

TECNOLOGIE ABILITANTI E PROGETTAZIONE AMBIENTALE PER L'ADATTAMENTO CLIMATICO

Telerilevamento, modellazioni e simulazioni multiscalari
per città costiere smart e sostenibili



Maria Fabrizia Clemente

Università degli Studi di Napoli Federico II
DiARC_ Dipartimento di Architettura
Dottorato di Ricerca in Architettura XXXIV ciclo

In copertina:
Promenade Niederhafen, Zaha Hadid Architects
Amburgo

TECNOLOGIE ABILITANTI E PROGETTAZIONE AMBIENTALE PER L'ADATTAMENTO CLIMATICO

Telerilevamento, modellazioni e simulazioni multiscalari
per città costiere smart e sostenibili

Università degli Studi di Napoli Federico II

DiARC_ Dipartimento di Architettura

Dottorato di Ricerca in Architettura XXXIV ciclo

Coordinatore: Prof. Fabio Mangone

Area tematica: Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente

Settore scientifico disciplinare: Tecnologia dell'Architettura – SSD ICAR 12

Université Gustave Eiffel

Département Génie Urbain

Mapsat - telerilevamento Euromediterraneo s.r.l.

PhD student: **Maria Fabrizia Clemente**

Tutor: **Prof.ssa Valeria D'Ambrosio, Università degli Studi di Napoli Federico II**

Co-tutors: **Prof. Bruno Barroca, Université Gustave Eiffel**

Prof. Ferdinando Di Martino, Università degli Studi di Napoli Federico II

Dott. Mariano Focareta, Mapsat - telerilevamento euromediterraneo



INDICE

INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca

Inquadramento scientifico
La domanda di ricerca
Gli obiettivi generali e specifici
Metodologia e fasi della ricerca
Elementi innovativi
Struttura della tesi
Ricadute industriali
Destinatari della ricerca
Collocazione nel SSD ICAR 12

CAPITOLO 1

Progettazione ambientale e adattamento climatico

1.1. Inquadramento tematico	23
1.2. L'evoluzione dell'approccio ambientale per il progetto climate proof	28
1.3. Rischi climatici e aree costiere	30
1.3.1. Definizione del concetto di rischio, vulnerabilità ed esposizione	
1.3.2. L'ambiente urbano-costiero in regime di cambiamento climatico	
1.3.3. Il rischio di inondazione per eventi di Extreme Sea Level nelle città euromediterranee	
1.3.4. Direttive internazionali e protocolli per città costiere sostenibili	
1.4. Protezione climatica e ambiente urbano costiero	40
1.4.1. Strategie per l'adattamento climatico in ambiente urbano costiero	
1.4.2. Climate adaptive design nella riqualificazione dei waterfront	
1.5. La domanda di ricerca	55
Bibliografia	57

CAPITOLO 2

Tecnologie abilitanti per la gestione del rischio di inondazione costiera

2.1. Osservazione e conoscenza dell'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatiche	67
2.1.1. Modellazioni e simulazioni multiscalari per il progetto ambientale	
2.1.2. I big data geospaziali e il telerilevamento per simulazioni site-specific	
2.2. I sistemi di supporto decisionale per la gestione del rischio di inondazione costiera	76
2.2.1. Processi di analisi spaziale per la conoscenza dell'ambiente urbano in rapporto alle condizioni di rischio climatico	
2.2.2. I modelli basati su indicatori e indici per la valutazione dei rischi e degli impatti costieri	
2.3. Il contributo della conoscenza per le proposte progettuali	82
Bibliografia	85

CAPITOLO 3

Il modello Coast-RiskBySea per l'osservazione e la conoscenza del rischio di inondazione costiera

3.1. La proposta del modello Coast-RiskBySea: COASTal zones RISK assessment for Built environment bY extreme SEA level	93
3.1.1. Framework concettuale	
3.1.2. Le fasi di costruzione del modello	
3.2. Applicazione sperimentale del modello sulla città di Napoli	100
3.2.1. Processi di analisi spaziale per l'implementazione del modello	
3.2.2. Elaborazione delle carte di rischio	
3.2.3. Valutazione del rischio	
3.2.4. Accuratezza dei risultati	
3.3. Replicabilità e affidabilità del modello	124
3.3.1. Le città-porto euromediterranee	
3.3.2. Applicazione sperimentale del modello su Barcellona e Marsiglia	
3.3.3. Verifica dell'affidabilità dei risultati	
3.4. I risultati della sperimentazione	147
Bibliografia	149

CAPITOLO 4

Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto decisionale per il climate adaptive design

4.1. Il contributo del modello Coast-RiskBySea per il supporto al metaprogetto di adattamento climatico	155
4.2. Schedatura delle soluzioni di adattamento climatico per l'ambiente urbano-costiero	157
4.2.1. Struttura e descrizione delle schede	
4.2.2. Catalogo delle soluzioni di adattamento ai fenomeni di inondazione costiera	
4.3. La relazione tra il modello Coast-RiskBySea e le soluzioni di adattamento	210
4.3.1. Simulazione degli interventi: un caso applicativo sulla città di Napoli	
Bibliografia	216

CAPITOLO 5

Conclusioni e prospettive di ricerca

5.1. I risultati della ricerca	217
5.2. Limiti e prospettive di ricerca per l'implementazione del modello	219
5.1.1. Processi di downscaling alla scala di dettaglio	
5.1.2. La valutazione dei danni indiretti e intangibili	
Bibliografia	224

APPENDICE

- A1_Acronimi e abbreviazioni
- A2_Elenco delle figure
- A3_Elenco delle tabelle

INTRODUZIONE
IL PROGETTO DI RICERCA

INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca “Tecnologie abilitanti e progettazione ambientale per l’adattamento climatico. Telerilevamento, modellazioni e simulazioni multiscalarari per città costiere smart e sostenibili” è finalizzato alla definizione di metodologie innovative per la conoscenza del rischio di inondazione costiera orientate al supporto del progetto di adaptive design.

Il progetto è maturato nell’ambito del Dottorato innovativo a caratterizzazione industriale finanziato con bando PON Ricerca e Innovazione 2014-2020¹, Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale", e prevede la comparazione sia di approcci metodologici di natura accademica nazionale ed internazionale sia di metodologie e strumenti di natura industriale propri del mondo aziendale. Per realizzare questo mix di expertise e di input tecnico-scientifici complementari e derivanti da quadri cognitivi ampi e differenziati, la composizione del partenariato unisce le competenze del Dipartimento di Architettura dell’Università di Napoli Federico II e del Dipartimento di Genie Urbain dell’Université Gustave Eiffel a Champs-sur-Marne (Parigi) con il background imprenditoriale e industriale dell’azienda MapSat – telerilevamento Euromediterraneo s.r.l. con sede (operativa) a Benevento.

L’attività in partenariato con Dipartimento di Genie Urbain, specializzato nello sviluppo di modelli di vulnerabilità e resilienza integrata dei sistemi urbani, ha permesso approfondimenti specifici nel campo della resilienza urbana, dell’analisi e della valutazione dei rischi climatici, delle metodologie per il supporto al progetto di retrofit tecnologico/ambientale in chiave climate proof e delle strategie e soluzioni progettuali di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione in ambito urbano.

Parallelamente, l’attività in partenariato con l’azienda MapSat, specializzata nei servizi di telerilevamento per il monitoraggio ambientale, ha permesso l’introduzione dei dati telerilevati a sostegno dei processi di osservazione e conoscenza dell’ambiente urbano costiero climate-oriented e site-specific.

Il progetto nell’ambito della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI)² si inserisce nelle linee di ricerca della progettazione tecnologica e ambientale che identificano nelle tecnologie abilitanti, Key Enabling Technologies (KET), gli strumenti per sviluppare metodologie e modelli simulativi innovativi atti a supportare la sicurezza dell’ambiente urbano in scenari di criticità climatiche, il monitoraggio ambientale e la prevenzione di eventi climatici critici e di rischio.

¹ Il Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca (MIUR) con il D.D. 4 maggio 2018, n.1090, ha rinnovato l’impegno a sostegno del Dottorato di ricerca innovativo con caratterizzazione industriale per l’anno accademico 2018/2019. Il progetto rientra nell’ambito del Programma Nazionale della Ricerca 2015/2020 – Asse I "Investimenti in capitale umano" – Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione industriale". Il progetto è cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo (FSE) e prevede percorsi in collaborazione con imprese ed enti di ricerca internazionali.

² Nell’ambito della SNSI il progetto si inserisce nella traiettoria tecnologica di sviluppo a priorità nazionale 5.5.6 - Agenda Digitale, Smart Communities, sistemi di mobilità intelligente.

IL PROGETTO DI RICERCA

Inquadramento scientifico

La prevenzione di eventi estremi o di rischio nelle aree urbane, in scenari di criticità climatiche, è un driver fondamentale per l'implementazione di strategie per il progetto urbano sostenibile e resiliente. Gli impatti e le vulnerabilità dipendono dai contesti locali e, pertanto, l'efficacia e la capacità predittiva dei progetti dipende, direttamente, dalla conoscenza di tali contesti.

Nell'epoca della transizione verde e digitale, le tecnologie abilitanti consentono di integrare ed elaborare dati e informazioni all'interno di strumenti di supporto ai processi decisionali e, in questo scenario, è necessario sviluppare metodi di progettazione innovativi in grado di gestire sia la complessità delle informazioni necessarie a orientare i progetti in chiave sostenibile e smart sia a gestire le soluzioni tecnico-ambientali in un'ottica multiscale.

Grazie al potenziamento della capacità di raccolta, sistematizzazione, elaborazione e trasferimento di dati e modelli dagli ambiti dell'informazione geospaziale e delle scienze del clima a quelli della progettazione urbana, è possibile sviluppare metodologie e modelli simulativi innovativi accrescendo, inoltre, la capacità di interazione fra ricerca e industria.

Il contributo delle tecnologie abilitanti, legate agli scenari della cultura digitale e di industria 4.0, diventa fondamentale per l'acquisizione e la gestione multiscale dei dati e delle informazioni, derivanti da processi di acquisizione differenziati, e per la loro messa a sistema in sistemi di supporto decisionale mediante un approccio sistemico e integrato. In particolare, i dati di origine telerilevata rappresentano un asset innovativo e strategico per l'omogeneità sul piano spaziale e il continuo aggiornamento temporale.

Sul piano climatico, le aree costiere sono soggette a molteplici rischi climatici associati a pericoli meteorologici e agli effetti, diretti o indiretti, del cambiamento climatico. Tra questi, le inondazioni potrebbero avere conseguenze disastrose per gli insediamenti che insistono sulla costa dove, peraltro, vi è una forte concentrazione di popolazione, servizi, attività e beni esposti. In questo contesto, la gestione dei rischi climatici rappresenta un aspetto chiave nel management urbano e, pertanto, richiede modelli innovativi di conoscenza e valutazione per gestire le emergenze e orientare il progetto di adattamento climatico.

In una visione sistemica, la progettazione ambientale si caratterizza per il ruolo centrale che assume la "questione ambientale" e per il controllo di tipo processuale, attuato con il ricorso alle tecnologie abilitanti, dell'interazione tra progetto urbano, ambiente e sviluppo sostenibile.

La domanda di ricerca

La conoscenza e gli strumenti di supporto decisionale assumono un ruolo chiave per orientare il progetto di adattamento climatico in ambiente urbano costiero, dallo stato dell'arte è stata evidenziata:

- la mancanza di interazione tra le analisi dei rischi e il progetto di adattamento climatico, in particolare è stata riscontrata una mancanza di interazione tra le scienze del clima e la progettazione urbana;

- la scala dei modelli di osservazione e conoscenza dei rischi costieri si rapporta con dimensioni troppo ampie tali da non consentire downscaling a scala locale e, quindi, non permettere il supporto al progetto di adattamento climatico (nei modelli, infatti, vengono perse le caratteristiche insediative e geomorfologiche dei territori);
- la mancanza di relazione tra le analisi del rischio e le strategie e soluzioni di adattamento climatico.

Partendo dall'ipotesi che la previsione dei rischi di inondazione costiera alla scala locale e la relazione tra le analisi di rischio e i cataloghi di soluzioni metaprogettuali potrebbero rappresentare elementi di supporto ai processi decisionali, la ricerca intende indagare modalità innovative per la conoscenza del rischio di inondazione ai fini di orientare il progetto di adattamento climatico in chiave sostenibile e smart (Figura 1).



Figura 1. Inquadramento della ricerca

Il campo d'indagine per la verifica sarà costituito dagli insediamenti urbani che insistono sulle coste del Mediterraneo e che risultano sempre più vulnerabili per i crescenti impatti dei cambiamenti climatici e degli eventi meteorologici. Target prioritario, per la verifica delle ipotesi progettuali, saranno le città-porto storiche euro-mediterranee dove maggiori appaiono le opportunità di riqualificazione e sviluppo sostenibile ma in cui, al contempo, persistono forti inerzie al cambiamento.

Gli obiettivi generali e specifici

In linea con gli obiettivi della Comunità Europea per la trasformazione verde e digitale, la ricerca si pone l'obiettivo di creare nuove sinergie tra la progettazione ambientale e le tecnologie abilitanti, indagando il tema del rischio inondazioni per gli insediamenti urbani costieri. In particolare, è possibile individuare i seguenti obiettivi generali:

- indagare modalità innovative di conoscenza dei rischi climatici per il supporto al progetto – tecnologico e ambientale – di adattamento climatico;
- potenziare la capacità di raccolta, sistematizzazione, condivisione e trasferimento di dati e modelli dagli ambiti dell'informazione geospaziale e delle scienze del clima a quelli della progettazione ambientale con particolare attenzione ai dati di origine telerilevata;
- migliorare la capacità di interazione tra ricerca scientifica e industria del telerilevamento, nel campo disciplinare della progettazione ambientale.

Gli obiettivi generali possono essere tradotti nei seguenti obiettivi specifici:

- definire indicatori e parametri per valutare la vulnerabilità e l'esposizione dell'ambiente urbano costiero in rapporto alle condizioni di rischio di inondazione costiera;
- sperimentare una riduzione di scala (downscaling) rispetto ai modelli di osservazione e conoscenza del rischio, presenti in letteratura, tale da consentire il supporto decisionale per i progetti di adattamento climatico alla scala locale;
- proporre un modello sintetico e semplificato, ma affidabile, che sia trasferibile e replicabile per tutti i territori costieri dell'Unione Europea mediante l'utilizzo di dati open source e da telerilevamento;
- fornire una sistematizzazione delle soluzioni di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera per l'ambiente urbano, basata sulla letteratura scientifica e sull'analisi di casi studio nazionali ed internazionali, in un catalogo orientato al supporto decisionale della fase metaprogettuale.

Metodologia e fasi della ricerca

La ricerca, seguendo un approccio sistemico, multiscalare e multidisciplinare, proprio della progettazione ambientale, è stata strutturata in tre fasi: analitico/conoscitiva, sintetico/ comparativa e sperimentale (Figura 2).

Nella fase analitico/conoscitiva è stato approfondito lo stato dell'arte per perimetrare il campo d'indagine, formulare le ipotesi e definire la domanda di ricerca. In particolare, sono stati indagati sia approcci metodologici di natura accademica nazionale ed internazionale sia metodologie e strumenti di natura industriale, con riferimento al tema dell'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatica, dell'evoluzione dell'approccio ambientale per le proposte progettuali in chiave climate proof e del ruolo innovativo che assumo le tecnologie abilitanti nella gestione dei rischi climatici. Il metodo è stato induttivo e deduttivo.

La fase sintetica/comparativa ha condotto da un lato, alla proposta e alla sperimentazione del modello Coast-RiskBySea per l'osservazione e la conoscenza del rischio di inondazione costiera e, dall'altro, al catalogo di soluzioni di adattamento climatico per il supporto al progetto di adaptive design. Il framework concettuale e operativo del modello è stato sviluppato in ambiente GIS a partire dall'analisi dello stato dell'arte mediante un approccio comparativo e deduttivo per la fase di definizione della metodologia e del workflow, successivamente, in modo induttivo sono stati definiti gli indicatori e raccolti i dati. Parallelamente, a partire dall'analisi di casi studio internazionali e di database, seguendo un metodo comparativo e induttivo, è stato costruito il catalogo delle soluzioni ai fenomeni di inondazione costiera.

Nella fase sperimentale, il modello proposto è stato testato sulla città di Napoli, verificando dapprima l'accuratezza delle simulazioni, sulla base di un evento realmente accaduto, e poi la replicabilità dell'approccio anche in contesti internazionali (Barcellona e Marsiglia), infine, è stata verificata l'affidabilità dei risultati rispetto alla letteratura scientifico di riferimento. Con l'obiettivo di proporre uno strumento di supporto decisionale al progetto di adaptive design, il modello di rischio Coast-RiskBySea è stato associato al catalogo delle soluzioni di adattamento climatico al fine di indentificare l'applicabilità progettuale rispetto agli scenari di rischio climatico e supportare la fase metaprogettuale.

In conclusione, sono stati delineati i risultati e le prospettive di ricerca.



Figura 2. Le fasi della ricerca

Elementi innovativi

L'innovazione della ricerca risiede sia nel processo sia negli strumenti utilizzati per la proposta di un modello innovativo, per l'osservazione e la conoscenza del rischio di inondazione costiera sull'ambiente costruito, orientato al supporto decisionale dei progetti di adattamento climatico.

Seguendo il framework concettuale per l'analisi dei rischi climatici individuato dall'IPCC – gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (report AR5 e AR6) – e utilizzando un approccio gridded data, il modello Coast-RiskBySea (COASTal zones RISK assessment for Built environment bY extreme SEA level) è elaborato in ambiente GIS mediante l'integrazione di banche dati differenziate. Il rischio è valutato in funzione dei potenziali danni economici diretti e tangibili seguendo un approccio land use-based: per elemento esposto viene considerato l'ambiente urbano costruito, per vulnerabilità l'elevazione costiera, per hazard gli eventi di Extreme Sea Level (ESL). L'esposizione è trasformata in valore esposto grazie all'introduzione delle funzioni di danno che permettono di tradurre in danno economico l'intensità dei fenomeni climatici.

L'utilizzo di apposite tecnologie, la riduzione del numero di variabili, la selezione di appositi database e la modellazione statica del fenomeno di inondazione costiera hanno permesso, sul piano spaziale, un downscaling della scala delle analisi rispetto a quella dei modelli presenti in letteratura. La valutazione del rischio alla scala locale consente di definire e caratterizzare gli aspetti insediativi e geomorfologici che influenzano gli impatti e che possono essere, quindi, migliorati attraverso specifiche azioni di adattamento, rappresentando un concreto supporto ai processi decisionali di adattamento climatico.

La sinergia GIS-telerilevamento e l'approccio "gridded data" hanno permesso, inoltre, l'elaborazione di un modello continuamente implementabile e, grazie all'utilizzo di database open source con copertura spaziale omogenea a scala Europea, le analisi sono replicabili su tutti i territori costieri dell'Unione Europea. Per l'analisi degli elementi esposti, è stato fondamentale il nuovo database Copernicus Coastal Zones, reso disponibile dal servizio Copernicus Land Monitoring Service a febbraio 2021; i dati di origine telerilevata costituiscono, infatti, un asset innovativo e strategico per la replicabilità sul piano spaziale e il continuo aggiornamento temporale.

Con l'obiettivo di implementare il modello di osservazione e conoscenza ai fini del supporto decisionale è stato costruito un catalogo di soluzioni di adattamento climatico per il supporto decisionale nella fase metaprogettuale. Le soluzioni, individuate nell'ambito della letteratura scientifica di riferimento e dall'analisi di casi studio nazionali ed internazionali, sono state opportunamente classificate e caratterizzate in schede informative tecniche, per fornire un supporto ai decisori nel passaggio dalla fase istruttoria alla fase operativa. Le caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione, individuate nel modello, determinano l'applicabilità delle soluzioni. Pertanto, a partire dall'applicazione del modello Coast-RiskBySea, è possibile individuare le aree critiche (hotspot) e consultare il catalogo di soluzioni di adattamento climatico.

Il modello si caratterizza quindi per il downscaling dell'analisi degli impatti climatici alla scala locale, la replicabilità delle analisi su tutti i territori costieri dell'Unione Europea, la parametrizzazione dei rischi in funzione dei potenziali danni economici, diretti e tangibili, sull'ambiente costruito e la relazione tra il modello di rischio e il catalogo di soluzioni di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera.

Struttura della tesi

La tesi è articolata in una parte introduttiva seguita da cinque capitoli:

1. Progettazione ambientale e adattamento climatico
2. Tecnologie abilitanti per la gestione del rischio di inondazione costiera
3. Il modello Coast-RiskBySea per l'osservazione e la conoscenza del rischio di inondazione costiera
4. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto decisionale per il climate adaptive design
5. Conclusioni e prospettive di ricerca

Nel primo capitolo viene introdotto e inquadrato il tema della ricerca. In particolare, a partire dall'approfondimento dell'evoluzione dell'approccio ambientale per il progetto climate proof e dalla definizione dei concetti di rischio, hazard, vulnerabilità ed esposizione, viene indagato l'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatica; è introdotto il tema dell'adattamento e della mitigazione climatica come strumenti del progetto climate proof orientato alla protezione climatica. Definito lo stato dell'arte, è inquadrata la domanda di ricerca.

Nel secondo capitolo si indaga il ruolo innovativo delle tecnologie abilitanti per il supporto alla gestione dei rischi climatici costieri (mitigazione/prevenzione, preparazione, risposta e recupero ai disastri) con particolare attenzione al rischio di inondazioni costiere. In particolare, è approfondito il ruolo chiave di tali tecnologie per l'osservazione e la conoscenza dell'ambiente urbano costiero in regime di cambiamento climatico ai fini del supporto decisionale per il progetto di adattamento climatico. Dall'analisi dei modelli presenti in letteratura, sono enucleate le criticità dello stato dell'arte nell'ambito della modellistica spaziale e le potenzialità offerte dai sistemi informativi territoriali e dai big data geospaziali per analisi site-specific.

Nel terzo capitolo è introdotto e applicato al caso studio il modello Coast-RiskBySea: COASTal zones RISK assessment for Built environment by extreme SEA level che si pone come strumento di conoscenza innovativo del rischio di inondazione costiera orientato al supporto del progetto di adattamento climatico. Definito il framework concettuale e le fasi di costruzione, l'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea è effettuata sulla città di Napoli. I risultati ottenuti sono validati definendo l'accuratezza delle simulazioni rispetto ad un evento di mareggiata realmente accaduto, per valutare l'affidabilità del modello e, per testare la replicabilità dell'approccio, il modello è stato applicato anche su altri due casi studio evidenziati nell'ambito delle città-porto euromediterranee: Barcellona, in Spagna, e Marsiglia, in Francia.

Nel quarto capitolo viene approfondito il ruolo chiave della conoscenza e della metaprogettazione per definire l'applicabilità e l'efficacia dei progetti di adaptive design e, in questo contesto, il contributo offerto dal modello Coast-RiskBySea. A partire dallo stato dell'arte e dall'analisi di casi studio, è stato costruito un catalogo di soluzioni per il supporto al metaprogetto di adattamento climatico. Per ogni soluzione è stata costruita una scheda informativa finalizzata alla costruzione del catalogo. Le soluzioni individuate sono state poi relazionate al modello di rischio e, ai fini dimostrativi, è stata operata una simulazione degli interventi sul caso applicativo di Napoli.

Infine, nel quinto capitolo sono evidenziati, in forma sintetica, i risultati ottenuti e sono delineate le criticità, per poi mettere a fuoco le prospettive di sviluppo della ricerca.

Ricadute industriali

Il progetto di ricerca “Tecnologie abilitanti e progettazione ambientale per l’adattamento climatico. Telerilevamento, modellazioni e simulazioni multiscalarari per città costiere smart e sostenibili” affronta uno dei temi centrali in rapporto all’evoluzione del contributo offerto dalle tecnologie abilitanti nel campo della green economy e, in particolare, al supporto orientato alla gestione dei rischi climatici e degli impatti di tali rischi sull’ambiente urbano, sviluppando soluzioni e strategie di mitigazione e adattamento climatico.

La gestione dei rischi climatici e le proposte progettuali di adattamento e mitigazione climatica riceveranno sempre più interesse da parte della comunità scientifica e istituzionale, diventando parte integrante del sistema finanziario dell’Unione Europea. Pertanto, la ricerca può avere ricadute concrete per la partecipazione a bandi finanziati orientati alla proposta di strumenti di supporto decisionale.

Le sperimentazioni sviluppate hanno, infatti, condotto alla proposta del modello Coast-RiskBySea che consente un’analisi, semplificata, dei potenziali danni economici, diretti e tangibili, ai fenomeni di inondazione costiera sull’ambiente costruito. Grazie all’utilizzo dei dati di origine telerivata e al downscaling dell’analisi degli impatti, il modello è applicabile in tutti i territori costieri dell’Unione Europea e risulta particolarmente innovativo.

In questo contesto, proseguendo il rapporto di collaborazione tra il Dipartimento di Architettura e l’azienda di Mapsat - telerilevamento euromediterraneo, a partire dal modello si sta procedendo alla scrittura di un progetto per l’industrializzazione dell’idea in un prodotto/servizio destinato al supporto decisionale degli istituti finanziari come gli enti assicurativi o bancari. La proposta sarà sottoposta a enti europei, come l’ESA (European Space Agency), l’implementazione sarà effettuata integrando strumenti e approcci di AI (Artificial Intelligence).

Destinatari della ricerca

I principali destinatari della ricerca sono tutti quei decisori che sono sempre più chiamati ad operare in scenari di criticità climatiche. Il management dei rischi climatici è diventato un aspetto chiave e prioritario per il progetto sostenibile e resiliente dell’ambiente urbano costiero e le tecnologie abilitanti costituiscono un fattore chiave per la gestione dei rischi e il conseguimento della sostenibilità.

L’osservazione e la conoscenza dell’ambiente urbano sono strumenti fondamentali per il supporto ai processi decisionali e, in questo contesto, la ricerca propone un modello per l’analisi del rischio di inondazione costiera che si caratterizza per il downscaling delle analisi alla scala locale. Il modello Coast-RiskBySea consente, infatti, di definire e caratterizzare i parametri di esposizione, vulnerabilità e hazard per orientare i progetti di adaptive design in chiave sostenibile e smart.

Il rischio è parametrizzato in funzione dei potenziali danni economici diretti e tangibili sull’ambiente costruito; gli aspetti finanziari costituiscono, infatti, un parametro quantitativo fondamentale per la gestione urbana dei rischi climatici ai fini della definizione delle priorità e modalità di intervento.

Infine, la sistematizzazione delle soluzioni metaprogettuali di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera in un catalogo, fornisce un quadro sintetico per il passaggio dalla fase istruttoria a quella operativa.

Collocazione nel SSD ICAR 12

La ricerca, nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Architettura si colloca nell'area tematica "Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente" e, in particolare, nel settore scientifico disciplinare ICAR 12 - Tecnologia dell'Architettura. Il progetto si colloca nell'ambito della Progettazione Ambientale e si inserisce nelle linee di ricerca che individuano nell'innovazione tecnologica gli strumenti per la proposta di modelli e sistemi innovativi ai fini del supporto decisionale per il progetto di adaptive design.

In questo scenario, l'approccio ambientale si caratterizza per la centralità che assume la "questione ambientale" in una visione sistemica per la salvaguardia, la protezione e per il ripristino, la trasformazione e la valorizzazione dell'ambiente costruito e naturale, nella risposta agli impatti climatici. Si configura, quindi, come un controllo di tipo processuale attuato con il ricorso a tecnologie abilitanti (simulazione, modellazione, machine learning e gestione dei dati) e fornisce gli strumenti metodologici e processuali per affrontare le complesse interazioni tra progetto urbano, ambiente e sviluppo sostenibile orientando la metaprogettazione in chiave climate proof mediante un approccio sistemico, integrato e multiscalare.

CAPITOLO 1

PROGETTAZIONE AMBIENTALE E ADATTAMENTO CLIMATICO

Nel **primo capitolo**

viene inquadrato il tema della ricerca, in particolare, è introdotto il tema della progettazione ambientale e del progetto di adattamento climatico. Mediante l'approfondimento dell'evoluzione dell'approccio ambientale per il progetto climate proof e la definizione dei concetti di rischio, vulnerabilità ed esposizione, viene indagato l'ambiente urbano costiero in regime di cambiamento climatico in termini di definizione, gestione ed analisi dei rischi climatici.

Parallelamente, indagando alcune buone pratiche di riqualificazione urbana di waterfront, viene introdotto il tema dell'adattamento e della mitigazione climatica in qualità di strumenti del progetto climate proof orientato alla protezione climatica.

Definito lo stato dell'arte, si inquadra la domanda di ricerca.

PAROLE CHIAVE

Progettazione ambientale, rischi climatici, ambiente urbano-costiero, adaptive design

1.1. INQUADRAMENTO TEMATICO

Con la presa di coscienza degli impatti irreversibili dell'attività antropica sul clima e sull'ambiente naturale e costruito è possibile riferirsi all'era geologica odierna come Antropocene³. Nell'Antropocene l'influenza umana sul surriscaldamento di atmosfera, acque e suoli è tangibile e innegabile, come sono evidenti gli impatti negativi del clima per gli ecosistemi naturali e antropici (Crutzen, 2002). Nel nuovo regime climatico diviene necessario un cambio di "rotta" e nuovi e concreti impegni da parte della comunità scientifica e civile per affrontare le molteplici crisi che caratterizzano il XXI secolo (Latour, 2018).

Le tematiche ambientali stanno assumendo sempre più importanza sia sul piano della riflessione teorica sia nell'operatività pratica, inducendo un radicale ripensamento dei processi di trasformazione urbana e territoriale sensibili alla tutela dell'ambiente (Campioli, 2009). Rispetto al periodo preindustriale, la temperatura media globale è aumentata di circa 1,0 °C⁴, con intervalli probabili compresi tra 0,8 °C e 1,2 °C; il surriscaldamento globale (global warming) ha già avuto importanti effetti sul clima, tra i quali si evidenziano l'aumento in intensità e frequenza degli eventi meteorologici e climatici estremi (siccità, ondate di calore, intense piogge, uragani o mareggiate) e cambiamenti a lungo termine (come l'innalzamento del livello del mare). Anche i dati diffusi nell'ultimo report IPCC⁵ - Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici - confermano che in futuro le città saranno sempre più vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici⁶ con importanti effetti sui sistemi sociali ed economici e imponendo, quindi, nuovi modelli di sviluppo più sostenibili (IPCC, 2021; Figura 3).

Gli insediamenti urbani sono fortemente vulnerabili sul piano climatico e gli impatti sull'ambiente costruito dipendono direttamente dall'entità e dalla rapidità del riscaldamento globale così come dalla localizzazione geografica, dai livelli di sviluppo socioeconomico e dalla messa in campo di azioni di adattamento e mitigazione climatica. Nelle aree urbane, gli impatti climatici sono, inoltre, incrementati a causa delle caratteristiche morfologiche del costruito, della carenza di vegetazione e delle proprietà termiche e idrauliche delle superfici (Mercogliano, 2020). Il clima influenza, direttamente comfort, sicurezza e benessere umano con ondate di calore, siccità, gelo, alluvioni ed in generale con eventi meteorologici estremi e in modo indiretto incidendo su quantità e qualità dei raccolti agricoli, qualità dell'aria o quantità e qualità dell'acqua (Oppenheimer et al., 2014).

³ Il termine Antropocene, tradotto dall'inglese Anthropocene, deriva dal greco *ἄνθρωπος* (uomo) e *καινός* (nuovo) ed è stato divulgato dal premio Nobel per la chimica atmosferica Paul J. Crutzen.

⁴ Senza nessuna azione è probabile che tra il 2030 e il 2050 la temperatura media globale raggiunga possa essere di circa 1,5 °C superiore rispetto al periodo preindustriale (IPCC, 2018).

⁵ L'IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - è il principale ente internazionale che si occupa di fornire informazioni scientifiche ai decisori sul clima e sui suoi effetti sull'ambiente naturale e costruito, valutando i potenziali rischi futuri e fornendo informazioni sulle azioni possibili di adattamento e mitigazione climatica. Approvando i rapporti IPCC i governi internazionali riconoscono l'autorità scientifica e ne usufruiscono come supporto politico senza valenza prescrittiva. L'IPCC è nato, nel 1988, dalla sinergia tra il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) e l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), oggi conta 195 membri. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.ipcc.ch/>.

⁶ Nell'articolo 1 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), il cambiamento climatico è definito come "un cambiamento del clima attribuito, direttamente o indirettamente, all'attività umana che altera la composizione dell'atmosfera e che si aggiunge alla variabilità naturale del clima osservata in periodi di tempo comparabili" (UN, 1992).



Response of the climate system relative to 1850–1900

Many aspects of the climate system react quickly to temperature changes.

At progressively higher levels of global warming there are greater consequences (min/max range shown).



Long-term consequences: Sea level rise

Today, sea level has already increased by 20 cm and will increase an additional 30 cm to 1 m or more by 2100, depending on future emissions.

Sea level reacts very slowly to global warming so, once started, the rise continues for thousands of years.

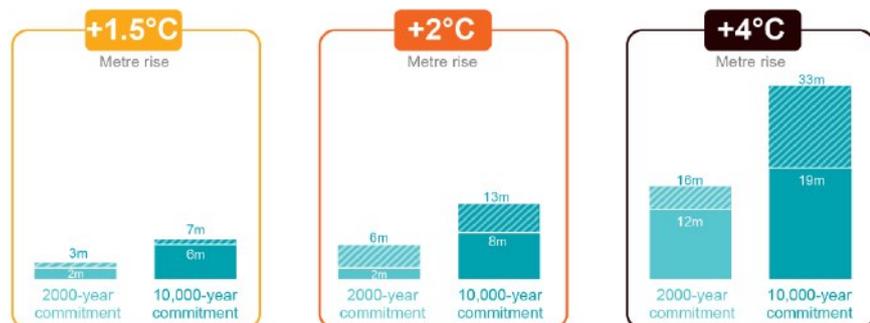


Figura 3. Le conseguenze del cambiamento climatico. Fonte immagine: IPCC (2021)

Circa il 55% della popolazione mondiale risiede in aree urbane, percentuale che potrebbe aumentare fino al 68% secondo le previsioni al 2050 delle Nazioni Unite (UN, 2018), in Europa questa percentuale è già al 72% (EC, 2016). Sul piano spaziale le città occupano solo il 3% della superficie terrestre generando l'80% del Prodotto Interno Lordo (PIL) mondiale e non pochi risvolti negativi sull'ambiente, infatti, producono tra il 60 e l'80% delle emissioni globali, sono responsabili del 50% dei rifiuti e consumano circa il 75% delle risorse naturali (UN, 2020).

Emerge la stretta relazione tra modelli di sviluppo socioeconomici e ricadute ambientali, le condizioni climatiche future dipendono dalla concentrazione di gas climalteranti nell'atmosfera e, quindi, direttamente dall'attività antropica che le produce. È possibile misurare l'impatto delle attività antropiche sul Global Warming in funzione dell'indicatore ambientale carbon footprint (CF), "impronta di carbonio", tale indicatore considera la quantità di anidride carbonica (CO₂), o dell'anidride carbonica equivalente⁷ (CO₂ eq.), emessa, direttamente o indirettamente, da un'attività, un prodotto, un'azienda o una persona (Mussinelli et al., 2020). In questo contesto, l'IPCC ha individuato quattro scenari RCPs⁸ (Representative Concentration Pathways), espressi in funzione della futura concentrazione di gas climalteranti in atmosfera al 2100 (IPCC, 2014b):

- RCP 2.6 scenario di mitigazione (riduzioni molte elevate)
- RCP 4.5 scenario di stabilizzazione (riduzioni consistenti)
- RCP 6.0 scenario di stabilizzazione (riduzioni blande)
- RCP 8.5 scenario di alte emissioni "business as usual" (senza alcuna riduzione)

Senza nessuna azione di mitigazione climatica (RCP 8.5), al 2100, le concentrazioni atmosferiche della CO₂ potrebbero essere triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm⁹) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm), con forti azioni di mitigazione (RCP 4.5) si stabilizzerebbero a circa il doppio (560 ppm) (van Vuuren et al., 2011; IPCC, 2014a).

