti localizzati nelle diverse finestre. Inoltre, è possibile modificare la direzione del volo, la quota, la velocità, la ricerca dei toponimi, l'inserimento e l'aggiornamento di punti di interesse, con la possibilità di sovrapporre al modello tridimensionale ortofoto di annualità diverse, oppure caricare dati vettoriali di proprietà dell'utente.

Provider Regionali

Sulla spinta della Direttiva INSPIRE e del suo recepimento con il D.Lgs. 32/10, molte Regioni italiane hanno provveduto al generale rinnovamento delle proprie infrastrutture dati territoriali. Di seguito si riportano alcuni elementi peculiari presenti in alcuni Geoportali Regionali; tuttavia, è comunque bene ricordare che alla data attuale tutte le Regioni dispongono delle proprie infrastrutture dati territoriali caratterizzate da architetture e funzionalità molto simili tra loro.

L'Emilia-Romagna ha sviluppato il proprio progetto, indicato con la sigla Geo-ER, come snodo della conoscenza geolocalizzata regionale per supportare le attività di programmazione e pianificazione delle Amministrazioni Locali ma anche dei privati cittadini. Il Geoportale Regionale completamente realizzato con tecnologie Open-Source (Plone, OpenLayers, Ratman) offre servizi di consultazione secondo standard dell'Open Geospatial Consortium come i protocolli WMS, WFS, WCS,

WPS e gestisce servizi di catalogo dati consultabili da client esterni in modo automatico. In questo modo la Regione dispone di una piattaforma interoperabile per condividere i propri dati sia internamente che con soggetti esterni conformemente alla direttiva INSPIRE.

Il Sistema Informativo Territoriale Ambientale Diffuso degli Enti pubblici piemontesi, conosciuto con la sigla SITAD, si propone di risolvere i problemi di armonizzazione dei dati geo-spaziali e la mancanza di un approccio coordinato nello scambio di informazione geografiche. Attraverso la standardizzazione dei dati e dei servizi, secondo la Direttiva INSPIRE, è possibile cercare le informazioni e visualizzare i risultati della ricerca suddivisi in dati geografici e alfanumerici, prodotti cartografici, documenti e servizi informativi.

La Regione Sardegna sviluppa il proprio Sistema Informativo Territoriale Regionale, conosciuto come Sitr, finalizzato alla pubblicazione della cartografia ufficiale della Regione Sardegna e supportare le politiche ambientali e di governo del territorio. Sono stati sviluppati diversi web service e diverse applicazioni verticali per la consultazione dei dati geografici. Realizzando una propria Infrastruttura Dati Territoriali, sull'idea di quanto realizzato a scala Nazionale, è stata estesa l'architettura IDT agli Enti Locali e alle Comunità, realizzando il progetto SIT2COM ideato per la creazione di software e strumenti di supporto alle politiche locali di governo e monitoraggio del territorio. All'interno del Sistema Informativo Territoriale Regionale sono allocati i metadati e i set di dati territoriali, i servizi relativi ai dati territoriali, i servizi di rete, gli accordi per l'accesso, la condivisione e all'utilizzo di dati, e infine procedure e processi di coordinamento e monitoraggio. I dati che le Amministrazioni Locali cooperanti condividono con il Sitr-IDT sono ovviamente complete di relativi metadati descrittivi; ai soggetti produttori dei dati geografici vengo pertanto fornite delle precise regole di realizzazione del dato e del metadato, che sono elaborate e pubblicate dal Sitr-IDT. Poiché i dati geografici sono standardizzati secondo le indicazioni di INSPIRE e gestiti e pubblicati attraverso i servizi appartenenti alla famiglia dell'Open Geospatial Consortium, il Sitr-IDT si configura come un'infrastruttura spiccatamente interoperabile, facilmente accessibile dall'esterno, e in grado di garantire la piena condivisione dell'informazione geografica.

3.2. Standard per la creazione e condivisione delle cybe rmappe

3.2.1. La direttiva INSPIRE. INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe

Una significativa percentuale delle informazioni di interesse pubblico solitamente utilizzate anche dai privati cittadini comprende dati georeferenziati intendendo per questi qualsiasi tipo di informazione geograficamente localizzata (AgID, 2015). In particolar modo l'interesse si rivolge alle informazioni geografiche di carattere ambientale per lo sviluppo di programmi e politiche per l'attenuazione degli impatti sui sistemi ecologici generati da settori come agricoltura, trasporti, energia e

turismo dove l'efficacia ed efficienza delle misure di mitigazione e compensazione ambientale dipende dalla disponibilità e dalla qualità dei "dati spaziali", (Eremitaggio et al., 2010; Carlucci, 2019). Le informazioni sono elaborate per ricavare "nuova informazione" combinando differenti tipologie di dati ambientali e geografici; ad esempio, per valutare gli impatti sulla salute dell'inquinamento atmosferico sono necessari dati sulla qualità dell'aria e sulle condizioni meteorologiche, combinati con i dati su trasporti, ubicazione delle fonti di emissione industriali, urbane e agricole, la popolazione e l'epidemiologia.

Tuttavia, fino al decennio passato la possibilità di disporre dell'informazione ambientale pienamente fruibile e utilizzabile, per differenti motivi e ritardi, si è presentata spesso come un obiettivo difficilmente realizzabile; da una parte le maggiori difficoltà erano spesso dovute all'incompletezza se non la totale mancanza dei dati, oppure carenze nella loro documentazione o errori nella compilazione dei metadati associati, l'impossibilità di poterli utilizzare confrontandoli con altre tipologie di dati differenti per contenuto e struttura (Bartha & Kocsis, 2011); sul fronte tecnologico invece si registrava spesso l'eccessiva difficoltà nell'utilizzo degli strumenti che avrebbero dovuto facilitare la ricerca dell'informazione associata in alcuni casi alla presenza di barriere linguistiche, istituzionali e legali (Commissione Europea, 2003; Cetl et al., 2019).

Con lo scopo di superare le difficoltà precedentemente menzionate, e garantire una maggiore facilità d'accesso alle informazioni ambientali e geografiche attraverso una più efficace ed efficiente condivisione tra i Soggetti Pubblici (detentori e responsabili dell'informazione) e cittadini, il Parlamento e Consiglio Europeo il 14 marzo 2007 hanno emanato la Direttiva 2007/2/CE comunemente nota come INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe). Le sue finalità generali sono creare un'infrastruttura geo-informatizzata integrale di rango comunitario per il supporto, lo scambio e l'accesso alle informazioni di carattere ambientale e in più in generale tutte le informazioni territoriali riguardanti le attività e politiche che possono avere un impatto sull'ambiente (Commissione Europea 2007, Perego & Lutz, 2014), superando quindi la frammentazione dell'informazione ambientale attraverso un'armonizzazione delle banche dati geografiche già esistenti nei diversi Stati, colmando dove presenti le lacune informative e contemporaneamente eliminando costosi e pericolosi duplicati informativi (Tonchovska et al., 2012). La Direttiva si basa quindi su una serie di principi comuni (Tonchovska et al., 2012), finalizzati ad assicurare l'archiviazione sicura ed efficiente dei dati con l'eliminazione di duplicati, garantendo la totale e incondizionata possibilità d'accesso alle risorse geografiche e ai servizi a tutti i cittadini, informandoli su quali risorse sono immediatamente disponibili, e quali invece possono essere acquisite attraverso differenti modalità e procedure.

L'implementazione della Direttiva INSPIRE in un contesto comunitario e transfrontaliero, ha richiesto l'adozione di norme attuative comuni e vincolanti nella loro interezza in una serie di settori specifici come Metadati, Specifiche dei

dati, Servizi di rete, Condivisione di dati e servizi, Servizi di dati spaziali, Monitoraggio e reportistica (Vandenbroucke et al., 2008). In particolare, secondo le finalità della Direttiva, le basi di dati territoriali gestite dagli Stati membri UE sono riorganizzate e omogenizzate attraverso 34 librerie standard chiamate anche schemi (Bartha & Kocsis, 2011; Cetl et al., 2019) che costituiscono il framework di base da utilizzare per classificare l'informazione geografica fornendo tutte le informazioni utili per una loro certa e immediata individuazione all'interno del cyberspazio.

Per il mantenimento, aggiornamento e ulteriore sviluppo dell'infrastruttura dati europea si è creato un apposito Comitato INSPIRE composto dai rappresentanti dei Punti di Contatto Nazionale⁹ e da un gruppo di esperti denominato Gruppo per il Mantenimento e l'Implementazione di INSPIRE (INSPIRE Maintenance & Implementation Group – MIG). Il Gruppo di Esperti, formalmente istituito nell'ottobre del 2013, è strutturato in due sottogruppi permanenti: il sottogruppo MIG-T che si focalizza su argomenti prettamente tecnici e il MIG-P che si occupa delle problematiche connesse agli aspetti politici e istituzionali dell'implementazione, ed entrambi i rami del Gruppo Tecnico concorrono nel redigere il programma di lavoro per il mantenimento e l'implementazione di INSPIRE che deve essere successivamente approvato dal Comitato INSPIRE e dalla Commissione.

Tra i compiti specifici del MIG si individuano la divulgazione e scambio di esperienze e buone pratiche relative all'attuazione della Direttiva INSPIRE e alle modalità della sua implementazione, l'identificazione e risoluzione delle differenti problematiche connesse alla gestione della Direttiva fornendo indirizzo per lo sviluppo di regolamenti attuativi e/o delle linee guida tecniche relative per esempio alle tecnologie, gli standard, le metodologie, da utilizzare nel processo di creazione e catalogazione delle risorse geografiche.

Il monitoraggio dell'attuazione della Direttiva INSPIRE è attuato da ciascun Stato membro attraverso la compilazione della scheda di monitoraggio che include un elenco di set di dati territoriali e servizi appartenenti alle infrastrutture nazionali e serie di indicatori (Masser & Crompvoets, 2018), inoltre ogni tre anni a partire dal 2010 è compito di ciascun Stato Membro predisporre una relazione contenente le informazioni sulle strutture di coordinamento, sull'utilizzo delle infrastrutture per l'informazione territoriale, sugli accordi presi all'interno dello Stato Membro per la condivisione dei dati territoriali e sui costi e i benefici della attuazione della Direttiva¹⁰.