Gli scenari RCPs possono essere combinati con gli scenari SSPs, Socioeconomic Pathways, recentemente introdotti dall'IPCC, allo scopo di valutare anche scenari alternativi di sviluppo socioeconomico, oltre a quelli climatici. I cinque scenari SSPs indagano, infatti, i potenziali cambiamenti socioeconomici alla scala globale fornendo proiezioni quantitative che integrano molteplici drivers socioeconomici come la popolazione, il PIL e l'urbanizzazione, o l'uso delle energie e delle risorse naturali (IPCC, 2021; 2022; Figura 4). È possibile individuare cinque scenari SSPs:

- SSP1: sviluppo sostenibile e crescita verde
- SSP2: scenario di sviluppo intermedio
- SSP3: rivalità regionale
- SSP4: sviluppo con forti diseguaglianze
- SSP5: sviluppo economico e crescita fossile

⁷ Per comprendere gli effetti delle emissioni dei gas climalteranti GHG, Greenhouse gases, al surriscaldamento globale l'IPCC ha costruito delle equivalenze tra la CO₂ e GHG associando ad ogni una funzione che equipara gli effetti prodotti dal gas con quelli prodotti dall'anidride carbonica in un dato intervallo di tempo. Queste equivalenze sono effettuate per tutti i gas climalteranti individuati nel Protocollo di Kyoto e, quindi, CH₄ (gas metano), N₂O (ossido di d'azoto), SF₆ (Esafluoro di zolfo), PCF (Compositi perfluorati) e HFC (Idrofluorocarburi) (Mussinelli et al., 2020).

⁸ I Percorsi Rappresentativi di Concentrazione, Representative Concentration Pathways (RCPs), sono scenari climatici espressi in termini di future concentrazioni di gas serra in atmosfera, i numeri associati agli scenari RCP si riferiscono al Forzante Radiativo, Radiative Forcing (RF), valore in Watt per metro quadrato (W/m²) (IPCC, 2014b).

⁹ La concentrazione di gas in atmosfera viene misurata in funzione dell'unità di misura ppm, che identifica il numero di Parti Per Milioni.

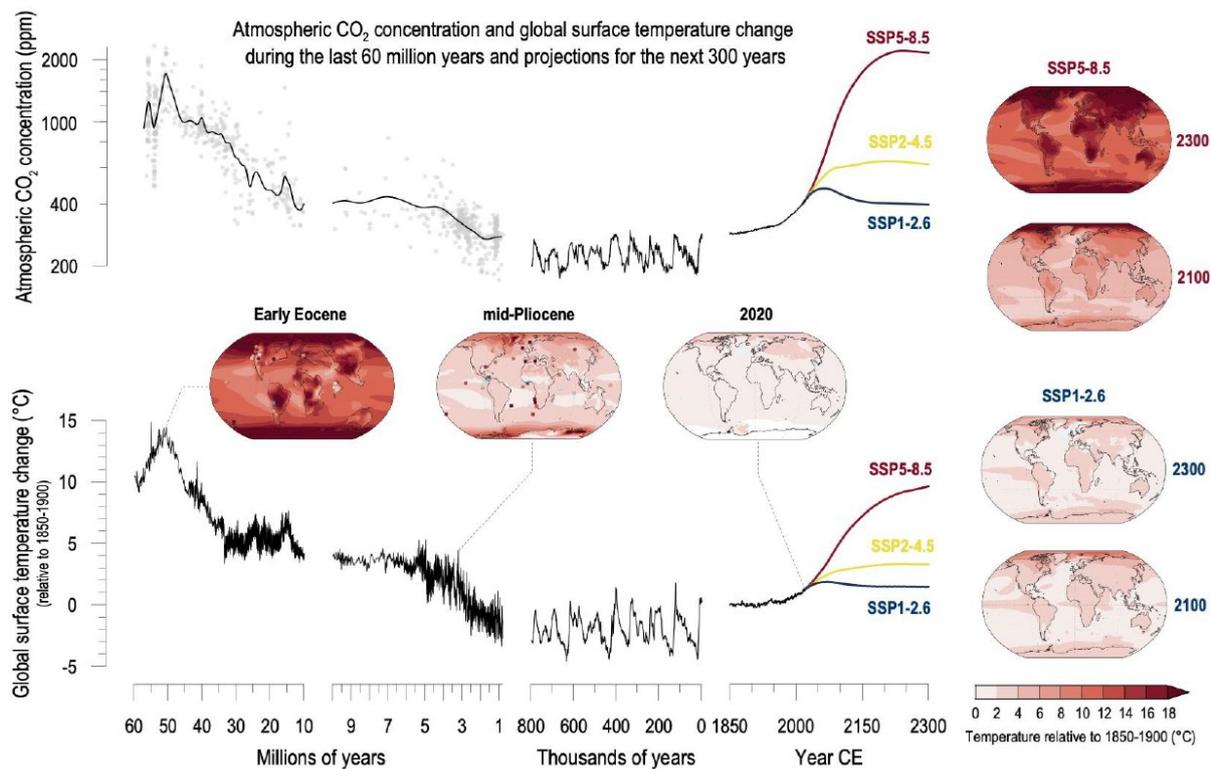


Figura 4. La relazione tra l'aumento delle temperature globali in funzione degli scenari RCP e gli scenari di sviluppo socioeconomico SSP. Fonte immagine: IPCC (2021)

Il progresso delle città è strettamente connesso all'uso delle tecnologie e, in questo scenario, le Smart Cities si caratterizzano per la loro capacità "smart" di rispondere ai differenti bisogni ambientali, sociali ed economici. La smart city è una città che mediante l'uso delle tecnologie riesce a migliorare l'economia (smart economy), la governance (smart governance), l'impatto sull'ambiente e sul consumo di risorse naturali (smart environment), il capitale sociale e umano (smart people), la mobilità e le telecomunicazioni (smart mobility) e la qualità di vita dei cittadini (smart living) (Giffinger et al., 2007; EP, 2014). Le tecnologie abilitanti o KET (Key Enabling Technologies) consentono, infatti, di attuare sia misure di tipo "soft" per il monitoraggio, il controllo e la gestione dell'ambiente urbano, sia misure di tipo "hard", come infrastrutture e servizi¹⁰, mirando all'equilibrio sistemico tra aspetti socioculturali, ambientali, economici e tecnologici (Mora, Deakin e Bolici, 2017; Antonini e Mussinelli, 2018; Ullah et al., 2021).

Nello scenario della transizione verde e digitale il concetto di Smart Cities acquisisce, quindi, un ruolo cruciale e le tecnologie diventano un aspetto fondamentale per l'attuazione del cambiamento in chiave "green" (EC, 2019). Con la diffusione delle Smart City, l'impulso tecnologico e culturale ha inglobato, infatti, sempre più aspetti, inclusi quelli legati alla gestione ambientale dei territori e, in questo contesto, si richiama l'attenzione sul concetto di "smart environment" identificabile come

¹⁰ Tra le tecnologie abilitanti rientrano i big data, le applicazioni per smartphone, i Geographic Information System (GIS), le piattaforme GIS web-based, Internet of things e la realtà aumentata. Un'analisi dettagliata del contributo offerto dalle tecnologie abilitanti nella gestione dei rischi climatici è rimandata al capitolo 2.

un ambiente e/o territorio in cui le infrastrutture e gli strumenti di modellazione e simulazione ambientale consentono di misurare diversi parametri per conoscere e comprendere la complessità che caratterizza l'ambiente urbano in scenari di criticità climatica (Cook e Das, 2004).

Nelle smart cities il numero sempre crescente dei rischi di natura antropica e naturale impone l'introduzione del concetto di resilienza¹¹ per il management urbano (Barroca e Serre, 2013). Le città sono, infatti, sistemi complessi composte da molteplici sottosistemi interconnessi e interdipendenti e la resilienza urbana è legata alla capacità di tali sottosistemi di mantenere o tornare rapidamente alle proprie funzioni in seguito ad un evento perturbante, di adattarsi al cambiamento e di trasformare rapidamente i sottosistemi che limitano la capacità di adattamento complessiva (Barroca, 2007; Meerow, Newell e Stults, 2016). In ambiente urbano, la resilienza è quindi legata alle condizioni funzionali-spaziali e ambientali, agli aspetti processuali e di governance oltre che agli aspetti tecnico-costruttivi e richiede l'attuazione di strategie di previsione e prevenzione dei rischi, adattamento agli impatti, così come di riduzione delle vulnerabilità e programmazione di misure di mitigazione a lungo termine (Losasso, 2018b).

Ridurre i rischi climatici e aumentare la resilienza agli impatti sono obiettivi fondamentali per le città del XXI secolo, da una parte bisogna agire per la riduzione delle emissioni (mitigazione), dall'altra sull'adattamento e sull'aumento della resilienza (Spano et al., 2020). In particolare, l'adattamento consente di avviare processi di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi possibili effetti, la mitigazione mira alla riduzione delle fonti di rilascio – sources – o al rafforzamento e potenziamento delle fonti di assorbimento – sinks – di gas climalteranti (GHGs), mentre la resilienza è la capacità dei sistemi sociali, economici e ambientali di far fronte agli eventi perturbanti e di tornare allo stato di equilibrio. Se il primo approccio agisce sugli effetti, il secondo agisce sulle cause, il terzo sulla capacità di risposta (IPCC, 2014b).

Nell'epoca dell'Antropocene il progetto è chiamato a confrontarsi, quindi, con la “questione ambientale” in una visione sistemica per la tutela, la salvaguardia, la protezione ma anche per il ripristino, la trasformazione e la valorizzazione dell'ambiente costruito e naturale (Tucci, 2013).

Nel campo dell'Architettura la progettazione ambientale si offre come disciplina e strumento metodologico per affrontare le complesse interazioni tra progetto urbano, ambiente e sviluppo in piena consapevolezza della crisi ambientale ed energetica (Losasso, 2017c).

¹¹ Sebbene la nozione di resilienza sia al centro del dibattito accademico, i paradigmi da considerare nella gestione dei rischi climatici non differiscono in modo significativo e possono essere sintetizzati in cinque punti: adottare un approccio sistemico, progettare considerando lo scenario peggiore e quindi il potenziale danno massimo, costruire e preparare le infrastrutture per restare funzionanti in caso di eventi critici, aumentare la capacità di recupero post-evento negli aspetti socioeconomici ed, infine, conservare la capacità di resilienza (intesa come capacità di adattamento agli eventi perturbanti) anche in futuro (De Bruijn et al., 2017).

1.2. L'EVOLUZIONE DELL'APPROCCIO AMBIENTALE PER IL PROGETTO CLIMATE PROOF

Il rapporto tra uomo e ambiente naturale, nello sviluppo delle società occidentali, trova le sue origini nel pensiero della Grecia classica: l'uomo deve adattarsi alla natura e non viceversa. Tale concezione si è trasformata con il pensiero positivista e il progresso scientifico che hanno indotto a considerare la natura come un campo di dominio della tecnica (Losasso, 2006).

Nella narrazione letteraria, Italo Calvino stigmatizza il dualismo uomo-natura: "In mezzo alla città di cemento e asfalto, Marcovaldo va in cerca della natura. Ma esiste ancora la natura? Quello che egli trova è una Natura dispettosa, contraffatta, compromessa con la vita artificiale. [...] L'amore per la natura di Marcovaldo è quello che può nascere solo in un uomo di città" (Calvino, 1963). Oggi le città antiche, da spazi recintati, hanno preso il posto della natura che è diventata spazio recintato all'interno del mondo artificiale delle città (Galimberti, 1999).

In questo scenario, l'attenzione verso l'ambiente nasce negli anni '60 come movimento etico e pratico per la difesa e la salvaguardia delle sue componenti, in quegli anni, inizia a formarsi la consapevolezza critica degli impatti negativi del progresso e della trasformazione antropica sul mondo naturale e si intuisce la necessità di gestire la crisi ambientale senza compromettere lo sviluppo tecnologico. Nel 1972, il rapporto "I limiti dello sviluppo", esito delle ricerche commissionate al gruppo di ricercatori del Massachusetts Institute of Technology (MIT) dal Club di Roma, mise in luce i limiti di questa crescita esponenziale ed incontrollata conseguente al boom economico e demografico che imponeva una produzione, sempre maggiore, di beni e servizi (Meadows et. al, 1972). È in questi anni che si intuisce, infatti, la necessità di riattribuire "speranza alla progettazione" rivendicando il ruolo del progettista nel contrastare il nichilismo culturale e politico della società dei consumi, invertendo l'inevitabile ed irreversibile processo di esplosiva congestione¹². Il progetto è inteso come uno strumento di ricerca e non di problem solving atto a contrastare il degrado dell'ambiente fisico restituendo fiducia alla razionalità applicata (Maldonado, 1970).

Da lotta all'inquinamento, il pensiero critico si trasforma nella volontà più consapevole e operativa di avviare processi di sviluppo in chiave sostenibile (Milanaccio, 1998). Lo scopo dell'architettura rimane quello di interporsi tra l'uomo e l'ambiente per soddisfare le esigenze di comfort e benessere (Fitch, 1991) ma, al contempo, si intuisce la necessità di una progettazione consapevole - etica ed estetica - che sappia trattare ogni parte dell'ambiente naturale (Mc Harg, 1969) e che tenga conto della ricchezza e della diversità delle risorse naturali e dei lunghissimi tempi necessari alla rigenerazione ambientale (Tiezzi, 1996).

Se, da un lato, alcune previsioni apocalittiche si sono rivelate eccessive, dall'altro lato, l'emergenza ambiente (Gangemi, 2001) avvertita da pochi in quegli anni è diventata sempre più evidente a livello diffuso, traducendosi in politiche nazionali ed internazionali, come l'Accordo di Parigi (2015), l'Agenda 2030 o il Green Deal Europeo (2019), attraverso la progressiva introduzione di regole e dispositivi di controllo sempre più rigidi in materia ambientale e affrontati con consapevolezza tecnologica. Nel vivace dibattito dell'epoca emerge il solido nesso che unisce l'architettura e la

¹² Il progetto è inteso da Tomás Maldonado come un processo dialettico tra la condizione umana ed il suo ambiente necessario per contrastare il nichilismo progettuale derivato dal nichilismo culturale e politico (Maldonado, 1970).

tecnologia, l'innovazione tecnologica e la progettazione ambientale, le componenti ambientali materiali e immateriali e si delineò un cambiamento nell'approccio progettuale.

Le conseguenze del cambiamento climatico impongono, oggi, una risposta culturale e progettuale in cui le implicazioni ambientali diventano un fattore chiave e guida attraverso sistemi di conoscenze, strategie e azioni progettuali innovative, al fine di avviare processi di adattamento e mitigazione climatica in ambito urbano (Losasso, 2020). Parallelamente, gli scenari della cultura digitale e dell'Industria 4.0 promuovono innovazioni nel campo dei processi progettuali per l'incremento della resilienza sia dei sistemi fisici che dei sistemi socioeconomici. In ambito urbano, il design resilient-based consente di trovare il connubio tra l'innovazione tecnologia, la governance delle risorse e le strategie di sviluppo sostenibile e smart (Losasso, 2018b).

Le trasformazioni dell'ambiente costruito urbano, inteso come habitat antropizzato, richiedono un approccio capace di configurare, gestire e modificare lo spazio dell'abitare in modo responsabile e adattivo, in coerenza con la disponibilità delle risorse (Angelucci, 2015). Si configura un nuovo "concetto di città fondato sulla centralità del progetto" in cui l'impiego delle tecnologie consente di gestire i diversi livelli di complessità e di avviare trasformazioni dell'ambiente in chiave adattiva (Faroldi, 2018). Sul piano culturale e tecnico, solo studiando la complessità del rapporto uomo-natura-società è, infatti, possibile ridurre i rischi attuando azioni di prevenzione che integrino sia componenti biologiche che sociali (Terranova, 2013).

Con la consapevolezza della stretta relazione tra processi tecnologici e ricadute ambientali, le tematiche della Progettazione Ambientale trovano spazio nell'ambito della Tecnologia dell'Architettura, la disciplina amplia il proprio campo del sapere e la visuale culturale e tecnico-scientifica integrando la dimensione ambientale, diventa portatrice di una visione incentrata sullo spazio esistenziale che si estende all'intera area ambientale avvalendosi di apporti disciplinari integrati (Vittoria, 2008).

La Progettazione Ambientale mira alla creazione di relazioni innovative tra l'uomo e il proprio habitat (Vittoria, 1976), diventa la scienza delle relazioni tra le componenti naturali ed antropiche del mondo, tra un presente precario e un futuro da progettare, rompendo le barriere e le chiusure tra le discipline imponendosi all'economia, alla politica e alla sociologia (Bertoldini, 2009). Affrontando, quindi, la complessità di un nuovo approccio progettuale, fondato su un metodo sistemico, mirando all'equilibrio tra le trasformazioni urbane e il rispetto delle prerogative naturali e culturali dei luoghi (Dierna, 1994) e si pone come alternativa culturale alla tendenza progettuale circoscritta agli aspetti morfologici dei manufatti edilizi e urbani grazie all'introduzione progressiva di nuovi apporti analitici e strumentali (Schiaffonati, Mussinelli e Gambaro, 2011).

In questo contesto è possibile riferirsi alla progettazione climate proof come ad una progettazione che richiede lo sviluppo di modelli di conoscenza e processi atti ad orientare la trasformazione dell'ambiente costruito tenendo in considerazione le molteplici istanze del progetto urbano, includendo aspetti ecosistemici, sociali ed economici (D'Ambrosio, Rigillo e Tersigni, 2021).

La disciplina della Progettazione Ambientale si caratterizza per la centralità che assume "questione ambientale" e per la capacità di fornire gli strumenti metodologici e processuali atti ad orientare la progettazione in chiave climate proof mediante un approccio sistemico, integrato e multiscale attuato con il ricorso alle tecnologie abilitanti.

1.3. RISCHI CLIMATICI E AREE COSTIERE

La costa è il punto fisico di incontro tra terra, mare e aria: dal punto di vista ecologico è lo spazio in cui gli ambienti terrestri influenzano quelli marini e viceversa. La forma che assumono le coste è esito, quindi, del dinamismo che determina una condizione transitoria tra i due ambienti (Valente 1999a).

L'acqua è il fattore ambientale che proviene dal mare e che determina con la costa differenti morfotipi costieri¹³, la conformazione del paesaggio naturale ha influito, inevitabilmente, sui principi insediativi del tessuto e della forma urbana (Mininni, 2006). Per indagare l'ambiente urbano-costiero è possibile avvalersi di diverse tassonomie scientifiche e distinguere waterfront naturali o antropizzati, tra cui è possibile identificare, in base alla funzione, litorali portuali e non-portuali o in base all'area, e/o, in base al luogo in cui si localizzano in waterfront urbani, periferici o extraurbani. Al contempo, sul piano geomorfologico esistono molteplici modalità di classificazione dei litorali, essenzialmente, possono essere ricondotti a due categorie: metodi descrittivi e metodi genetici. Applicando un metodo descrittivo, individuando quindi i parametri morfologici e/o litologici, le coste possono essere distinte in coste alte e rocciose o coste basse clastiche. Le coste alte sono distinte in scogliere alte, basse e con spiagge alla base; le coste basse in spiagge di ciottoli, di sabbia o di sabbia e dune e in zone umide.

La compatibilità sul piano spaziale e funzionale delle coste dipende, infatti, dalle caratteristiche fisiche della costa (Valente, 1999b; Tabella 1).

Tipologie di costa		Caratteristiche dei luoghi						
		Coste alte rocciose			Coste basse clastiche			
		Scogliere alte	Scogliere basse	Scogliere con spiagge alla base	Spiagge con ciottoli	Spiagge di sabbia	Spiagge di sabbia con dune	Zone umide
Urbana	artificiale portuale		✓	✓	✓	✓		
	artificiale non portuale		✓	✓	✓	✓		✓
	naturale	✓	✓	✓		✓		
Periferica	artificiale portuale		✓	✓	✓	✓	✓	
	artificiale non portuale		✓	✓	✓	✓	✓	
	naturale	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Extraurbana	artificiale portuale		✓			✓		
	artificiale non portuale		✓		✓	✓	✓	✓
	naturale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabella 1. Tipologie di coste e caratteristiche geomorfologiche dei luoghi. Elaborazione a partire da: Valente (1999b)

A causa della forte vulnerabilità ed esposizione, i territori costieri sono soggetti a molteplici rischi climatici, associati a pericoli meteorologici e agli effetti, diretti o indiretti, del cambiamento climatico, soprattutto per le forti interazioni che intercorrono tra i sistemi naturali e socioeconomici (Turner,

¹³ In corrispondenza degli impluvi si generano coste basse e sabbiose, dei displuvi coste alte e rocciose o piccole falesie (Mininni, 2016).

Subak e Adger, 1996). Analizzare e valutare i rischi climatici consente di individuare gli elementi esposti e i possibili impatti correlati per definire, in maniera preventiva, strategie e azioni di adattamento climatico. L'osservazione, la conoscenza e la valutazione dei rischi climatici sono, quindi, aspetti chiave per il management urbano delle città contemporanee (EC, 2013a).

1.3.1. Definizione del concetto di rischio, vulnerabilità ed esposizione

Il rischio climatico rappresenta la probabilità che si verifichi un evento critico moltiplicato per gli impatti – effetti, diretti o indiretti, sui sistemi naturali e/o umani – che si avrebbero se esso si verificasse. L'IPCC, nel Fifth Assessment Report (AR5), definisce il rischio come prodotto dell'interazione tra hazard, vulnerabilità ed esposizione (IPCC, 2014a).

Per hazard, o pericolo, si intende il potenziale verificarsi di un evento, di un trend, o di un impatto fisico naturale, o indotto dall'uomo, che può causare la perdita di vite umane o danni alla salute, nonché danni a manufatti edili, infrastrutture, servizi, ecosistemi e risorse. La vulnerabilità è la propensione, o predisposizione, di un sistema, o di un territorio, a subire gli effetti negativi, pertanto, hazard e vulnerabilità sono parametri strettamente correlati. Infine, per esposizione si intende la presenza di elementi esposti potenzialmente impattati dagli hazard; possono essere considerati come elementi esposti, tra gli altri, l'ambiente naturale o costruito, gli ecosistemi o la popolazione (IPCC, 2014b).

Nel più recente report AR6, Six Assessment Report, nel modello per l'analisi dei rischi climatici individuato nell'AR5, sono indagate anche le relazioni e interazioni tra cambiamento climatico, ecosistemi e società antropica (Figura 5, a). Indagare queste interazioni consente di delineare le azioni da attuare per lo sviluppo climate-resilient limitando il riscaldamento globale e promuovendo la transizione dei sistemi antropici e naturali, mediante l'adattamento e la mitigazione climatica (IPCC, 2022; Figura 5 b).

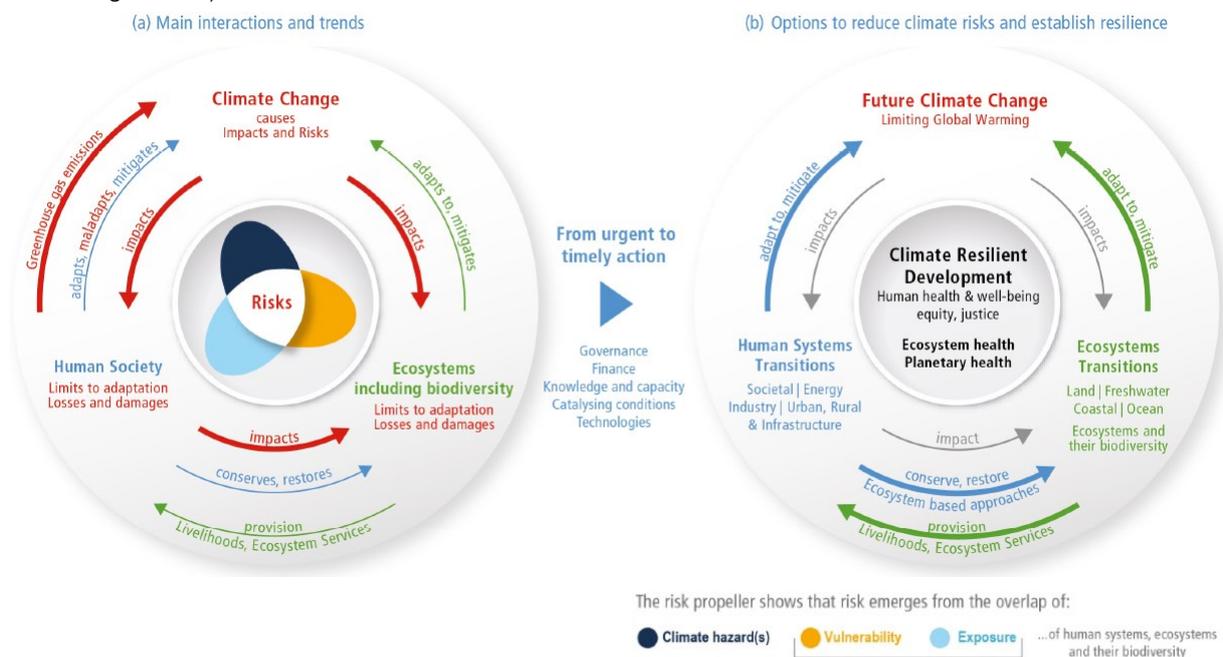


Figura 5. Dall'analisi dei rischi climatici allo sviluppo climate-resilient. Fonte immagine: IPCC (2022)

Gestire i rischi climatici significa, pertanto, avviare processi progettuali, valutativi e attuativi, per l'osservazione e la conoscenza del rischio orientata alla sua riduzione migliorando la preparazione, la risposta e il recupero post evento. Nel ciclo di gestione dei rischi climatici si possono identificare quattro fasi: mitigazione/ prevenzione e preparazione al disastro, prima che si verifichi l'evento, risposta e recupero (eventuale ricostruzione), dopo. Nelle fasi di mitigazione/prevenzione e preparazione al disastro rientrano le azioni di pianificazione e progettazione degli usi e degli spazi, realizzazione di misure tecniche di protezione così come l'organizzazione e la pianificazione delle risorse (Greminger e Zischg, 2011; IPCC, 2018).

La gestione integrata dei rischi climatici sta diventando una priorità assoluta a livello globale ed europeo. In area urbano-costiera, il tema della vulnerabilità è oggi inquadrato in senso proattivo spostando al centro dell'attenzione non solo l'attività di previsione e prevenzione dell'evento, ma anche la capacità di risposta (adattiva) sia del sito che della comunità urbana (Losasso e Rigillo, 2014). L'identificazione e la valutazione, quantitativa o qualitativa, dei parametri di vulnerabilità, hazard ed esposizione, è, quindi, un aspetto fondamentale per la gestione dei rischi climatici ed è affidata a simulazioni e modellazioni multiscalari.

La dimensione sistemica dell'ambiente urbano richiede un'eteronomia dei saperi e delle metodologie di indagine e progettuali, tra i compiti della progettazione ambientale vi è quello di valutare gli impatti ambientali in modo paritetico sull'ambiente costruito e su quello naturale (Chiapponi, 1989).

1.3.2. L'ambiente urbano-costiero in regime di cambiamento climatico

Le aree costiere sono sistemi naturali complessi e dinamici, zone di frontiera o di transizione tra terra e acqua, tra ambiente marino e ambiente terrestre, questi territori soggetti a molteplici rischi associati ai pericoli meteorologici e agli effetti, sempre crescenti, del cambiamento climatico (EC, 2009; Crossland et al., 2006).

Dalla fine del XX secolo, l'aumento delle temperature globali¹⁴ sta conducendo a diversi fenomeni climatici come l'innalzamento del livello del mare, l'aumento della temperatura marina, l'intensificazione degli eventi climatici estremi (cicloni, tempeste e mareggiate), l'alterazione dei moti ondosi, l'alterazione delle precipitazioni, l'aumento di concentrazione di CO₂ e conseguentemente l'acidificazione delle acque, infine, l'aumento del run-off (Nicholls et al., 2007; Kron, 2013; IPCC, 2014a). I sei effetti più rilevanti del cambiamento climatico sugli insediamenti urbani-costieri sono l'aumento della probabilità che si verifichino fenomeni di inondazione, l'aumento dell'intensità degli eventi di inondazioni ed erosioni costiere, l'innalzamento delle falde acquifere, l'intrusione di acqua salata nelle acque superficiali e sotterranee ed effetti biologici (Klein et al., 2006).

Gli hazard naturali e gli effetti crescenti del cambiamento climatico provocano effetti diretti come l'aumento dei fenomeni di inondazione, di desertificazione e danni fisici ai beni esposti, o effetti indiretti come l'abbandono dei territori e l'aumento dei flussi migratori (Cramer et al., 2018). Come evidenziato nell'ultimo report IPCC, a scala regionale gli impatti climatici sui sistemi antropici si

¹⁴ In riferimento al periodo preindustriale (1880-1889), entro la fine del XXI secolo è previsto un aumento medio della temperatura globale di oltre 1,5 °C secondo tutti gli scenari RCP, eccetto per l'RCP 2.6. Secondo gli scenari RCP 8.5 e RCP 6.0 è probabile che un aumento superiore ai 2 °C (IPCC, 2018).

concentreranno in Europa, nel Mediterraneo e, più in generale, nelle città di mare. In particolare, per le città, gli insediamenti e le infrastrutture è previsto un aumento delle inondazioni costiere e pluviali e con danni attesi per le infrastrutture e i servizi, con effetti negativi per i principali settori economici, come l'agricoltura e il turismo (IPCC, 2022; Figura 6).

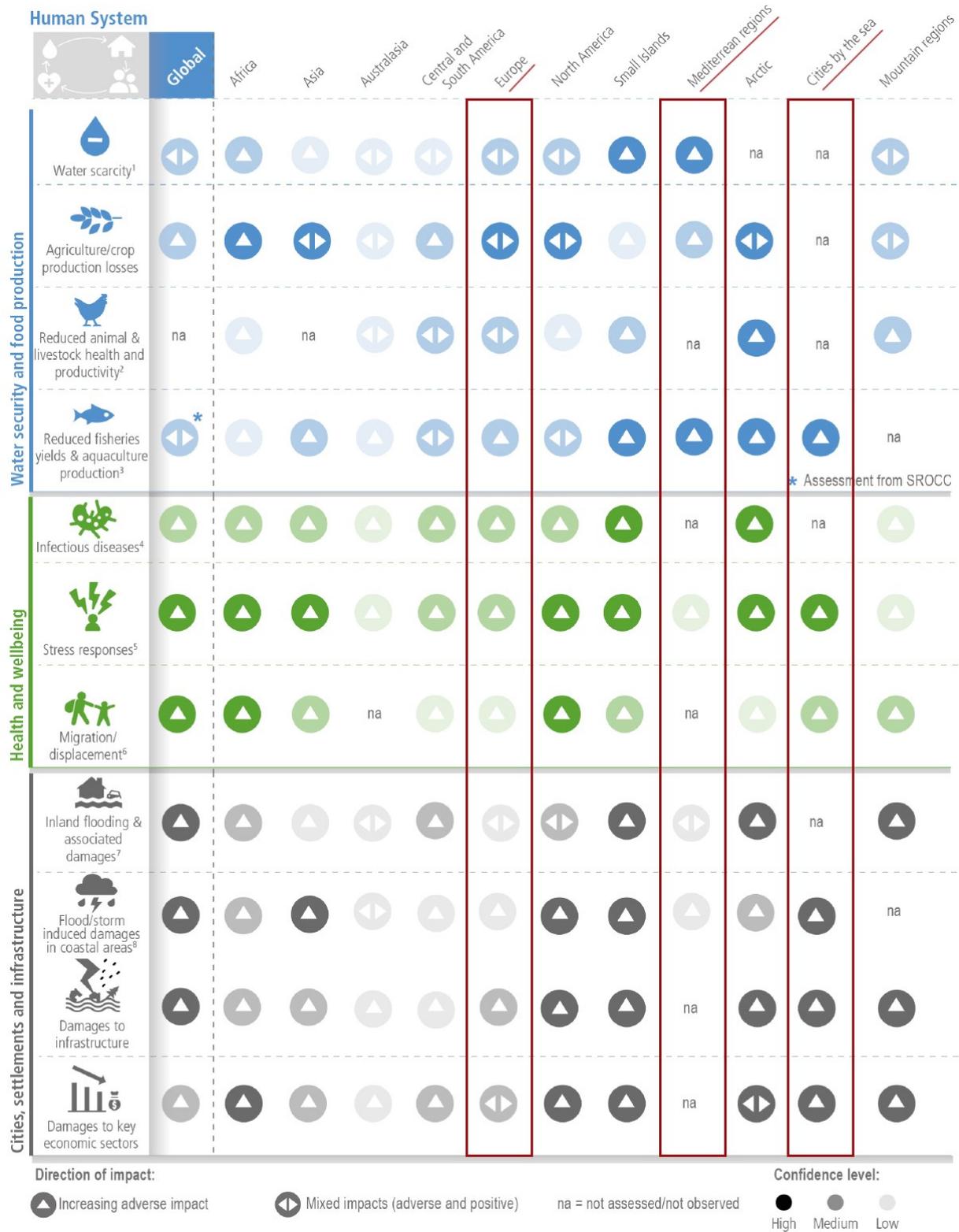


Figura 6. Gli impatti del cambiamento climatico sui sistemi antropici. Fonte immagine IPCC (2022)

Nello scenario globale dei cambiamenti climatici, la regione mediterranea può essere considerata un hotspot (Giorgi, 2006). Il Mar Mediterraneo è un mare semi-chiuso su cui insistono tre continenti, Africa, Asia ed Europa, il termine trae origine dal latino *Mediterraneus* ossia “in mezzo alle terre”. La Regione, culla di alcune tra le civiltà più antiche del Pianeta che hanno trovato nel mare l'elemento fondativo sia sul piano della cultura urbana sia su quello della crescita economica e produttiva, è oggi caratterizzata da un'eccezionale ricchezza patrimoniale storico-culturale, nonché di biodiversità ed ecosistemi. Dal punto di vista topologico è caratterizzata da una geomorfologia costiera molto ricca e complessa, dal punto di vista meteorologico e climatico dalla variabilità temporale e spaziale e dalla formazione di eventi climatici estremi (Ruti et al., 2016). Lungo le coste e lungo i fiumi vi è, peraltro, una forte pressione antropica¹⁵, circa il 40% della costa risulta, infatti, antropizzato e sulle coste insistono diverse tipologie di insediamenti antropici e naturali, strategici in termini ambientali, sociali ed economici (Zacharias e Zamparas, 2016).

Nel corso dei secoli, sulle coste del Mediterraneo si sono sviluppate le più importanti civiltà del pianeta, grazie ai benefici offerti dal mare per il commercio. Secondo recenti stime ONU più di 600 milioni di persone – circa il 10% della popolazione mondiale – vive in prossimità della costa in aree caratterizzate da un'elevazione costiera inferiore ai 10m¹⁶, alla densità abitativa si accompagna, peraltro, la presenza di importanti infrastrutture (Small e Nicholls, 2003; Mcgranahan, Balk e Anderson, 2007). In questo contesto, il cambiamento climatico aggiungerà un'ulteriore pressione sui sistemi costieri europei, aumentando la vulnerabilità di aree già considerate ad alto rischio a causa della forte pressione antropica, della vulnerabilità e dell'esposizione (Nicholls, 2009).