3.2.2. Il Registro Nazionale dei Dati Territoriali e lo standard GeoDCAT-AP

In Italia il Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD) è il testo unico, che sintetizza e coordina l'intero istituto giuridico concernente l'informatizzazione della Pubblica Amministrazione e dei suoi rapporti con i cittadini e le imprese. Lo strumento giuridico fortemente voluto all'epoca dal Ministro

per l'innovazione e le Tecnologie Lucio Stanca ha subito nel corso del tempo diverse modifiche e integrazioni¹¹ per renderlo più conforme alla progressiva accelerazione dello sviluppo tecnologico che ha interessato il Paese sia nella sua dimensione pubblica che con i rapporti con privati e aziende.

Nel nuovo contesto normativo, si evidenzia l'importanza dei dati della pubblica amministrazione, indicati come bene patrimoniale della collettività necessari allo sviluppo del mercato e della vita sociale dei cittadini. L'attuazione dei contenuti e degli obiettivi delle politiche di valorizzazione del patrimonio informativo pubblico sono implementate attraverso l'attuazione dell'Agenda nazionale per la valorizzazione del patrimonio informativo pubblico predisposta dall'Agenzia per l'Italia Digitale e condivisa con la Presidenza del Consiglio dei Ministri, nel quale si fa riferimento esplicito riferimento alle basi di dati di interesse nazionale¹², alle Convenzioni per la fruibilità dei dati delle pubbliche amministrazioni e ai dati di tipo aperto¹³. Nello specifico delle basi di dati di interesse nazionale l'Agenda, indica come obiettivo strategico e prioritario il rafforzamento del ruolo del Repertorio nazionale dei dati territoriali nel contesto dell'informazione geografica (AgID 2014), in questo senso si può quindi concludere che il Repertorio ha un ruolo cardine per l'efficienza dell'attività amministrativa in tutti quei settori che utilizzano i dati territoriali. Infatti, all'interno del panorama dell'infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e il monitoraggio ambientale il Registro Nazionale dei Dati Territoriali rappresenta il nodo¹⁴ di raccolta finale delle informazioni su dati e servizi territoriali ubicati presso tutte le altre Amministrazioni Pubbliche italiane (Ciasullo and Rotundo, 2014). Il Registro Nazionale dei Dati Territoriali è quindi una sorta di elenco dei metadati prodotti e conferiti da ciascuna amministrazione (regionale, provinciale, comunale, altro) la quale come previsto dal Codice per l'Amministrazione Digitale, resta totalmente responsabile della correttezza delle informazioni in suo possesso e anche del loro aggiornamento, oltre ovviamente all'aggiornamento e la gestione dei metadati a questi riconducibili¹⁵ (fig. 41).



Figura 41: Home Page del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali. Immagine da <https://geodati.gov.it/geoportale/>.

Contemporaneamente il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali si allinea al raggiungimento degli obiettivi comunitari previsti dalla direttiva INSPIRE e dei relativi regolamenti di attuazione riguardanti la disponibilità dei metadati dei servizi di ricerca, dei processi finalizzati alla interoperabilità e armonizzazione dei dati (Ciasullo, 2012). Infatti, come previsto dalla normativa comunitaria e nazionale, il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali “raccolge” i metadati forniti dalle amministrazioni statali periferiche e dagli altri Enti Locali, attraverso una procedura di harvesting garantendo la conformità della struttura delle informazioni alla struttura del profilo nazionale, per fornire l'erogazione del servizio di ricerca in modo uniforme e generalizzato a livello nazionale e, conseguentemente, l'uniformità rispetto al profilo comunitario previsto dalla direttiva INSPIRE. La conformità è garantita attraverso il rispetto della specifica GeoDCAT-AP¹⁶ definita nell'ambito del programma ISA¹⁷ come estensione del “DCAT application profile for European data portals” (DCAT-AP) per la rappresentazione dei metadati geografici, la condivisione e il riutilizzo intersettoriale e multiplatform di INSPIRE e, la conformità dei metadati rispetto agli standard ISO 19115/19119 e la corrispondente implementazione basata su XML (ISO 19139)¹⁸ anche tra portali e servizi di dati non prettamente geografici utilizzando, appunto, un formato di scambio comune (AglD 2017, Ciasullo et al., 2021). Attraverso le funzioni di ricerca presenti all'interno del RNDT si possono quindi individuare agevolmente i metadati relativi a dati e servizi che le amministrazioni competenti considerano opportuno documentare. La consultazione del catalogo può avvenire sia attraverso il box di ricerca in homepage sia attraverso i cluster tematici INSPIRE e i relativi temi che li compongono sempre in homepage, oppure attraverso le funzionalità della ricerca avanzata, i dati del Catalogo possono essere consultati anche attraverso servizio CSW. All'elaborazione della nuova specifica hanno contribuito più di 50 esperti di 12 Stati Membri europei o partecipando direttamente al Gruppo di Lavoro o formulando osservazioni e proposte di modifica nel periodo di consultazione pubblica¹⁹.

4. Conclusioni

L'accelerazione verso le nuove tecnologie che caratterizza la quarta rivoluzione industriale, appare come la principale causa della l'obsolescenza dei tradizionali sistemi di rappresentazione, gestione e diffusione delle informazioni territoriali attraverso supporti cartacei. La progressiva propensione della realtà che viviamo quotidianamente, verso forme digitali codificate da flussi, informazioni, connessioni e protocolli di trasmissione, ha creato molteplici universi virtuali sovrapposti e interconnessi che si arricchiscono progressivamente di contenuti e funzioni che ritornano nel modo reale per nostro beneficio. In parallelo a questa radicale evoluzione digitale, gli strumenti della scienza cartografica si sono evoluti per assecondare la trasformazione tecnologica affamati di precisione, localizzazione, accessibilità e diffusione di dati e informazioni ad una molteplicità di operatori e utilizzatori, che si differenziano tra loro per capacità di utilizzo e interpretazione. Nello spazio digitale, in alcuni casi i postulati della metrica euclidea perdono di significato o importanza come nella mappatura delle reti sociali dove è invece fondamentale comprendere come i componenti della rete interagiscono tra loro, sia che si tratti di amicizie e di "mi piace" all'interno di un "classico" social network come Facebook sia che si tratti di citazioni, articoli e autori all'interno di una rete bibliografica.

Per agevolare la mappatura dei sistemi sociali, sempre più interagenti e interconnessi, la scienza della rappresentazione cartografica sta iniziando ad avvalersi degli strumenti di altre discipline come la *Social Network Analysis* e la Teoria delle Reti per una loro computazione e rappresentazione. Tuttavia, se la computazione numerica delle interconnessioni dispone di algoritmi con capacità praticamente illimitate, la loro rappresentazione non dispone della stessa potenza espressiva quando la complessità delle reti supera il milione di nodi, in questo senso le prossime ricerche indirizzate sugli algoritmi di layout dovrebbero essere indirizzate

verso strumenti di visualizzazione più efficaci. L'attuale sviluppo per l'integrazione tra differenti strumenti di analisi e rappresentazione offre ulteriori possibilità di ricerca, così gli ibridi generati tra Teoria dei Grafi e GIS consentono per esempio, lo studio e la rappresentazione dei sistemi metropolitani attraverso nuove geografie indirizzate all'interpretazione di fenomeni complessi come il pendolarismo. Oppure, la modellazione digitale integrata costruita su piattaforme GIS e BIM, due strumenti in passato saldamente confinati ai propri ambiti progettuali specialistici: tipicamente territoriale il primo, edilizio e puntuale il secondo, dimostra una accresciuta maturità per la progettazione, rappresentazione e gestione di infrastrutture complesse come i recenti tracciati ferroviari destinati all'alta velocità, o tracciati autostradali comprendendo gallerie, viadotti e stazioni di servizio. In questa direzione, l'attuale sviluppo *CityGML* si sta configurando come lo standard linguistico per l'interazione tra ambienti di progettazione diversi, tuttavia le attuali esperienze sembrano indicare workflow ancora eccessivamente complessi e poco accessibili alla maggior parte dei progettisti, rendendo questa tecnologia poco diffusa. La futura ricerca dovrebbe quindi orientarsi verso ambienti di sviluppo e gestione dei progetti con interfacce semplificate e unificate per una loro diffusione più capillare e frequente.

La ricerca nell'ambito degli strumenti, si sta comunque dimostrando terreno fertile per nuove applicazioni e sviluppi, sia per la crescente e manifesta necessità di possedere quanto più rapidamente e in modo comprensibile una maggiore e migliore informazione sul comportamento di un sistema, indipendentemente che si tratti di un territorio, una città o un edificio, sia per le ulteriori possibilità di sviluppo offerto dall'affermarsi di ulteriori tecnologie di supporto o complementari a quelle descritte. In particolar modo la diffusione della tecnologia 5G, lo sviluppo di algoritmi di Machine Learning e di Intelligenza Artificiale (AI), dell'Internet of Things (IoT), con output grafico interattivo basato su Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (RA), costituiscono i fondamentali elementi accessori nelle piattaforme di progettazione integrale BIM-GIS per lo sviluppo di una nuova famiglia di strumenti che si configura come il più promettente nell'ambito dell'architettura, dell'urbanistica e anche del patrimonio culturale: i Digital Twins, ossia di cloni digitali di sistemi reali, con applicazioni in molti ambiti di ricerca e sviluppo.