In riferimento al periodo preindustriale (1880-1889), per le regioni mediterranee è previsto un aumento di circa +1,5 °C accompagnato da un aumento, in intensità e frequenza, degli eventi di ondata di calore¹⁷ (heatwaves). Senza alcuna misura di mitigazione climatica, nel 2040 si potrebbe arrivare ad un aumento medio delle temperature pari a +2,2 °C, con possibilità di raggiungere in alcune aree picchi di +3,8 °C (Jacob et al., 2014; Vautard et al., 2014). Quest'aumento provocherà importanti impatti sul clima e sugli insediamenti urbani.

Gli hazard sono, inoltre, interconnessi, ad esempio, l'innalzamento graduale del livello del mare (SLR) contribuisce ai fenomeni di erosione accelerando le dinamiche di trasporto dei sedimenti; al contempo, l'erosione e il SLR aumentano la probabilità e l'intensità di possibili inondazioni dovute a maree, moti ondosi, vento o intense piogge (UNEP, 2010).

I principali rischi per le aree costiere e per le aree insulari derivano dall'incremento del livello del mare, il livello medio globale del mare è già aumentato tra 0,15 e 0,25cm nel periodo compreso tra il 1901 e il 2018, con una crescita esponenziale e le analisi mostrano come questo trend stia continuando ad accelerare (Guiot et al., 2016; IPCC 2021).

¹⁵ I trend demografici, secondo le elaborazioni del rapporto delle Nazioni Unite “Global Population Growth and Sustainable Development”, stimano al 2050 un aumento della popolazione mediterranea di circa il 20% rispetto al 2015, tale crescita sarà concentrata maggiormente nei paesi nordafricani e mediorientali (Zupi, 2017).

¹⁶ Le aree costiere caratterizzate da un'elevazione altimetrica inferiore ai 10m sono definitive aree LECZ, dall'inglese Low Elevation Coastal Area.

¹⁷ L'Heatwave, o ondata di calore, è definibile come un periodo di temperature molto elevate, anomale e non confortevoli per l'uomo (IPCC, 2014b).

1.3.3. Il rischio di inondazione per eventi di Extreme Sea Level nelle città euro-mediterranee

La linea costiera dell'Unione Europea misura circa di 68.000 km e circa il 19% della popolazione vive entro i 10km dal mare (EEA, 2006). Tra i territori costieri circa 140.000 Km² è a solo 1m sopra il livello del mare, in particolare in Olanda, Danimarca, Inghilterra, Germania e Italia, condizione che rende i territori altamente vulnerabili (EEA, 2010).

Il valore dei beni esposti entro 500 metri dal mare è stimato tra i 500 e i 1000 miliardi di euro (manufatti edilizi, infrastrutture, aree produttive etc.) e in termini di protezione climatica per contrastare i fenomeni di erosione e inondazione, si stima che la spesa pubblica media annua per il trentennio in corso (1990-2020) sia stata di circa 5,4 miliardi di euro (EEA, 2019). Senza alcuna misura di adattamento o mitigazione per il coastal flooding, al 2100, potrebbero verificarsi danni fino a 961 miliardi di euro secondo lo scenario RCP8.5-SSP5 (Ciscar et al., 2018).

Per inondazione (flood) si intende lo straripamento dei normali confini di un corpo idrico o l'accumulo di acqua in aree normalmente prive. Le inondazioni, in ambiente urbano, possono avvenire per molteplici cause naturali come piene fluviali, piene improvvise, intense piogge, mareggiate o per cause antropiche come il cedimento del sistema fognario (EC, 2007b; IPCC, 2014b).

In area costiera le inondazioni possono essere causate da hazard event-based o graduali o dall'azione congiunta delle due tipologie. Gli hazard event-based si caratterizzano per fenomeni improvvisi come le mareggiate (storm surges), gli hazard graduali per fenomeni che si relazionano con scale temporali più ampie come l'innalzamento graduale del livello del mare (sea level rise). Le proiezioni climatiche degli hazard event-based dipendono dagli scenari RCP, dal Periodo di Ritorno (RT)¹⁸ e dal Percentile (%)¹⁹, gli hazard graduali, come il sea level rise, sono, invece, solo in funzione degli scenari RCP e, come anticipato, richiedono proiezioni temporali a medio-lungo termine.

L'innalzamento del livello del mare dipende direttamente dall'aumento delle temperature globali, in area Mediterranea, al 2100, rispetto al periodo preindustriale, si stima un aumento compreso tra 52 e 98 cm (Church et al., 2013), valore che potrebbe aumentare fino a 190 cm secondo i modelli che considerano l'interazione, attraverso lo stretto di Gibilterra, con lo scioglimento dei ghiacciai (Vermeer e Rahmstorf, 2009).

Gli hazard event-based, come le mareggiate, contribuiranno agli impatti negativi dell'innalzamento graduale del livello del mare intensificando, sia in termini di intensità che di frequenza, il rischio di inondazioni costiere (coastal flooding) (Wahl, Haigh e Nicholls, 2017). Considerando l'azione congiunta di hazard improvvisi e graduali, nel contesto del rischio di inondazione costiera, è possibile fare riferimento agli eventi di Extreme Sea Level (ESL), "livello estremo del mare", risultante dalla sommatoria del livello medio del mare (mean sea level rise – MSLR), delle maree (tides – T), delle onde da vento (wind waves – WW) e delle onde da tempesta (storm surges – SS) (Vousdoukas et al., 2018).

¹⁸ Per periodo di ritorno, Return Period (RT), si intende una stima temporale media del potenziale verificarsi di un evento di determinata dimensione ed intensità. Le proiezioni climatiche, generalmente, forniscono valori per RT pari a 10, 100 o 1000 anni (yr) (IPCC, 2021).

¹⁹ Per percentile si intende la distribuzione statistica della frequenza degli eventi climatici. Le proiezioni climatiche in genere forniscono valori al 5%, 50% e 95%, evidenziando, quindi, il caso migliore, peggiore e medio.

I valori delle proiezioni climatiche di ESL sono, quindi, più elevati rispetto ai soli valori di SLR rappresentando un importante e urgente minaccia per tutti gli insediamenti che insistono sulle coste e dipendono, oltre che dagli scenari RCP, dal periodo di ritorno e dal percentile, sia da caratteristiche regionali che locali rapportandosi con scale spaziali e temporali differenziate. Tra i fattori che influenzano localmente gli eventi di ESL rientrano i cicloni tropicali, come nel caso dei Medicanes in area mediterranea (MEDiterranean hurriCANE) (Cavicchia e von Storch, 2012) e delle tempeste di vento nei territori nordeuropei (Zahn e von Storch, 2010), o i fenomeni di subsidenza locale²⁰ come nel caso delle subsidenze che si verificano nella città di Venezia (Tosi et al., 2018). Oltre che dai fattori climatici locali, la variabilità degli impatti sugli insediamenti urbani dipende sia dai principi geomorfologici che insediativi dei luoghi.

Gli eventi di ESL pongono nuove sfide per gli insediamenti urbani costieri euromediterranei, se, infatti, attualmente le città possono adattarsi o difendersi dagli eventi di inondazione, gli effetti a lungo termine del cambiamento climatico aumenteranno il rischio e renderanno necessario ripensare le strategie di adattamento climatico, implementando le misure esistenti o predisponendone di nuove (Weisse et al. 2013). In figura si evidenzia l'aumento e la variabilità degli eventi di inondazione costiera secondo gli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5, al 2100, per eventi caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 100 anni (Figura 7).

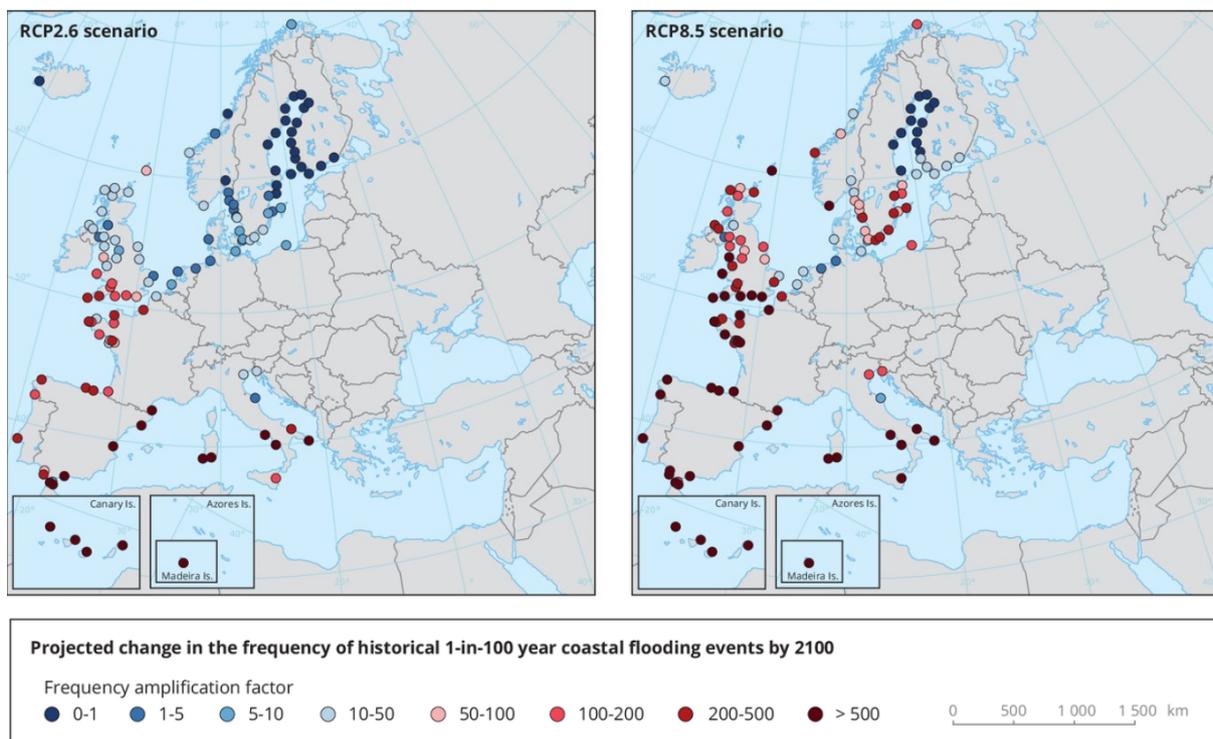


Figura 7. Cambiamenti nei Extreme Sea Level e coastal flooding in Europa, scenari RCP a confronto. Fonte immagine: <https://www.eea.europa.eu/ims/extreme-sea-levels-and-coastal-flooding>

²⁰ La subsidenza è un fenomeno geologico/geomeccanico che consiste nell'abbassamento, continuo o discontinuo, di una superficie deposizionale subaerea o sottomarina. La subsidenza può avvenire per cause naturali e/o antropiche e può essere distinta in subsidenza termica, tettonica o di carico in funzione della tipologia di fenomeno.

In area mediterranea, molteplici sono, inoltre, i beni esposti di inestimabile valore storico-culturale considerati a rischio per fenomeni di inondazioni ed erosioni costiere e, tra questi, si evidenzia la presenza di quarantanove siti UNESCO, testimonianze del mondo antico e nella contemporaneità elementi fondamentali per l'economia legata al turismo (Reimann et al., 2018).

Nella penisola italiana, secondo le previsioni dell'innalzamento graduale del livello del mare, sono considerati aree ad alto rischio i territori localizzati nell'area alto-adriatica, basso-adriatica e ionica (Antonioli et al., 2017).

1.3.4. Direttive internazionali e protocolli per città costiere sostenibili

Le politiche ambientali, orientate alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera, stanno diventando sempre più diffuse a livello nazionale ed internazionale promuovendo una trasformazione delle città in chiave sostenibile. Il primo passo istituzionale verso questo cambiamento in chiave "green" fu intrapreso nel 1992 nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), nota anche come Accordi di Rio o Summit della Terra. Anche se non vincolante l'accordo riconobbe il ruolo dell'attività antropica nel modificare il clima terrestre.

Dall'entrata in vigore dell'accordo (1994) i paesi coinvolti (Parti) si sono incontrati annualmente per confrontarsi sulla "questione climatica" individuando obiettivi e strategie comuni e analizzando i progressi effettuati. Oggi l'ente UNFCCC conta più di 197 membri (parti) ed è promotore di importanti iniziative e accordi internazionali maturati nell'ambito delle Conferenze delle Parti, Conference of the Parties (COP), tra questi il Protocollo di Kyoto²¹ del 1997 (COP3) e l'Accordo di Parigi²² del 2015 (COP21).

Parallelamente l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), United Nation (UN), ha sviluppato l'Agenda 2030 sottoscritta nel settembre 2015 dai 193 Paesi membri. Attraverso i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, Sustainable Development Goals (SDGs), l'Agenda attua un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità fondato sull'integrazione delle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: dimensione ambientale, sociale ed economica.

Nel 2019, l'Europa ha recepito le direttive internazionali adottando e promuovendo il Green Deal con l'obiettivo di rendere la sua Comunità più sostenibile attraverso un piano di azione che promuove l'uso efficiente delle risorse mediante un'economia pulita e circolare, il ripristino della biodiversità e la riduzione dell'inquinamento. L'impegno comune è di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 e di trasformare le problematiche climatiche e le sfide ambientali in opportunità (EC, 2019).

In tema di adattamento climatico, nel 2013, la Commissione Europea ha adottato la Strategia europea di adattamento ai cambiamenti climatici, EU adaptation strategy, per contribuire alla

²¹ Il protocollo di Kyoto è uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali e stabilisce l'impegno dei paesi industrializzati adenti, legalmente vincolante, per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti. L'accordo, redatto nel 1997, è entrato in vigore solo nel 2005.

²² L'Accordo di Parigi stabilisce l'impegno comune, per i paesi aderenti, di contenere il surriscaldamento globale al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, facendo il possibile affinché si mantenga entro 1,5°C sottolineando l'importanza delle politiche di adattamento per il raggiungimento di tali obiettivi. Il rapporto speciale dell'IPCC del 2018 "Global Warming of 1.5 °C" mette in evidenza i benefici che si avrebbero se non si superassero i 2° (IPCC, 2018).

costruzione di un'Europa più resiliente. La strategia si articola in tre obiettivi principali: incoraggiare gli stati membri a dotarsi di una propria strategia nazionale (National Adaptation Strategy – NAS), garantire processi decisionali di adattamento consapevoli e integrare l'adattamento nelle politiche settoriali (EC, 2013). La strategia è stata aggiornata nel 2021, ampliando le ambizioni in materia di resilienza al 2050 mediante un adattamento “più intelligente” attuato attraverso il miglioramento delle conoscenze e la gestione delle incertezze, “più sistemico” mediante la promozione e lo sviluppo di politiche a tutti i livelli e in tutti i settori e, infine, “più rapido” per rispondere agli obiettivi sia nel breve che nel medio termine (EC, 2021a).

Il contributo europeo all'adattamento delle città si concentra sull'erogazione di finanziamenti, incentivando anche gli investimenti del settore privato, nell'ambito di programmi specifici come: LIFE²³, URBACT²⁴ o Interregg²⁵, e sulla diffusione di studi, ricerche e sperimentazioni progettuali attraverso la piattaforma web Climate-Adapt²⁶.

In ambito costiero, sulla base dei principi sostenuti a Rio de Janeiro nel 1992 in occasione del Summit della Terra, nel 2002²⁷ emerse la necessità di una gestione integrata, dinamica e continua per l'uso e lo sviluppo sostenibile delle zone costiere europee (EC, 2002). Nel 2009 viene introdotto il Protocollo per la Gestione Integrata delle Zone Costiere del Mediterraneo, Integrated Coastal Zone Management (ICZM) (EC, 2009) e, in questa linea, nel 2013 la Commissione europea ha adottato una proposta di direttiva unica, per la gestione integrata delle zone costiere e la pianificazione dello spazio marittimo, Maritime Spatial Planning (MSP)²⁸ (EC, 2013b). I due strumenti sono complementari: i piani del MSP definiscono una mappatura delle attività antropiche esistenti identificandone possibili sviluppi futuri, mentre il ICZM garantisce la gestione integrata di tali attività (Addis et al., 2015). La MSP è, quindi, uno dei principali strumenti per l'attuazione della ICZM nella parte marina della zona costiera, l'applicazione integrata dei due strumenti è necessaria a causa

²³ LIFE (L'Instrument Financier pour l'Environnement) è un programma europeo nato per sostenere l'attuazione delle priorità strategiche per le politiche climatiche dell'UE. Nello specifico il programma mira a sostenere lo sviluppo e l'attuazione di politiche di adattamento ai cambiamenti climatici, a migliorare la base di conoscenza per lo sviluppo, la valutazione, il monitoraggio e l'attuazione di misure specifiche di adattamento, a facilitare lo sviluppo e l'attuazione di approcci integrati e, infine, a contribuire allo sviluppo e all'applicazione di tecnologie, sistemi, metodi e strumenti innovativi per l'adattamento. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://ec.europa.eu/easme/en/life>.

²⁴ URBACT è un programma europeo di scambio e apprendimento nato per supportare le comunità urbane nello sviluppo di soluzioni pragmatiche che siano innovativi e sostenibili e che integrino aspetti economici, sociali e ambientali. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://urbact.eu/>.

²⁵ Interregg Europe è un programma di cooperazione interregionale nato per supportare i governi regionali e locali europei e fornire cofinanziamenti, focalizzandosi su quattro temi: ricerca, sviluppo tecnologico e innovazione, competitività delle PMI, economia a basse emissioni di carbonio, ambiente ed efficienza delle risorse. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.interregeurope.eu/>.

²⁶ Climate-adapt è una piattaforma nata nel 2011 in partnership tra la Commissione Europea e l'Agenzia europea per l'ambiente, European Environment Agency (EEA) allo scopo di supportare gli utenti nell'accesso e nella condivisione delle informazioni sui cambiamenti climatici attesi in Europa, sulla vulnerabilità attuale e futura delle regioni e dei settori, sulle strategie e azioni di adattamento climatico, sui casi di studio e, infine, sugli strumenti per il supporto, operativo e decisionale, ai progetti climate proof. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

²⁷ Precedentemente, nel 1976 fu approvata la Convenzione di Barcellona per la protezione dell'ambiente marino e costiero del mar Mediterraneo, Convenzione che fu poi modificata nel 1995.

²⁸ La direttiva 2014/89/UE ha istituito un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo.

delle forti interazioni ambientali, sociali ed economiche che intercorrono tra terra e mare (Ramieri, Bocci e Markovic, 2019).

Altre direttive europee rilevanti per la gestione dell'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatiche, sono la EU Flood Directive²⁹ incentrata sulla valutazione e sulla gestione dei rischi di alluvioni per gli Stati Membri e che, quindi, contempla anche la gestione del rischio di inondazione costiera (EC, 2007b), e la direttiva europea quadro per la protezione dell'ambiente marino, Marine Strategy Framework Directive (MSFD) (EC, 2008).

Tutte le due direttive devono essere attuate in coerenza con la direttiva quadro per la gestione delle acque Water Framework Directive (WFD) (EC, 2000).

Sul piano nazionale, l'Italia si è mossa in ritardo rispetto agli altri paesi, ma nel 2015 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), oggi divenuto Ministero della Transizione Ecologica, ha introdotto e adottato la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici – SNAC per elaborare una visione nazionale sui percorsi da intraprendere per far fronte ai cambiamenti climatici attenuando e contrastando i loro impatti (MITE, 2015).

L'elaborazione della SNAC ha rappresentato un passaggio fondamentale per l'elaborazione del Piano Operativo. Il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici – PNACC è stato redatto nell'ottobre del 2017 ed è disponibile online in via di approvazione per la consultazione pubblica. Il PNACC prevede molteplici azioni settoriali volte all'incremento della resilienza attraverso interventi di retrofit tecnologico-ambientale su edifici e spazi aperti (MITE, 2018). Alcune città hanno già intrapreso piani di adattamento al cambiamento climatico come il piano per la città di Bologna BLUE AP (Bologna Local Urban Environment Adaptation Plan for a Resilient City).

La recente pandemia da Covid-19 ha aggravato la situazione già critica delle società contemporanee. In risposta alla crisi ambientale, sociale ed economica, l'Unione Europea ha avviato lo strumento finanziario NextGenerationEU (NGEU) stanziando 806,9 miliardi di euro con l'obiettivo di rendere la sua Comunità più ecologica, digitale e resiliente (EC, 2021c). In Italia, in coerenza con il NGEU, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) #NextGenerationItalia, ha stanziato 222,1 miliardi di euro con particolare attenzione ai progetti green (37%) e digitali (20%). In particolare, gli investimenti riguardano: la rivoluzione verde e la transizione ecologica (59,47 m€), la digitalizzazione, l'innovazione, la competitività e la cultura (40,32 m€), l'istruzione e la ricerca (30,88 m€), le infrastrutture per una mobilità sostenibile (25,40 m€), l'inclusione e la coesione sociale (19,81 m€) e, infine, la salute (15,63 m€) (MISE, 2021).

²⁹ La Direttiva Europea, EU Floods Directive, è stata attuata in Italia con il D.Lgs. 49/2010, allo scopo di istituire un quadro di riferimento per la valutazione e la gestione del rischio allo scopo di ridurre gli impatti negativi per la salute umana, le attività economiche, l'ambiente naturale e il patrimonio culturale (EC, 2007b).

1.4. PROTEZIONE CLIMATICA E AMBIENTE URBANO COSTIERO

Fin dall'antichità, le città sono state costruite vicino alla costa o ai fiumi per sfruttare l'acqua come mezzo di comunicazione e di commercio e la configurazione delle aree urbane è stata realizzata in gran parte senza tener conto dei rischi costieri. Come protezione, ai fenomeni di inondazione costiera, si costruivano opere di difesa come le dighe³⁰, la cui efficacia dipende però dalle condizioni climatiche, dal livello di prestazione e dalla capacità delle autorità di mantenere funzionante l'infrastruttura (Serre, 2016).

Negli ultimi anni vi è stato un cambiamento di paradigma e il superamento del miope approccio unidimensionale di "tenere l'acqua lontana" in favore di nuovi approcci più strategici, olistici e a lungo termine che mirano alla mitigazione, all'adattamento e all'aumento della resilienza. Tali approcci valutano sia l'efficacia dei sistemi nel proteggere gli elementi esposti, che le ricadute della soluzione in termini ambientali, sociali ed economici su orizzonti temporali a breve, medio e lungo termine (Zanuttigh, 2011; Lennon, Scott e O'Neill, 2014).

Con l'introduzione del concetto di resilienza, sono, infatti, cambiati i paradigmi di gestione dei rischi climatici, sul piano operativo, in relazione al cambiamento climatico, si possono identificare due approcci complementari per la costruzione della resilienza: Disaster Risk Reduction³¹ (DRR) e Climate Change Adaptation (CCA). Se l'approccio DRR si concentra sul presente per la prevenzione e la riduzione dei rischi, il CCA sull'adeguamento dei sistemi al clima, atteso e futuro, affrontando l'incertezza del futuro e dei possibili eventi climatici per limitarne gli impatti (EEA, 2017). In tabella (Tabella 2) sono comparati i due approcci:

DISASTER RISK REDUCTION	CLIMATE CHANGE ADAPTATION
OBIETTIVI COMUNI	
Affrontare il tema della prevenzione e riduzione dei rischi riducendo la vulnerabilità e aumentando la resilienza	
OBIETTIVI SPECIFICI	
Il DDA è il processo volto alla prevenzione e riduzione dei rischi (agendo su vulnerabilità, hazard ed esposizione), contribuendo a rafforzare la resilienza, promuovendo, dunque, uno sviluppo sostenibile. L'approccio trova origine nella gestione umanitaria e civile delle emergenze post-disastro.	Il CCA è il processo volto all'adeguamento dei sistemi al clima attuale o atteso e ai suoi possibili effetti. Si concentra sulle misure di adattamento per la riduzione della vulnerabilità, attraverso misure a medio-lungo. L'approccio trova origine nell'ambito scientifico, nelle discipline delle scienze della terra e del clima.
HAZARD	
Affronta tutti i tipi di hazard (geofisici, idrogeologici, climatici, biologici e tecnologici).	Affronta gli hazard climatici e meteorologici.

Tabella 2. Approcci a confronto: DDA e CCA, elaborazione a partire da: EEA (2017)

³⁰ Un recente esempio di questo tipo di infrastruttura è il sistema di dighe mobili Mose (MODulo Sperimentale Elettromeccanico) per la difesa di Venezia. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.mosevenezia.eu/>.

³¹ In ambito internazionale l'ONU, nel 2015, ha adottato il Quadro di riferimento di Sendai per la riduzione del rischio di disastri (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction) 2015-2030. Il quadro delinea obiettivi e priorità individuando quattro azioni prioritarie: migliorare l'osservazione e la conoscenza dei rischi, rafforzare gli aspetti di governance dei rischi, investire nella riduzione dei disastri incrementando la resilienza e, infine, migliorare la capacità di recupero, riabilitazione e ricostruzione post-disastro (UN, 2015).

L'integrazione degli approcci valutativi e progettuali di DDA e CCA permette il passaggio dalla valutazione del rischio incentrata sui singoli hazard verso un approccio sistemico "all-hazards" e multirischio, che tiene in considerazione diverse scale spaziali e temporali al fine di definire strategie progettuali adeguate sia nel breve (adattamento) che nel medio-lungo termine (mitigazione)³², ponendosi come alternativa al recupero post-disastro più inefficace ed economicamente insostenibile (Leone, 2017).

1.4.1. Strategie per l'adattamento climatico in ambiente urbano costiero

L'IPCC definisce l'adattamento climatico come l'insieme di misure e azioni progettuali di adeguamento al clima atteso o attuale e ai suoi possibili effetti (IPCC, 2014b). In ambito urbano costiero l'adattamento può essere attuato mediante tre strategie principali classificate in funzione della risposta di adattamento (IPCC CZM, 1990; Figura 8):

- 1) difesa: protezione delle aree vulnerabili (insediamenti urbani, attività economiche, infrastrutture strategiche, risorse naturali, popolazione etc.) mediante sistemi di difesa;
- 2) accomodamento: continuare ad occupare le aree vulnerabili, ma contemplare il peggior grado di possibile inondazione modificando l'uso del suolo, i metodi di costruzione e/o migliorando la preparazione ai disastri agendo, quindi, sulla capacità di risposta dei sistemi;
- 3) delocalizzazione (ritiro pianificato): strategia che consiste nell'abbandono (pianificato) delle strutture nelle aree attualmente sviluppate e nel reinsediando in nuove aree prive di rischio.

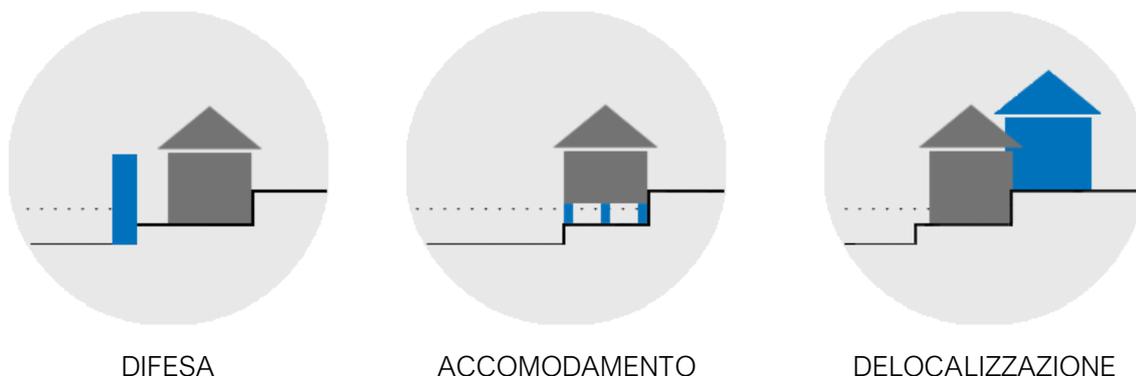


Figura 8. Approcci di adattamento climatico in area costiera. Elaborazione immagine a partire da UNEP (2010)

A partire dalle tre strategie dell'IPCC CZM, è possibile individuare gli obiettivi principali di adattamento climatico: robustezza, flessibilità e adattabilità a cui è possibile integrare l'inversione delle tendenze dannose e l'aumento della consapevolezza e della preparazione sia dei decisori che della popolazione (Klein e Tol, 1997). Le strategie possono essere categorizzate in tre classi di azioni: verdi (soluzioni ecosistemiche caratterizzate per l'approccio di tipo ambientale), grigie

³² Nell'era dell'Antropocene, per affrontare le criticità e le fragilità che caratterizzano l'ambiente urbano costruito in scenari di criticità climatiche, il binomio mitigazione-adattamento è inscindibile e imprescindibile per le proposte di adattamento climatico (Lucarelli, 2018).

(soluzioni tecnologiche e ingegneristiche) o soft (soluzioni gestionali, giuridiche e politiche) (Noble et al., 2014; MITE, 2015).

Nell'ambito degli interventi caratterizzati da un approccio difensivo, come anticipato, rientra il MOSE di Venezia per la difesa della città e della sua laguna dall'acqua alta. Il MOSE si classifica come misura infrastrutturale fortemente ingegnerizzata e quindi ascrivibile alla categoria di soluzioni di tipo grey, o grigio. Queste soluzioni sono molto efficaci se utilizzate in modo appropriato tuttavia non sono infallibili, la loro efficacia dipende, infatti, da molteplici fattori come la manutenzione e/o la necessità di mettere in funzione e mantenere operativa l'infrastruttura. Eliminare completamente il rischio di inondazioni è, infatti, impossibile se si considerano bacini idrografici più ampi o orizzonti temporali a lungo termine (Jha, Bloch e Lamond 2012; Serre, 2016).

Nell'ambito degli interventi di accomodamento, il ripristino o inserimento di zone umide (wetlands) è classificabile come azione di tipo green, o verde. Le azioni green si caratterizzano per l'EbA – Ecosystem based Approach³³ che integra funzioni ecosistemiche, strategie adattive e azioni di incremento la resilienza edilizia e urbana producendo non solo benefici ambientali ma anche economici, sociali e culturali.

Infine, il piano per la delocalizzazione dell'infrastruttura stradale a Hyères, in Francia, può evidenziare l'approccio della delocalizzazione per le infrastrutture sensibili attuato mediante azioni di tipo soft o non strutturali. Il progetto, nell'ambito dell'Opération Grand Site (OGS)³⁴, si inserisce nelle linee individuate dalla Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, nei programmi operativi 2012-2015 e 2017-2019, per gli insediamenti costieri considerati ad alto rischio inondazioni che esortano le autorità locali a concentrarsi sulle proposte di delocalizzazione di attività e beni fortemente a rischio³⁵. In questo contesto la sperimentazione condotta a Hyères dimostra come la delocalizzazione della strada litoranea rappresenterebbe l'opportunità per migliorare l'accessibilità e ripristinare il valore naturale ed ecosistemico dei luoghi, mostrandosi come valida soluzione di adattamento climatico considerando orizzonti temporali a lungo termine (Guignard, 2015).

In generale, sia a livello europeo che italiano, in linea con quanto evidenziato nel report "Impact assessment" dell'Unione Europea, si registra un rallentamento nell'attuazione delle strategie di adattamento, causato da mancanze o lacune nelle conoscenze dei rischi climatici orientate al supporto decisionale dei progetti di adattamento, scarso monitoraggio e feedback dei progetti di adattamento avviati, tempi attuativi troppo lunghi e, infine, visioni settoriali circoscritte al solo ambito europeo senza considerare anche gli impatti climatici extraeuropei (EC, 2021b).

³³ Nell'ambito degli approcci EbA rientrano le categorie di intervento ascrivibili alle Nature Based Solutions (NBS), alle Green Infrastructure (GI), ai Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), al Water Sensitive Urban Design (WSUD) o al Low Impact Development (LID) (Tersigni, 2018b).

³⁴ Il progetto è stato promosso dal governo centrale nell'ambito delle politiche per la tutela delle aree costiere e adottato dal Comune di Hyères, con l'obiettivo di migliorare l'accoglienza dei visitatori e le condizioni del sito; l'area è infatti ad alto rischio per le inondazioni e gli alti livelli di inquinamento. Per maggiori informazioni consultare il sito: <http://hyeres.fr/operation-grand-site>.

³⁵ In area mediterranea, la Francia rappresenta uno dei paesi ad alto rischio inondazioni dovute a molteplici cause. Grazie ad un processo di decentralizzazione del potere da parte del governo centrale in favore di politiche più locali, il processo di adattamento al rischio di inondazioni sta diventando sempre più efficace traducendosi in concrete risposte progettuali (Larrue et al., 2016).

1.4.2. Climate adaptive design nella riqualificazione dei waterfront

In Europa e nel mondo vi sono numerosi esempi di riqualificazione di waterfront urbani in chiave climate proof. Tra gli interventi di riqualificazione urbana, il progetto di tipo ambientale si caratterizza per la capacità di integrare sia azioni di adattamento che di incremento della resilienza, agendo sulla riduzione delle vulnerabilità e degli impatti climatici correlati (Losasso, 2017c). Tali approcci si caratterizzano per la consapevolezza che il binomio innovazione tecnologica-ambiente costituisce la base fondativa degli assetti urbani mediante il controllo del processo progettuale, costruttivo e gestionale (Cangelli, 2015).

Nel climate adaptive design, la progettazione ambientale definisce, quindi, scenari progettuali in cui le tematiche ambientali sono determinanti; la dimensione ambientale, attraverso la definizione di chiari principi rigenerativi, consente, infatti, la risoluzione di molteplici problematiche urbane legate agli impatti ambientali, alla mancata efficienza energetica, allo spreco delle risorse e agli impatti antropici sul paesaggio naturale (D'Ambrosio, 2021). Gli interventi in chiave climate coniugano il progetto di riqualificazione urbana con la riduzione del rischio ambientale, in una visione che integra la "questione climatica", il miglioramento della qualità ambientale e l'efficacia nella gestione delle risorse naturali (Tucci, 2021).

Nei processi di riqualificazione urbana sostenibile e resiliente, soprattutto nel contesto europeo, lo spazio pubblico ha assunto un ruolo chiave per le trasformazioni climate proof (Battisti, Mussinelli e Rigillo, 2020). A partire dagli anni '50, in Nord America prima e in Europa poi, i porti storici a causa dell'obsolescenza e dell'abbandono determinati dalla containerizzazione dei trasporti via mare, dalla specializzazione delle attività portuali e dalla separazione dei porti dalle città, furono interessati da importanti operazioni di riqualificazione, divenendo luoghi di grande qualità urbana, come nel caso di Baltimora, Boston e Barcellona. Nei primi interventi si è privilegiato il carattere commerciale e turistico delle iniziative allo scopo di creare nuove centralità urbane; progressivamente le tematiche ambientali hanno assunto sempre più importanza nei processi di trasformazione urbana.

Un'analisi più dettagliata delle soluzioni di adattamento climatico è rimandata al capitolo 4 tuttavia si riportano, in maniera sintetica, i casi studio di Amburgo, Rotterdam e New York, città selezionate in qualità di best practices internazionali soprattutto per la centralità assunta della questione climatica nei processi di trasformazione dei waterfront urbani.

Amburgo

Amburgo, seconda città tedesca per numero di abitanti, sorge in prossimità del fiume Elba e del suo affluente Hastler e si caratterizza per la presenza del porto tra i più importanti, a livello europeo, in termini di trasporto merci³⁶. Sul piano climatico la città è fortemente sensibile ai fenomeni di inondazione costiera soprattutto per effetto delle maree con una variazione media di circa 3,60m, condizione che provoca inondazioni permanenti e temporanee³⁷.

³⁶ Il porto di Amburgo in termini di trasporto merci, a scala europea, secondo i dati di traffico TEU forniti dalle Autorità Portuali nel 2020, si classifica al terzo posto dopo i porti di Rotterdam in Olanda e Anversa (Antwerp) in Belgio.