Nelle applicazioni territoriali, i diversi casi studio mostrano come il campo di ricerca applicativo dei Digital Twins sia in continua espansione, non solo per le potenzialità offerte nella rappresentazione grazie all'integrazione con la Realtà Virtuale e Aumentata, ma soprattutto per la loro capacità analitico previsionale, che consente di effettuare simulazioni su un clone digitale e comprendere preventivamente benefici, costi e azioni di tutte le strategie che un'amministrazione deve necessariamente tenere conto durante la fase decisionale. La ricerca indica significativi e complessi esempi, ma come detto, il settore di sviluppo e le sue applicazioni sono difficilmente identificabili in questa fase ancora agli albori dove gli unici limiti sembrano essere riconducibili da una parte alla creatività dei progettisti di nuove applicazioni digitali e dall'altra da un'oggettiva limitazione nella capacità

di calcolo degli elaboratori che ancora non consentono di poter creare tutto ciò che si genera la loro fantasia. Se il progettista è il conducente e gli strumenti digitali il mezzo che guida, allora il carburante di questo sono senz'altro le informazioni i dati e le loro fonti di approvvigionamento. Infatti, indipendentemente dalla tecnologia, i dati territoriali costituiscono l'elemento conoscitivo di base per tutte le politiche di gestione del territorio; in modo particolare in questo frangette storico caratterizzato da una drastica limitazione delle risorse economiche necessaria all'implementazione dei programmi territoriale e che obbligano qualsiasi decisore a qualsiasi livello decisionale ad opere delle scelte quanto più razionali possibili.

La conoscenza del mondo reale, nei suoi aspetti, è determinante sia come strumento di sviluppo sia come supporto alle decisioni in numerosi campi come le politiche di sicurezza, di protezione civile, la pianificazione territoriale, i trasporti, l'ambiente. La quarta rivoluzione industriale contraddistinta dalla dominanza in qualsiasi settore dalle tecnologie digitali non ha esclusivamente interessato la modalità, la gestione e l'archiviazione dell'informazione e del dato, ma anche le modalità della loro acquisizione e in modo significativo della loro restituzione. Il supporto cartaceo, dominate nelle scienze cartografiche e geografiche fino al finire del secolo passato è stato progressivamente sostituito, salvo pochissime eccezioni, da modalità di restituzione e comunicazione totalmente rivoluzionarie, almeno nella loro capacità di interazione con l'utilizzatore finale. Le cyber mappe distribuite attraverso diversi web service, superando la precedente tecnologia su supporto cartaceo sviluppano nuovi linguaggi e modalità di comunicazione caratterizzate dalla multimedialità e dalla simultaneità con cui possono essere acquisite informazioni da fonti diverse, dalla velocità con cui possono essere prodotte e infine dalla densità di informazioni della scena osservata in funzione della scala di rappresentazione. In questa direzione, la stessa Unione Europea da qualche anno sta implementando diverse strategie concretizzatesi da una parte nell'avvio del Programma Copernicus per il monitoraggio globale che consente all'utilizzatore di accedere a numerose cyber mappe differenti per tematismo e capacità di interazione con l'utilizzatore, e dall'altra parte assicurando la piena condivisione dei dati territoriali attraverso l'attuazione della Direttiva INSPIRE e dell'infrastruttura tecnologica che la sostiene, basata su standard e procedure comuni su tutto il continente europeo.

La nuova generazione di mappe considera modalità di comunicazione dei dati territoriali attraverso funzionalità dinamiche e di interazione con l'utente, non esclusivamente basate sulla percezione visiva, ma coinvolgendo anche altri sensi: tatto, udito, olfatto o una diversa combinazione tra questi per fornire una nuova esperienza cartografica avvolgente. Come in precedenza, la rapidità dello sviluppo tecnologico in questa direzione non consente ancora di comprendere pienamente le dimensioni delle nuove potenzialità, tuttavia considerando le premesse si può solo ipotizzare che le nuove modalità comunicative impatteranno significativamente e in modo sempre più crescente sulla nostra capacità di percepire il mondo.

NOTE

1. RAPPRESENTARE E MODELLARE I SISTEMI TERRITORIALI COMPLESSI

1. Italferr è un'azienda partecipata al 100% da Ferrovie dello Stato Italiane; fondata a Roma il 25 ottobre 1984 con l'obiettivo di progettare e coordinare i progetti di costruzione dell'alta velocità e di ammodernamento della rete ferroviaria. Presto le sue attività e competenze si sono estese ad un ambito internazionale rendendola tra le più importanti società di ingegneria italiane nel settore dei trasporti.

2. L'Enciclopedia della Matematica definisce un sistema complesso come un insieme di elementi variabili interconnessi anche nella loro evoluzione temporale, così che la conoscenza su ciascun elemento non può considerarsi sufficiente a stabilire le dinamiche interne e le reazioni del sistema nella sua interezza.

3. <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>

4. <https://www.doi.org/>

5. <https://sci2.cns.iu.edu/user/index.php>

6. <https://gephi.org/users/download/>

2. DIGITAL TWIN E SMART CITIES

1. Lo studio Zoan ha ricevuto il secondo premio agli Unreal Awards 2019 per il progetto Experience Design per la progettazione di Virtual Helsinki. La città di Helsinki, all'avanguardia nell'utilizzare l'innovazione digitale per creare soluzioni democratiche e sostenibili per le persone per sperimentare tutto ciò che ha da offrire è stata incoronata come la regione più innovativa dell'UE dalla Commissione europea nel 2019 ed è stata premiata come capitale europea del turismo intelligente nel 2019.

2. Il programma ha ricevuto un finanziamento dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione europea sotto l'accordo di sovvenzione n. 861598. LEAD è un progetto nell'ambito dell'iniziativa CIVITAS, un programma finanziato dall'UE che lavora per rendere la mobilità sostenibile e intelligente una realtà per tutti.

3. CYBER MAPPE PER LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI TERRITORIALI

1. Secondo un rapporto dell'OCSE "il settore spaziale gioca un ruolo sempre centrale nel funzionamento delle società moderne e nel loro sviluppo economico, poiché l'uso della tecnologia satellitare dà origine a nuove applicazioni, usi e mercati". L'OCSE stima che i servizi di consumo o le attività a valle rappresentano il 58% dell'"economia spaziale globale" e comprende attori che non fanno parte della comunità spaziale, ma che si affidano ai dati e ai segnali satellitari per i loro affari. Oltre a sostenere la protezione dell'ambiente e la sicurezza dei cittadini, Copernicus stimolerà le imprese europee a esplorare nuove opportunità di crescita e di business e favorire la creazione di posti di lavoro. Il previsto impatto positivo di Copernicus sull'economia europea in termini di benefici finanziari e di creazione di posti di lavoro è stato analizzato in tre studi indipendenti. Nel febbraio 2008 la Commissione Europea ha stanziato circa 624 milioni di euro per lo sviluppo del segmento spaziale di COPERNICUS, che si aggiungono agli oltre 700 milioni già stanziati dai paesi membri dell'ESA. Alla riunione ministeriale del novembre 2008, allo sviluppo di COPERNICUS sono stati destinati altri 831 milioni di euro, di cui 120 stanziati dall'Italia. Nel dicembre 2017 la Commissione europea ha ultimato uno studio su vasta scala in cui si analizzavano i benefici economici, sociali e ambientali del programma Copernicus in base a vari scenari di evoluzione. Lo studio era incentrato sull'Europa e riguardava il periodo 2017 - 2035. Era volto ad attribuire un valore monetario a tutti i benefici generati dal programma Copernicus per utenti intermedi e finali, con l'obiettivo di fornire ai responsabili politici UE e nazionali una stima della potenziale redditività dell'investimento. Al fine di mostrare i risultati di questo recente studio, la Commissione europea ha pubblicato un opuscolo, una relazione e una sintesi. La relazione sul mercato relativo a Copernicus e diversi studi economici precedenti avevano già dimostrato l'enorme potenziale del programma in termini di creazione di posti di lavoro, innovazione e crescita.

2. in base a vari scenari di evoluzione. Lo studio era incentrato sull'Europa e riguardava il periodo 2017 - 2035. Era volto ad attribuire un valore monetario a tutti i benefici generati dal programma Copernicus per utenti intermedi e finali, con l'obiettivo di fornire ai responsabili politici UE e nazionali una stima della potenziale redditività dell'investimento. Al fine di mostrare i risultati di questo recente studio, la Commissione europea ha pubblicato un opuscolo, una relazione e una sintesi. La relazione sul mercato relativo a Copernicus e diversi studi economici precedenti avevano già dimostrato l'enorme potenziale del programma in termini di creazione di posti di lavoro, innovazione e crescita.

2. Istituita nel 2004 con il decreto del Consiglio Europeo n. 2007, l'Agenzia europea per la gestione della cooperazione internazionale alle frontiere esterne degli Stati membri dell'Unione europea, meglio conosciuta con il nome di Frontex, è un'istituzione dell'Unione europea che ha tra i suoi obiettivi di coordinare le missioni di pattugliamento delle frontiere esterne aeree, marittime e terrestri degli Stati della UE e appoggiare gli Stati membri in operazioni comuni di rimpatrio dei migranti irregolari. Il suo compito è anche quello di aiutare gli stati membri che si trovino in situazioni che necessitano un'assistenza, operativa o tecnica, di rinforzo nel controllo delle frontiere esterne.

3. L'Agenzia europea per la sicurezza marittima (EMSA) fornisce consulenza tecnica e assistenza operativa per migliorare la protezione dei mari, la preparazione e l'intervento in caso di inquinamento e la sicurezza marittima. La maggior parte dei compiti dell'agenzia sono di tipo preventivo, come il monitoraggio dell'applicazione di determinate leggi e la valutazione della loro efficacia globale, ma alcuni sono reattivi, quali fornire ai paesi dell'UE le navi per il recupero degli idrocarburi in caso di gravi fuoriuscite di petrolio in mare e rilevare l'inquinamento marino mediante la sorveglianza via satellite

4. Una definizione viene dalla direttiva 2007/2/CE: la copertura fisica e biologica della superficie terrestre comprese le superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici.

5. 44 classi al terzo livello gerarchico della nomenclatura Corine; unità minima cartografabile (MMU) per la copertura di 25 ettari; ampiezza minima degli elementi lineari di 100 metri; unità minima cartografabile (MMU) per i cambiamenti (LCC) di 5 ettari.

6. I Dominant Leaf Type fornisce l'informazione sul tipo di vegetazione dominante, latifolia o conifera, mentre il Forest type product segue la definizione di 'foresta' della FAO.

7. Il Legislatore ha anche individuato il necessario raccordo tra il D.Lgs. 32/10 "INSPIRE" e il D.Lgs. 195/05 relativo all'accesso del pubblico all'informazione ambientale. In particolare, è stato espressamente previsto che l'indice digitale dei cataloghi pubblici dell'informazione ambientale sia una delle componenti dell'Infrastruttura nazionale. Il D.Lgs. 32/10 prevede, inoltre, che il ruolo di catalogo nazionale dei metadati territoriali sia assolto dal Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali (RNDT), istituito nel marzo 2005 presso l'ex CNIPA, poi DIGITPA, ora Agenzia per l'Italia Digitale. Il decreto assegna il ruolo di Autorità competente al Ministero per la Transizione Ecologica che nello svolgimento delle sue funzioni si avvale dell'ISPRA quale struttura di coordinamento tecnico, anche ai fini del collegamento con la rete europea di informazione e di osservazione in materia ambientale (Eionet).

8. Sono dei documenti tecnici che definiscono interfacce e codifiche aperte sviluppate dall'Open Geospatial Consortium per realizzare specifici scenari di interoperabilità. L'Open Geospatial Consortium è un'organizzazione internazionale non-profit di standard a consenso volontario, per servizi geospaziali e basati sulla localizzazione geografica.

9. Per l'Italia è il Ministero della Transizione Ecologica

10. Decisione della Commissione 2009/442/CE del 5 giugno 2009

11. Decreto Legislativo 7 marzo 2005, n. 82, e s.m.i disciplina l'adozione delle regole tecniche per la formazione, la documentazione, lo scambio e il riutilizzo dei dati territoriali detenuti dalle amministrazioni pubbliche, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 16 maggio 2005, n. 112, S.O. n. 93, è stato successivamente modificato e integrato prima con il decreto legislativo 22 agosto 2016 n. 179 e poi con il decreto legislativo 13 dicembre 2017 n. 217 per promuovere e rendere effettivi i diritti di cittadinanza digitale

12. Il Codice dell'Amministrazione Digitale definisce il dominio delle basi dati di interesse nazionale (ad esempio 'anagrafe della popolazione residente, il casellario giudiziale ed il registro delle imprese etc) prevedendo la possibilità di ampliare l'elenco, definendo i criteri organizzativi di gestione e le modalità tecniche conformi al framework nazionale di interoperabilità.

13. Il Codice per l'Amministrazione Digitale stabilisce che i dati pubblicati senza l'espressa adozione di una licenza per il loro utilizzo si intendono rilasciati come dati di tipo aperto (open data by default), come principio alla base dell'Open Data Charter [2] emanato in occasione del G8, tenutosi sotto il periodo di presidenza del Regno Unito, e sottoscritto dall'Italia.

14. La norma fornisce le specifiche tecniche con le quali viene individuato il contenuto del RNDT e le relative modalità di costituzione e aggiornamento, indicando nel contempo l'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID) quale soggetto responsabile per la gestione organizzativa e tecnologica del RNDT, sviluppando le due funzionalità tipiche di un servizio di catalogo: la consultazione dei metadati e la gestione dei metadati, riservata alle Pubbliche Amministrazioni accreditate. Le specifiche sono state definite dal Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni e adottate con il DM 10 novembre 2011 del Ministro per la pubblica amministrazione e l'innovazione, di concerto con il Ministro per la Transizione Ecologica in G.U. n. 48 del 27 febbraio 2012 – S.O. n. 37; questo organismo è stato successivamente soppresso con Decreto Legislativo n. 179/2016. Le regole tecniche adottate con specifici atti normativi sono state definite dal citato Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni, ovvero: il decreto del Direttore dell'Agenzia del Territorio (oggi Agenzia delle Entrate) del 13 novembre 2007 recante le regole tecnico-economiche per l'utilizzo dei dati catastali; i 4 decreti della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 10 novembre 2011 (pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27 febbraio 2012 - Supplemento ordinario n. 37) recanti: adozione del sistema geodetico nazionale; definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici (aggiornate successivamente da un apposito Gruppo di Lavoro coordinato dal CISIS); definizione del contenuto e delle modalità di alimentazione del RNDT; formazione, documentazione e scambio delle ortofoto digitali alla scala nominale 1:10.000. A queste si aggiungono le specifiche sulle reti di sottoservizi definite da un apposito Gruppo di Lavoro successivamente alla fine del mandato del suddetto Comitato e quelle relative al Sistema Informativo Nazionale Federato delle Infrastrutture (SINFI) in linea con quanto previsto dal D.M. 11/05/2016 del Ministro dello Sviluppo Economico con

il quale sono stabilite le modalità tecniche per la definizione del contenuto di detto Sistema informativo.

15. I metadati sono prodotti dalle singole Amministrazioni responsabili dei dati e servizi, che possono effettuare le operazioni di modifica, aggiornamento e cancellazione dei metadati stessi inviando dei file XML conformi agli schemi XSD di cui al DM 10 novembre 2011.

16. Lo standard GeoDCAT-AP definisce le regole di trasformazione dai metadati INSPIRE / ISO a DCAT-AP, che è attualmente il formato standard per lo scambio di metadati nei cataloghi di dati europei. Queste regole di trasformazione possono essere eseguite all'interno dell'infrastruttura INSPIRE esistente, senza richiedere alcuna modifica interna, e possono essere utilizzate direttamente per rendere fruibili i metadati disponibili tramite un CSW (Catalog Service for the Web).

17. Il programma ISA sostiene lo sviluppo di soluzioni digitali che permettono alle amministrazioni pubbliche, alle imprese e ai cittadini europei di beneficiare di servizi pubblici interoperabili transfrontalieri e intersettoriali. ISA è in corso dal 1° gennaio 2016 al 31 dicembre 2020. Il programma è stato adottato nel novembre 2015 dal Parlamento europeo e dal Consiglio dell'Unione europea.

18. Il rispetto delle regole tecniche del RNDT in aderenza agli standard ISO di riferimento assicura la conformità, senza al Regolamento (CE) n. 1205/2008 per l'attuazione della direttiva INSPIRE per quanto riguarda i metadati. Il RNDT, infatti, è parte integrante dell'infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale, istituita, in Italia, con il D. Lgs. 32/2010, norma di recepimento della Direttiva INSPIRE, quindi il RNDT eroga il servizio di ricerca nazionale ai fini dell'attuazione della direttiva INSPIRE per quanto riguarda i metadati.

19. La specifica è stata elaborata da un apposito gruppo di lavoro istituito nell'ambito dell'Azione 1.1 - Improving semantic interoperability in European eGovernment systems - del programma ISA della Commissione Europea.

BIBLIOGRAFIA

1. RAPPRESENTARE E MODELLARE I SISTEMI TERRITORIALI COMPLESSI

- Acampa, G. Marino, G. Ticali, D. (2019). Validation of infrastructures through BIM. In *AIP conference proceedings* (Vol. 2186, No. 1, p. 160011). AIP Publishing LLC.
- Agnoletti, M. (2014). Rural landscape, nature conservation and culture: Some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective. *Landsc. Urban Plan.* 126, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.012>
- Albrechts, L., & Mandelbaum, S. (2007). *The network society: a new context for planning*. Routledge.
- Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2015). A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to building. *Locate*, 15(2015), 10-12.
- Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2016). A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM–GIS integration. *International Journal of Digital Earth*, 9(4), 363-386. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1034201>
- Balestrieri, M. (2014). Rurality and competitiveness. Some observations on the local area: The case of the Sardinian Region. *International Journal of Rural Management*, 10(2), 173-197. <https://doi.org/10.1177/0973005214546599>
- Balestrieri, M. (2015). Theories and methods of rural landscape classification in Europe: the Italian approach. *International Journal of Rural Management*, 11(2), 156-174. <https://doi.org/10.1177/0973005215604932>
- Balestrieri, M., & Ganciu, A. (2019). The Use of Graphs to Explore the Network Paradigm in Urban and Territorial Studies. In (Eds.), *International and Interdisciplinary Conference on Image and Imagination* (pp. 1120-1132). Springer, Cham.
- Balducci, A., Valeria Fedeli, V., & Francesco Curci, F. (2017). *Post-Metropolitan Territories: Looking for a New Urbanity*. Routledge.

- Bansal, V. K. (2011). Use of GIS and topology in the identification and resolution of space conflicts. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(2), 159-171. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000075](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000075)
- Bastian, O., Grunewald, K., Syrbe, R. U., Walz, U., & Wende, W. (2014). Landscape services: the concept and its practical relevance. *Landscape ecology*, 29(9), 1463-1479. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0064-5>
- Batagelj, V. (2003). Efficient algorithms for citation network analysis. *arXiv preprint cs/0309023*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0309023>
- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity*. The MIT Press.
- Batty, M. (2011). When all the world's a city. *Environment and Planning A*, 43(4), 765-772. doi:10.1068/a43403
- Becker, T. Nagel, C. Kolbe, T.H. (2009). A multilayered space-event model for navigation in indoor spaces. In L. Jiyeong, Z. Sisi (Eds.), *Lecture Notes in Geoinformation & Cartography* (pp. 61-77). Springer.
- Luiten, G. T., Böhms, H. M., Nederveen, S. V., & Bektas, E. (2013). Distributed modeling for road authorities.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4-5), 175-308. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2005.10.009>
- Bocconcino, M. Vozzola, M. (2020) Infografica e visualizzazione grafica: nuovi modi per la rappresentazione dei dati. *Building Information Modeling, Data & Semantics*.
- Boguslawski, P., Gold, C. M., & Ledoux, H. (2011). Modelling and analysing 3D buildings with a primal/dual data structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(2), 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.003>
- Bompard, E., Napoli, R., & Xue, F. (2009). Analysis of structural vulnerabilities in power transmission grids. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2(1-2), 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2009.02.002>
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J., & Labianca, G. (2009). Network analysis in the social sciences. *science*, 323(5916), 892-895. DOI: 10.1126/science.1165821
- Börner, K., Chen, C., & Boyack, K. W. (2003). Visualizing knowledge domains. *Annual review of information science and technology*, 37(1), 179-255. <https://doi.org/10.1002/aris.1440370106>
- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2015). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263-281. DOI: 10.1111/mice.12090
- Borrmann, A. Ji, Y. Jubierre, J. R. & Flurl, M. (2012). Procedural Modeling: A new approach to multi-scale design in infrastructure projects. In EG (Eds) *ICE workshop on intelligent computing in civil engineering* (pp. 1-10).puting in civil engineering.
- Bourdeau-Lepage, L. Huriot, J.M. (2006). Megacities vs Global Cities. In (Eds), *Development and Institutions*. ERSA Conference Papers.