³⁷ Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.hafen-hamburg.de/en/tide/>

Come avvenuto anche per altre città portuali, anche ad Amburgo l'evoluzione del trasporto marittimo ha determinato l'obsolescenza delle aree portuali e industriali ed è in questo scenario che si inserisce il progetto di riqualificazione del quartiere Hafencity tra i più importanti interventi di rigenerazione di brownfield³⁸ in Europa. L'operazione è guidata e coordinata dalla Hafencity Hamburg GmbH e il piano di riqualificazione dell'area individua come strategie principali la mixité insediativa, la preservazione dei caratteri tipologici delle strutture portuali e del rapporto con l'acqua, la qualità degli spazi pubblici, l'accessibilità e la fruibilità dei luoghi, la permeabilità urbana e la continuità con il centro storico (Caja, 2011).

Sul piano funzionale/spaziale il progetto si caratterizza per l'alta percentuale di spazio aperto, in particolare il 32% della superficie è destinato agli edifici, il 24% agli spazi aperti pubblici (piazze, parchi, aree gioco e promenades; Figura 9), il 23% al traffico stradale, il 14% allo spazio aperto privato accessibile al pubblico, mentre il 7% allo spazio aperto privato non accessibile al pubblico. Per ciò che concerne gli edifici, solo il 35% è destinato all'uso residenziale, mentre il 65% per uso terziario, di cui 39% destinato agli uffici, il 16% per servizi alla collettività e il 10% per servizi alla persona. Il progetto prevede anche la creazione di nuovi landmark urbani al fine di creare polarità in ogni distretto, tra gli edifici si evidenziano il nuovo centro culturale Elbphilharmonie realizzato dagli architetti Herzog & de Meuron (Figura 10), la nuova sede universitaria, l'edificio residenziale Marco Polo tower e la nuova sede dell'Unilever (GmbH, 2017; 2021).

La vicinanza all'acqua e le condizioni del terreno rendono l'area soggetta al rischio di inondazione e per rispondere a tali sfide nell'area del waterfront è stato realizzato uno spazio multifunzionale "climate proof" in cui edifici, spazi pubblici, strade e ponti sono protetti in caso di inondazione o progettati per essere inondati con danni minimi. Il tema dell'adattamento è stato declinato in relazione al sistema edifici-spazi aperti con misure per la gestione delle inondazioni insieme ad azioni di retrofit tecnologico-ambientale alla scala degli edifici. Il disegno del waterfront è, infatti, modellato in funzione del livello dell'acqua atteso, tutte le strade sono costruite ad un'altezza compresa tra 7,50 e 8,30m dal livello del mare mentre la promenade e le piazze pubbliche rimangono ad un'altezza compresa tra 4,50 e 5,50m in modo da preservare la relazione fisica e visiva con l'acqua (GmbH, 2014; Restemeyer, Woltjer e van de Brink, 2015).

Gli spazi pubblici sono, pertanto, progettati per essere occasionalmente inondati ma riportando danni minimi e controllati assecondando i livelli dell'acqua come nel caso degli spazi pubblici progettati dagli architetti catalani Miralles Tagliabue EMBT (Terrazza Magellano e Terrazza Marcopolo; Figure 11, 12) o dall'architetto iraniano Zaha Hadid (Promenade Niederhafen; Figura 13).

Gli edifici si caratterizzano per il carattere unitario degli interventi e, anche se i temi progettuali sono declinati in modo autonomo dai differenti progettisti, la forma, sul piano volumetrico, è progettata per difendersi dai fenomeni di inondazione costiera attraverso pilotis (Figura 14), elevazioni (Figura 15) e infissi a tenuta stagna (Figura 16). La resilienza al clima viene declinata in principi di robustezza, adattabilità e trasformabilità degli interventi progettuali (Meyhöfer, 2014; GmbH, 2019).

³⁸ Per brownfield si intende un'area industriale e/o commerciale abbandonata, sottoutilizzata o inquinata e in genere localizzata in aree urbane periferiche.



Figura 9. Area gioco ad Hafen City, Amburgo



Figura 10. Elbphilharmonie Hafen City, Amburgo



Figura 11. Terrazza Marco Polo, Hafen City, Amburgo



Figura 12. Terrazza Marco Polo, Hafen City, Amburgo



Figura 13. Promenade Niederhafen, Hafen city, Amburgo



Figura 14. Edifici residenziali ad Hafen City, Amburgo



Figura 15. Sistemi di protezione temporanei per gli infissi ad Hafen city, Amburgo



Figura 16. Ingresso degli edifici a quota non inondabile, Hafen City, Amburgo

Rotterdam

Rotterdam è una città olandese localizzata sul delta del fiume Reno e si caratterizza per la presenza del porto che è primo, in Europa, in termini di trasporto merci. Dal 2007, le amministrazioni locali hanno avviato un ambizioso programma di trasformazione urbana in chiave climate proof con la Rotterdam Climate Initiative che ha posto le basi per i successivi piani di adattamento e mitigazione climatica.

Sul piano operativo con il Rotterdam Climate Proof, nel 2008, integrato nel 2013 con la Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy, la città punta ad una riduzione del 50% delle emissioni di gas climalteranti, rispetto ai livelli del 1990, entro il 2025. Gli obiettivi climatici sono integrati con il design urbano al fine di implementare la prevenzione, l'adattamento e il recupero mitigando gli impatti climatici esistenti e prefigurando l'adattamento a quelli futuri, coniugando, quindi, protezione climatica e miglioramento della qualità urbana. Questi ambiziosi obiettivi saranno raggiunti mediante azioni progettuali e azioni di coinvolgimento e sensibilizzazione dei decisori e della popolazione³⁹.

In ambito urbano, l'acqua è una qualità ma anche una minaccia per la città di Rotterdam che si sviluppa per quasi l'80% della superficie sul delta del fiume; gli scenari climatici impongono, infatti, azioni strategiche per ridurre la vulnerabilità alle inondazioni. Attraverso il coinvolgimento di molteplici decisori il tema è stato affrontato a una doppia scala: da una parte si costruiscono sistemi robusti per proteggere le aree urbane, come nel caso della diga Maeslantkering, dall'altro si avviano progetti puntuali in ambito urbano per rendere la città climate proof, attraverso il ridisegno del waterfront, la realizzazione di water squares, di zone filtro o di interi quartieri galleggianti⁴⁰ (Figure 17).

Nel contesto del limite terra-acqua, il progetto RIVERDIKE⁴¹, proposto dal gruppo olandese DE URBANISTEN, individua una visione strategica e a lungo termine per il ridisegno del waterfront urbano. Il disegno del waterfront climate proof assume spessore e caratteristiche variabili in relazione al contesto locale. Non c'è infatti un'unica soluzione migliore, l'applicabilità e l'efficacia del progetto dipende dal contesto in cui viene applicata attraverso approcci integrati e multiscalari. Il limite può essere integrato negli edifici, può trasformare l'area, può essere progettato in modo da creare nuovo spazio pubblico o può diventare la base per nuovi sviluppi urbani (Figura 18).

Rispetto al tema delle architetture galleggianti, architetture che si caratterizzano per la capacità di adattarsi ai livelli mutevoli dell'acqua, l'amministrazione ha definito le aree della città che ospiteranno queste strutture in modo permanente o temporaneo, prevedendo l'edificazione di circa 6.000 strutture nell'arco dei prossimi 20-30 anni. Il floating pavillon, concepito dalla municipalità di Rotterdam con gli architetti DeltaSync e Public Domain, e la floating farm, recentemente realizzata dal gruppo GOLDSMITH Architects, si pongono come progetti pilota e prototipi di questa nuova tendenza⁴² (Habibi, 2015; Figure 19, 20).

³⁹ Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.resilientrotterdam.nl/>

⁴⁰ Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.c40.org/case-studies/c40-good-practice-guides-rotterdam-climate-change-adaptation-strategy/>

⁴¹ Per maggiori informazioni consultare il sito: <http://www.urbanisten.nl/wp/>.

⁴² L'architetto olandese Koen Olthuis con il termine "hydrocity" identifica questa nuova tendenza progettuale che considera in maniera paritetica l'acqua e il suolo in termini di infrastrutture, funzioni e identità.

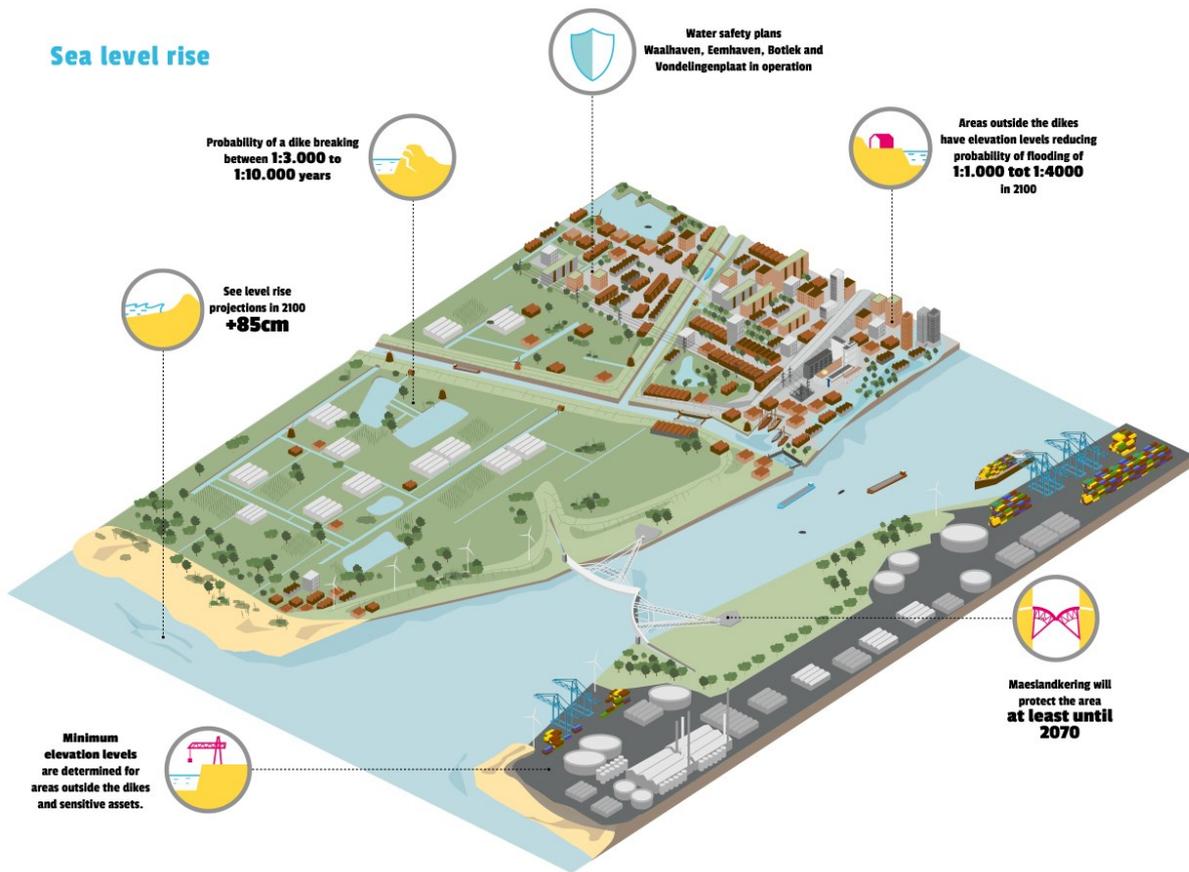


Figura 17. Rotterdam weather wise map, la sfida del sea level rise. Source: <https://www.c40.org/cities/rotterdam/>

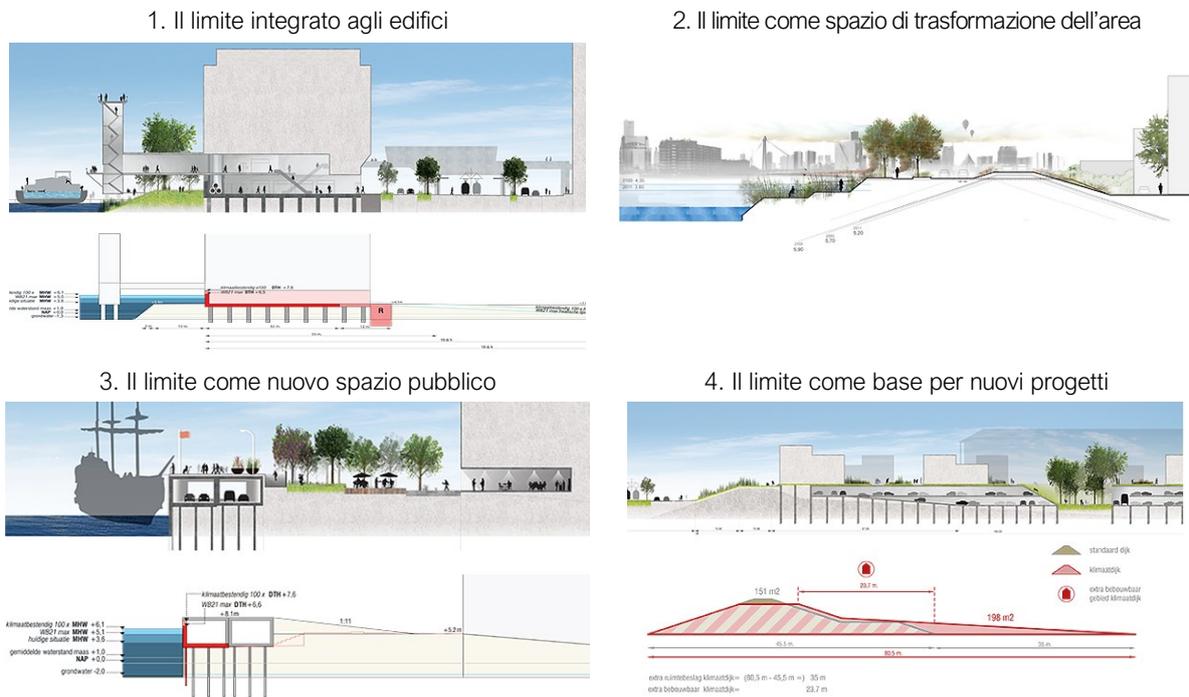


Figura 18. Il progetto RIVERDIKE, strategie per il disegno del limite. Fonte immagine: <http://www.urbanisten.nl/>



Figura 19. Floating pavillon, Rotterdam. Source: <https://www.blue21.nl/>



Figura 20. Floating farm, Rotterdam

New York

Nel panorama globale, l'esperienza americana di New York si offre come esempio paradigmatico per comprendere le opportunità offerte dall'approccio "design based" nella sfida ai cambiamenti climatici, attraverso un percorso virtuoso inaugurato con l'utilizzo dei fondi stanziati per il recupero post-disastro a seguito dell'uragano Sandy⁴³. Dal 2011 l'Agenzia Federale per la Protezione Civile (FEMA – Federal Emergency Management Agency) ha, infatti, avviato un programma di prevenzione volto al miglioramento della capacità di resistenza e adattamento ai disastri (Rigillo e Tolla, 2016).

In questa linea, nel 2011, il NY City Planning Department (NYDCP) mise a punto un piano decennale per lo sviluppo sostenibile delle aree costiere con il "Vision 2020: New York Comprehensive Waterfront Plan". Vision 2020 pose le basi per rilanciare le aree costiere, mediante raccomandazioni specifiche per interventi puntuali e strategie più estese, mirando alla riqualificazione urbana e alla creazione di nuovi spazi pubblici accessibili lungo la costa, al recupero naturalistico e all'incremento della resilienza (NYDCP, 2011).

Il piano Vision 2020 è stato integrato, nel 2013, con il volume "Designing for flood risk" e con il catalogo di strategie di adattamento climatico "Urban Waterfront Adaptive Strategies". La raccolta di soluzioni metaprogettuali si pose l'obiettivo di sistematizzare le soluzioni tecniche per il supporto decisionale orientato all'incremento della resilienza ai rischi costieri, identificando soluzioni attuabili alla scala degli edifici e soluzioni per gli spazi aperti attuabili a terra, a mare o al confine tra la terra e il mare. Per ogni soluzione il catalogo fornisce una scheda informativa in cui si individuano le criticità climatiche affrontate, l'applicabilità rispetto alla prevalente destinazione d'uso dell'area e alla tipologia di costa, le indicazioni economiche, i potenziali co-benefits e i riferimenti progettuali (NYDCP, 2013a; Figura 21).

Nel 2019 il piano OneNYC 2050 ha ampliato la visione della resilienza su obiettivi temporali a medio-lungo termine puntando al coinvolgimento attivo della popolazione e alla messa in campo di azioni multiscalari (NYDCP, 2021).

Sul piano operativo il "New York City Comprehensive Waterfront Plan" e il documento "Coastal Protection" individuano gli obiettivi, le strategie e le azioni progettuali per la linea di costa come i sistemi di dune, l'inserimento di aree umide, di barriere emergenti e/o sommerse o l'integrazione dei sistemi di protezione nel design urbano ⁴⁴ (NYDCP, 2013b; Figure 22, 23).

A livello locale, i programmi "Resilient Neighborhoods" individuano le iniziative site-specific definite a partire dall'analisi dei rischi e dalla previsione degli impatti finalizzati alla proposta di soluzioni di incremento della resilienza. Le azioni progettuali coinvolgono molteplici attori e stakeholders a tutti i livelli e, in particolare, mediante il coinvolgimento attivo della popolazione, come nel caso del programma per l'East Village e West Chelsea nell'isola di Manhattan (NYDCP, 2016a; NYDCP, 2016b).

⁴³ L'uragano Sandy colpì la città di New York nell'ottobre del 2012 provocando ingenti danni.

⁴⁴ I piani operativi si caratterizzano in più fasi, molti progetti sono già stati avviati e alcuni anche conclusi come la ricostruzione della "Rockaway Boardwalk" nel Queens (New York). Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://edc.nyc/project/rockaway-boardwalk-reconstruction-project>

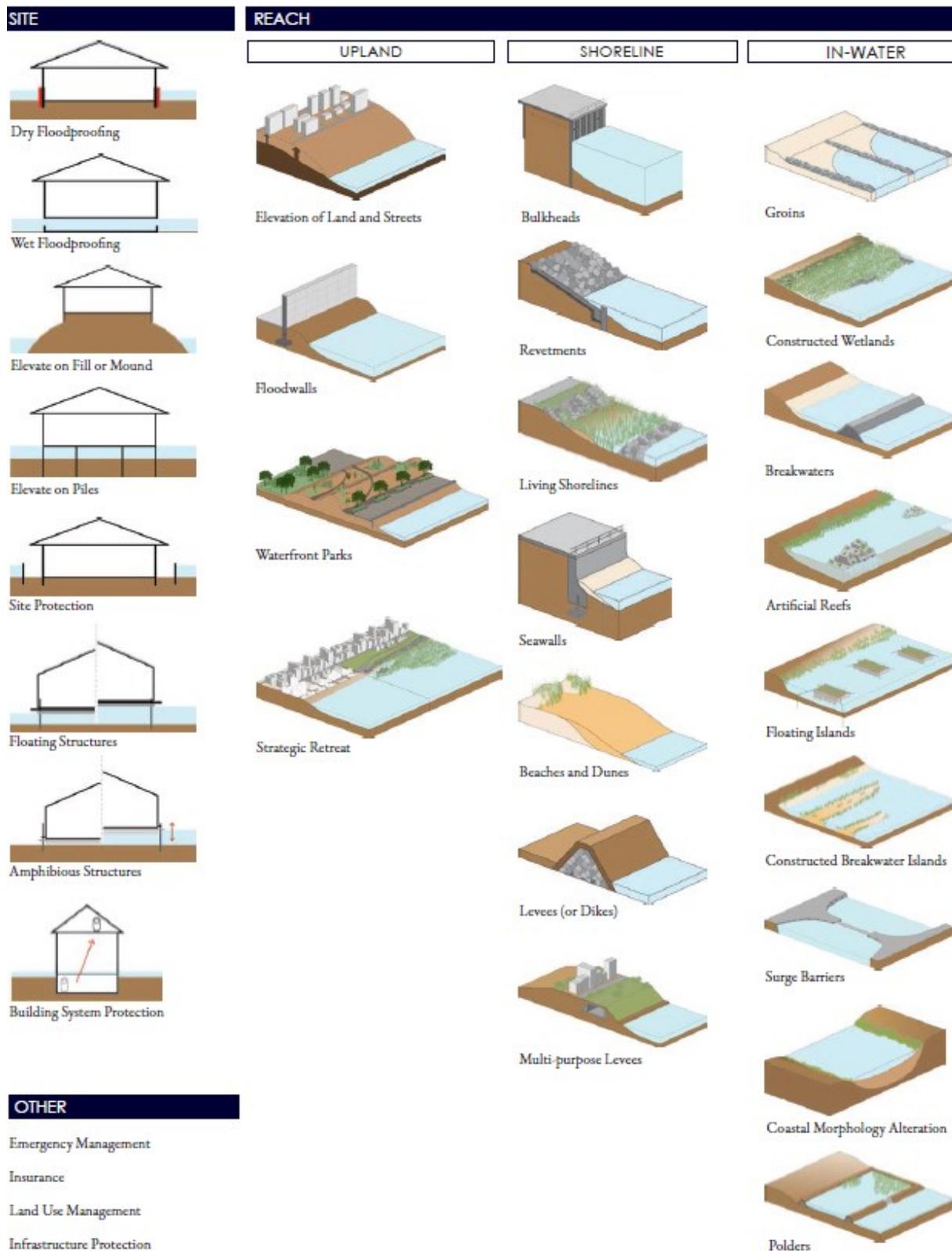


Figura 21. "Urban waterfront adaptive strategies" New York, strategie di adattamento. Fonte immagine: NYDCP (2013°)

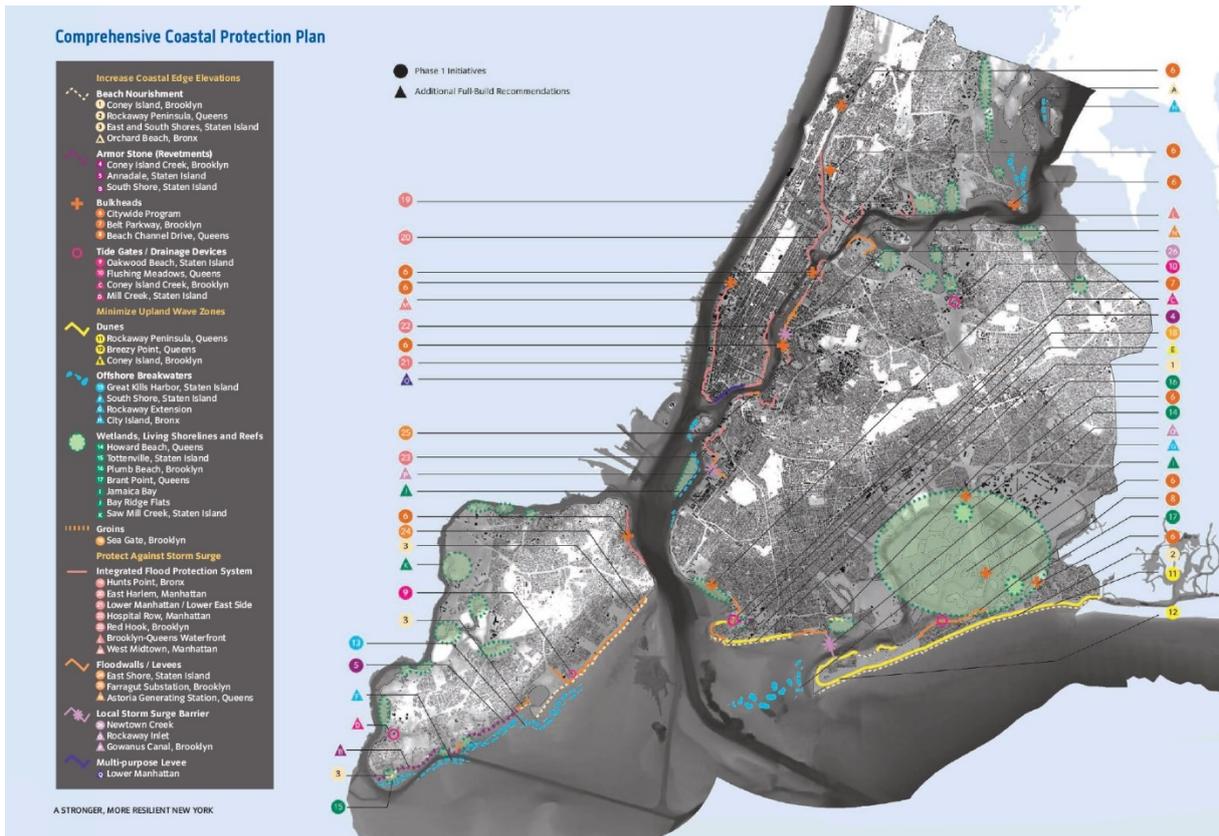


Figura 22. "Comprehensive Coastal Protection Plan" New York, masterplan. Fonte immagine: NYDCP, 2013b

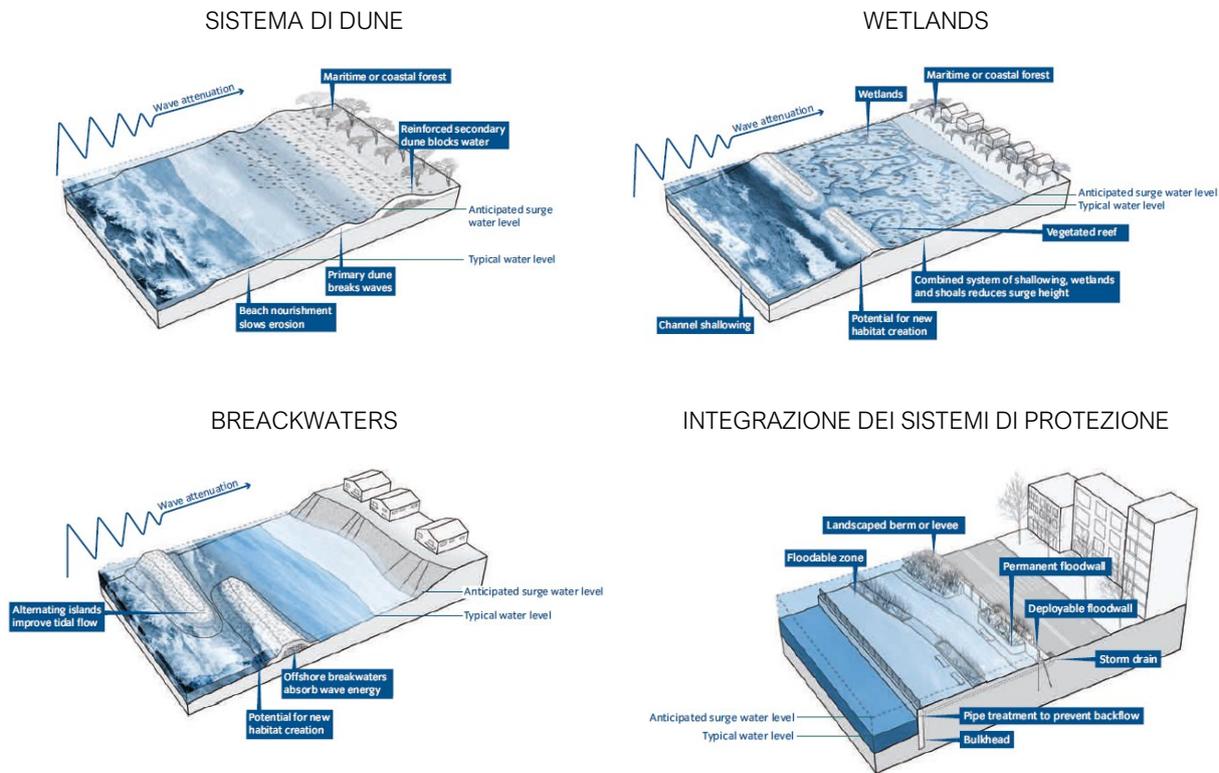


Figura 23. "Comprehensive Coastal Protection Plan" New York, strategie di adattamento. Fonte immagine: NYDCP (2013b)

1.5. LA DOMANDA DI RICERCA

Gli scenari climatici globali impongono la messa in campo di azioni di adattamento e mitigazione climatica per adeguare le città agli impatti presenti e limitare quelli futuri, in questo contesto la gestione dei rischi climatici rappresenta un aspetto fondamentale del management urbano, la prevenzione di eventi critici o di rischio è, infatti, un driver fondamentale per l'implementazione di strategie per il progetto urbano sostenibile e resiliente.

Gli insediamenti urbani che insistono lungo le coste europee del Mediterraneo sono soggetti a molteplici rischi associati ai pericoli meteorologici e agli effetti, diretti o indiretti, del cambiamento climatico, anche a causa della forte concentrazione di popolazione, attività, beni e servizi esposti. Tra i pericoli climatici, le inondazioni costiere, dovute all'azione congiunta dell'innalzamento medio del livello del mare, per effetto del cambiamento climatici, e di eventi meteorologici estremi come mareggiate, vento e/o maree, potrebbero avere conseguenze disastrose.

Gli impatti sull'ambiente urbano dipendono dai contesti specifici e, pertanto, l'efficacia dei progetti dipende dalla conoscenza dei contesti locali, e, quindi, in accordo con il framework concettuale per la valutazione dei rischi individuato dall'IPCC (IPCC, 2014), dall'osservazione e conoscenza dei parametri di vulnerabilità, esposizione e hazard. L'efficacia dei progetti di adaptive design dipende direttamente dalla capacità del progetto di integrare la componente ambientale e di saper prefigurare gli scenari futuri adattandosi ai contesti specifici.

La conoscenza assume un ruolo fondamentale e, come evidenziato anche nella reportistica dell'Unione Europea in tema di adattamento, si riscontrano molteplici gap conoscitivi in termini di informazioni sui danni, costi e vantaggi delle azioni progettuali, così come lacune nelle modellazioni e simulazione degli impatti alla scala locale. Le lacune identificate derivano dalla mancanza di metodologie e indicatori nonché dati che, quando disponibili, si caratterizzano per scale di riferimento troppo ampie e non adeguate alle necessità dei decisori (Castellari et al., 2014; EC, 2021b).

Alla luce di quanto esposto ed evidenziato nell'ambito dello stato dell'arte, nello scenario della transizione verde e digitale, si pone la domanda di studiare, definire e mettere a punto metodi di progettazione innovativi che siano focalizzati sull'analisi dei rischi e degli impatti alla scala locale.

Considerando il progetto come processo, per coniugare le molteplici istanze, è, infatti, necessario introdurre modelli in grado di gestire la complessità delle informazioni per orientare i progetti di adattamento climatico in chiave sostenibile e smart.

La ricerca intende indagare, quindi, modalità innovative di osservazione e conoscenza dei rischi climatici per il supporto al progetto – tecnologico e ambientale – di adattamento climatico in chiave climate proof. In questo contesto, il supporto delle tecnologie abilitanti diventa fondamentale per attuare approcci sistemici, integrati e multiscalari; le capacità predittive, e quindi l'efficacia, dei progetti dipendono, infatti, sempre più dall'integrazione e dall'elaborazione di molteplici dati e informazioni all'interno di strumenti di supporto decisionale.

Per la proposta del modello, l'apporto disciplinare della Progettazione Ambientale si caratterizza per la centralità che assume, in una visione sistemica e multiscale, la "questione ambientale" nella risposta agli impatti climatici e per il controllo di tipo processuale, attuato con il ricorso a tecnologie abilitanti (simulazione, modellazione, machine learning e gestione dei dati), fornendo gli strumenti

metodologici e processuali per affrontare le complesse interazioni tra progetto urbano, ambiente e sviluppo sostenibile orientando la progettazione in chiave climate proof (Losasso, 2017c).

L'innovazione di tipo metodologico, processuale e operativa è attuata mediante il potenziamento della capacità di raccolta, sistematizzazione, condivisione e trasferimento di dati e modelli dagli ambiti dell'informazione geospaziale e delle scienze del clima a quelli della progettazione ambientale, con particolare attenzione ai dati di origine telerilevata. Inoltre, con l'obiettivo di fornire uno strumento di supporto decisionale, oltre che di osservazione e conoscenza dei rischi, saranno indagate strategie e soluzioni di adattamento climatico, specifiche per l'ambito urbano-costiero, con l'obiettivo di sistematizzare le informazioni in un catalogo e di relazionarlo con il modello di rischio.

Il campo d'indagine per la verifica delle ipotesi progettuali sarà costituito dagli insediamenti urbani che insistono sulle coste europee del Mediterraneo che risultano sempre più vulnerabili per i crescenti impatti dei cambiamenti climatici. Target prioritario saranno le città-porto storiche euro-mediterranee dove maggiori appaiono le opportunità di riqualificazione e sviluppo sostenibile ma in cui, al contempo, persistono forti inerzie al cambiamento.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 1

Addis, D., Maricchiolo, C., Ndong, C., Petit, S., Skaricic, Z. (2015), "Pianificazione integrata della fascia marino-costiera", in *Reticula*, progetto reti ecologiche ISPRA, n.10, pp.3-10. Available online: https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/periodicitecnici/reticula/Reticula_n10.pdf

Angelucci, F., Rui Braz, A., Di Sivo, M., Ladiana, D. (2015), *The Technological Design of Resilient Landscape. Il progetto tecnologico del paesaggio resiliente*, Franco Angeli, Milano.

Antonini, E., Mussinelli, E. (2018), "Toward the smart city and beyond", in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, special series vol. 1, pp. 26-27. Available online: doi.org/10.13128/Techne-23567.

Antonoli, F. et al. (2016), "Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100", in *Quaternary Science Reviews*, Springer, vol. 158, pp. 29-43. Available online: doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.021.

Barroca, B. (2017), "Ville, risque, systémique. La vie de la recherche scientifique", in *La vie de la recherche scientifique, Sncs Fsu, 2017, Penser la complexité*, vol. 410, pp.28-30. Available online: doi.org/10.1111/j.1435-5597.1964.

Barroca, B., Serre, D. (2013), "Behind the barriers: a resilience conceptual model", in *SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, vol. 6.1. Available online: <https://journals.openedition.org/sapiens/1529>.

Battisti, A., Mussinelli, E., Rigillo, M. (2020), "Public space and urban quality", in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 19, pp. 17-23. Available online: doi.org/10.13128/techne-7933

Bertoldini, M. (2009), "Cultura tecnologica e ambiente, una modalità di analisi per punti" in Bertoldini M., Campioli A. (a cura di), *Cultura tecnologica e ambiente*, Città studi edizioni, Trofarello (TO), pp.55-67.

Caja, M. (2011), "La Hafencity Hamburg: Una città-porto tra continuità e innovazione", in *Portus Plus*, vol. 1, Available online: http://retedigital.com/portus_plus/portus-plus-1-2011/.

Calvino, I. (1963), *Marcovaldo ovvero Le stagioni in città*, Einaudi.

Campioli, A. (2009), "Sostenibilità ambientale: progetto vs destino", in Bertoldini M., Campioli A. (a

cura di), *Cultura tecnologica e ambiente*, Città studi edizioni, Trofarello (TO), pp.101-111.

Cangelli, E. (2015), "An up-close look at Urban Regeneration. Cultural approaches and applied strategies for the rebirth of cities", in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 10, pp. 59-66. Available online: doi.org/10.13128/Techne-17501.

Castellari, S. et al. (2014), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, MATTM - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Cavicchia, L., von Storch, H. (2012), "The simulation of medicanes in a high-resolution regional climate model", in *Climate Dynamic*, vol. 39, pp. 2273-2290. Available online: doi.org/10.1007/s00382-011-1220-0.

Chiapponi, M. (1990), "Le metodologie della progettazione ambientale", in *Ambiente: gestione e strategie*, Feltrinelli Editore, Milano.