- Burger, M., & Meijers, E. (2012). Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. *Urban studies*, 49(5), 1127-1149. <https://doi.org/10.1177/0042098011407095>
- Caldarelli, G. (2007). *Scale-free networks: complex webs in nature and technology*. Oxford University Press.
- Cheng, J. C., Deng, Y., & Anumba, C. (2015). Mapping BIM schema and 3D GIS schema semi-automatically utilizing linguistic and text mining techniques. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20(14), 193-212.
- Cheng, J. C., Lu, Q., & Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*, 67, 31-47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006>
- Cicalò, E. Menchetelli, V. (2007). Informazioni accessibili. la visualizzazione dati nell'epoca dei big data, degli open data e degli open tools. *Building Information Modeling, Data & Semantics*.
- Cicalò, E., Pileri, M., Valentino, M., (2021). Connessione tra saperi. Il contributo delle scienze grafiche nella ricerca in ambito medico. Connecting Knowledge. The Contribution of Graphic Sciences to Medical Research. In A. Arena & M. Arena & D. Mediatì & P. Raffa (Eds) *42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. CONNETTERE_un disegno per annodare e tessere Linguaggi, Distanze, Tecnologie. 16, 17 e 18 settembre 2021, pp. 510-527. Reggio Calabria e Messina
- Claval, P. (2005). Reading the rural landscapes. *Landscape and urban planning*, 70(1-2), 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.014>
- Clementi, A. (2002). *Interpretazioni di Paesaggio*; Meltemi.
- Cook, E. A. (2002). Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. *Landscape and urban planning*, 58(2-4), 269-280. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00226-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00226-2)
- De Goei, B., Burger, M. J., Van Oort, F. G., & Kitson, M. (2010). Functional polycentrism and urban network development in the Greater South East, United Kingdom: Evidence from commuting patterns, 1981–2001. *Regional Studies*, 44(9), 1149-1170. DOI: 10.1080/00343400903365102
- De Laat, R. van Berlo, L. (2001). *Integration of BIM and GIS: The development of the citygml GeoBIM extension*. In (Eds.) *Advances in 3D Geo-Information Sciences* (pp. 211–225). Springer.
- Del Giudice, M., & Iacono, E. (2021). Approccio algoritmico per l'applicazione degli standard grafici in ambiente BIM. *Diségno*, (8), 59-70. <https://doi.org/10.26375/disegno.8.2021.8>
- Dempwolf, C. S., & Lyles, L. W. (2012). The uses of social network analysis in planning: A review of the literature. *Journal of Planning Literature*, 27(1), 3-21. DOI: 10.1177/0885412211411092
- De Luca D., Mecca U., Moglia G., Rebaudengo M., (2021). Realtà Aumentata con GIS e BIM a servizio dei processi di scelta complessa. In A. Arena, M. Arena, D. Mediatì, P. Raffa (Eds.), *42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*

- CONNETTERE_un disegno per annodare e tessere *Linguaggi, Distanze, Tecnologie*. 16, 17 e 18 settembre 2021, pp. 390-403. Reggio Calabria e Messina
- De Meo, P., Ferrara, E., Fiumara, G., & Provetti, A. (2011). Generalized louvain method for community detection in large networks. In (Eds.) *11th international conference on intelligent systems design and applications* (pp. 88-93). IEEE.
- Deng, Y., Cheng, J. C., & Anumba, C. (2016). A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(10), 1267-1280. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1110603>
- Deng, Y., Cheng, J. C., & Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>
- Derrible, S., & Kennedy, C. (2011). Applications of graph theory and network science to transit network design. *Transport reviews*, 31(4), 495-519.
- Domon, G. (2011). Landscape as resource: Consequences, challenges and opportunities for rural development. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 338-340. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.014>
- Dossick, C. S., & Neff, G. (2010). Organizational divisions in BIM-enabled commercial construction. *Journal of construction engineering and management*, 136(4), 459-467. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000109](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000109)
- Ehlers, E. Krafft, T. (2001). Understanding the Earth System-From Global Change Research to Earth System Science. In (Eds.) *Understanding the Earth System* (pp.3-16) Springer.
- El-Mekawy, M., Östman, A., & Hijazi, I. (2012). A unified building model for 3D urban GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 1(2), 120-145. DOI:10.3390/ijgi1020120
- Estrada, E., & Bodin, Ö. (2008). Using network centrality measures to manage landscape connectivity. *Ecological Applications*, 18(7), 1810-1825. <https://doi.org/10.1890/07-1419.1>
- Foulds, L. R. (2012). *Graph theory applications*. Springer Science & Business Media.
- Ganciu, A., Balestrieri, M., Cicalò, E. (2016). Visualising the research on visual landscapes. Graph representation and network analysis of international bibliography on landscape. In (Eds) *Proceedings of the XIV International Forum Le Vie dei Mercanti*, Capri, Italy, 16–18 June 2016.
- Ganciu, A., Balestrieri, M., Imbroglini, C., & Toppetti, F. (2018). Dynamics of metropolitan landscapes and daily mobility flows in the Italian context. An analysis based on the theory of graphs. *Sustainability*, 10(3), 596.
- Ganciu A. Balestrieri M. Zicca G. (2021). Dinamiche paesaggistiche nella regione storica dell'Ogliastra: analisi preliminari e mappatura delle trasformazioni. In Cicalò, E. & Menchetelli, V. & Valentino, M. (Eds.); *MAPPE Linguaggi Grafici* (pp. 1932-1411). Publica.
- Garfield, E., Sher, I. H., & Torpie, R. J. (1964). *The use of citation data in writing the history of science*. Institute for Scientific Information Inc Philadelphia PA.
- Gigliarelli, E. & Calcerano, F. & Calvano, M. & Cursi, S. & Lorenzi, L. & Martinelli, L., (2020). Sibilla M; La rappresentazione della conoscenza utilizzando le mappe

- cognitive per favorire la ricerca collaborative. *Building Information Modeling, Data & Semantics*.
- Graham, M., Zook, M., & Boulton, A. (2013). Augmented reality in urban places: contested content and the duplicity of code. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 38(3), 464-479. doi: 10.1111/j.1475-5661.2012.00539.x
- Gulickx, M. M. C., Verburg, P. H., Stoorvogel, J. J., Kok, K., & Veldkamp, A. (2013). Mapping landscape services: a case study in a multifunctional rural landscape in The Netherlands. *Ecological Indicators*, 24, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.005>
- Goudie, A.S. (2013). *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future*. John Wiley & Sons.
- Green, N. (2007). Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis. *Urban studies*, 44(11), 2077-2103. DOI: 10.1080/00420980701518941
- Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML–Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12-33. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004>
- Gröger, G. Kolbe, T. Nagel, C. Häfele, K. (2012). *City Geography Markup Language (Citygml) Encoding Standard v2. 0*. Open Geospatial Consortium.
- Hall, P. Pain, K. (2016). *The Polycentric Metropolis: Learning from the Mega-City Regions in Europe*. Earthscan.
- Hardin, B. (2009). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. John Wiley & Sons.
- Hijazi, I. Ehlers, M. Zlatanova, S. Becker, T. van Berlo, L. (2011). Initial investigations for modeling interior utilities within 3D geo context: Transforming ifc-interior utility to citygml/utilitynetworkade. In (Eds) *Advances in 3D Geo-Information Sciences* (pp. 95-113). Springer.
- Hijazi, I. H., Ehlers, M., & Zlatanova, S. (2012). NIBU: A new approach to representing and analysing interior utility networks within 3D geo-information systems. *International Journal of Digital Earth*, 5(1), 22-42. <https://doi.org/10.1080/17538947.2011.564661>
- Horner, M. W. (2004). Spatial dimensions of urban commuting: a review of major issues and their implications for future geographic research. *The Professional Geographer*, 56(2), 160-173. DOI: 10.1111/j.0033-0124.2004.05602002.x
- Horrocks, I. (2008). Ontologies and the semantic web. *Communications of the ACM*, 51(12), 58-67. <https://doi.org/10.1145/1409360.1409377>
- Hu, Y. (2005). Efficient, high-quality force-directed graph drawing. *Mathematica journal*, 10(1), 37-71.
- Ippoliti, E., & Meschini, A. (2010). From the “3D model” to the “3D scene”. Prospects and opportunities for the enhancement of an architectural and urban cultural heritage. *DISEGNARECON*, 3(6), 77–91.
- Irizarry, J., & Karan, E. P. (2012). Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration. *Journal of information technology in construction (ITcon)*, 17(23), 351-366.