Church, J.A. et al. (2013), "Sea level change", in IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.*, Cambridge University Press, Cambridge UK, pp. 1137-1216. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Ciscar, J.C et al. (2015), *Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project*, EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, Available online: doi.org/10.2760/93257, JRC112769

Cook, D., Das, S. (2004), *Smart Environments: Technology, Protocols and Applications*, Wiley Series on Parallel and Distributed Computing, 350 pp. Available online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/047168659X>

Cramer, W. et al. (2018), "Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean" in *Nature Climate Change*, vol. 8, pp. 972-980. Available online: doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2.

Crossland, C. et al. (2006), "The Coastal Zone — a Domain of Global Interactions", in *Coastal Fluxes in the Anthropocene*. Available online: doi.org/10.1007/3-540-27851-6_1.

Crutzen, P. (2002), "Geology of mankind", in *Nature*, vol. 415, 23. Available online: doi.org/10.1038/415023a.

D'Ambrosio, V. (2021), "Densità urbana e progettazione ambientale", in La Grega P., Sgobbo A., Moccia F.D. (a cura di), *Urban density & sustainability*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp.235-252.

D'Ambrosio, V., Rigillo, M., Tersigni, E. (2021), "Orizzonti della ricerca ambientale e nuovi perimetri culturali per il progetto climate proof", in D'Ambrosio, V., Rigillo, M., Tersigni, E. (a cura di), *Transizioni*, Clean, Napoli, pp. 11-32.

De Bruijn, K.; Buurman, J.; Mens, M.; Dahm, R.; Klijn, F. (2017), "Resilience in practice: Five principles to enable societies to cope with extreme weather events", in *Environmental Science & Policy*, vol. 70, pp. 21-30. Available online: doi.org/10.1016/j.envsci.2017.02.001.

Dierna S. (1994), "Innovazione tecnologica e cultura dell'ambiente" in La Creta R., Truppi C., L'architetto tra tecnologia e progetto, Franco Angeli, Milano, pp. 134-157.

EC (2002), *Raccomandazione del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2002, relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa*. 2002/413/CE. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2007b), *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*. 2007/60/CE. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2008), *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 giugno 2008, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino)*. 2008/56/CE. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2009), *Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean*, European Commission. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2013a) *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici*. COM (2013) 216 final. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2013b), *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for maritime spatial planning*

and integrated coastal management. 2013/0074/COD. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2016), *State of European Cities Report 2016*. Available online: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/reports/2016/state-of-european-cities-report-2016.

EC (2019), *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Il Green Deal europeo*. COM(2019) 640. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2021a), *Forging a climate-resilient Europe -The New EU strategy on Adaptation to Climate Change*, COM(2021) 82 final, Brussel 24.02.2021. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2021b), *Impact Assessment Report The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change SWD/2021/25 final*. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2021c), *NGEU NextGeneration UE*, European Commission, Available online: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it.

EEA (2006), *The Changing Faces of Europe's Coastal Areas*, EEA Report No 6/2006 European Environment Agency, Copenhagen. Available online: www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6.

EEA (2010), *The European Environment. State of the Outlook 2010. Adapting to Climate Change*, European Environment Agency, Copenhagen. Available online: www.eea.europa.eu/soer/europe/adapting-to-climate-change.

EEA (2017), *Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe*, EEA Report, N. 15/2017, 176 pp. Available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-adaptation-and-disaster>.

EEA (2019), *Europe's seas and coasts*, EEA - European Environment Agency 2019. Available online: <https://www.eea.europa.eu/themes/water/europes-seas-and-coasts>.

EP, (2014), *Mapping smart cities in the EU*, European Parliament Publications Office, Available online: <https://data.europa.eu/doi/10.2861/3408>.

Faroldi, E. (2018), "Dynamic balance. Developments and predictions of a new architecture" in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and*

Environment, vol. 15, pp. 9-15. Available online: doi.org/10.13128/Techne-22793.

Fitch, J. M. (1991), *La progettazione ambientale. I caratteri ambientali dell'architettura*, ed. tradotta Franco Muzzio Editore, Padova.

Galimberti, U. (1999), *Psiche e Techne. L'uomo nell'età della tecnica*, Feltrinelli, Milano.

Gangemi, V. (2001), *Emergenza Ambiente. Teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, (a cura di), Clean edizioni, Napoli.

Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Milanović, N., Meijers, E. (2007), *Smart cities - Ranking of European medium-sized cities*, Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, 26pp.

Giorgi, F. (2006), "Climate change Hot-Spots.", in *Geophysical Research Letters*, let. 33, 101029. Available online: doi.org/10.1029/2006GL025734.

GmbH (2014), *HafenCity Discussion Paper 3*, report Hafen City Hamburg GmbH, pp. 20. Available online : <https://www.hafencity.com/en/mediathek-content?tags=booklets>.

GmbH (2017), *Themes Quarters Projects*, report Hafen City Hamburg GmbH, 49 pp. Available online : <https://www.hafencity.com/en/mediathek-content?tags=booklets>

GmbH (2019), *Buildings in HafenCity*, report Hafen City Hamburg GmbH, 135 pp. Available online : <https://www.hafencity.com/en/mediathek-content?tags=booklets>.

GmbH (2021), *Facts and figures*, report Hafen City Hamburg GmbH, 6 pp. Available online : https://www.hafencity.com/en/mediathek-content?tags=plans_maps.

Greninger, P., Zischg, A. (2011), *AdaptAlp WP6 Final Report. Risk management and risk prevention*, Alpine Space 2007-2013 project AdaptAlp - Adaptation to Climate Change in the Alpine Space, 26 pp.

Guignard, M. (2015), "Expérimentations de la relocalisation des activités et des biens, vers une recomposition spatiale des territoires menacés par les risques littoraux" in *Le littoral dans le contexte du changement climatique*, ONERC - observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, pp.106-115. Available online: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Rapport_2015_Littoral_WEB.pdf.

Guiot, J. et al. (2016), "Impacts on the coastal zone" in Moatti J. P., Thiébaud S. (eds), *The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update*, IRD Editions, Marsiglia, pp. 263-291.

Habibi, S. (2015), "Floating Building Opportunities for Future Sustainable Development and Energy Efficiency Gains", in *Architectural Engineering Technology*, vol. 4(2). Available online: doi.org/10.4172/2168-9717.1000142.

Huizinga, H. J., de Moel, H., Szweczyk, W. (2017), *Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines*, Joint Research Centre. Available online: doi.org/10.2760/16510.

IPCC (2014a), "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects", Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J.Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press (1132 pp.). Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

IPCC (2014b), "Annex II: Glossary" in: Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., et al. (eds), Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 1757–1776. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

IPCC (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press, 630 pp. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.

IPCC (2021), *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

IPCC (2022), *AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.

IPCC CZM (1990), *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise*, Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Available online: <https://www.ipcc.ch/publication/strategies-for-adaptation-to-sea-level-rise/>.

Jacob, D. et al. (2014), "EURO-CORDEX: new highresolution climate change projections for European impact research." in *Regional Environmental Change*, vol. 14(2), pp. 563-578.

Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J. (2012), "Cities and Flooding : A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century" World Bank paper. Available online: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2241?attribute=en>.

Klein, R.J.T., Mozaharul, A., Burton, I., Dougherty, W.W., Ebi, K.L., Fernandes, M., Huber-Lee, A., Rahman, A.A. and Swartz, C. (2006), "Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change", technical paper, Bonn: UNFCCC, 107 pp. Available online: <http://unfccc.int/resource/docs/2006/tp/tp02.pdf>.

Kron, W. (2012), "Coasts: The high-risk areas of the world" in *Natural Hazards*, vol. 66. Available online: doi.org/10.1007/s11069-012-0215-4.

Larrue, C., Bruzzone, S., Lévy, L., Gralépois, M., Schellenberger, M., Trémorin, J. B., Thuillier, T. (2016), "Analysing and evaluating flood risk governance in France: from state policy to local strategies". Available online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-01981420/>

Larrue, C., Bruzzone, S., Lévy, L., Gralépois, M., Schellenberger, M., Trémorin, J. B., Thuillier, T. (2016), "Analysing and evaluating flood risk governance in France: from state policy to local strategies". Available online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-01981420/>.

Latour, B. (2018), *Tracciare la rotta. Come orientarsi in politica*, Raffaello Cortina Editore.

Lennon, M., Scott, M., O'Neill, E. (2014), "Urban Design and Adapting to Flood Risk: The Role of Green Infrastructure", in *Journal of Urban Design*, vol. 19(5), pp. 745-758. Available online: doi.org/10.1080/13574809.2014.944113.

Leone, M.F. (2017), "Impatti climatici nelle aree urbane e vulnerabilità del sistema socio-fisico: Disaster Risk Reduction Climate Change Adaptation" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 22-31.

Losasso, M. (2018a), "La ricerca tecnologica e ambientale per il progetto resiliente" in Leone M., Tersigni E., Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali, Clean, Napoli, pp. 7-11.

Losasso, M. (2006), "Azioni sostenibili per la riqualificazione dei litorali urbani" in Losasso, M. *Riqualificare i litorali urbani*, Clean edizioni, Napoli, pp. 16-36.

Losasso, M. (2017b), "Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito" in D'Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 152-174.

Losasso, M. (2017c), "Progettazione ambientale e progetto urbano" in *Eco Web Town* n.16, vol.II, pp.7-16.

Losasso, M. (2018b), "Progetto, Ambiente, Resilienza | Design, Environment, Resilience", in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 16-20. Available online: doi.org/10.13128/Techne-23195.

Losasso, M. (2020) "Processi innovativi per l'adattamento climatico nella rigenerazione dei distretti urbani/ Innovating Processes for Climate Adaptation in Urban District Regeneration" in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia*, Collana Studi e Progetti, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 9-14.

Losasso, M. (2021), "L'innovazione del progetto ambientale nel nuovo regime climatico/ Environmental Design Innovation in the New Climate Regime" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici e progetti pilota per l'adattamento climatico / Form Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptation*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 7-10.

Losasso, M., Rigillo, M. (2014), "Building the Coastal Resilience. Two case study research for the governance of urban coastal areas" in *TRIA - Territorio della Ricerca su Inseguimenti e Ambiente*, vol.7, n.2, pp. 117-132. Available online: doi.org/10.6092/2281-4574/2710.

Lucarelli, M. (2018), "Note" in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 7 - 8. Available online: doi.org/10.13128/Techne-22794.

- Maldonado T. (1970), "La speranza progettuale", Einaudi edizioni.
- Mc Harg, I. (1969), *Design with nature*, ed. tradotta Franco Muzzio editore, Roma (2007).
- Mcgranahan, G., Balk, D., Anderson, B. (2007), "The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones", in *Environment and Urbanization*, vol.19, pp. 17-37. Available online: doi.org/10.1177/0956247807076960.
- Meadows, D.H., Meadows D., Randers, J., Behrens W.W. (1972), *I limiti dello sviluppo*, Mondadori edizioni, Ginevra.
- Meerow, S., Newell, J. P., Stults, M. (2016), "Defining urban resilience: A review", in *Landscape and Urban Planning*, vol.147, pp. 38-49. Available online: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011.
- Mercogliano P., Rianna G., Zollo C. (2016), "Scenari di cambiamento climatico su aree urbane: problematiche di downscaling", in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 208-217.
- Mercogliano, P. (2020), "Cambiamento climatico", in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia*, Collana Studi e Progetti, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 31-40.
- Meyhöfer, D. (2014), *Hafencity Hamburg Waterfront: Architekturführer/Architectural Guide*, Junius Verlag ELBE&FLUT Edition, 320 pp.
- Milanaccio, A. (1998), "Dalla lotta all'inquinamento alla società sostenibile" in Ceri P. e Borgna P. (a cura di), *La tecnologia per il XXI secolo. Prospettive di sviluppo e rischi di esclusione*, Einaudi, Torino.
- Mininni, M. (2006), "L'approccio dell'ecologia urbana", in Vitale A. (a cura di), *Ritrovare il mare*, Clean edizioni, Napoli, pp. 36-43.
- MISE (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Governo Italiano*, PNRR, Ministero dello Sviluppo Economico. Available online: <https://www.mise.gov.it/index.php/it/68-incentivi/2042324-piano-nazionale-di-ripresa-e-resilienza-i-progetti-del-mise>.
- MITE (2015), *Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici*, SNAC, Ministero della Transizione ecologica. Available online : <https://www.mite.gov.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0>
- MITE (2018), PNACC - Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, Governo Italiano, Ministero della Transizione Ecologica. Available online: <https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>.
- Mora, L., Deakin, M., Bolici, R. (2017) "The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis" in *Journal of Urban Technology*, vol. 24. Available online: doi.org/10.1080/10630732.2017.1285123.
- Mussinelli, E., Bolici, R., Fanzini, D., Castaldo, G., Tartaglia, A. (2020), "Greenhouse Gases", in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia*, Collana Studi e Progetti, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 234-240
- Nicholls, R.J (2009), "Impacts of climate change in coastal systems in Europe", PESETA-Coastal Systems study. JRC Scientific and Technical Reports, 134 pp. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/67a6e733-c83a-40c5-9d3d-a0f4bb22d951/language-en>.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R, Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D. (2007), "Coastal systems and low-lying areas Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", (eds) M.L. Parry et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-35. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter6-1.pdf>
- Noble, IR, Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J, Goudon D., Lansigan, F.P. et al (2014), "Adaptation needs and options" In: Field CB et al. (eds) *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 833-868. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- NYDCP (2013a), *COASTAL CLIMATE RESILIENCE Urban Waterfront Adaptive Strategies*. Available online: <https://www1.nyc.gov/>.
- NYDCP (2016a), *East Village lower east side two bridges*, Resilient Neighborhoods, The city of New York, Department of City Planning (NYDCP). Available online : <https://www1.nyc.gov/>.
- NYDCP (2016b), *West Chelsea*, Resilient Neighborhoods, The city of New York, Department of City Planning (NYDCP). Available online : <https://www1.nyc.gov/>.

NYDCP (2021), *New York City Comprehensive Waterfront Plan*, The city of New York, Department of City Planning (NYDCP). Available online: <https://www.waterfrontplan.nyc/>

NYDCP (2011), *Vision 2020: New York Comprehensive Waterfront Plan*. <https://www1.nyc.gov/site/planning/plans/vision-2020-cwp/vision-2020-cwp.page>

NYDCP (2013b), "Coastal Protection", in *A stronger more resilient New York*. Available online: <https://www1.nyc.gov/site/sirr/report/report.page>

Oppenheimer M. et al. (2014), "Emergent risks and key vulnerabilities" in IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1039-1099.

Ramieri, E., Bocci, M., Markovic, M. (2019), "Linking Integrated Coastal Zone Management to Maritime Spatial Planning: The Mediterranean Experience" in: Zaucha J., Gee K. (eds), *Maritime Spatial Planning*. Palgrave Macmillan, Cham, pp. 271-294. Available online: doi.org/10.1007/978-3-319-98696-8_12

Reimann L., Vafeidis A.T., Brown S., Hinkel J., Tol R.S.J. (2018), "Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sealevel rise." in *Nature Communications*, vol. 9. Available online: doi.org/10.1038/s41467-018-06645-9

Restemeyer, B., Woltjer, J., van den Brink, M. (2015), "A strategy-based framework for assessing the flood resilience of cities – A Hamburg case study", in *Planning Theory & Practice*, vol. 16, pp. 45-62. Available online: doi.org/10.1080/14649357.2014.1000950.

Rigillo, M., Tolla, A. (2016), "Riduzione del rischio e design eco-orientato per il waterfront di N.Y.C.: il progetto Living Breakwaters" in D'Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 240-259.

Ruti P.M. et al. (2016), "Med-cordex initiative for mediterranean climate studies" in BAMS, American meteorological society, 1187. Available online: doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00176.1.

Schiaffonati, F., Mussinelli, E., Gambaro, M. (2011), "Tecnologia dell'architettura per la progettazione ambientale | Architectural technology for environmental design", in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 1, pp. 48-53. Available online: doi.org/10.13128/Techné-9434.

Serre, D. (2016), "Advanced methodology for risk and vulnerability assessment of interdependency of critical infrastructure in respect to urban floods" in E3S Web Conference, 3rd European Conference on Flood Risk Management, vol. 7, pp. 1-10. Available online: doi.org/10.1051/e3sconf/20160707002.

Small, C., Nicholls, R. (2003), "A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones", in *Journal of Coastal Research*, vol. 19(3), pp. 584-599. Available online: <http://www.jstor.org/stable/4299200>

Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V., Zavatarelli M., (2020), "Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia", Report CMCC, 125 pp. Available online: doi.org/10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO

Terranova, F. (2013), "Spunti per una riflessione. Sulla questione ambientale", in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol.13, pp. 14-23.

Tersigni, E. (2018b), "Progetto e tecnologie per città resilienti" in Leone M., Tersigni E., Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali, Clean, Napoli, pp. 94-123.

Tiezzi, E. (1996), *Fermare il tempo. Un'interpretazione estetica della natura*, Raffaello Cortina editore, Milano.

Tosi, L., Lio. C.D., Teatini, P., Strozzi, T. (2018), "Land Subsidence in Coastal Environments: Knowledge Advance in the Venice Coastland by TerraSAR-X PSI", in *Remote Sensing*, vol. 10. Available online: doi.org/10.3390/rs10081191

Tucci, F. (2013), "Progettazione Ambientale, tra emergenza e scarsità di risorse: alcune riflessioni di metodo" in *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, SITdA, Firenze University Press, vol.5, pp.44-52

Tucci, F. (2021) "Metodi e strumenti del progetto ambientale/ Environmental Design Methods and Tools" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici e progetti pilota per l'adattamento climatico / Form Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptatio*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 11-10.

Turner, R.K., Subak, S., Adger, W.N. (1996), "Pressures, trends, and impacts in coastal zones: Interactions between socioeconomic and natural

systems” in *Environmental Management*, vol. 20, pp. 159-173. Available online: doi.org/10.1007/BF01204001.

Ullah, F., Qayyum, S., Thaheem, M., Jamaluddin, Al-Turjman, F., Sepasgozar, S. (2021) “Risk management in sustainable smart cities governance: A TOE framework.”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 167. Available online: doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120743.

UN (1992), United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. Available online: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>

UN (2018), *World Urbanization Prospects 2018, UNITED NATION*. Available online: <https://population.un.org/wup/>

UN (2020), *The strategic Plan 2020-2023*, UN HABITAT, Programma delle Nazioni Unite per gli insediamenti umani, 83 pp.

UNEP (2010), “Technologies for Climate Change Adaptation – Coastal Erosion and Flooding”, in Zhu, X., Linham, M. M., Nicholls, R.J., Technical Report, 166 pp. Available online: https://www.climatesmartplanning.org/sites/cspp/files/TNA_Guidebook_AdaptationCoastalErosionFlooding.pdf

Valente, R. (1999a), “L’aspetto morfologico”, in Valente R., *Limiti tra terra e mare*, pp. 25-34, Liguori editore, Napoli.

Valente, R. (1999b), “Le tipologie di waterfront”, in Valente R., *Limiti tra terra e mare*, pp. 35-42, Liguori editore, Napoli.

Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. (2011), “The representative concentration pathways: an overview”, in *Climatic Change*, vol. 109. Available online : <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.

Vautard, R. et al. (2014), “The European climate under a 2°C global warming”, in *Environmental Research Letters*, vol. 9. Available online: doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034006.

Vermeer, M., Rahmstorf, S. (2009), “Global Sea Level Linked to Global Temperature”, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol.106, pp. 21527-32. Available online: doi.org/10.1073/pnas.0907765106.

Vittoria, E. (1976), “Tecnologia dell’Architettura II”, Guida dello Studente, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Napoli, a.a. 1976-1977, p. 179.

Vittoria, E. (2008), “L’invenzione del futuro: un’arte del costruire”, in: De Santis, M., Losasso, M., Pinto, M. R., *L’invenzione del futuro, Atti del Convegno Nazionale della SITdA Società Italiana della Tecnologia dell’Architettura*, Alinea, Firenze, p. 158.

Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E. et al. (2018), “Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard”, in *Nature Communications*, vol. 9. Available online: doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w.

Wahl, T., Haigh, I., Nicholls, R. et al. (2017), “Understanding extreme sea levels for broad-scale coastal impact and adaptation analysis”, in *Nature Communications*, vol. 8. Available online: doi.org/10.1038/ncomms16075.

Weisse, R. et al., (2014), “Changing extreme sea levels along European coasts” in *Coastal Engineering*, vol. 87, pp. 4-14. Available online: doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.017.

Zacharias, I., Zamparas, M. (2016), “Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. Biodiversity and Conservation”, in *Hydrobiologia*, Springer, vol. 782. Available online: doi.org/10.1007/s10531-010-9933-7.

Zahn, M., von Storch, H. (2010), “Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming”, in *Nature*, vol. 467, pp. 309-312. Available online: doi.org/10.1038/nature09388.

Zanuttigh, B. (2011), “Coastal flood protection: What perspective in a changing climate? The THESEUS approach★”, in *Environmental Science & Policy*, vol. 14, pp. 845-863. Available online: doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2011.03.015.

Zupi, M. (2017), “La situazione occupazionale sulle sponde del Mediterraneo”, CeSPI-Centro Studi di Politica Internazionale, nota 73.

CAPITOLO 2
TECNOLOGIA ABILITANTI
PER LA GESTIONE DEL RISCHIO
DI INONDAZIONE COSTIERA

Nel **secondo capitolo**

è indagato il ruolo innovativo delle tecnologie abilitanti, Key Enabling Technologies, per il supporto alla gestione dei rischi climatici costieri, nelle fasi di mitigazione/prevenzione, preparazione, risposta e recupero ai disastri, con particolare attenzione al rischio di inondazioni. In particolare, è approfondito il ruolo chiave di tali tecnologie per l'osservazione e la conoscenza dell'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatica ai fini del supporto decisionale per il progetto di adattamento climatico.

Dall'analisi dei modelli presenti in letteratura, nell'ambito della modellistica spaziale orientata al supporto al progetto di adattamento climatico, sono enunciate le criticità dello stato dell'arte. Parallelamente sono individuate le potenzialità dei sistemi informativi territoriali e dei big data geospaziali per analisi site-specific e climate-oriented.

PAROLE CHIAVE

tecnologie abilitanti, modelli e simulazioni climatiche, big data geospaziali, dati telerilevati

2.1. OSSERVAZIONE E CONOSCENZA DELL'AMBIENTE URBANO COSTIERO IN SCENARI DI CRITICITÀ CLIMATICHE

Nelle smart cities l'osservazione e la conoscenza dell'ambiente urbano, in scenari di criticità climatiche, è operata grazie all'uso delle tecnologie abilitanti⁴⁵, Key Enabling Technologies (KETs), tecnologie ad alta intensità di conoscenza che rendono possibile l'innovazione nei processi, nei beni e nei servizi in tutti i settori economici, avendo, dunque, rilevanza sistemica. Tra le KET rientrano le biotecnologie, la fotonica, i materiali avanzati, la microelettronica, la nanoelettronica, le nanotecnologie e i sistemi di fabbricazione avanzati (EC, 2012).

Lo studio del cambiamento climatico, e dei suoi effetti sul sistema Terra, è affidato ai modelli climatici, rappresentazioni sintetiche, quantitative o qualitative, ottenute mediante simulazioni costruite sulla base delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche delle componenti che caratterizzano il sistema clima-ambiente e le loro interazioni (IPCC, 2021).

I modelli consentono di supportare i decisori mediante valutazioni qualitative degli effetti del clima sugli insediamenti urbani per orientare politiche, piani e progetti. La valutazione dei rischi, affidata a modelli di supporto decisionale, è, infatti, un aspetto fondamentale per il management urbano, sia nel breve che nel lungo termine.

Le prestazioni di simulazione sono diventate, quindi, un aspetto cruciale, più sono accurate più sono d'aiuto sia per la gestione delle emergenze che per la definizione di politiche, piani e progetti di adattamento climatico.

2.1.1. Modellazioni e simulazioni multiscalarari per il progetto ambientale

I Modelli Climatici Globali (Global Climate Model – GCM) simulano il clima della Terra attraverso equazioni fisiche che governano i processi atmosferici, oceanici e biologici, fornendo informazioni per la valutazione del clima e dei suoi impatti sull'ambiente costruito. Le simulazioni possono essere effettuate a diverse scale e a diversi livelli di complessità, possono essere dinamiche o statiche e si basano su scenari individuati nell'ambito della letteratura scientifica. In genere, sono effettuate in funzione degli scenari RCP 8.5 o RCP 4.5, stimando, quindi, il caso peggiore e il caso in cui siano attuate misure di mitigazione climatica.

La problematica del downscaling dei modelli climatici globali o regionali alla scala degli impatti sui sistemi urbani è oggi di grande interesse, sia per consentire un concreto supporto ai decisori alla scala locale sia perché gli impatti dipendono fortemente dalle caratteristiche geomorfologiche e insediative dei territori come l'orografia del terreno, la distanza dal mare o la densità urbana. Dai modelli alla scala globale si possono ottenere informazioni alla scala locale mediante operazioni di downscaling ricorrendo a metodi "change factor", dinamici o statistici. Il primo approccio analizza i dati storici per correggere le variabili relazionate al contesto locale. Il secondo si basa su modelli climatici regionali (RCM) che integrano i dati dei GCM con informazioni più di dettaglio fornendo

⁴⁵ Le tecnologie abilitanti sono tecnologie multidisciplinari che interessano diversi campi del sapere e che tendono a convergere e integrarsi, rappresentando una fonte essenziale di innovazione (EC, 2012).

scenari di cambiamento climatico ad alta risoluzione specifici per il contesto regionale esaminato. Il terzo approccio si basa sulla definizione di relazioni empiriche tra le caratteristiche atmosferiche storiche su larga scala e le caratteristiche climatiche locali, definite e convalidate tali relazioni, le proiezioni climatiche dei GCM vengono utilizzate per prevedere i trend climatici dei contesti locali (Mercogliano, Rianna e Zollo, 2016; Vautard, 2018; Figura 24).

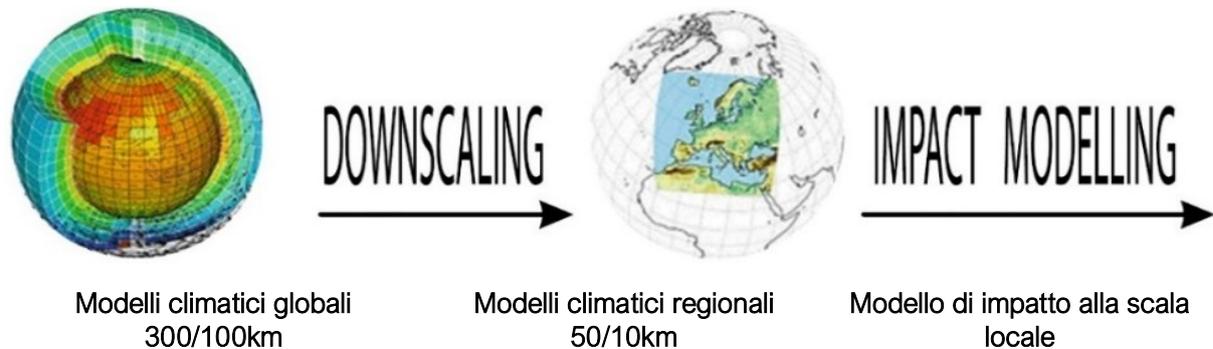


Figura 24. Dai modelli climatici globali ai modelli d'impatto alla scala locale.
Elaborazione immagine a partire da: Vautard (2018)

Tra i rischi climatici le inondazioni sono tra i disastri più frequenti e dannosi al mondo in termini di mortalità e di impatti ambientali, sociali ed economici. I decisori, nelle aree soggette a questo tipo di fenomeno, si trovano a dover affrontare una duplice sfida: valutare e prevenire il rischio ed eseguire efficaci procedure di gestione dell'emergenza in caso in cui si verificasse l'evento. Infatti, anche se le inondazioni non possono essere completamente previste, l'identificazione delle aree a rischio e il grado di vulnerabilità di tali aree è una componente chiave per la gestione delle emergenze e per la pianificazione e la progettazione degli usi e degli spazi. Per individuare preventivamente le zone di accumulo di acqua, l'integrazione di dati di analisi e monitoraggio ambientale è una componente fondamentale; tuttavia, le simulazioni risultano ancora complesse e si avvalgono di modelli concettuali, fisici e matematici per la messa in campo di molteplici fattori (Forkuo, 2011; Samanta et al., 2018).

Nella modellazione delle inondazioni, la simulazione degli impatti è complessa e richiede l'uso di modelli concettuali, fisici e matematici per l'impiego di molteplici fattori. Tuttavia, è possibile adottare approcci semplificati statici o semi-dinamici per individuare in maniera rapida ed efficiente le aree a rischio. Nelle simulazioni statiche tutto ciò che si trova al di sotto di un'altezza stimata dell'acqua viene considerato inondato e, quindi, facilmente calcolato e visualizzato (Bates e De Roo, 2000; Boettle et al., 2011; Breilh et al., 2013; Md Ali et al., 2015).

Ricavati i dati, è importante trasferire le informazioni in strumenti di supporto rivolti sia ai decisori che al pubblico meno esperto per aumentarne la consapevolezza. In un contesto di evidente necessità e ricchezza di informazioni, i metodi tradizionali di analisi e visualizzazione del rischio di inondazione appaiono, spesso, obsoleti per l'incapacità di governare sia la complessità che caratterizza le città contemporanee che l'alto dinamismo che caratterizza questa tipologia di fenomeni, in termini di intensità, frequenza e scala (Barroca e Serre, 2018b).

Nell'ultimo decennio la visualizzazione delle simulazioni climatiche è diventata un importante argomento al centro di ricerca e sperimentazione, nel ciclo di gestione del rischio di inondazioni le

fasi di visualizzazione e trasferimento dei dati sono legate alle fasi di prevenzione e preparazione al disastro, mentre le fasi di risposta e recupero sono poco indagate (Charriere et al., 2012).

Le Information and Communication Technologies (ICTs) legate ai recenti scenari della cultura digitale e dell'industria 4.0, come i sistemi GIS, le piattaforme web-GIS e le applicazioni per smartphone, hanno rapidamente trasformato il modo in cui i dati vengono visualizzati e utilizzati. L'uso delle ICTs può supportare tutte le fasi di gestione del rischio del rischio, in prima istanza supportando gli individui, le comunità, i governi, le imprese o altri enti nella riduzione del rischio attraverso il monitoraggio, la previsione e la prevenzione dei pericoli; successivamente anche in fase di risposta e recupero mediante l'elaborazione, l'organizzazione, lo stoccaggio e la diffusione di molteplici informazioni (World Bank, 2019).

Con la diffusione delle nuove tecnologie le mappe si sono trasformate da cartacee a digitali e gli strumenti da statici sono diventati dinamici. I big data hanno aperto nuovi orizzonti nei sistemi GIS, anche grazie alla diffusione delle piattaforme web-GIS, ampliandone il campo di applicazione che oggi spazia dagli enti governativi alle grandi società commerciali (Ki, 2018).

La ricerca sta spingendo verso l'integrazione di un numero crescente di variabili qualitative e quantitative nei modelli di valutazione del rischio di inondazione, orientati al supporto decisionale, grazie a un approccio multiscalare e integrato e all'uso di strumenti di supporto specifici, come i sistemi GIS e Web-GIS. Parallelamente, l'interattività e la customizzazione delle informazioni stanno diventando un requisito fondamentale nei moderni strumenti di supporto alle decisioni.

2.1.2. I big data geospaziali e il telerilevamento per simulazioni site-specific

L'accuratezza delle simulazioni climatiche dipende sia dall'approccio metodologico e operativo utilizzato sia dalla qualità e quantità dei dati. Grazie ai big data, le capacità predittive dei modelli di simulazione degli eventi naturali stanno diventando sempre più affidabili, traducendosi in concrete risposte adattive.

La nozione di big data si relaziona direttamente alle grandi dimensioni in termini di memoria, ossia di volume, che caratterizza i dati. Le caratteristiche principali possono essere sintetizzate nel concetto delle tre V: volume, variety e velocity (Russom, 2011). Tuttavia, a volumi così grandi corrisponde, spesso, un certo grado di confusione e incertezza rispetto ai dataset più standardizzati, condizione che richiede di integrare nella prima definizione una quarta e quinta V: veracity e variability (Kitchin e McArdle, 2016).

Nel contesto delle scienze del clima, i big data creano valore aggiunto in molteplici aspetti e applicazioni⁴⁶ e, in particolare, nelle fasi di: osservazione/monitoraggio, analisi/conoscenza, previsione e pianificazione ai disastri. Come in altri campi del sapere, anche in ambito climatico, il

⁴⁶ Nel contesto di utilizzo dei big data è possibile riferirsi ai big data approaches in relazione all'uso combinato di datasets storici, data streams e all'utilizzo di apposite tecnologie che permettono di svolgere analisi omogenee e simultanee su ampi territori. L'integrazione di un numero sempre maggiore di dati ha reso necessario un aggiornamento nella fase di visualizzazione, condivisione e trasferimento delle informazioni dagli operatori specializzati agli utenti in specifici strumenti di supporto e, nell'ultimo decennio, è diventata oggetto di sperimentazioni scientifiche portando alla nascita di nuove discipline come "Data Visualization" o "Information Visualization" (Roth, 2012; Pollard et al., 2018).

valore dei big data deriva non tanto dal volume che li caratterizza, ma dall'approccio di utilizzo rigoroso, soprattutto nelle fasi di selezione, analisi e interpretazione delle informazioni (Faghmous e Kumar, 2014; Hassani, Huang e Silva, 2019; Figura 25).

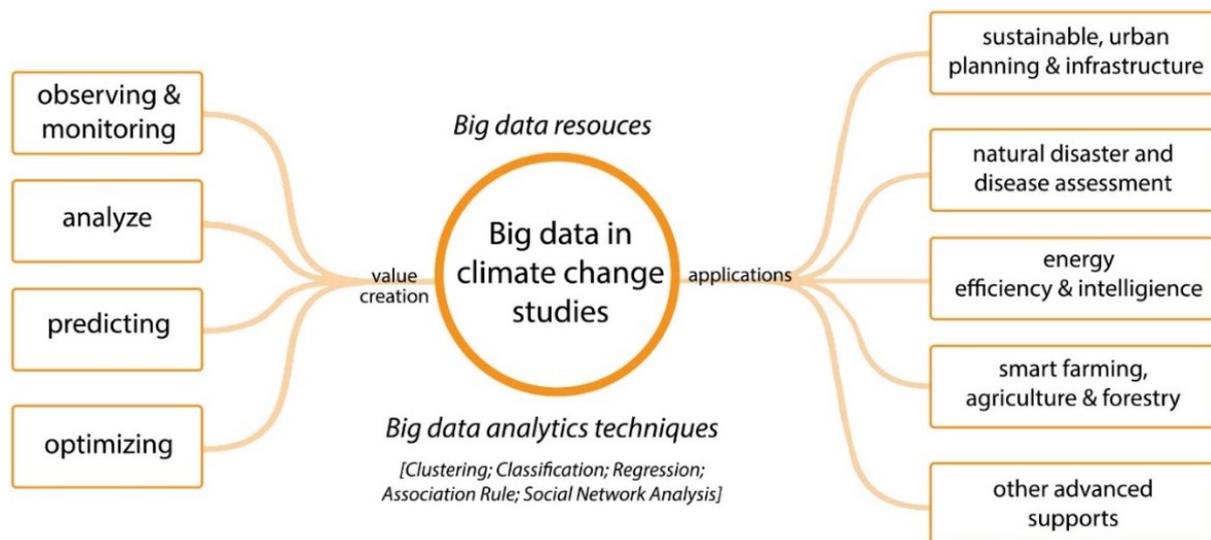


Figura 25. Il contributo dei big data negli studi climatici. Elaborazione immagine a partire da: Hassani (2019)

Nell'ambito della gestione dei rischi climatici, la direttiva europea 2007/2/CE INSPIRE - Infrastructure for SPatial Information in euRopE, incentrata sulla politica ambientale, ha dato un notevole impulso per la generalizzazione delle procedure di analisi e monitoraggio territoriale e di standardizzazione dei metadati, fondamentali per una corretta gestione dei rischi e per la condivisione delle informazioni a livello internazionale (EC, 2007a; Bitelli, Gusella e Mognol, 2007).