- Jin, J. H., Park, S. C., & Pyon, C. U. (2011). Finding research trend of convergence technology based on Korean R&D network. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15159-15171.
- Lapierre, A. Cote, P. (2008) Using Open Web Services for Urban Data Management: A Testbed Resulting from an OGC Initiative Offering Standard CAD/GIS/BIM Services. In Rumor, M. & Coors, V. & Fendel, E.M. & Zlatanova, S. (Eds) *Urban and Regional Data Management* (pp. 381-392). Taylor and Francis Group
- Limtanakool, N., Dijst, M., & Schwanen, T. (2007). A theoretical framework and methodology for characterising national urban systems on the basis of flows of people: empirical evidence for France and Germany. *Urban Studies*, 44(11), 2123-2145.
- Liu, R. Issa, R. (2012). 3D visualization of sub-surface pipelines in connection with the building utilities: Integrating GIS and BIM for facility management. In (Eds.) *Computing in Civil Engineering* (pp. 341-348). ASCE.
- Liu, K., Murayama, Y., & Ichinose, T. (2020). Using a new approach for revealing the spatiotemporal patterns of functional urban polycentricity: A case study in the Tokyo metropolitan area. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102176. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102176>
- Liu, X., Shannon, J., Voun, H., Truijens, M., Chi, H. L., & Wang, X. (2014). Spatial and temporal analysis on the distribution of active radio-frequency identification (RFID) tracking accuracy with the kriging method. *Sensors*, 14(11), 20451-20467. <https://doi.org/10.3390/s141120451>
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C., Li, X., & Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Lo, H. K., & Tung, Y. K. (2003). Network with degradable links: capacity analysis and design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(4), 345-363. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(02\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(02)00017-6)
- Longley, P. (2005). *Geographic Information Systems and Science*; John Wiley & Sons.
- Luigini, A (2021a). Ricerca interdisciplinare e ICAR17: una proposta per la definizione di un modello condiviso. In A. Arena, M. Arena, D. Mediati, P. Raffa (Eds.), 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione *CONNETTERE_un disegno per annodare e tessere Linguaggi, Distanze, Tecnologie*. 16, 17 e 18 settembre 2021, pp. 567-575. Reggio Calabria e Messina
- Luigini A (2021b); Riviste scientifiche nel settore ICAR17: analisi quantitativa delle keywords e dei temi di ricerca. In A. Arena, M. Arena, D. Mediati, P. Raffa (Eds.), 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione *CONNETTERE_un disegno per annodare e tessere Linguaggi, Distanze, Tecnologie*. 16, 17 e 18 settembre 2021, pp. 879-889. Reggio Calabria e Messina
- Maietti Federica, Tasselli Nicola (2020). Connessioni digitali. Integrazione dati in ambiente BIM per l'intervento sul patrimonio esistente/Digital connections. Data integration in BIM environment for the intervention on existing buildings. n A. Arena, M. Arena, D. Mediati, P. Raffa (Eds.), 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline

- della Rappresentazione CONNETTERE_un disegno per annodare e tessere Linguaggi, *Distanze, Tecnologie*. 16, 17 e 18 settembre 2021. Reggio Calabria e Messina
- Månsson, U. (2015). BIM & GIS connectivity paves the way for really smart cities. *Geoforum Perspektiv*, 14(25). <https://doi.org/10.5278/ojs.perspektiv.v14i25.1232>
- Martin, S., Brown, W. M., Klavans, R., & Boyack, K. W. (2011, January). OpenOrd: an open-source toolbox for large graph layout. In *Visualization and Data Analysis 2011* (Vol. 7868, p. 786806). *International Society for Optics and Photonics*. doi: 10.1117/12.871402
- Marzouk, M., & Othman, A. (2020). Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102120. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120>
- Mathis, P. (2013). *Graphs and Networks: Multilevel Modeling*. Wiley
- Mecca, U., Moglia, G., Prizzon, F., & Rebaudengo, M. (2019). MAPPING MAINTENANCE REGULATIONS: A METHODOLOGICAL FRAMEWORK TO IMPROVE TERRITORIAL RESILIENCE. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(1.4), 229-244.
- Mignard, C., & Nicolle, C. (2014). Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D. *Computers in Industry*, 65(9), 1276-1290. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.07.008>
- Moglia Giuseppe, Del Giudice Matteo, Rebaudengo Manuela (2018). The model of the city: data variety, operability and interfaces. In Salerno R. (Eds.). *Rappresentazione/Materiale/Immateriale*. Atti del 40° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Milano 13-15 settembre, (pp. 183-186). Roma: Gangemi.
- Münter, A., & Volgmann, K. (2014). The metropolization and regionalization of the knowledge economy in the multi-core Rhine-Ruhr metropolitan region. *European Planning Studies*, 22(12), 2542-2560. <https://doi.org/10.1080/09654313.2013.844776>
- Næss, P. (2012). Urban form and travel behavior: Experience from a Nordic context. *Journal of Transport and Land use*, 5(2), 21-45. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v5i2.314>
- Nagel, C., Stadler, A., & Kolbe, T. H. (2009). Conceptual requirements for the automatic reconstruction of building information models from uninterpreted 3D models. In (Eds) *Proceedings of the Academic Track of the Geoweb 2009-3D Cityscapes Conference in Vancouver, Canada, 27-31 July 2009*.
- Newman, M. E. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2), 167-256. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cond-mat/0303516>
- Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical review E*, 69(2), 026113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>
- Ogie, R., Holderness, T., Dunbar, M., & Turpin, E. (2017). Spatio-topological network analysis of hydrological infrastructure as a decision support tool for flood mitigation in coastal mega-cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(4), 718-739. DOI: 10.1177/0265813516637608

- Palang, H., Helmfrid, S., Antrop, M., & Alumäe, H. (2005). Rural landscapes: past processes and future strategies. *Landscape and urban planning*, 70(1-2), 3-8. doi:10.1016/j.landurbplan.2003.10.001
- Patuelli, R., Reggiani, A., Gorman, S. P., Nijkamp, P., & Bade, F. J. (2007). Network analysis of commuting flows: A comparative static approach to German data. *Networks and Spatial Economics*, 7(4), 315-331. DOI 10.1007/s11067-007-9027-6
- Pauwels, P., Van Deursen, D., Verstraeten, R., De Roo, J., De Meyer, R., Van de Walle, R., & Van Campenhout, J. (2011). A semantic rule checking environment for building performance checking. *Automation in construction*, 20(5), 506-518. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.017>
- Penttilä, H. (2006). Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 11(29), 395-408.
- Peters, E. (2010). BIM and geospatial information systems. In (Eds) *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*; (pp. 483-500). IGI Global.
- Plantinga, A. J., Lubowski, R. N., & Stavins, R. N. (2002). The effects of potential land development on agricultural land prices. *Journal of urban economics*, 52(3), 561-581. [https://doi.org/10.1016/S0094-1190\(02\)00503-X](https://doi.org/10.1016/S0094-1190(02)00503-X)
- Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006). The network analysis of urban streets: A dual approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 369(2), 853-866. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.12.063>
- Pucci, P. (2017). Mobility behaviours in peri-urban areas. The Milan Urban Region case study. *Transportation research procedia*, 25, 4229-4244.
- Rafiee, A., Dias, E., Fruijtier, S., & Scholten, H. (2014). From BIM to geo-analysis: view coverage and shadow analysis by BIM/GIS integration. *Procedia Environmental Sciences*, 22, 397-402. doi: 10.1016/j.proenv.2014.11.037
- Ravetz, A. (2013) *Remaking Cities (Routledge Revivals): Contradictions of the Recent Urban*. Routledge Revivals:New York.
- Robins, G. (2013). A tutorial on methods for the modeling and analysis of social network data. *Journal of Mathematical Psychology*, 57(6), 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2013.02.001>
- Roca Cladera, J., Marmolejo Duarte, C. R., & Moix, M. (2009). Urban structure and polycentrism: Towards a redefinition of the sub-centre concept. *Urban Studies*, 46(13), 2841-2868. DOI: 10.1177/0042098009346329
- Salas-Olmedo, M. H., & Nogués, S. (2012). Analysis of commuting needs using graph theory and census data: A comparison between two medium-sized cities in the UK. *Applied geography*, 35(1-2), 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.05.004>
- Saygi, G., & Remondino, F. (2013). Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-art and Future Perspectives. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), 695-713. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.2.4.695>
- Salerno, R. (2019). Representing and Visualizing in Landscape, between Hard Sciences and Humanities. *disegno*, (5), 23-32. <https://doi.org/10.26375/diseigno.7.2020.08>

- Sohn, J. (2005). Are commuting patterns a good indicator of urban spatial structure?. *Journal of Transport geography*, 13(4), 306-317.
- Squire, K., & Klopfer, E. (2007). Augmented reality simulations on handheld computers. *The journal of the learning sciences*, 16(3), 371-413. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.07.005>
- Stadler, A. Kolbe, T.H. (2007). Spatio-semantic coherence in the integration of 3d city models. In (Eds.) *Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Data Quality*, Enschede.
- Stancato G., Piga B. (2020). La simulazione parametrica come strumento per informare la rappresentazione/Parametric simulation as a tool for reporting representation. In Arena A., Arena M., Brandolino R.G., Colistra D., Ginex G., Mediati D., Nucifora S., Raffa P. (Eds.). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere*. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. *Drawing for weaving relationships*. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers (pp. 829-846). Milano: FrancoAngeli.
- Stanton-Chapman, T. L., & Chapman, D. A. (2006). Using GIS to investigate the role of recreation and leisure activities in the prevention of emotional and behavioral disorders. *International Review of Research in Mental Retardation*, 33, 191-211.
- Susilo, Y. O., & Maat, K. (2007). The influence of built environment to the trends in commuting journeys in the Netherlands. *Transportation*, 34(5), 589-609. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9129-5>
- Tassinari, P., Torreggiani, D., & Benni, S. (2013). Dealing with agriculture, environment and landscape in spatial planning: A discussion about the Italian case study. *Land Use Policy*, 30(1), 739-747. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.05.014>
- Taubenböck, H., Standfuß, I., Wurm, M., Krehl, A., & Siedentop, S. (2017). Measuring morphological polycentricity-A comparative analysis of urban mass concentrations using remote sensing data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 42-56.
- Taylor, J.E.; Bernstein, P.G. Paradigm trajectories of building information modeling practice in project networks. *J. Manag. Eng.* 2009, 25, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.005>
- Termorshuizen, J. W., & Opdam, P. (2009). Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape ecology*, 24(8), 1037-1052. DOI 10.1007/s10980-008-9314-8
- Tolmer, C.-E. Castaing, C. Diab, Y. Morand, D. Citygml and IFC: Going further than LOD. In (Eds) *Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, France, 28 October–1 November 2013.
- Tolmer, C. E., Castaing, C., Diab, Y., & Morand, D. (2017). Adapting LOD definition to meet BIM uses requirements and data modeling for linear infrastructures projects: using system and requirement engineering. *Visualization in Engineering*, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0059-9>
- Turri, E. (2008). *Antropologia del Paesaggio*; Marsilio.
- Urban, D. L., Minor, E. S., Trembl, E. A., & Schick, R. S. (2009). Graph models of habitat mosaics. *Ecology letters*, 12(3), 260-273. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01271.x

- Ustaoglu, E., Castillo, C. P., Jacobs-Crisioni, C., & Lavalle, C. (2016). Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes. *Land use policy*, 56, 125-146. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.020>
- Valentini, L., Brovelli, M. A., & Zamboni, G. (2014). Multi-frame and multi-dimensional historical digital cities: the Como example. *International Journal of Digital Earth*, 7(4), 336-350. <https://doi.org/10.1080/17538947.2012.739662>
- Van Oort, F., Burger, M., & Raspe, O. (2010). On the economic foundation of the urban network paradigm: Spatial integration, functional integration and economic complementarities within the Dutch Randstad. *Urban Studies*, 47(4), 725-748. DOI: 10.1177/0042098009352362
- Vasanen, A. (2012). Functional polycentricity: Examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. *Urban studies*, 49(16), 3627-3644. DOI: 10.1177/0042098012447000
- Veneri, P. (2013). The identification of sub-centres in two Italian metropolitan areas: A functional approach. *Cities*, 31, 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.04.006>
- Veneri, P. (2010). Urban polycentricity and the costs of commuting: Evidence from Italian metropolitan areas. *Growth and Change*, 41(3), 403-429. DOI:10.1111/j.1468-2257.2010.00531.x
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Yau, N. J., Tsai, M. K., & Yulita, E. N. (2014). Improving efficiency for post-disaster transitional housing in Indonesia: an exploratory case study. *Disaster Prevention and Management*. Vol. 23 No. 2, pp. 157-174. <https://doi.org/10.1108/DPM-04-2013-0071>
- Kolbe, T.H. (2009). Representing and exchanging 3D city models with citygml. In (Eds.) *3D Geo-Information Sciences* (pp. 15-31). Springer: Heidelberg
- Krehl, A. (2018). Urban subcentres in German city regions: Identification, understanding, comparison. *Papers in Regional Science*, 97, S79-S104. doi:10.1111/pirs.12235
- Xiao, J., Liu, H., Luan, X., Zhou, Z. (2007). *The Design of a Map Database; Geoinformatics*. International Society for Optics and Photonics.
- Xie, F., Levinson, D. (2011). *Evolving Transportation Networks*. Springer
- Wang, X., Love, P. E., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in construction*, 34, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.012>
- Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., & Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.003>
- Worboys, M. F., & Duckham, M. (2004). *GIS: a computing perspective*. CRC press.
- Wu, J., Xiang, W. N., & Zhao, J. (2014). Urban ecology in China: Historical developments and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.010>

- Zhong, C., Schlöpfer, M., Müller Arisona, S., Batty, M., Ratti, C., & Schmitt, G. (2017). Revealing centrality in the spatial structure of cities from human activity patterns. *Urban Studies*, 54(2), 437-455. <https://doi.org/10.1177/0042098015601599>
- Zoppi, C., & Lai, S. (2010). Assessment of the Regional Landscape Plan of Sardinia (Italy): A participatory-action-research case study type. *Land Use Policy*, 27(3), 690-705. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.004>

2. DIGITAL TWIN E SMART CITIES

- Aheleroff, S., Xu, X., Zhong, R. Y., & Lu, Y. (2021). Digital twin as a service (DTaaS) in industry 4.0: an architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), 899-919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Arrichiello, V., & Gualeni, P. (2020). Systems engineering and digital twin: A vision for the future of cruise ships design, production and operations. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(1), 115-122. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00621-3>
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, 114, 103179. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- Bohlin, R. Hagmar, J. Bengtsson, K. Lindkvist, L. Carlson, J.S. Söderberg, R. (2017). Data flow and communication framework supporting digital twin for geometry assurance. Presented at the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), <http://dx.doi.org/10.1115/IMECE2017-71405>.
- Bruynseels, K., Santoni de Sio, F., & Van den Hoven, J. (2018). Digital twins in health care: ethical implications of an emerging engineering paradigm. *Frontiers in genetics*, 31. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00031>
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119790.
- Cimino, C., Negri, E., Fumagalli, L., (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Comput.Ind.*113,103130. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: a systematic literature review. In (Eds.) *Smart City* (pp. 13 e 43). Springer
- Damiani, L. Demartini, M. Giribone, P. Maggiani, M. Revetria, R. Tonelli, F., (2018). Simulation and digital twin based design of a production line: a case study. In (Eds) *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*.
- Dassisi, M. Giovannini, A. Merla, P. Chimienti, M. Panetto, H. (2017a). Hybrid production-system control-architecture for smart manufacturing. In (Eds.) *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*, (pp. 5-15). Springer.

- Dassisti, M. Panetto, H. Lezoche, M. Merla, P. Semeraro, C. Giovannini, A. Chimienti, M., (2017b). Industry 4.0 paradigm: the viewpoint of the small and medium enterprises. In (Eds.) *7th International Conference on Information Society and Technology*, (pp. 50-54). ICIST.
- De Luca, D., Mecca, U. Moglia, G. Rebaudengo, M. (2020). Realtà Aumentata con GIS e BIM a servizio dei processi di scelta complessa/Augmented Reality with GIS and BIM at the service of complex choice processes. In Arena, A. & Arena, M. & Brandolino, R.G. & Colistra, D. & Ginex, G. & Mediati, D. & Nucifora S. & Raffa P. (Eds.) *Connettere. Un disegno per annodare e tessere*. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. *Drawing for weaving relationships*. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers (pp. 390-403) Milano: FrancoAngeli.
- Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z. J. M. (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.03.003>
- Fan, C., Zhang, C., Yahja, A., & Mostafavi, A. (2021). Disaster City Digital Twin: A vision for integrating artificial and human intelligence for disaster management. *International Journal of Information Management*, 56, 102049. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102049>
- Giordano, A., & Huffman, K. L. (2018). Advanced technologies for historical cities visualization. *DisegnareCON*, 11(21), 1-3.
- Graessler, I. Poehler, A. (2017). Integration of a digital twin as human representation in a scheduling procedure of a cyber-physical production system. In (Eds.): *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 289-293). IEEE.
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. *White paper*, 1, 1-7.
- Grieves, M. Vickers, J. (2017). Digitaltwin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In (Eds.) *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 58-113). Springer.
- Hermann, M. Pentek, T. Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In (Eds.) *49th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 3928-3937). IEEE.
- Lee, J., Lapira, E., Yang, S., & Kao, A. (2013). Predictive manufacturing system-Trends of next-generation production systems. *Ifac proceedings volumes*, 46(7), 150-156.
- Mohammadi, N. Taylor, J. (2020). Knowledge discovery in smart city digital twins. In (Eds.) *Proceedings of the 53rd Hawaii international conference on system sciences*.
- Pirola, F., Boucher, X., Wiesner, S., & Pezzotta, G. (2020). Digital technologies in product-service systems: a literature review and a research agenda. *Computers in Industry*, 123, 103301. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103301>
- Qin, S. J., & Chiang, L. H. (2019). Advances and opportunities in machine learning for process data analytics. *Computers & Chemical Engineering*, 126, 465-473. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.04.003>

- Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 130, 103469. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469>
- Sepasgozar, S. M. (2021). Differentiating digital twin from digital shadow: Elucidating a paradigm shift to expedite a smart, sustainable built environment. *Buildings*, 11(4), 151. <https://doi.org/10.3390/buildings11040151>
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2), 36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. (2018). Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *Cirp Annals*, 67(1), 169-172. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.055>
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9), 3563-3576. DOI 10.1007/s00170-017-0233-1
- Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/154798>
- Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57 (3), 221-224. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>
- Zhang, X., Nakae, M., Covington, M. J., & Sandhu, R. (2008). Toward a usage-based security framework for collaborative computing systems. *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC)*, 11(1), 1-36. <https://doi.org/10.1145/1330295.1330298>

3. CYBER MAPPE PER LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI TERRITORIALI

- Annunziata, F., Costabile, S., Cresca, R., Terzani, C., Cipolloni, C., Munafò, M., & Piva, F. INSPIRE National Contact Point in Italia e il monitoring 2012.
- AgID(2014). Agenda nazionale per la valorizzazione del patrimonio informativo pubblico anno 2014, http://www.agid.gov.it/sites/default/files/documenti_indirizzo/agendanazionalepatrimoniopubblico2014.pdf
- AgID(2015). AgID e informazione geografica; La nuova figura professionale del Geographic Information Manager Link campus University; Roma, 18 giugno 2015; https://geodati.gov.it/geoportale/images/struttura/documenti/AgID_e_informazione_geografica_GC.pdf
- AgID (2017). Linee guida per l'implementazione della specifica GeoDCAT-AP. https://geodati.gov.it/geoportale/images/struttura/documenti/GeoDCAT-AP_IT-v1.0.pdf
- Bartha, G., & Kocsis, S. (2011). Standardization of geographic data: The european inspire directive. *European Journal of Geography*, 2(2), 79-89.
- Benoit, C., Martin, J.C., Pelachaud, C., Schomaker, L., Suhm, B., (2000). Audio-visual and multimodal speech-based systems. In Gibbon, D. & Mertins, I. & Moore, R. (Eds.),