Nella gestione dei rischi climatici, l'analisi dello stato dell'arte evidenzia che ogni fase si relaziona all'acquisizione e all'utilizzo di specifici dati. In particolare, prima che si verifichino eventi critici, nella fase di mitigazione un contributo significativo è offerto dall'utilizzo congiunto di dati telerilevati ed altre tipologie di dati, mentre nella fase di prevenzione i dati forniti dalle simulazioni sono uno strumento necessario per comprendere gli impatti del clima sull'ambiente naturale e costruito. Nella fase di preparazione al disastro un contributo significativo è offerto dai social media per la rapidità di condivisione delle informazioni. A seguito dell'evento, in fase di risposta, si possono distinguere un primo momento di assestamento in cui un contributo significativo è offerto dai dati telerilevati, per la capacità di monitorare rapidamente i danni, e una fase di coordinamento post-disastro in cui i social media⁴⁷ svolgono un ruolo fondamentale per la comunicazione ai cittadini e il coordinamento post-emergenza. Infine, per la fase di recupero diventa necessaria l'integrazione di molteplici dati (Yu et al., 2018; Figura 26).

⁴⁷ La consapevolezza delle potenzialità offerte dei social media nella gestione delle emergenze alluvionali ha spinto l'Ente Federale per la Gestione delle Emergenze (FEMA) degli Stati Uniti a predisporre il documento "The Flood Safety Social Media toolkit" per fornire linee guida per la scrittura e la condivisione di messaggi in caso di emergenza. La possibilità di associare automaticamente i social media e le immagini satellitari offre, infatti, grandi opportunità di ricerca, i social media, infatti, permettono di integrare l'ampia prospettiva fornita dalle viste satellitari mediante informazioni raccolte localmente, siano esse in forma testuale, o audio-visiva (Ahmad et al., 2019).



Figura 26. Il supporto dei big data nelle diverse fasi di gestione del rischio.
Elaborazione immagine a partire da Yu et al. (2018)

Nell'era dei big data geospaziali, i dati telerilevati, dati rilevati da satelliti, sonde spaziali, aerei o droni di tipo UAV da rappresentano un asset innovativo e strategico per analizzare, monitorare e gestire efficacemente sia le variabili legate agli eventi naturali che la complessità che caratterizza i territori mediante un approccio multiscalare, multitemporale e multisorgente. I dati telerilevati, consentono, infatti, a partire da processi digitali e smart di estrarre immagini in formato Raster con una copertura globale e in continuo aggiornamento temporale, senza necessità di compiere indagini in-situ.

Le informazioni, qualitative e quantitative, dell'ambiente, costruito e naturale, sono acquisite a partire dalla registrazione, operata da sensori, della radiazione elettromagnetica emessa, riflessa o trasmessa di oggetti e fenomeni naturale. I dati sono restituiti in formato Raster, matrici di pixel di dimensioni regolari multispettrali (Brivio, Lechi e Zilioli, 2006).

Dalle elaborazioni di immagini Raster è possibile ricavare molteplici indici come il DTM, l'NDVI o indicatori come il LC/LU. L'analisi di casi studio internazionali ha rivelato che in area costiera i dati telerilevati forniscono un supporto ottimale, oltre che per la conoscenza e l'analisi dei territori, anche per l'individuazione delle aree a rischio di inondazioni, erosione ed inquinamento, come nel caso dei progetti FAST⁴⁸ e CEASELESS⁴⁹.

⁴⁸ Il progetto FAST (2014 - 2018), Foreshore Assessment using Space Technology, è un progetto europeo orientato al miglioramento dei quadri di conoscenza del rischio di inondazione ed erosione costiera con un focus specifico sul ruolo assunto dalle aree vegetate nella riduzione degli impatti sull'ambiente costruito. Per maggiori informazioni consultare il sito: <http://www.fast-space-project.eu/index.php/project.html>

⁴⁹ Il progetto CEASELESS (2016 - 2019), Copernicus Evolution and Applications with Sentinel Enhancements and Land Effluents for Shores and Seas, è un progetto europeo orientato al miglioramento delle previsioni climatiche delle

I Modelli Digitali del Terreno, Digital Terrain Model (DTM), sono modelli numerici fondamentali per l'analisi di hazards idrogeologici. Il DTM è una rappresentazione virtuale della morfologia di un territorio, al netto degli elementi costruiti e vegetali, ricavata statisticamente mediante l'integrazione di tecniche di misurazione e di calcolo (Aliberti e Guerri, 2020). Il telerilevamento consente la produzione di DTM a diverse scale e con tempi di acquisizione contenuti a partire da immagini registrate ad alta risoluzione da sensori posizionati su satelliti (interferometria) o su aeromobili (rilievi LIDAR – Laser Imaging Detection). L'accuratezza e la risoluzione del DTM influenzano notevolmente la modellazione dell'ambiente (Kenward et al., 2000; Fisher e Tate, 2006; Figura 27).

Un altro indice ricavato da dati telerilevati, è l'Indice di Vegetazione Normalizzato, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), che, sebbene sia specifico per la stima della densità e dello stato della vegetazione, permette di distinguere due ulteriori classi: l'acqua e il suolo nudo. A partire dall'individuazioni di tali classi, è possibile identificare la linea di costa (fluviale, marina o oceanica), intesa come elemento di separazione tra due macro-entità: l'acqua e la terra. I valori dell'indice NDVI sono compresi tra i valori $[-1;1]$, se la vegetazione è contraddistinta da valori elevati, solitamente maggiori di 0,2, l'acqua si colloca all'estremo opposto e presenta valori inferiori a 0,2, mentre il suolo si colloca in una posizione intermedia (Maglione, Parente e Vallario, 2013; Figura 28).

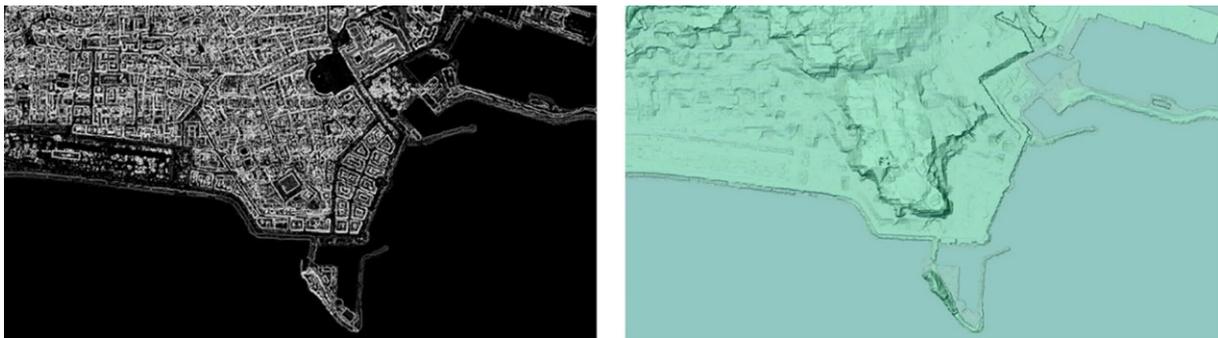


Figura 27. Elaborazioni del DTM per l'analisi di pendenza e rilievo sulla città di Napoli. Fonte DTM: (MATTM, 2007)

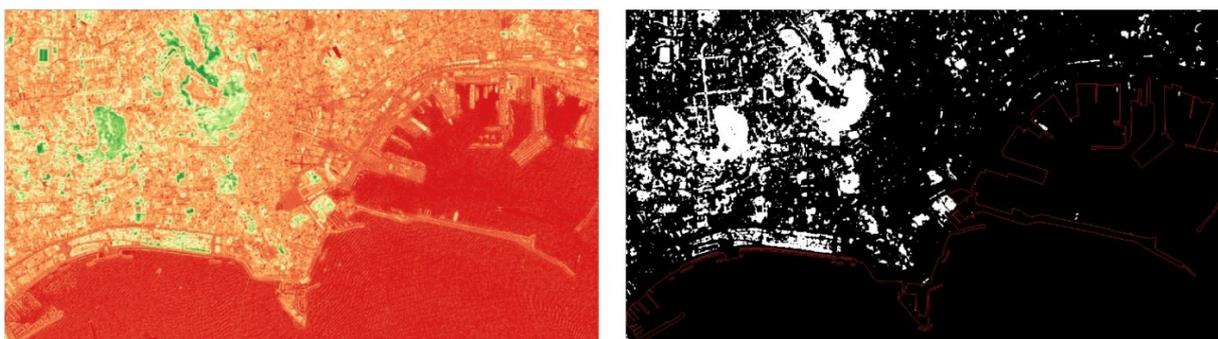


Figura 28. Elaborazione dell'NDVI su immagini satellitari della città di Napoli, a partire da immagini satellitari di luglio 2019. Fonte immagine di riferimento: www.planet.com

zone marittime costiere utilizzando i dati Sentinel combinati con informazioni differenziate. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://cordis.europa.eu/project/id/730030/it>

Altro indicatore molto noto è il Land Cover/Land Use (LCLU), copertura/uso del suolo, che permette la mappatura della copertura o dell'uso del suolo. L'indicatore può essere ricavato mediante processi di classificazione e/o interpretazione delle immagini raster telerilevate in software specifici o da database, online e open source, che offrono informazioni, ricavate da dati telerilevati, già processate, come nel caso dei dati forniti dal servizio europeo Copernicus Land Monitoring Service.

Dal 2008 il Servizio Geologico degli Stati Uniti ha avviato l'era dei dati satellitari open source rendendo disponibile l'archivio di immagini di Landsat-8 raccolte su di un arco temporale di oltre 40 anni. Nel contesto dei dati telerilevati, il settore satellitare è in crescita esponenziale e, nei prossimi anni, saranno avviate sempre più missioni spaziali. In Europa, l'Agenzia Spaziale Europea, European Space Agency (ESA), ha avviato un programma ancora più ambizioso, con la messa in orbita della costellazione dei satelliti Sentinel, rendendo disponibili sia i dati satellitari che i contenuti informativi prodotti a partire dall'elaborazione delle immagini telerilevate con il programma Copernicus⁵⁰.

Il servizio online e open source Copernicus, coordinato e gestito dalla Commissione Europea, raccoglie informazioni da molteplici fonti che integra ed elabora al fine di fornire supporto decisionale a molteplici livelli. Le informazioni sono strutturate in sei aree tematiche: territorio (CLMS), ambiente marino (CMEMS), atmosfera (CAMS), cambiamenti climatici (CCS), emergenze (EMS) e sicurezza (SS).

Il Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) è stato lanciato nel 2012 con lo scopo di fornire molteplici database, caratterizzati da risoluzione spaziale differenziate e da focus su temi specifici, sull'uso e sulle caratteristiche del suolo. La maggior parte dei dati sono forniti in una doppia versione temporale, consentendo, quindi, di analizzare lo stato attuale e le variazioni grazie alle "change map". Tra i database maggiormente noti, si evidenziano CORINE Land Cover⁵¹, Urban Atlas, Natura 2000⁵² e il più recente Coastal Zones.

Per l'analisi del land cover/land use in ambiente urbano, i database Urban Atlas e Coastal Zones rappresentano strumenti strategici e innovativi per l'omogeneità e la disponibilità dei dati a scala europea. Il database Copernicus Coastal Zones 2018, disponibile da febbraio 2021, fornisce un rilievo LC/LU per una fascia continua di 10km di tutti i territori costieri dell'Unione Europea; il database Urban Atlas si caratterizza per la risoluzione spaziale più accurata ma è disponibile solo per le maggiori aree urbane (Thépaut et al., 2018; Melet et al., 2021). Si riportano le carte di land use della città di Napoli ricavate dai database Copernicus Coastal Zones 2018 (Figura 29) e Urban Atlas 2018 (Figura 30).

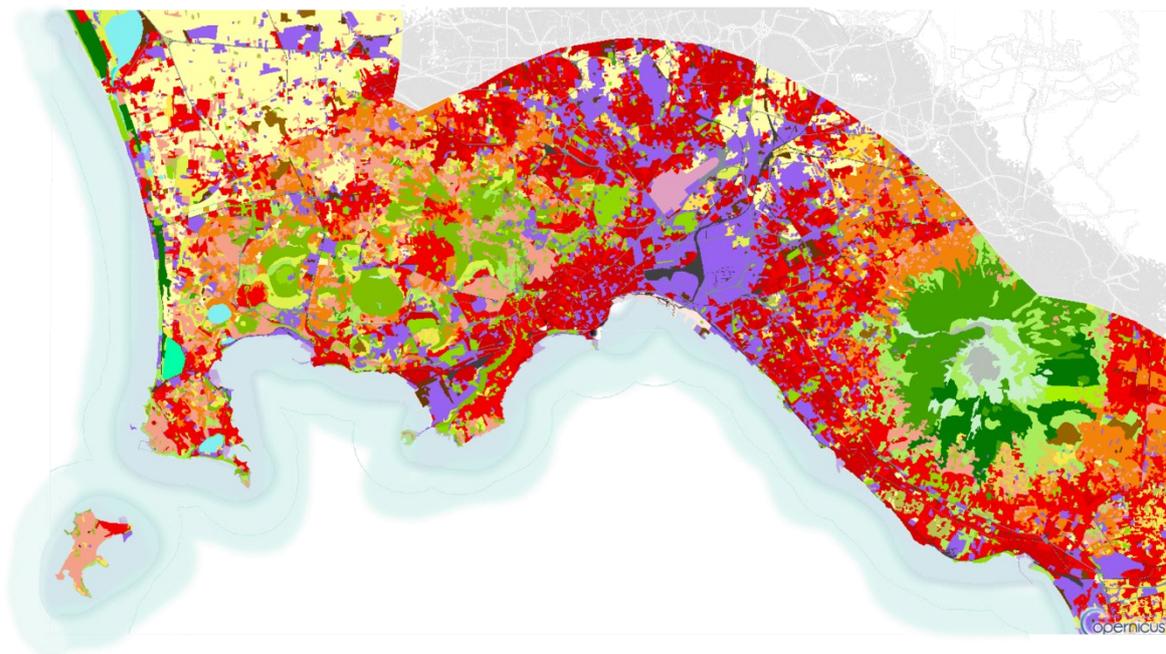
Nonostante i sistemi open source, come i dati offerti da servizio europeo Copernicus, abbiamo eliminato l'ostacolo finanziario, esiste ancora un gap tra la preparazione degli utenti e le competenze richieste per l'elaborazione dei dati (Ceriola, 2019). In scenario il gruppo intergovernamentale GEO,

⁵⁰ Il servizio europeo Copernicus è attuato in collaborazione con gli Stati membri, e con l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'Organizzazione europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (CEPMMT), le agenzie dell'UE e Mercator Océan. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.copernicus.eu/it/servizi>.

⁵¹ Il database CORINE Land Cover fornisce una mappatura omogenea e continua LC/LU per tutti i territori europei. I dati sono disponibili in una serie temporale che assicura quasi 30 anni di osservazioni. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.

⁵² Il database Natura 2000 si concentra sulle aree naturali. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://land.copernicus.eu/local/natura>.

Group on Earth Observations, si è posto l'obiettivo di definire degli standard per l'osservazione terrestre in modo da rendere le informazioni condivisibili e fruibili ai fini del più ampio supporto possibile ai processi decisionali (Nativi et al., 2015).



CZ_CoastalZones_2018			
11110 Continuous urban fabric (IMD ≥80%)	14000 Green urban, sport and leisure facilities	36000 Damaged forest	71210 Exploited peat bogs
11120 Dense urban fabric (IMD ≥30-80%)	21100 Arable irrigated and non-irrigated land	41000 Managed grassland	71220 Unexploited peat bogs
11130 Low density fabric (IMD <30%)	21200 Greenhouses	42100 Semi-natural grassland	72100 Salt marshes
11210 Industrial, commercial, public and military units (other)	22100 Vineyards, fruit trees and berry plantations	42200 Alpine and sub-alpine natural grassland	72200 Salines
11220 Nuclear energy plants and associated land	22200 Olive groves	51000 Heathland and moorland	72300 Intertidal flats
12100 Road networks and associated land	23100 Annual crops associated with permanent crops	52000 Alpine scrub land	81100 Natural & semi-natural water courses
12200 Railways and associated land	23200 Complex cultivator patterns	53000 Sclerophyllous scrubs	81200 Highly modified water courses and canals
12310 Cargo port	23300 Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	61100 Sparse vegetation on sands	81300 Seasonally connected water courses (oxbows)
12320 Passenger port	23400 Agro-forestry	61200 Sparse vegetation on rocks	82100 Natural lakes
12330 Fishing port	31100 Natural & semi-natural broadleaved forest	62111 Sandy beaches	82200 Reservoirs
12340 Naval port	31200 Highly artificial broadleaved plantations	62112 Shingle beaches	82300 Aquaculture ponds
12350 Marinas	32100 Natural & semi-natural coniferous forest	62120 Dunes	82400 Standing water bodies of extractive industrial sites
12360 Local multi-functional harbours	32200 Highly artificial coniferous plantations	63110 Bare rocks and outcrops	83100 Lagoons
12370 Shipyards	33100 Natural & semi-natural mixed forest	63120 Coastal cliffs	83200 Estuaries
12400 Airports and associated land	33200 Highly artificial mixed plantations	63200 Burnt areas (except burnt forest)	83300 Marine inlets and fjords
13110 Mineral extraction sites	34000 Transitional woodland and scrub	63300 Glaciers and perpetual snow	84100 Open sea
13120 Dump sites	35000 Lines of trees and scrub	71100 Inland marshes	84200 Coastal waters
13130 Construction sites		71210 Exploited peat bogs	
13200 Land without current use		71220 Unexploited peat bogs	

Figura 29. Carta di land use della di Napoli elaborata a partire dai dati del database Copernicus Coastal zones 2018 (<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones/coastal-zones-2018>)

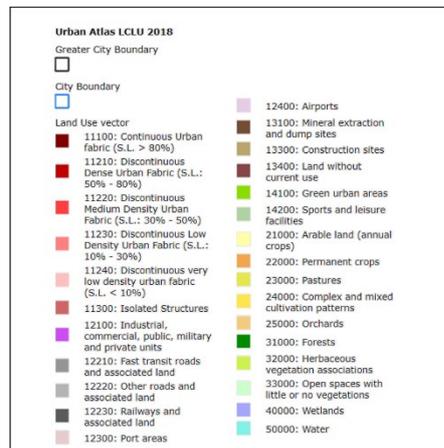
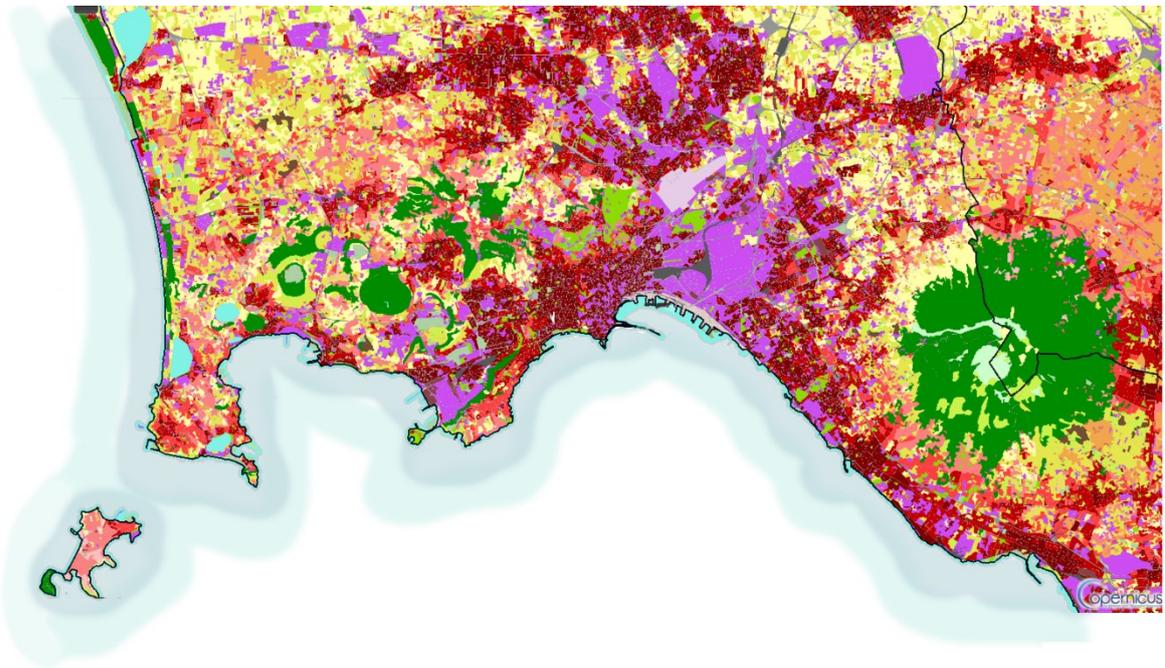


Figura 30. Carta di land use della città di Napoli elaborata a partire dai dati del database Urban Atlas 2018 (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>)

2.2. I SISTEMI DI SUPPORTO DECISIONALE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO DI INONDAZIONE COSTIERA

La prevenzione/mitigazione e la preparazione ad eventi meteorologici critici o di rischio nelle aree urbane in regime di cambiamento climatico è un driver fondamentale per l'implementazione di strategie per il progetto urbano sostenibile e resiliente.

In ambito costiero, la gestione dei rischi è un aspetto molto importante per il management delle aree urbane, tuttavia, quantificare i rischi è un'operazione complessa che richiede la valutazione dell'hazard, l'analisi degli elementi esposti e delle loro vulnerabilità. Nell'ambito delle criticità climatiche, come evidenziato nel primo capitolo, i fenomeni di inondazione, dovuti all'azione congiunta di hazard gradual e event-based, potrebbero avere conseguenze disastrose per gli insediamenti che insistono sulla costa. Gli impatti e le vulnerabilità dipendono dai contesti specifici e, pertanto, l'efficacia dei progetti dipende direttamente dalla conoscenza di tali contesti. Valutare gli impatti climatici sui sistemi urbani significa individuare gli elementi esposti e classificarne il rischio correlato, per definire, in maniera preventiva, strategie e soluzioni di adattamento climatico (EC, 2013; IPCC, 2018).

Per implementare la conoscenza e colmare il gap attuativo degli interventi climate proof è necessario combinare i saperi tecnici e scientifici, integrando la pianificazione e la progettazione urbana, la progettazione tecnologica e ambientale, le scienze del clima e quelle del rischio, così come gli studi socioeconomici o politici. Tale condizione richiede ulteriori sforzi per l'integrazione di strumenti, metodi e terminologie tra ambiti accademico-scientifici, progettuali e decisionali (Leone, 2018).

L'approccio sistemico e processuale della progettazione ambientale consente di leggere la natura dinamica dei processi fisici, sociali ed economici delle città costiere contemporanee per affrontare il tema della resilienza e dell'adattamento climatico. Il supporto delle tecnologie abilitanti, legate agli scenari della cultura digitale e di industria 4.0, diventa fondamentale per l'acquisizione e la gestione multiscalare dei dati e delle informazioni derivanti da processi di acquisizione differenziati e per la loro messa a sistema in sistemi di supporto decisionale.

2.2.1. Processi di analisi spaziale per la conoscenza dell'ambiente costruito e naturale in rapporto alle condizioni del rischio di inondazione costiera

La conoscenza del sistema urbano è complessa data la molteplicità di sistemi ed elementi che lo compongono e che, seppure con significativa differenza scalare, interagiscono continuamente sul piano morfologico, funzionale e comportale-prestazionale. La disciplina della Tecnologia dell'Architettura ha continuamente introdotto modalità di conoscenza innovative grazie ai nuovi apporti analitici e strumentali capaci di analizzare l'habitat come sistema complesso (Losasso, 2015). Modalità di conoscenza innovative sono attuabili mediante il ricorso alle tecnologie abilitanti. Le tecnologie digitali e abilitanti influenzano, quindi, inevitabilmente il progetto in termini processuali e operativi e, in questo contesto, è possibile identificare quattro categorie di strumenti (Tersigni, 2018a):

- Gli strumenti GIS (Geographic Information Systems)
- I software BIM (Building Information Modelling)⁵³
- Gli strumenti di simulazione energetico-ambientale⁵⁴
- Il linguaggio computazionale⁵⁵

I Sistemi Informativi Territoriali, Geographical Information System (GIS), sono fondamentali per l'identificazione, la quantificazione e la valutazione dei rischi climatici, consentono, infatti, di associare la rappresentazione spaziale degli elementi con gli attributi che ne definiscono le proprietà. Alle proprietà di visualizzazione sintetica si somma la possibilità di svolgere operazioni di analisi spaziale più o meno complesse, in tempi contenuti, pertanto, risultano sistemi ottimali per le analisi territoriali e il supporto alla gestione del rischio di inondazione costiera. In ambiente GIS è possibile sovrapporre il livello atteso dell'acqua alle aree potenzialmente impattate come infrastrutture critiche, ad esempio la rete di trasporto stradale o le aree portuali, ma anche ai sistemi demografici ed economici operando simulazioni statiche e semplificate che consentono di individuare rapidamente, sul piano spaziale, vulnerabilità ed esposizione (Peggion, Bernardini e Masera, 2008; Marcy et al., 2011; Shepard et al., 2012).

Mediante le funzioni di analisi spaziale è possibile strutturare la “knowledge base” per la costruzione di modelli di conoscenza del rischio climatico per l'ambiente costruito e naturale, combinando dati e informazioni provenienti da fonti differenziate e processarli mediante specifici algoritmi (Di Martino e Sessa, 2016). Nell'ambito dei dati per l'analisi dei rischi connessi al cambiamento climatico, molteplici sono le opportunità offerte dalle elaborazioni di dati open source, con copertura globale o regionale e georeferenziati. In questo contesto, i dati di origine telerilevata e, in particolare, i dati satellitari rappresentano un asset innovativo e strategico per il continuo aggiornamento temporale, la copertura spaziale e l'omogeneità che caratterizza le informazioni (Peduzzi e Herold, 2005).

L'utilizzo congiunto delle tecniche di Telerilevamento e GIS diventa fondamentale per il trasferimento dei dati dagli ambiti delle scienze del clima e dell'informazione geospaziale a quelli della progettazione urbana e territoriale. I numerosi set di dati georeferenziati e in formato open source permettono di svolgere analisi omogenee e simultanee su ampi territori integrando nei modelli di conoscenza anche la valutazione dei rischi climatici così come gli aspetti socioeconomici o gli aspetti tecnologici.

L'integrazione dei dati telerilevati con altre banche dati richiede l'ausilio delle tecnologie abilitanti e la necessità di un approccio multiscalare per l'omogeneizzazione dei dati per l'elaborazione e la trasformazione in modelli e sistemi di supporto fruibili; l'analisi integrata permette di cogliere informazioni difficilmente rilevabili dall'analisi delle singole banche dati. La definizione del grado di

⁵³ I sistemi BIM, Building Information Modeling, supportano l'utilizzo e la condivisione di molteplici dati alla scala dell'edificio, rappresentando strumenti indispensabili per l'innovazione dell'Edilizia 4.0 consentendo di associare al progetto un database e un modello comportamentale (ECIF, 2017). L'integrazione di strumenti BIM-GIS consente poi il passaggio dalla scala dell'edificio a quella urbana (Russo Ermolli e Tersigni, 2014).

⁵⁴ Gli strumenti di simulazione energetico-ambientale consentono di indagare il comportamento termo-fisico sia degli edifici che degli spazi aperti mediante la caratterizzazione di specifici parametri. Le simulazioni possono poi essere integrate in sistemi GIS o BIM per prefigurare proposte progettuali climate-oriented (Tersigni, 2018a).

⁵⁵ Il linguaggio computazionale consente di sviluppare o personalizzare strumenti di simulazione e modellazione, di integrare informazioni interdisciplinari e multiscalarari e di sperimentare processi decisionali innovativi per il supporto ai processi decisionali (Tersigni, 2018a).

approssimazione è necessaria per l'utilizzo dei dati telerilevati, per tradurre il volume dei dati in valore aggiunto e poter usufruire delle analisi ad ampia scala a supporto di processi e progetti focalizzati su specifici contesti locali.

Nell'ambito della modellistica spaziale per l'analisi dei rischi climatici gli approcci "datacubes", anche detti "gridded data" risultano ottimali per la gestione operativa dei big data soprattutto per l'elaborazione, l'organizzazione, l'estrazione, il machine learning e la visualizzazione dei dati. Tale approccio consente di implementare i modelli di analisi di rischio climatico attraverso dati provenienti da banche dati di diversa origine e in diverso formato migliorando l'interoperabilità tra i sistemi digitali. Per ottimizzare la gestione dei dati è importante costruire dei sistemi di riferimento grigliati detti Discrete Global Grid System (DGGS), tali reticoli si caratterizzano per forme regolari, omogenee e georeferenziate (punti, quadrati, rettangoli, rombi o esagoni) detti celle, su cui è possibile caricare, analizzare, processare, combinare e valutare su ogni unità territoriale molteplici informazioni georeferenziate (Baumann, 2017; Strobl et al., 2017; Purss et al., 2019).

2.2.2. I modelli basati su indicatori e indici per la valutazione dei rischi e degli impatti costieri

In letteratura molteplici vi sono molteplici metodologie e modelli sviluppati per valutare i rischi, gli impatti o le vulnerabilità climatiche dell'ambiente urbano costiero e, in questo contesto, è possibile distinguere quattro categorie (ETC/ACC, 2010b):

- Metodi basati su indicatori e indici
- Metodi basati su complesse simulazioni informatiche
- Sistemi di supporto GIS
- Visualization tools

Per il progetto di ricerca sono stati approfonditi i metodi basati su indicatori e indici al fine di sviluppare la proposta di un modello innovativo di rischio ai fenomeni di inondazione costiera.

I modelli realizzati in ambiente GIS consentono, mediante le funzioni di analisi spaziale, la gestione e l'analisi dei dati necessari ad identificare gli elementi vulnerabili, il valore esposto e, quindi, il grado di rischio correlato. L'utilizzo di indici e indicatori, opportunamente calcolati e classificati, consente di studiare e valutare realtà complesse come l'ambiente urbano costiero in scenari di criticità climatiche mediante rappresentazioni sintetiche quantitative o qualitative facilmente visualizzabili e analizzabili (Zhou et al., 2009).

Nell'ambito degli indicatori, gli indicatori ambientali sono stati introdotti agli inizi degli anni '90 come strumenti per la costruzione di quadri di conoscenza e di monitoraggio, divenendo oggi strumenti diagnostici per misurare gli obiettivi da raggiungere, l'efficacia delle azioni intraprese e prevenire gli scenari futuri mediante approcci intersettoriali e multiscalari atti a governare la complessità che caratterizza il binomio clima-ambiente costruito. La scelta degli indicatori dipende dalla tipologia di hazard e dagli impatti potenziali indagati (Schmidt Di Friedberg, 1987; D'Ambrosio, 2020).

I metodi basati su indicatori e indici possono essere distinti in metodi valutativi qualitativi e metodi basati su misure di parametri e, quindi, quantificabili numericamente. I principali modelli e i contributi di ricerca analizzati nell'ambito della letteratura scientifica di riferimento sono riportati in tabella (Tabella 3).

CATEGORIE	MODELLO/PAPER	RIFERIMENTO
METODI VALUTATIVI QUALITATIVI	CRI-MED	Satta et al., 2017
	Composite Vulnerability Index	Szlafsztein et al., 2007
	CVI	Gornitz et al., 1994
	CVI [SLR]	Özyurt, 2007; Özyurt et al., 2010
METODI VALUTATIVI BASATI SU MISURE DI PARAMETRI	“Future flood losses in major coastal cities”	Hallegatte et al., 2013
	“Climate Risk Assessment under Uncertainty: An Application to Main European Coastal Cities”	Abadie, Sainz de Murieta e Galarraga, 2016
	“Damage and protection cost curves for coastal floods within the 600 largest European cities”	Prahl et al., 2018
	“Sea level damage risk with probabilistic weighting of IPCC scenarios: An application to major coastal cities”	Abadie, 2018
	“From Hazard to Consequences: Evaluation of Direct and Indirect Impacts of Flooding Along the Emilia-Romagna Coastline, Italy”	Armaroli et al. 2019
	“Flood Risk Evaluation in Ungauged Coastal Areas: The Case Study of Ippocampo (Southern Italy)”	Apollonio et al., 2020
	“The Cost of Sea-Level Rise: Coastal Adaptation Investments vs. Inaction in Iberian Coastal Cities”	Abadie, Sainz de Murieta e Galarraga, 2020

Tabella 3. Riferimenti modelli e ricerche basati su metodi valutativi qualitativi e metodi valutativi basati su misure di parametri

I modelli analizzati che adottano metodi valutativi di tipo qualitativo si basano sull'acquisizione e sulla classificazione degli elementi caratterizzanti del sistema antropico e naturale e sul calcolo di un indice sintetico di rischio attraverso specifiche equazioni di calcolo.

La scala di riferimento varia in base alla risoluzione spaziale dei dati e si relaziona con analisi a scala regionale o sub-regionale. Si evidenziano come dati di input ricorrenti il land cover/land use e la geomorfologia dei suoli, alcuni modelli considerano anche le caratteristiche socioeconomiche come la presenza di infrastrutture o di turisti. Rispetto alla componente di hazard, la maggior parte dei modelli si concentra sull'innalzamento graduale del livello del mare e solo alcuni considerano l'interazione di più fenomeni climatici. In tutti i modelli analizzati l'adattamento è considerato solo in fase di valutazione della vulnerabilità, e inteso, quindi, come capacità di risposta adattiva dei sistemi vulnerabili. Come output sono elaborate mappe e indici sintetici di rischio che si fermano alla fase conoscitiva senza avanzare proposte progettuali per la riduzione dei rischi (Gornitz et al. 1994; Szlafsztein e Sterr, 2007; Özyurt, 2007; Özyurt, Ergin e Baykal, 2010; Satta et al., 2017).

Parallelamente, dall'analisi sintetico/comparativa dei modelli valutativi basati su misure di parametri, è emerso che la parametrizzazione del danno in termini economici può rappresentare un concreto strumento di supporto ai decisori. Infatti, la valutazione dei rischi in funzione dei potenziali danni in termini economici costituisce un aspetto fondamentale per il management urbano sia alla scala globale che locale e sta ricevendo sempre più attenzione da parte del mondo accademico e istituzionale. Utilizzando le funzioni di danno⁵⁶ è possibile tradurre e quantificare l'intensità di un

⁵⁶ Le funzioni di danno sono delle relazioni matematiche che associano l'intensità dei fenomeni climatici e i potenziali danni causato sui sistemi esposti, consentendo di trasformare l'esposizione in valore esposto.

hazard in valore esposto (Hallegatte et al., 2013; Abadie, Sainz de Murieta e Galarraga, 2016; Prah et al., 2016; Abadie, 2018; Armaroli, Duo e Viavattene, 2019; Apollonio et al., 2020).

Mediante specifiche funzioni di calcolo, è anche possibile quantificare anche i benefici connessi alle azioni progettuali di adattamento e protezione climatica mediante una stima dei costi di adattamento (Prah et al., 2018; Abadie, Sainz de Murieta e Galarraga, 2020). Tuttavia, da un'analisi critica è evidente che, anche in questa tipologia, di modelli le scale spaziali non consentono il downscaling degli impatti alla scala locale.