- Handbook of Multimodal and Spoken Dialogue Systems: Resources, Terminology and Product Evaluation* (pp 102-203). Kluwer Academic Publishers
- Bertin, J., (1983). *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, Translated by William Berg from *Semiologies Graphiques*, 1967, Edition Gauthier-Villars, Paris.
- Biocca, F., Kim, J., & Choi, Y. (2001). Visual touch in virtual environments: An exploratory study of presence, multimodal interfaces, and cross-modal sensory illusions. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10(3), 247-265. <https://doi.org/10.1162/105474601300343595>
- Brusaporci, S. (2020). "di varii instrumenti per misurare con la vista". Note sul rilevamento architettonico e urbano nel Rinascimento. *diségno*, (7), 57-68.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus global land cover layers—collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044. <https://doi.org/10.3390/rs12061044>
- Budhathoki, N. R., Bruce, B. C., & Nedovic-Budic, Z. (2008). Reconceptualizing the role of the user of spatial data infrastructure. *GeoJournal*, 72(3), 149-160. <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9189-x>
- Carlucci, R. (2019). Geographic Information Manager e geospatial, termini incomprensibili in Italia. *GEOmedia*, 23(5).
- Cetl, V., Tomas, R., Kotsev, A., de Lima, V. N., Smith, R. S., & Jobst, M. (2019). Establishing common ground through INSPIRE: the legally-driven European spatial data infrastructure. In (Eds.) *Service-Oriented Mapping* (pp. 63-84). Springer, Cham.
- Cherlet, M.; Hutchinson, C.; Reynolds, J.; Hill, J.; Sommer, S.; von Maltitz, G. (2018) *World Atlas of Desertification*, 3rd ed.; Publication Office of the European Union: Luxembourg.
- Ciasullo, G. (2012). Il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali: ruolo, stato di attuazione e adempimenti delle amministrazioni. *GEOmedia*, 16(4).
- Ciasullo, G., & Rotundo, A. (2014). Il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali nel contesto delle politiche di valorizzazione del patrimonio informativo pubblico. *GEOmedia*, 18(2).
- Ciasullo, G.; Scaglione G, Rotundo A., (2021). Italy, discoverability in practice. *GEOmedia*, 25(3).
- Jones, C. B. (2014). *Geographical information systems and computer cartography*. Routledge.
- Clarke, K.C., 2001. Cartography in the mobile internet age. In (Eds.) *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference* (pp. 1481-1488). ICC, Beijing, China.
- Commissione Europea (2003); Report on the feedback of the Internet consultation on a forthcoming EU initiative establishing a framework for the creation of an Infrastructure for Spatial Information in Europe; https://inspire.ec.europa.eu/reports/analysis_consultation_01092003.pdf
- Commissione Europea (2007); Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 marzo 2007, che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire); <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj>

- Congalton, R. G., Gu, J., Yadav, K., Thenkabail, P., & Ozdogan, M. (2014). Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis. *Remote Sensing*, 6(12), 12070-12093. <https://doi.org/10.3390/rs61212070>
- Costabile, S. (2010). Il Geoportale Nazionale del Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. *GEOmedia*, 14(2).
- Crompvoets, J., Rajabifard, A., Van Loenen, B., & Fernández, T. D. (2008). *A multi-view framework to assess SDIs*. Wageningen University, RGI.
- Hedley, N.R., 2003. Empirical evidence of advanced geographic visualization interface use. In (Eds.) *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference* (pp. 383-392). ICC.
- Elwood, S. (2008). Volunteered geographic information: key questions, concepts and methods to guide emerging research and practice. *GeoJournal*, 72(3), 133-135. <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9187-z>
- Engler, N. J., Scassa, T., & Taylor, D. F. (2019). Cybercartography and volunteered geographic information. In (Eds.) *Modern Cartography Series* (Vol. 7, pp. 69-83). Academic Press.
- Eremitaggio, A., Procaccini, P., Ombuen, S., Vico, F., & Zanetti, N. (2010). Plan4all: l'armonizzazione dei dati per la pianificazione territoriale in accordo con INSPIRE. In (Eds.) *Atti 14 conferenza nazionale ASITA*, (pp 395-940) Brescia.
- Fensholt, R., Rasmussen, K., Kaspersen, P., Huber, S., Horion, S., & Swinnen, E. (2013). Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term earth observation based primary productivity and precipitation relationships. *Remote Sensing*, 5(2), 664-686. <https://doi.org/10.3390/rs5020664>
- Jacobson, R.D., Kitchin, R.M., Goolledge, R.G., (2002). Multi-modal virtual reality for presenting geographic information. In: Fisher, P., Unwin, D. (Eds.), *Virtual Reality in Geography*. (pp. 382-400). Taylor and Francis
- Ju, J., & Masek, J. G. (2016). The vegetation greenness trend in Canada and US Alaska from 1984–2012 Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 176, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.001>
- Kobben, B., Huisman, O., Lin, H., 2012. Combining VGI with viewsheds for photo tag suggestion. In: Gartner, G., Ortig, F., Berlin, D.E. (Eds.), *Advances in Location-Based Services* (pp 181-190). Springer
- Kraak, M. J. (2004). The role of the map in a Web-GIS environment. *Journal of Geographical Systems*, 6(2), 83-93. DOI: 10.1007/s10109-004-0127-2
- Fishkin, K., Stone, M.C., 1995. Enhanced dynamic queries via movable filters. In (Eds.) *Proceedings of the CHI'95 Conference on Human Factors in Computing* (pp 415-420). ACM, New York.
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., ... & Chen, J. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2607-2654. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>
- Goodchild, M. F., & Glennon, J. A. (2010). Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. *International Journal of Digital Earth*, 3(3), 231-241. <https://doi.org/10.1080/17538941003759255>

- Hardy, D., (2008). Discovering behavioral patterns in collective authorship of place-based information. In (Eds.) *Proceedings of 9th International Conference of the Association of Internet Researchers*, Copenhagen, Denmark
- Ippoliti, E., & Meschini, A. (2010). From the “3D model” to the “3D scene”. Prospects and opportunities for the enhancement of an architectural and urban cultural heritage. *DISEGNARECON*, 3(6), 77–91.
- Jutz, S., & Milagro-Pérez, M. P. (2020). Copernicus: the European Earth Observation programme. *Revista de Teledetección*, (56).
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Liu, S. B., & Palen, L. (2010). The new cartographers: Crisis map mashups and the emergence of neogeographic practice. *Cartography and Geographic Information Science*, 37(1), 69-90. <https://doi.org/10.1559/152304010790588098>
- Masser, I., & Crompvoets, J. (2018). Qualitative monitoring of information infrastructures: A case study of INSPIRE. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(2), 330-344. DOI: 10.1177/0265813516675871
- Moglia G., Rebaudengo M., Ruffino P. A. (2019). “Digital Twin” Utopia? In Belardi P. (Eds.) *Riflessioni. L’arte del disegno / Il disegno dell’arte* Atti del 40° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione (pp 1297-1302). Gangemi.
- Moldan, B., Janoušková, S., & Hák, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators*, 17, 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.033>
- Ormeling, F., (2010). Visualizing geographic space: the nature of maps. In: Lameli, A., Kehrein, R., Rabanus, S. (Eds.), *Language and Space: An International Handbook of Linguistic Variation. Language Mapping* (pp. 21-40). De Gruyter Online.
- Oviatt, S., & Cohen, P. (2000). Perceptual user interfaces: multimodal interfaces that process what comes naturally. *Communications of the ACM*, 43(3), 45-53.
- Pedelty, J., Devadiga, S., Masuoka, E., Brown, M., Pinzon, J., Tucker, C., ... & Pinheiro, A. (2007). Generating a long-term land data record from the AVHRR and MODIS instruments. In (eds.) *IEEE international Geoscience and remote sensing Symposium* (pp. 1021-1025). IEEE.
- Perego, A., & Lutz, M. (2014). Interoperable Registers and Registries in the EU: Perspectives from INSPIRE. In *Linking Geospatial Data Workshop, London, UK*.
- Reyes, M. D. C. (2005). Cybercartography from a modeling perspective. In (Eds.) *Modern Cartography Series* (pp. 63-97). Academic Press.
- Rosario Michel, G., Gonzalez-Campos, M. E., Manzano Aybar, F., Jiménez Durán, T., & Crompvoets, J. (2022). Identifying critical factors to enhance SDI performance for facilitating disaster risk management in small island developing states. *Survey Review*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/00396265.2021.2024969>
- Salerno R., (2019). “Representing and Visualizing in Landscape, between Hard Sciences and Humanities”, *disegno*, vol. 1, no. 5, pp. 23–32

- Salerno, R. (2021). Mappare flussi e spazi. Immagini dinamiche e mappe digitali. Mapping the Flowing Space. Dynamic Images and Digital Maps . In Cicalò E. & Menchetelli V. Valentino M. (Eds.) *Linguaggi Grafici. MAPPE* (pp. 58-77). Publica.
- Scandiffio, A. (2022). Mappatura dinamica delle condizioni stagionali del paesaggio. In Cicalò E. & Menchetelli V. Valentino M. (Eds.) *Linguaggi Grafici. MAPPE* (pp. 1374-1391). Publica.
- Schoenefeld, J. J., & Jordan, A. J. (2019). Environmental policy evaluation in the EU: between learning, accountability, and political opportunities?. *Environmental Politics*, 28(2), 365-384. <https://doi.org/10.1080/09644016.2019.1549782>
- Taylor, D.R.F., (2003). The concept of cybercartography. In: Peterson, M.P. (Eds.), *Maps and the Internet* (pp. 405–420). Elsevier Amsterdam
- Taylor, D. F. (2014). Some recent developments in the theory and practice of cybercartography: Applications in indigenous mapping: An introduction. In (Eds.) *Modern Cartography Series* (pp. 1-15). Academic Press.
- Taylor, D. F. (2019). Cybercartography revisited. In (Eds) *Modern Cartography Series* (pp. 3-23). Academic Press.
- Tesfaw, A. T., Pfaff, A., Kroner, R. E. G., Qin, S., Medeiros, R., & Mascia, M. B. (2018). Land-use and land-cover change shape the sustainability and impacts of protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2084-2089. DOI: 10.1073/pnas.1716462115
- Tonchovska, R., Stanley, V., & De Martino, S. (2012). Spatial data infrastructure and INSPIRE. <http://hdl.handle.net/10986/17082>
- Trbovich, P. L., Lindgaard, G., & Dillon, R. F. (2005). Cybercartography: A multimodal approach. In (Eds.) *Modern Cartography Series* (pp. 257-284). Academic Press.
- Vandenbroucke, D., Zambon, M. L., Cromptoets, J., & Dufourmont, H. (2008). INSPIRE Directive: Specific requirements to monitor its implementation. *A Multi-View Framework to Assess SDIs*, 327.
- Vogelmann, J. E., Gallant, A. L., Shi, H., & Zhu, Z. (2016). Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 258-270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.060>
- Wood, M. (2003). Some personal reflections on change... The past and future of cartography. *The Cartographic Journal*, 40(2), 111-115. DOI:10.1179/000870403235001458