Tra i modelli analizzati, ai fini della proposta di un modello innovativo per l'osservazione e la conoscenza del rischio di inondazione costiera sull'ambiente costruito, si evidenziano i contributi di Hallegatte et al. (2013) e Prah et al. (2018).

In particolare, Hallegatte et al. (2013) analizza gli impatti delle inondazioni, parametrizzati in funzione dei danni economici, per le più importanti città costiere del mondo. Le simulazioni sono condotte a partire dal rilievo SRTM⁵⁷, caratterizzato da una risoluzione spaziale orizzontale di 90m, su cui sono individuate le aree inondabili su intervalli verticali di 1m. Sulle aree inondabili, a partire dai dati sulla popolazione, ricavati dal database Landsat2002 Global Population Database e caratterizzati per una risoluzione 1x1km, ricampionati in celle di 100m, l'esposizione è calcolata in funzione della popolazione esposta e della stima del potenziale reddito prodotto per abitante, produced capital per inhabitant, a partire dai dati di GDP⁵⁸ forniti dai database della World Bank. L'esposizione è poi trasformata in valore esposto grazie all'introduzione delle funzioni di danno⁵⁹. I dati di hazard sono, al contempo, ricavati dal database DIVA⁶⁰ e parametrizzati, per evento, in funzione del tempo di ritorno (RT) (Hallegatte et al., 2013).

Parallelamente, Prah et al. (2018) propone delle funzioni di danno per 600 città costiere che associano ad intervalli regolari di altezze d'acqua (50cm) i potenziali. La stima dei potenziali danni è ricavata, sul piano spaziale, sugli "urban cluster" individuati a partire dal database Copernicus CORINE Land Cover (CLC), caratterizzati per una risoluzione di 100m. Su queste unità territoriali, i potenziali danni sono calcolati combinando l'orografia del terreno, ricavata dal rilievo EU-DEM, e l'esposizione (valori per m²) derivata dal database Copernicus Land Use and Coverage Area frame Survey (LUCAS) e tradotta in valore esposto mediante l'introduzione delle funzioni di danno del JRC. La simulazione delle inondazioni è affidata ad una modellazione di tipo statico e si basa sulla connettività delle celle (Prah et al., 2018).

In tabella si riportano, i dati e gli approcci metodologici dei due modelli (Tabella 4).

⁵⁷ Il database SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) è un modello di elevazione del terreno caratterizzato dalla disponibilità dei dati omogenea su scala globale. Per maggiori informazioni: <https://srtm.csi.cgiar.org/>.

⁵⁸ I dati di GDP (Gross Domestic Product) sono ricavati dal dataset pubblicato dalla World Bank nell'ambito del report "Changing Wealth of the Nations" (World Bank, 2011).

⁵⁹ Per trasformare gli elementi esposti in valore esposto sono introdotte le curve di danno (deph-t-damage) che individuano sei categorie: edifici in legno, edifici in muratura, edifici strutturali (per paesi a basso reddito), contenuti degli edifici, strutture non residenziali e contenuti non residenziali.

⁶⁰ Il database DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment) fornisce dati su livelli attesi d'acqua caratterizzati da RT 10yr, 100yr, 1000yr, 10yr (Vafeidis et al., 2008).

Caratteristiche	HALLEGATTE ET AL., 2013	PRAHL ET AL., 2018
Area studio	Post-code area	Urban cluster derivati da CORINE land-cover Risoluzione = 100m
Orografia	SRTM Risoluzione = 90m	EU-DEM Risoluzione = 25x25 m
Inondazione	Le area inondate sono calcolate su intervalli verticali di 1m.	Modellazione statica del fenomeno basata sulla connettività idraulica delle celle ad intervalli di 50cm.
Esposizione	La popolazione è tradotta in elementi esposti e, quindi, in valore economico. I dati per la popolazione sono ricavati dal dataset Landsat2002 e, caratterizzati da una risoluzione spaziale 1x1 km, sono ricampionati in celle di 100x100m. L'esposizione è tradotta in valore esposto mediante l'introduzione delle funzioni di danno.	L'esposizione (valori per m ²) è derivata dal database Copernicus Land Use and Coverage Area frame Survey (LUCAS) e tradotta in valore esposto mediante l'introduzione delle funzioni di danno del JRC.

Tabella 4. Dati e approcci metodologici dei modelli di Hallegatte et al. (2013) e Prah et al. (2018)

Dall'analisi sintetico/comparativa dei modelli approfonditi, di entrambe le tipologie, al fine della proposta di un modello innovativo di conoscenza del rischio di inondazione costiera orientato al supporto del progetto di adattamento climatico, si evidenziano i seguenti gap conoscitivi:

- la scala dei modelli di analisi del rischio varia in base alla scala dei dati di input e si rapporta con valutazioni a scala regionale o sub-regionale, tale dimensione non consente il downscaling alla scala locale; pertanto, vengono perse le caratteristiche insediative e geomorfologiche dei luoghi che consentono il supporto istruttorio e operativo al progetto di adattamento climatico;
- le valutazioni del rischio basate sulla misura di parametri risultano particolarmente efficaci rispetto allo scopo proposto e, in questo contesto, la parametrizzazione dei rischi in funzione dei potenziali danni economici diretti e tangibili sul patrimonio costruito è un aspetto fondamentale nel management urbano;
- la possibilità di associare le analisi di rischio alle soluzioni metaprogettuali di adattamento climatico potrebbe rappresentare un efficace e ulteriore supporto ai decisori per il passaggio dalla fase istruttoria (osservazione e conoscenza dei rischi climatici) alla fase progettuale e operativa (progetto di adattamento climatico).

Pertanto, in sintesi, dallo studio dello stato dell'arte, e in linea con i gap conoscitivi individuati dall'Unione Europea, emerge la necessità di integrare i quadri di conoscenza e le stime degli impatti in relazione ai contesti locali mediante processi di downscaling. Parallelamente emerge la necessità di relazionare i modelli di rischio e impatto con strategie e le soluzioni metaprogettuali di adattamento climatico per consentire un concreto supporto ai processi decisionali.

2.3. IL CONTRIBUTO DELLA CONOSCENZA PER LE PROPOSTE PROGETTUALI

Le capacità predittive dei progetti, nell'epoca della transizione verde e digitale, dipendono sempre più dall'integrazione e dall'elaborazione di dati e informazioni all'interno di strumenti di supporto ai processi decisionali. In questo contesto, la conoscenza dell'ambiente urbano e dei rischi climatici rappresentano un fattore chiave per migliorare la qualità dell'ambiente costruito e incrementare la resilienza ai disastri.

I Decision Support Systems (DSSs) sono sistemi informatici orientati al supporto decisionale e operativo in diversi campi del sapere. In campo progettuale i DDSs consentono di identificare i problemi, gli obiettivi e le esigenze prima, e stabilire poi i criteri per la selezione delle azioni progettuali di adattamento climatico, mediante la valutazione del rischio, l'identificazione delle opzioni e la verifica dell'appropriatezza delle soluzioni scelte. Una volta individuata l'azione è necessario avviare processi di monitoraggio e controllo degli impatti biofisici e socioeconomici in un processo induttivo e ciclico che mira alla riduzione degli impatti e all'incremento della resilienza (Noble et al., 2014; Figura 31).

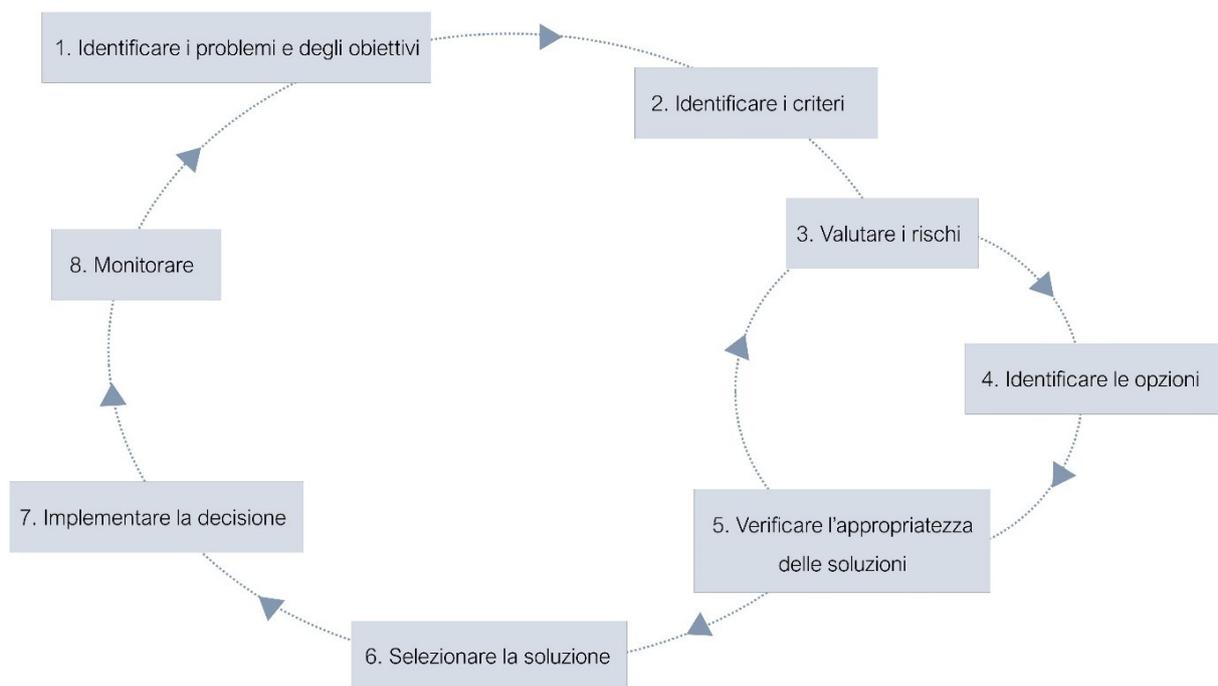


Figura 31. Framework concettuale per il supporto al progetto di adattamento climatico.
Elaborazione immagine a partire da Noble et al. (2014)

Vulnerabilità, esposizione ed hazard sono concetti fortemente legati ai contesti locali e, pertanto, dipendono in misura notevole dalle caratteristiche ecologiche, sociali, economiche, politiche e tecnologiche dei luoghi. Il progetto climate proof, in ambiente urbano costiero, richiede, pertanto,

DDSs caratterizzati da diverse scale spaziali e temporali (ETC/ACC, 2010a; ETC/ACC, 2010b; Hinkel et al., 2007).

La complessità che caratterizza l'ambiente urbano in regime di cambiamento climatico richiede di orientare processi e progetti attraverso l'elaborazione di modelli di supporto decisionale dinamici e aperti a processi continui di feedback loop (Tersigni, 2017). La scelta delle soluzioni progettuali, per essere efficace, si deve fondare su quadri conoscitivi ampi e articolati, multidisciplinari e compositi in grado di considerare sia la complessità che caratterizza i sistemi urbani sia le specificità dell'area progettuale. Pertanto, le analisi ambientali, gli indicatori, l'individuazione delle aree a rischio e del grado di rischio correlato sono fattori chiave per la valutazione delle alternative progettuali (Mussinelli e Tartaglia, 2021).

In ambiente GIS, mediante processi di analisi spaziale e operazioni di knowledge management, è possibile individuare le aree più critiche, parallelamente, l'utilizzo di indicatori tecnologici e ambientali consente di analizzare gli impatti e caratterizzare vulnerabilità ed esposizione per definire obiettivi e strategie di adattamento climatico. La metaprogettazione consente poi di passare, in sequenza, dalla definizione di obiettivi e strategie alla proposta di azioni e categorie di opere con associate soluzioni progettuali e tecniche (D'Ambrosio, 2018).

La costruzione dei cataloghi di alternative progettuali permette di effettuare analisi comparative e valutative mediante l'utilizzo di indicatori per la definizione dell'applicabilità e dell'efficacia prestazionale della soluzione. Gli indicatori prestazionali consentono, infatti, di definire target quantitativi per orientare le strategie e le linee di azioni, la relazione tra gli indicatori e le categorie di opere non è biunivoca, possono considerarsi sia scenari di tipo light, seguiti da successivi upgrade, sia scenari di deep retrofit, la scelta rimane sempre affidata ai progettisti (Losasso, 2017b).

Nell'analisi dei rischi di inondazione costiera e, in particolare, di inondazioni causate da eventi di Extreme Sea Level, la valutazione degli impatti sul patrimonio costruito parametrizzata in funzione dei danni economici può rappresentare un efficace strumento per la gestione del rischio e per l'individuazione degli ambiti prioritari d'intervento (hotspot).

I danni delle inondazioni possono essere distinti in diretti e indiretti caratterizzandosi per differenti variabili spaziali e temporali. I danni diretti sono di tipo istantaneo e derivano dall'interazione fisica tra l'acqua e gli elementi esposti; i danni indiretti possono oltrepassare i confini spaziali e temporali dell'area direttamente interessata dall'evento e sono quindi più difficili da quantificare. Entrambe le categorie di danno possono essere suddivise ulteriormente in danni tangibili e intangibili, appartengono ai danni tangibili i danni che sono quantificabili monetariamente, mentre i danni intangibili non possono essere direttamente calcolati in termini economici⁶¹, come, ad esempio, i danni connessi all'interruzione dei servizi di primari (energia elettrica, acqua, gas etc.) o i danni alle persone (Meyer et al., 2013; Habermann e Hedel, 2018; Armaroli, Duo e Viavattene 2019; Barbaro et al. 2020; Duo, Fernandez Montblanc e Armaroli, 2020; Tabella 5).

⁶¹ Negli ultimi anni sono stati sviluppati molteplici metodologie per cercare di quantificare in termini economici i danni intangibili, o danni immateriali. Tra le metodologie più note vi è la WTP – Willingness To Pay, in italiano disponibilità a pagare. Il metodo WTP indaga la disponibilità massima delle persone a pagare per un prodotto o servizio, identificando, quindi, anche per i danni intangibili un valore economico (Joseph, Proverbs e Lamond, 2015).

DANNI	TANGIBILI	INTANGIBILI
DIRETTI	Danni che derivano dall'interazione diretta tra l'hazard e gli elementi esposti e che possono essere quantificati monetariamente. Rientrano in questa tipologia i potenziali danni strutturali (fisici) alle infrastrutture.	Danni che non sono direttamente quantificabili monetariamente ma che dipendono dalla diretta interazione tra l'hazard e gli elementi esposti. Rientrano in questa tipologia i potenziali danni alla sicurezza e al benessere umano.
INDIRETTI	Danni che non derivano direttamente dall'interazione tra l'hazard e gli elementi esposti ma che possono essere, comunque, quantificati monetariamente. Rientrano in questa tipologia i danni operazionali che possono provocare l'interruzione dei trasporti.	Danni che non sono direttamente quantificabili monetariamente e che non derivano direttamente dall'interazione tra l'hazard e gli elementi esposti. Rientrano in questa tipologia i potenziali danni che impattano la funzionalità dei servizi, come i danni derivanti dai ritardi delle missioni di soccorso.

Tabella 5. Le quattro tipologie di danno. Elaborazione a partire da: Habermann e Hedel (2018)

L'analisi dei danni diretti e tangibili è comunemente effettuata mediante le curve di danno, tali curve associano a determinate altezze d'acqua il danno corrispondente (depht-damage) parametrizzando il danno in funzione dell'elemento esposto considerato (land use-based).

In letteratura esistono molteplici curve di danno, tra queste, nell'ambito delle banche dati del Joint Research Centre⁶² (JRC) si evidenziano le "global depht-damage function" per la copertura spaziale omogenea a livello europeo che caratterizza i dati differenziati per sei classi di land use e scala di riferimento economico nazionale (Huizinga et al., 2017).

Individuati gli ambiti di intervento prioritario e il grado di rischio correlato, definiti gli obiettivi e le strategie, la costruzione di un catalogo di soluzioni metaprogettuali può rappresentare un concreto supporto decisionale per passare dalla fase di conoscenza alla fase operativa.

⁶² Il Centro comune di ricerca (JRC), Joint Research Centre, è un servizio della Commissione europea che fornisce sostegno scientifico e tecnico ai paesi membri per lo sviluppo, l'attuazione e il controllo di politiche tecniche. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://ec.europa.eu/jrc/en>

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 2

- Abadie, L. M. (2018), "Sea level damage risk with probabilistic weighting of IPCC scenarios: An application to major coastal cities" in *Journal of Cleaner Production*, vol. 175, pp. 582-598. Available online: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.069.
- Abadie, L. M., Sainz de Murieta E., Galarraga I. (2016), "Climate Risk Assessment under Uncertainty: An Application to Main European Coastal Cities", in *Frontiers in Marine Science*, vol. 3. Available online: doi.org/10.3389/fmars.2016.00265.
- Abadie, L.M.; Sainz de Murieta, E.; Galarraga, I. (2020), "The Costs of Sea-Level Rise: Coastal Adaptation Investments vs. Inaction in Iberian Coastal Cities" in *Water*, vol. 12 (4). Available online: doi.org/10.3390/w12041220
- Ahmad, K., Pogorelov, K., Riegler, M., Conci, N., Halvorsen, P. (2019a), "Social media and satellites" in *Multimedia Tools Applications*, vol. 78, pp. 2837–2875. Available online: doi.org/10.1007/s11042-018-5982-9.
- Aliberti A., Guerri G. (2020), "Digital Terrain Model (DTM)" in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia*, Collana Studi e Progetti, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 187-190.
- Apollonio, C., Bruno, M.F., Iemmolo, G., Molfetta, M.G., Pellicani, R. (2020), "Flood Risk Evaluation in Ungauged Coastal Areas: The Case Study of Ippocampo (Southern Italy)" in *Water*, vol. 12(5). Available online: doi.org/10.3390/w12051466.
- Armaroli, C., Duo, E., Viavattene, C. (2019) "From Hazard to Consequences: Evaluation of Direct and Indirect Impacts of Flooding Along the Emilia-Romagna Coastline, Italy" in *Frontier in Earth Science*, vol. 7. Available online: doi.org/10.3389/feart.2019.0020
- Barbaro, G., Foti, G., Nucera, A., Barillà, G., Canale, C. Puntorieri, P., Minniti, F. (2020), "Risk Mapping of Coastal Flooding Areas. Case Studies: Scilla and Monasterace (Italy)", in *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 10, pp. 59-67. Available online: doi.org/10.18280/ijss.100108.
- Barroca, B., Serre, D. (2018), "Risks revealed by cartography – cartography renewed by the geovisualization of risks" in *International Journal of Cartography*, vol. 4:1, pp. 1-3. Available online: doi.org/10.1080/23729333.2018.1444376.
- Bates, P.D., De Roo, A.P.J. (2000), "A Simple Raster-Based Model for Flood Inundation Simulation" in *Journal of Hydrology*, vol. 236, pp. 54-77. Available online: doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X.
- Baumann, P. (2017) "The Datacube Manifesto." Available online: <http://www.earthserver.eu/tech/datacube-manifesto>.
- Bitelli, G., Gusella, L., Mognol, A. (2007), "Caratterizzazione delle immagini satellitari per la mitigazione, la risposta e il monitoraggio di eventi calamitosi naturali ed antropici" in *Atti 11a Conferenza Nazionale ASITA*, pp. 1-6. Available online: <http://atti.asita.it/Asita2007/Pdf/434.pdf>.
- Boettle, M., Kropp, J. P., Reiber, L., Roithmeier, O., Rybski, D., and Walther, C. (2011), "About the influence of elevation model quality and small-scale damage functions on flood damage estimation", in *Natural Hazards Earth System Science*, vol. 11, pp. 3327-3334, Available online: doi.org/10.5194/nhess-11-3327-2011, 2011.
- Breilh, J. F., Chaumillon, E., Bertin, X., and Gravelle, M. (2013), "Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France)", in *Natural Hazards Earth System Science*, vol. 13, pp. 1595–1612. Available online: doi.org/10.5194/nhess-13-1595-2013.
- Brivio, P. A., Lechi, G., Zilioli, E. (2006), *Principi e metodi di Telerilevamento*, CittàStudi Edizioni, ISBN: 9788825172935.
- Ceriola, G. (2019), "Open data satellitari", in *Geoexperience*, vol. 15, pp. 16-18. Available at: <https://www.planetek.it/newsrisorse/geoexperience/magazine>.
- Charriere, M., Junier, S.J., Mostert, E., Bogaard, T.A. (2012), "Flood risk communication: Visualization tools and evaluations of effectiveness", Science, policy and practice: closing the gap, proceedings of the 2nd European Conference on FLOOD risk Management, Rotterdam, The Netherlands, 20-22 November 2012, Available online: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:02a043cd-69a9-4e37-b719-145ccaf1c924>.
- D'Ambrosio, V. (2016b), "Innovazione e sperimentazione nei processi di conoscenza dell'ambiente costruito" in D'Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 48-57.

D'Ambrosio, V. (2020) "Progetto climate proof: indicatori, controllo e monitoring/Climate Proof Project: Indicators Control and Monitoring" in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia*, Collana Studi e Progetti, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 172-178.

D'Ambrosio, V. (2018) "Vulnerabilità climatica, scenari di impatto e strategie di adattamento per la città resiliente", in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 246-256. Available online: doi.org/10.13128/Techne-22097.

Di Martino, F., Sessa, S. (2016), "Processi di analisi spaziale per la gestione della conoscenza/Spatial analysis processes to manage the knowledge" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change - 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 58-69.

Duo, E., Fernandez Montblanc, T., Armaroli, C. (2020), "Semi-probabilistic coastal flood impact analysis: From deterministic hazards to multi-damage model impacts", in *Environment International*, vol. 143. Available online: doi.org/105884.10.1016/j.envint.2020.105884.

EC (2007a), *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)*. Available online: <http://data.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj>.

EC (2012), *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Una strategia europea per le tecnologie abilitanti - Un ponte verso la crescita e l'occupazione*. COM (2012) 341. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

ECIF - European Construction Industry Federation, (2017), "Making BIM a global success", available online: <https://www.fiec.eu/library/manifestos/fiec-manifesto-bim>.

ETC/ACC (2010a), "European coastal climate change impacts, vulnerability and adaptation; a review of evidence" ETC/ACC Technical Paper 2010/7, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change. Available at: http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP_2010_7_Coastal_IVA.

ETC/ACC (2010b), "Methods for assessing current and future coastal vulnerability to climate change", ETC/ACC Technical Paper 2010/8, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change. Available at:

http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP_2010_8_Coastal_vuln_methods.

EC (2013), "Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. An eu strategy on adaptation to climate change", COM (2013) 216 final, Bruxelles. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0216>.

Faghmous, J. H., Kumar, V., (2014), "A big data guide to understanding climate change: The case for theory-guided data science" in *Big Data*, vol. 2, pp. 155-163. Available online: doi.org/10.1089/big.2014.0026.

Fisher P., Tate T. (2006), "Causes and consequences of error in digital elevation models", in *Progress in Physical Geography*, vol. 30., pp. 467-489. Available online: doi.org/10.1191/0309133306pp492ra

Forkuo, E. K. (2011) "Flood Hazard Mapping using Aster Image data with GIS" in *International journal of geomatics and geosciences*, vol.1, n.4, pp. 932-950. Available at: <http://www.ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/EIJGGS2051.pdf>.

Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., Birdwell K.R. (1994), "The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast", in *Journal of Coastal Research*, vol. 12, pp. 327-338.

Habermann, N., Hedel, R. (2020), "Damage functions for transport infrastructure", in *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 9, pp. 420-434. Available online: doi.org/10.1108/IJDRBE-09-2017-0052.

Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. et al. (2013), "Future flood losses in major coastal cities", in *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 802-806. Available online: doi.org/10.1038/nclimate1979.

Hassani, H., Huang, X., Silva, E. (2019), "Big data and Climate Change", in *Big data and Cognitive Computing*, vol.3. Available online: doi.org/10.3390/bdcc3010012.

Hinkel, J., Klein, R. (2007), "Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change" in McFadden I., Nicholls R.J., Penning-Rowsell E.C. (eds.), 2007. *Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach*, Elsevier Science, Amsterdam, pp 384-395. Available online: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.03.002.

IPCC (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global*

greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press, 630 pp. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.

IPCC (2021), AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

Kenward T., Lettenmaier D., Wood E., Fielding E. 2000. Effects of Digital Elevation Model Accuracy on Hydrologic Predictions. In *Remote Sensing of Environment*, vol. 74, pp. 432-444. Available online: [doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00136-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00136-X).

Ki, J. (2018), "GIS and Big Data Visualization" in Rocha, J., Abrantes, P. *Geographic Information Systems and Science*, IntechOpen, cap.7. Available online: doi.org/10.5772/intechopen.82052

Kitchin, R., McArdle, G. (2016), "What makes Big Data, Big Data? Exploring the ontological characteristics of 26 datasets" in *Big Data Society*, vol. 3, pp. 1-10. Available online: doi.org/10.1177/2053951716631130

Leone, M.F. (2018), "Progetto resiliente e adattamento climatico" in Leone M., Tersigni E., *Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali*, Clean, Napoli, pp. 94-123.

Leone, M.F., Raven, J. (2018), "Metodi progettuali multiscalarari e mitigazione adattiva per la resilienza climatica delle città / Multi-Scale and 3 Adaptive-Mitigation Design Methods for Climate Resilient Cities", in *Techne, Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 299-310. Available online: [doi.10.13128/Techne-22076](https://doi.org/10.13128/Techne-22076)

Losasso, M. (2016) "L'apporto tecnologico e ambientale per la conoscenza dei distretti urbani" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 92-105.

Losasso, M. (2017b), "Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 152-174.

Losasso, M. (2021), "L'innovazione del progetto ambientale nel nuovo regime climatico/ Environmental Design Innovation in the New Climate Regime" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici e progetti pilota per l'adattamento climatico / Form Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptatio*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 7-10.

Maglione, P., Parente, C., Vallario, A. (2013), "Estrazione della linea di costa da immagini satellitari ad alta risoluzione WorldView-2" in *Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio*, atti VII workshop tematico ENEA, San Martino in Pensilis (CB) 13-14 giugno 2013, pp. 19-20. Available online: https://www.enea.it/it/seguici/events/telerilevamentogi_u13/Telerilevamento_2013_pg.pdf.

Marcy D., Brooks W., Draganov K., Hadley B., Haynes C., Herold N., McCombs J., Pendleton M., Ryan S., Schmid K., Sutherland M., Waters K. 2011. *New Mapping Tool and Techniques for Visualizing Sea Level Rise and Coastal Flooding Impacts*. Available online: [doi.org/10.1061/41185\(417\)42](https://doi.org/10.1061/41185(417)42).

Md ali, A., Solomatine, D., Di Baldassarre, G. (2015), "Assessing the impact of different sources of topographic data on 1-D hydraulic modelling of floods", in *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 19, pp. 631-643. Available online: doi.org/10.5194/hess-19-631-2015.

Melet, A. et al. (2021), "European Copernicus Services to Inform on Sea-Level Rise Adaptation: Current Status and Perspectives", in *Frontiers in Marine Science*, vol. 8. Available online: doi.org/10.3389/fmars.2021.703425.

Mercogliano, P., Rianna, G., Zollo, N.C. (2016), "Scenari di cambiamento climatico su aree urbane: problematiche di downscaling/ Climate change scenarios at urban scale: the downscaling iusse" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 208-217.

Meyer, V et al. (2013). "Assessing the Costs of Natural Hazards - State-of-the-art and Knowledge Gaps", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1351-1373, 2013.. *Natural hazards and earth system sciences*. Available online: doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013.

Mussinelli, E., Tartaglia, A. (2021), "Organizzare la conoscenza secondo criteri site-specific/Organizing Knowledge according to Site-Specific Criteria" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici e*

progetti pilota per l'adattamento climatico / From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptation, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 35-44.

Nativi, S., Mazzetti, P., Santoro, M., Papeschi, F., Craglia, M., Ochiai, O. (2015), "Big Data challenges in building the Global Earth Observation System of Systems" in *Environmental Modelling & Software*, vol. 68, pp. 1-26. Available online: doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.01.017.

Noble, I.R., Huq S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudon, D., Lansigan, F.P. et al (2014), "Adaptation needs and options" In: Field CB et al. (eds) *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 833-868. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

Özyurt, G., (2007), "Vulnerability of coastal areas to sea level rise: a case of study on Göksu Delta", Thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle-East Technical University. Available online: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608146/index.pdf>.

Özyurt, G., Ergin, A., Baykal, C. (2010), "Indicator based coastal vulnerability assessment model to sea level rise" in *Coastal Management, Environment, and Risk*, vol. 32. Available online: <https://doi.org/10.9753/icce.v32.management.6>

Peduzzi, P., Herold, H.D.C. (2005), "Mapping disastrous natural hazards using global datasets", in *Natural hazards*, vol. 35, pp. 265-289. Available online: doi.org/10.1007/s11069-004-5703-8

Peggion, M., Bernardini, A., Masera, M. (2008), *Geographic information systems and risk assessment*, Technical report, Joint Research Centre - European Union, EUR 23058 EN, Luxembourg (Luxembourg). Available online : <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC42503>.

Pollard, J.A., Spencer, T., Jude S. (2018) "Big Data Approaches for coastal flood risk assessment and emergency response", in *WIREs Climate Change*, vol. 9. Available online: doi.org/10.1002/wcc.543.

Prahl B.F., Boettle M., Costa L., Kropp J.P., Rybski D. (2018), "Damage and protection cost curves for coastal floods within the 600 largest European cities", in *Scientific Data*, vol. 5. Available online: doi.org/10.1038/sdata.2018.34.

Prahl, B., Rybski, D., Boettle, M., Kropp, J. (2016), "Damage functions for climate-related hazards: Unification and uncertainty analysis", in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, pp. 1189-1203. Available online: doi.org/10.5194/nhess-16-1189-2016.

Purss, M., Peterson, P., Strobl, P., Dow, C., Sabeur, Z., Gibb, R., Ben, J. (2019), "Datacubes: A Discrete Global Grid Systems Perspective" in *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 54, pp. 63-71. Available online: doi.org/10.3138/cart.54.1.2018-0017.

Roth, F. (2012), *Visualizing Risk: The Use of Graphical Elements in Risk Analysis and Communications*, CSS Risk and Resilience Reports. Available online: https://css.ethz.ch/en/publications/risk-and-resilience-reports/details.html?id=ff/o/c/a/focal_report_9_visualizing_risk.

Russo Ermolli S., Tersigni E. (2014) "Strumenti ICT e banche dati per il controllo integrato del processo edilizio", Sessa S., Di Martino F., Cardone B. (a cura di), *GIS Day 2013. Il GIS per il governo e la gestione del territorio*, Aracne editrice, Roma, 2014.

Russom, P. (2011), *BIG DATA ANALYTICS*, TDWI best practices report.

Samanta, S., Pal, D.K., Palsamanta, B. (2018), "Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model" in *Applied Water Science*, vol. 8. Available online: doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1.

Satta, A., Puddu, M., Venturini, S., and Giupponi, C. (2017), "Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: The case of the Mediterranean region", in *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 24, pp. 284-296. Available online: doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.018.

Schmidt Di Friedberg, P. (1987). *Gli indicatori ambientali: valori, metri e strumenti nello studio dell'impatto ambientale*, Franco Angeli, Milano.

Shepard, C.C., Agostini, V.N., Gilmer, B. et al. (2012), "Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York", in *Natural Hazards*, vol. 60, pp. 727-745. Available online: doi.org/10.1007/s11069-011-0046-8.

Strobl, P., Baumann, P., Lewis, A., Szantoi, Z., Killough, B., Purss, M., Craglia, M., Nativi, S., Held, A., Dhu, T. (2017), "The Six Faces of the Data Cube", in: *Big Data from Space*, 28-30 November 2017, Toulouse, Big Data from Space, 2017, ISBN 978-92-79-73527-1, p. 32-35, JRC110065. Available online:

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC110065>

Szlafsztein, C., Sterr, H., (2007), "A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, State of Para, Brazil" in *Journal of Coastal Conservation*, vol. 11(1), pp. 53–66. Available online: <https://doi.org/10.1007/s11852-007-0003-6>.

Tersigni, E. (2017) "Strumenti digitali per il controllo ambientale del progetto adattivo" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 214-226.

Tersigni, E. (2018a) "Simulare e misurare il progetto resiliente" in Leone M., Tersigni E., *Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali*, Clean, Napoli, pp. 74-93.

Thépaut, J., Dee, D., Engelen R. and Pinty, B. (2018) "The Copernicus Programme and its Climate Change Service," IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2018, pp. 1591-1593. Available online: doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518067.

Vautard, R. (2018), "Regional Climate Projections", in: Troccoli A. (eds) *Weather & Climate Services for the Energy Industry*, Springer International Publishing, pp. 139-149. Available online: doi.org/10.1007/978-3-319-68418-5_10.

World Bank (2019), *Information and Communication Technology for Disaster Risk Management in Japan: How Digital Solutions are Leveraged to Increase Resilience through Improving Early Warnings and Disaster Information Sharing*, World Bank, Washington, D.C.. available online: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/979711574052821536/pdf/Information-and-Communication-Technology-for-Disaster-Risk-Management-in-Japan.pdf>.

Yu, M., Yang, C., Li, Y. (2018), "Big Data in Natural Disaster Management: A Review" in *Geosciences*, vol. 8, pp. 1-26. Available online: doi.org/10.3390/geosciences8050165.

Zhou, Y., Liu, G., Fu, E., Zhang, K. (2009), "An object-relational prototype of GIS-based disaster database", In *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 1, pp. 1060-1066. Available online: doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.163

CAPITOLO 3
IL MODELLO Coast-RiskBySea
PER L'OSSERVAZIONE E LA CONOSCENZA DEL RISCHIO
DI INONDAZIONE COSTIERA

Nel **terzo capitolo**

è introdotto e applicato al caso studio il modello Coast-RiskBySea: COASTal zones RISK assessment for Built environment by extreme SEA level. Il modello si pone come strumento di conoscenza innovativo del rischio di inondazione costiera orientato al supporto decisionale per il progetto di adattamento climatico. Definito il framework concettuale e le fasi di costruzione, l'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea è condotta sulla città di Napoli, validando i risultati mediante la definizione dell'accuratezza. Il modello è stato poi testato su altri due casi studio, Barcellona e Marsiglia, selezionati nell'ambito delle città-porto euromediterranee, al fine di definire la replicabilità e l'affidabilità dell'approccio.

PAROLE CHIAVE

Cost-RiskBySea, rischio climatico, ESL, GIS, Copernicus data, funzioni di danno

3.1. LA PROPOSTA DEL MODELLO Coast-RiskBySea: COASal zones RISK assessment for Built environment by extreme SEA level

Sulla base dei riferimenti teorici esposti e delle criticità individuate nello stato dell'arte, la ricerca intende proporre un modello per la valutazione del rischio di inondazione costiera, per le aree urbane, orientato al supporto decisionale per il progetto di adattamento climatico ai fenomeni di inondazioni costiera. Il modello proposto può essere sintetizzato con l'acronimo CoastRiskBySea: COASal zones RISK assessment for Built environment by extreme SEA level⁶³.

Il rischio, in funzione degli scenari climatici di Extreme Sea Level⁶⁴ (ESL), è parametrizzato in termini di potenziali danni economici diretti e tangibili mediante un'analisi land use-based⁶⁵, elaborata in ambiente GIS, e caratterizzata da un approccio gridded data⁶⁶. La scala del modello, anche grazie all'utilizzo dei dati di origine telerivata, si rapporta con analisi a scala urbana, consentendo, quindi, di valutare le caratteristiche insediative e geomorfologiche che influenzano il rischio e che possono essere migliorate attraverso specifiche azioni di adattamento.

Con l'obiettivo di privilegiare gli aspetti di replicabilità dell'approccio, mediante la proposta di un modello semplificato ma affidabile e implementabile, particolare attenzione è stata data ai dati open source disponibili e omogenei con copertura spaziale nazionale o europea.

Come prima applicazione sperimentale, il modello è stato testato sulla città di Napoli e in seguito, per verificare la replicabilità dell'approccio, è stato testato sulle città di Barcellona, in Spagna, e Marsiglia, in Francia. I risultati ottenuti sono stati poi comparati per definire l'affidabilità, le potenzialità e criticità del modello stesso.

3.1.1. Framework concettuale

Obiettivo del modello Coast-RiskBySea è analizzare e classificare il rischio di inondazione per le città costiere europee parametrizzato in funzione dei potenziali danni economici. La metodologia proposta segue il framework concettuale per la valutazione del rischio individuato nei report AR5 e AR6 dell'IPCC: il rischio climatico è calcolato come funzione dell'interazione tra la vulnerabilità, l'esposizione e l'hazard (IPCC, 2014a; IPCC, 2021).

A partire dallo stato dell'arte e, in particolare, dall'analisi dei modelli in tabella 3⁶⁷, è stato elaborato un modello, in ambiente GIS, combinando l'uso di diversi dati open source e omogenei per il territorio europeo. Il rischio, land use-based, è valutato in termini dei potenziali danni economici diretti e

⁶³ Letteralmente può essere tradotto come: modello di valutazione del rischio costiero per l'ambiente urbano costruito dovuto a eventi di livello estremo del mare.

⁶⁴ Eventi estremi di altezza dell'acqua risultanti dalla sommatoria di hazard gradualmente (innalzamento graduale del livello del mare) e improvvisi (maree, mareggiate e onde da vento).

⁶⁵ L'approccio land use-based si caratterizza per la valutazione del rischio condotta a partire dall'analisi dell'indicatore di land use.

⁶⁶ L'approccio gridded data si caratterizza per la valutazione dei rischi climatici effettuata a partire dalla semplificazione del territorio in un reticolo di riferimento vettoriale, regolare e georeferenziato caratterizzato da unità territoriali omogenee di forma esagonale.

⁶⁷ Tabella 3, capitolo 2, paragrafo 2.2.2.

tangibili su una griglia vettoriale di riferimento esagonale, utilizzando un approccio gridded data. La scala del reticolo di riferimento, su cui il rischio è calcolato, si relaziona con analisi alla scala urbana, ogni cella è un'unità spaziale omogenea georeferenziata in cui sono caricati gli attributi derivati da database differenziati ai fini del calcolo di esposizione, vulnerabilità e hazard.

Su ogni cella, il Coast-RiskBySea è, quindi, calcolato mediante un'equazione che combina il land use derivato dal database Copernicus Coastal Zones 2018 (CZ LC/LU, 2018), le curve di danno, derivate dalle global depth-damage functions elaborate dal Joint Research Centre dell'Unione Europea (JRC) (Huizinga et al., 2017), l'elevazione altimetrica media costiera derivata dai Digital Terrain Models (DTMs) e le proiezioni climatiche di Extreme Sea Level (ESL) (Vousdoukas et al., 2018) (Figura 32).

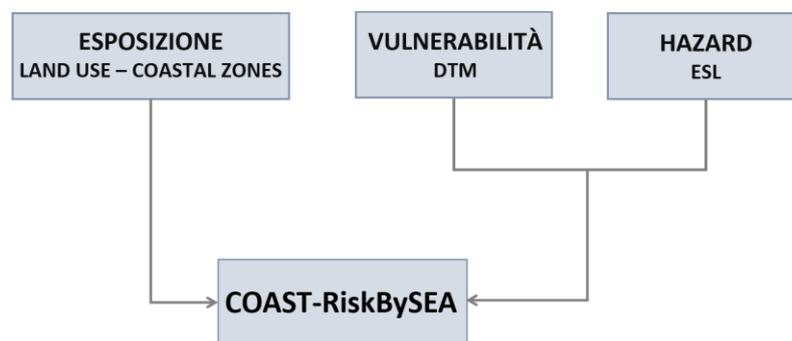


Figura 32. Framework concettuale del modello Coast-RiskBySea, derivato dai modelli IPCC (R5, AR6)

Ai fini della proposta di un modello semplificato, il territorio è approssimato sia nelle caratteristiche geomorfologiche che insediative. Ogni cella si caratterizza per un unico valore di land use corrispondente all'uso del suolo con maggiore estensione superficiale, parallelamente per il calcolo del parametro di vulnerabilità viene considerata la sola elevazione costiera media e, pertanto, non sono prese in considerazione tutte quelle caratteristiche geomorfologiche dei territori che definiscono la forma del suolo e che influenzano gli impatti dell'hazard come, ad esempio, le pendenze.

Il workflow operativo è caratterizzato da 4 step principali (Figura 20):

1. Creazione del reticolo vettoriale di riferimento e intersezione con il land use ricavato dal database Copernicus Coastal Zones 2018, definendo unità territoriali minime e omogenee.
2. Calcolo dei potenziali scenari di danno land use-based, combinando gli elementi esposti e le global depth-damage functions elaborate dal Joint Research Centre.
3. Calcolo dei potenziali scenari di danno land use and coastal elevation based, mediante l'introduzione del parametro di vulnerabilità locale⁶⁸, espressa in termini di elevazione altimetrica media delle celle rispetto al livello del mare e ricavata dal Digital Terrain Model (DTM), e dell'hazard, valutato in funzione delle proiezioni dell'ESL. Le celle che si trovano al di sotto del livello di ESL atteso sono considerate inondate e in queste aree sono identificati i potenziali danni economici.

⁶⁸ Per relazionare esposizione e vulnerabilità, i valori di elevazione costiera media sono classificati secondo gli intervalli identificati dalle curve di danno del JRC.

4. Elaborazione delle carte di output Coast-RiskBySea mediante l'individuazione di cinque classi di rischio classificate in funzione dei potenziali scenari di danno.

3.1.2. Le fasi di costruzione del modello

Il modello si caratterizza pertanto per quattro step principali (Figura 33), di seguito si riportano i dettagli operativi.

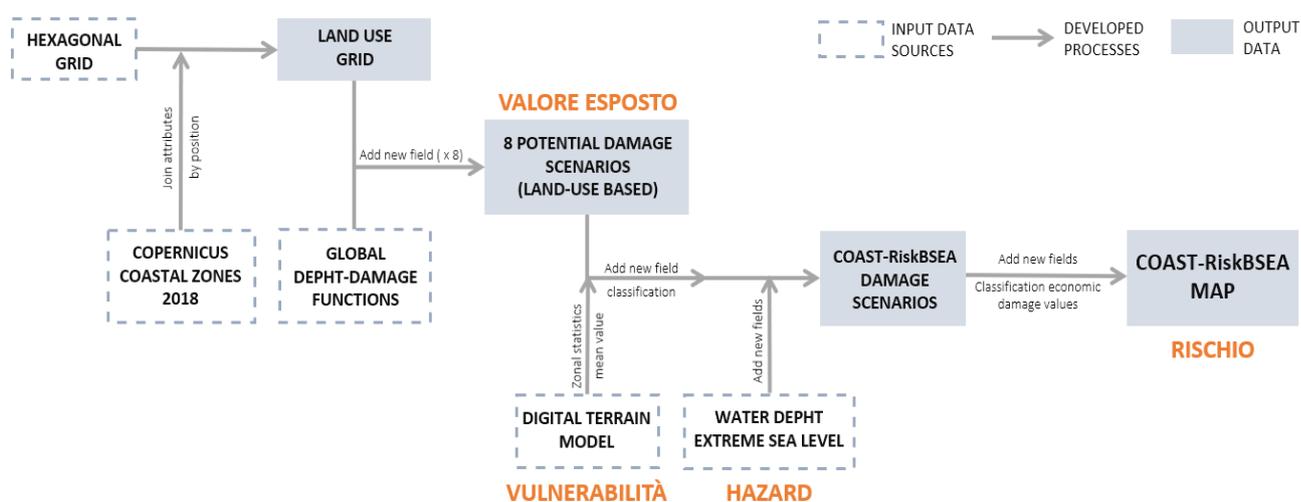


Figura 33. Workflow operativo del modello Coast-RiskBySea

1° step: land use grid

A partire dalla creazione di un reticolo vettoriale caratterizzato da celle esagonali⁶⁹ regolari con apotema pari a 15m ed estensione superficiale di circa 779.5 m² il territorio è semplificato secondo l'approccio gridded data e i calcoli sono approssimati al land use che prevale dal punto di vista areale⁷⁰. La risoluzione spaziale delle celle si relaziona direttamente alle caratteristiche di risoluzione spaziale dei dati di input, rapportandosi con valutazioni alla scala urbana.

I dati di land use sono ricavati dalle banche dati del servizio europeo Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), in particolare dal nuovo database Copernicus Coastal Zones 2018. Il database fornisce un Land Cover/Land Use (LCLU) dettagliato e continuo per tutti i dell'Unione Europea, per una fascia costiera caratterizzata da uno spessore di 10 km, identificando 71 classi tematiche (CZ LC/LU, 2018).

⁶⁹ Per la costruzione del reticolo, la forma esagonale risulta ottimale per le modellazioni dell'ambiente urbano costiero, l'esagono, infatti, rispetto al quadrato è una forma più compatta e fornisce, quindi, un campionamento più accurato. Il grigliato esagonale permette, inoltre, di coprire le forme sferiche come il globo terrestre e, essendo la "lunghezza di contatto" la stessa su ciascun lato, la connettività risulta uniforme (White et al., 2013; Carlucci, 2017).

⁷⁰ L'unione è realizzata in ambiente GIS mediante l'operatore di unione spaziale.

Il reticolo risultante è una semplificazione del territorio classificato in base alla nomenclatura Copernicus CZ LC/LU. Ogni cella è georeferenziata e costituisce un'unità territoriale omogenea, caratterizzata dalla classe con maggiore estensione superficiale.

2° step: scenari potenziali di danno (land use based)

Il secondo step è la stima dei potenziali scenari di danno derivante dai fenomeni di inondazione costiera. Per valore esposto è considerato il sistema fisico urbano classificato in termini di land use e gli impatti sono valutati in funzione dei potenziali danni economici, diretti e tangibili, quantificati economicamente mediante l'introduzione delle funzioni di danno.

Per calcolare il danno sono state introdotte le "global depth-damage functions" elaborate dal Joint Research Centre dell'Unione Europea (JRC). Tali funzioni si caratterizzano per la copertura spaziale omogenea a livello europeo e risultano, quindi, ottimali per il framework del modello Coast-RiskBySea, consentendo la replicabilità delle analisi su tutti i territori europei⁷¹.

Le "global depth-damage functions" associano l'altezza dell'acqua, espressa in metri, con il massimo danno possibile, differenziato per classi di land use ed espresso in funzione di un indice normalizzato e del danno massimo (€/m²) stimato su scala nazionale. Le curve si differenziano per sei classi di land use identificando aree ad uso: residenziale, commerciale, industriale, trasporto stradale e ferroviario, infrastrutturale e agricolo⁷² (Huizinga et al., 2017).

Allo scopo di relazionare i due database, la nomenclatura CZ LC/LU 2018 è associata alla nomenclatura delle curve di danno, secondo le relazioni individuate in tabella (Tabella 6). Identificate tali relazioni, per calcolare i potenziali scenari di danno, sono creati otto nuovi campi in funzione delle altezze d'acqua individuate dal JRC (+0,50m; +1,00m, +1,50m; +2,00; +3,00; +4,00; +5,00; +6,00). Per ogni campo il danno è calcolato su ogni cella mediante un'equazione che associa il land use (Copernicus), l'area delle celle esagonali, l'indice normalizzato e il potenziale danno massimo espresso in €/m² per i fenomeni di inondazione⁷³.

Pertanto, sono calcolati otto potenziali scenari di danno corrispondenti alle otto altezze d'acqua individuate dal JRC. Il risultato è una casistica di potenziali danni diretti e tangibili ai fenomeni di inondazione calcolati per ogni cella e differenziati in base alla sola esposizione, la vulnerabilità, parametrizzata in funzione dell'elevazione altimetrica media, è introdotta nel 3° step.

⁷¹ In letteratura esistono molteplici curve di danno che forniscono stime site-specific, ricavate a partire da indagini condotte su eventi realmente accaduti, tuttavia, rappresentando la replicabilità dell'approccio, sul piano spaziale dell'unione europea un requisito fondamentale, sono state individuate le funzioni di danno elaborate dal JRC.

⁷² In dettaglio, le curve di danno per le aree residenziali, commerciali e industriali sono disponibili in tre versioni: building-based, land use-based o object-based. Nell'ambito delle funzioni building-based sono, inoltre, differenziate per: danni alla struttura, danno al contenuto, danni totali. I potenziali danni €/m² per le infrastrutture e i sistemi di trasporto sono calcolati sulla base dei valori di danno massimo stimato per continente ricampionato alla scala nazionale mediante l'introduzione del PIL locale. Infine, per le aree agricole il danno massimo è fornito per €/ha².

I potenziali danni sono stimati secondo i costi massimi al 2010.

⁷³ L'indice normalizzato e il danno massimo sono derivati dalle funzioni di danno del JRC e, come anticipato, differenziati per classi di land use.

Land use class Copernicus coastal zones	Land use class global depth- damage functions	Max damage €/m ²	Flood depth (m)	Normalized index
11110 - Continuous urban fabric (IMD ≥80%) 11120 - Dense urban fabric (IMD ≥30-80%) 11130 - Low density fabric (IMD <30%)	Residential	148.00€	0	0.00
			0,50	0.25
			1,00	0.40
			1,50	0.50
			2,00	0.60
			3,00	0.75
			4,00	0.85
			5,00	0.95
11210 - Industrial, commercial, public and military units (other) 14000 - Green urban, sports and leisure facilities 12350 – Marinas 12360 - Local multi-functional harbours	Commercial	308.00€	0	0.00
			0,50	0.15
			1,00	0.30
			1,50	0.45
			2,00	0.55
			3,00	0.75
			4,00	0.90
			5,00	1.00
12370 - Shipyards	Industrial	251.00€	0	0.00
			0,50	0.15
			1,00	0.27
			1,50	0.40
			2,00	0.52
			3,00	0.70
			4,00	0.85
			5,00	1.00
12100 - Road networks and associated land 12200 - Railways and associated land	Infrastructures (roads and railways)	625.00€	0	0.00
			0,50	0.25
			1,00	0.42
			1,50	0.55
			2,00	0.65
			3,00	0.80
			4,00	0.90
			5,00	1.00
12310 - Cargo port 12320 - Passenger port 12330 - Fishing port 12340 - Naval port 12400 - Airports and associated land	Transport	21.00€	0	0.00
			0,50	0.32
			1,00	0.54
			1,50	0.70
			2,00	0.83
			3,00	1.00
			4,00	1.00
			5,00	1.00
21100 – Arable irrigated and non-irrigated land 21200 - Greenhouses 22100 - Vineyards, fruit trees and berry plantations 22200 - Olive groves 23100 - Annual crops associated with permanent crops 23200 - Complex cultivation patterns 23300 - Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation 23400 - Agro-forestry	Agriculture	2.20€	0	0.00
			0,50	0.30
			1,00	0.55
			1,50	0.65
			2,00	0.75
			3,00	0.85
			4,00	0.95
			5,00	1.00
6,00	1.00			

Tabella 6. La relazione tra le classi d'uso del suolo (Copernicus) e le funzioni di danno

3° step: scenari di danno Coast-RiskBySea

Individuati i possibili scenari di danno per gli otto valori di altezza d'acqua, è stato introdotto il parametro della vulnerabilità che, in questo contesto, è valutata in funzione dell'elevazione altimetrica media rispetto al livello del mare. Nel caso di hazard costieri, infatti, la geomorfologia dei territori costituisce un aspetto fondamentale per l'analisi e la valutazione dei rischi: valori altimetrici più bassi corrispondono a vulnerabilità più alte.

I valori di elevazione costiera possono essere ricavati dai rilievi DTM⁷⁴, le caratteristiche di accuratezza e risoluzione influenzano notevolmente la modellazione dell'ambiente, per analisi attendibili è importante disporre di modelli DTM con adeguata risoluzione spaziale e altimetrica (Kenward et al., 2000). Ad esempio, nel caso studio di Napoli la risoluzione spaziale è 1x1m, l'accuratezza altimetrica +/- 15 cm.

Mediante la funzione "statistiche zonali" tra il reticolo esagonale di land use e il rilievo Raster DTM, per ogni cella è stato calcolato il valore altimetrico medio, i valori sono stati poi classificati secondo gli intervalli individuati dalle funzioni di danno del JRC allo scopo di associare l'elevazione costiera e i potenziali scenari di danno.

Infine, per calcolare il Coast-RiskBySea, sono identificati gli scenari di hazard e i potenziali scenari di rischio sono definiti in funzione dell'hazard. Come anticipato, gli episodi climatici estremi contribuiranno al SLR intensificando il rischio di coastal flooding (Wahl, Haigh e Nicholls, 2017). Per hazards sono, quindi, considerate le proiezioni climatiche di Extreme Sea Level⁷⁵ (ESL) che integrano sia la componente di hazard graduale (come il SLR) che quella improvvisa (come le mareggiate). Nell'ambito delle banche dati open source del JRC, è disponibile un dataset per gli scenari di ESL omogeneo a scala europea. I valori sono espressi in funzione degli scenari RCP, del tempo di ritorno e del percentile e si riportano con la scala comunale (Vousdoukas et al., 2018).

Una volta identificato lo scenario, è possibile stimare, per ogni cella, i potenziali danni economici attesi (in euro). In virtù di una modellazione statica e semplificata del fenomeno, tutto ciò che risulta sotto il livello dell'acqua atteso viene considerato inondato senza tenere in considerazione eventuali fenomeni di incremento o decremento del fenomeno. I danni economici, quindi, sono calcolati mediante un'equazione che combina l'altezza dell'acqua (hazard), il valore altimetrico medio (vulnerabilità) e i relativi scenari di danno land use based (esposizione).

4° step: Coast-RiskBySea mappe di rischio

Identificate le aree interessate da inondazioni per eventi di ESL e valutati, in funzione del valore esposto, i potenziali danni economici, diretti e tangibili, correlati, il Coast-RiskBySea è identificato e classificato per ogni cella.

A partire dai potenziali scenari di danno, ai fini di una visualizzazione sintetica dei risultati orientata al supporto decisionale, l'indice di danno economico atteso, diretto e tangibile, per cella è classificato in

⁷⁴ Il DTM, Digital Terrain Model o Modello Digitale del Terreno, è un modello altimetrico telerilevato e multisorgente, prevalentemente ottenuto mediante rilievo aereo e disponibile in formato Raster.

⁷⁵ Gli eventi di ESL considerano l'azione congiunta di hazard gradualmente, livello medio del mare (mean sea level rise – MSLR), ed improvvisi come maree (tides – T), delle onde da vento (wind waves – WW) e delle onde da tempesta (storm surges – SS).

cinque classi di rischio. Le mappe di rischio di inondazione costiera consentono, infatti, di identificare e visualizzare rapidamente, sul piano spaziale, le aree o gli elementi impattati e i potenziali danni correlati (Excimap, 2007).

A partire dagli intervalli economici individuati in tabella, sono identificate cinque classi di rischio: molto alto, alto, medio, basso e molto basso (Tabella 7).

Legenda	Intervalli economici di danni attesi (€)	Classi Coast-RiskBySea
	2.000 - 5.000 €	molto basso
	5.000 € - 30.000 €	basso
	30.000 € - 100.000 €	medio
	100.000 € - 200.000 €	alto
	200.000 € - 500.000 €	molto alto

Tabella 7. Classificazione del rischio in funzione dei potenziali danni economici

Le mappe di output risultanti sono sintetiche e user-friendly in modo da consentire il supporto ai decisori, ad ogni classe di rischio è assegnato un colore.

Nonostante la visualizzazione sintetica, in ogni cella sono contenuti tutti i dati in forma di attributi spaziali, tra questi i potenziali danni economici (€), l'elevazione costiera media (m) e l'uso del suolo prevalente (in funzione delle classi di land use Copernicus). Le informazioni possono essere, inoltre, continuamente modificate, implementate, processate e combinate per il supporto decisionale a progettisti e pianificatori ma anche ad altri enti, pubblici o privati, come istituzioni o enti assicurativi.

3.2. APPLICAZIONE SPERIMENTALE DEL MODELLO SULLA CITTÀ DI NAPOLI

Come primo caso studio, l'approccio è stato testato sull'area costiera del Comune di Napoli, in Campania. La città insiste sull'omonima baia, bagnata dal Mar Tirreno, ed è una delle più grandi conurbazioni urbane del Mediterraneo occidentale.

Sul piano geomorfologico la baia di Napoli è caratterizzata da una geomorfologia costiera ricca e complessa: si alternano pianure costiere, scogliere e colline, l'intera baia è esposta a molteplici rischi geomorfologici, come inondazioni, frane e instabilità della costa, bradisismo e rischio vulcanico (De Pippo et al., 2007; Valente, Stamatopoulos e Donadio, 2014). Sul piano insediativo l'area è densamente urbanizzata e può essere classificata come "techno-coast⁷⁶", nonostante la densa antropizzazione il golfo si caratterizza per la presenza di habitat ad alto valore naturale. Sul piano climatico, a causa dell'orografia che caratterizza il territorio, le aree urbane che insistono sulla costa sono altamente vulnerabili ai fenomeni di inondazione costiera. Sulla costa si localizzano, peraltro, importanti attività, beni e servizi e, al contempo, molteplici sono i siti archeologici di altissimo valore culturale e socioeconomico esposti che richiedono urgenti misure per la loro conservazione (Ascione et al., 2020; Mattei et al., 2020; Mattei et al., 2021). Gran parte della costa è sito patrimonio UNESCO⁷⁷ o buffer zone.

Come per le altre città costiere mediterranee, anche a Napoli i fenomeni di inondazione costiera saranno sempre più frequenti ed intensi. In termini climatici al 2100 le proiezioni elaborate da Vousdoukas et al., 2018, per lo scenario RCP 8.5 ed eventi caratterizzati da un tempo di ritorno di 100 anni e 95esimo percentile, stimano eventi caratterizzati da valori di ESL di circa 3,20m, mentre secondo gli stessi parametri ma al 2050 sono attesi eventi di ESL caratterizzati da altezze d'acqua di circa 1,90m. Le proiezioni di ESL, al 2050 e al 2100, individuate da Vousdoukas et al. (2018) sono parametrizzate in funzione dello scenario RCP, del periodo di ritorno (RT) e del Percentile (%), e sono espresse in metri; i valori, campionati per l'area di Posillipo, sono riportati in tabella (Tabella 8).

AREA DI CAMPIONAMENTO	SCENARIO		ESL _ Periodo di ritorno (RT) e Percentile (%)		
			RT 100yr - 5%	RT 100yr - 50%	RT 100yr - 95%
Posillipo 40°49'04.4"N 14°12'12.7"E	RCP 4.5	2050	1,38m	1,51m	1,72m
		2100	1,61m	1,80m	2,15m
	RCP 8.5	2050	1,49m	1,62m	1,87m
		2100	1,823m	2,10m	3,22m

Tabella 8. Proiezioni climatiche di ESL, dati derivati da (Vousdoukas et al., 2018)

⁷⁶ Per technocoast si intende una costa altamente artificiale e ingegnerizzata, l'intensa urbanizzazione che caratterizza questa tipologia di coste rende irriconoscibile l'ambiente naturale (Valente et al., 2014).

⁷⁷ Napoli, città fondata dai Greci nel 470 a.C., è una delle città più antiche d'Europa, l'UNESCO riconosce circa 10,2km² come aree patrimonio dell'umanità e circa 13,5km² come aree buffer. <http://whc.unesco.org/en/list/726/>

3.2.1. Processi di analisi spaziale per l'implementazione del modello

Come anticipato, per l'applicazione sperimentale sulla città di Napoli, il database Copernicus Coastal Zones è stato utilizzato per l'analisi del land use, l'elevazione costiera è stata derivata dal DTM, le proiezioni climatiche di ESL sono state considerate come hazard, infine, le global depth-damage functions sono state utilizzate per tradurre gli impatti climatici in danni economici, diretti e tangibili. I dati di input, i riferimenti e le caratteristiche principali sono identificati e descritti in tabella (Tabella 9).

PARAMETRO	INPUT DATA	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO
Land-use	Copernicus Coastal zones 2018	Il database Copernicus Coastal Zones 2018 è ricavato nell'ambito dei dati offerti dal Copernicus Land Monitoring Service e fornisce le informazioni di LCLU (identificando 71 classi) su una fascia continua di 10km di spessore per tutte le zone costiere europee. Le immagini di riferimento sono del 2018 e la scala varia tra 1:5.000 e 1:10.000, prevalentemente per le aree agricole e verdi. La risoluzione spaziale minima, Minimum Mapping Width (MMW), è 10m.	CZ LC/LU, 2018
Curve di danno	Global depth-damage functions	Le global depth-damage functions sono elaborate dal Joint Research Centre dell'Unione Europea allo scopo di quantificare, in termini economici, gli impatti delle inondazioni sull'ambiente costruito. Tali funzioni associano le potenziali altezze dell'acqua con degli indici normalizzati di danno, differenziati per le classi d'uso del suolo. Parallelamente forniscono i costi €/m ² stimati a livello nazionale derivanti dai potenziali impatti. I dati sono disponibili a livello europeo e sono omogenei alla scala nazionale.	Huizinga et al., 2017
Elevazione costiera	DTM - Digital Terrain Model	Il DTM per l'area di Napoli (caso studio) è fornito dal MITE, precedentemente MATTM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, oggi Ministero della Transizione Ecologica (MITE). L'immagine, in formato Raster, è caratterizzata da celle (pixel) 1m x 1m ad ogni cella è associato un valore altimetrico (DN), la cui precisione sull'asse z di +/- 15cm. L'Italia dispone di un rilievo omogeneo delle coste ottenuto mediante tecnica LIDAR nell'ambito del Piano Nazionale di Telerilevamento.	MATTM, 2007
ESL - Extreme Sea Level	Global Extreme Sea Level projections	Le proiezioni climatiche di ESL sono elaborate dal Joint Research Centre dell'Unione Europea nell'ambito del progetto LISCoAsT. I valori di ESL sono la risultante della sommatoria della componente di hazard graduale, livello medio del mare (mean sea level rise- MSLR), e delle componenti event-based, maree (tides - T), onde da vento (wind waves - WW) e onde da tempesta (storm surges - SS). I valori sono espressi in metri e parametrizzati in funzione degli scenari RCP, del tempo di ritorno (RT) e del percentile (%). La copertura spaziale è omogenea a scala europea e si caratterizza per una risoluzione dei dati alla scala comunale. Il punto di campionamento per la città di Napoli è sito a Posillipo.	Vousdoukas et al., 2018

Tabella 9. Raccolta dei dati per l'applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea sulla città di Napoli

Come evidenziato, particolare attenzione è stata data ai dati, open source, caratterizzati da una copertura spaziale omogenea a livello europeo. Sia le global depth-damage function che le proiezioni di hazard sono, infatti, state individuati nell'ambito delle banche dati del Joint Research Centre dell'Unione Europea e si caratterizzano per una copertura omogenea a scala europea. Il land use ricavato dal database Copernicus Coastal Zones 2018 è anch'esso caratterizzato da una copertura europea omogenea.

Ad eccezione del DTM, tutti i dati si caratterizzano, quindi, per una copertura spaziale omogenea a livello europeo. Il DTM è un dato di carattere locale e, nell'ambito dell'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea, è fornito dal MITE. Come nel caso in esame, le maggiori aree urbane europee dispongono di rilievi DTM online e in formato open source sui geoportali nazionali, tuttavia, non esistono database europei con risoluzione spaziale adeguata alla metodologia proposta. Il DTM costituisce, infatti, un aspetto fondamentale del modello e, ai fini delle simulazioni è necessario disporre di un rilievo con adeguata risoluzione.

A partire dalla metodologia proposta e dai dati identificati, il modello Coast-RiskBySea è stato sperimentato sulla città di Napoli (Figura 34).

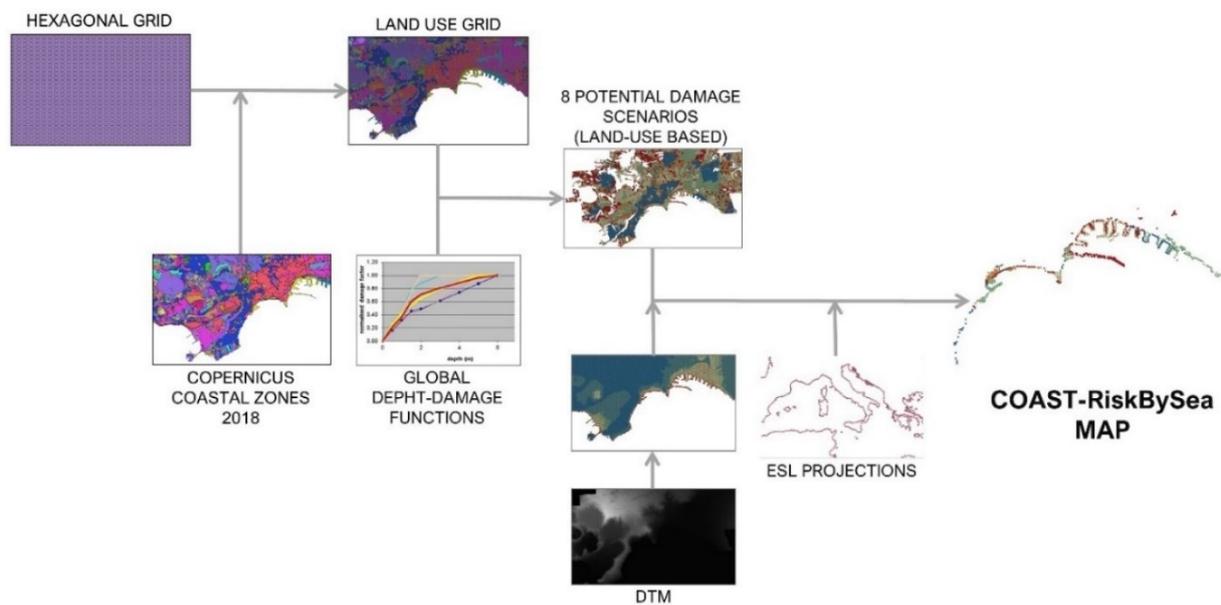


Figura 34. Workflow operativo applicato al caso studio di Napoli

In accordo con l'approccio gridded data, su ogni cella del reticolo esagonale⁷⁸ di riferimento vengono caricati, processati e combinati molteplici dati, georeferenziati in forma di attributi spaziali, per l'elaborazione del Coast-RiskBySea. Su ogni cella sono eseguite le seguenti operazioni computazionali:

1. Definizione delle unità territoriali, vettoriali e omogenee, mediante l'unione spaziale tra il reticolo di riferimento e il land use derivato dal database Copernicus Coastal Zones 2018. Ad ogni cella viene quindi associato un valore unico di land use che corrisponde alla classe con maggiore estensione superficiale.
2. Calcolo degli 8 potenziali scenari di danno economico, diretto e tangibile, basati su 8 livelli di acqua (+0,50m; +1,00m, +1,50m; +2,00; +3,00; +4,00; +5,00; +6,00) mediante un'equazione che associa il land use e le funzioni di danno (calcolo del valore esposto).
3. Calcolo del valore altimetrico medio di elevazione costiera mediante le funzioni statistiche zonali (opzione valore medio) operata a partire dal rilievo DTM (calcolo della vulnerabilità).
4. Classificazione dei valori altimetrici medi in base ad intervalli prestabiliti al fine di associare l'elevazione costiera e le funzioni di danno.
5. Calcolo dei potenziali scenari di danno mediante un'equazione che combina esposizione, vulnerabilità e hazard individuato nell'ambito delle proiezioni climatiche di ESL (danno).
6. Classificazione degli scenari di danno economico in base a cinque intervalli economici per definire le classi di rischio: basso, medio-basso, medio, alto e molto alto (rischio).

A partire dalla creazione del reticolo vettoriale di riferimento, il primo passo è stato l'unione spaziale, in ambiente GIS, tra il grigliato esagonale e il land use Copernicus Coastal Zones. Ad ogni cella è stata assegnata un'unica classe d'uso del suolo corrisponde alla classe (Copernicus) con maggiore estensione superficiale. Come evidenziato nella carta di land use, nonostante la semplificazione del territorio, sono evidenti i molteplici, e differenziati, usi del suolo e la densa urbanizzazione e che caratterizza la zona costiera napoletana (Figura 35).

Con l'introduzione delle funzioni di danno per ogni cella, sono stati calcolati gli 8 possibili scenari di danno basati solo sull'uso del suolo, senza tenere, quindi, in considerazione la geomorfologia del territorio (vulnerabilità). Per introdurre il parametro di vulnerabilità, mediante la funzione GIS statistiche zonali, a partire dal rilievo DTM, è stata calcolata l'elevazione altimetrica media per cella. Allo scopo di associare l'elevazione costiera e le funzioni di danno, i valori medi sono stati classificati secondo gli intervalli identificati nelle global depth-damage functions.

Come evidenziato dalla carta di vulnerabilità molteplici sono le aree caratterizzate da elevazioni altimetriche inferiori ai 2m, condizione che rende questi territori altamente vulnerabili alle potenziali inondazioni per eventi di ESL (Figura 36).

⁷⁸ Sebbene nella modellazione è stato utilizzato un reticolo vettoriale di riferimento caratterizzato di celle esagonali gli algoritmi computazionali sono validi per reticoli caratterizzati da qualsiasi tipologia di forma.

3.2.2. Elaborazione delle carte di rischio

Sulla base delle proiezioni climatiche di ESL individuate nell'ambito della letteratura scientifica di riferimento, il modello Coast-RiskBySea è stato simulato, al 2100 e al 2050, per gli scenari RCP 8.5 e RCP 4.5. Per considerare il caso peggiore ed evitare di sottostimare le conseguenze, tutte le simulazioni sono state effettuate in funzione dei valori di ESL al 95esimo percentile, ossia stimando per la componente di hazard event-based, come le onde, il caso peggiore e, quindi, contemplando il potenziale massimo danno economico possibile.

Secondo le proiezioni climatiche individuate da Vousdoukas et al. (2018)⁷⁹, a Napoli, per lo scenario RCP 4.5 al 2050, scenario di stabilizzazione o moderate emission-mitigation policy scenario, il livello di ESL, caratterizzato da RT 100yr e 95%, è stimato circa 1,72m. Per applicare il modello Coast-RiskBySea, in accordo con un approccio semplificato, i valori sono approssimati a 1,50m, dalle simulazioni emergono danni potenziali fino a 108 milioni di euro (M€) (Figura 37).

Al 2050, per lo scenario RCP 4.5, RT 100yr e 95%, il livello di ESL atteso è stimato circa 2,15m, valore approssimato a 2,00m. Anche nel caso delle proiezioni di ESL al 2100 per lo scenario RCP 4.5, RT 100yr e 95% il livello di ESL da 1,87m è approssimato a 2,00m. L'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea mostra potenziali danni fino a 210 M€ (Figura 38).

Infine, al 2100, per lo scenario RCP 8.5, RT 100yr e 95%, il livello di ESL atteso è stimato circa 3,22m valore che è approssimato a 3,00m. Dalle simulazioni, i potenziali danni corrispondenti sono stimati circa 590 M€ (Figure 39, 40).

Per tutti gli scenari identificati, i danni economici⁸⁰, calcolati su ogni cella, sono classificati in classi di rischio secondo gli intervalli identificati in tabella 7⁸¹. Come evidenziato nelle carte di output, molteplici saranno le aree potenzialmente impattate da eventi di ESL, sia al 2050 che al 2100, caratterizzate da classi di rischio medio e alto.

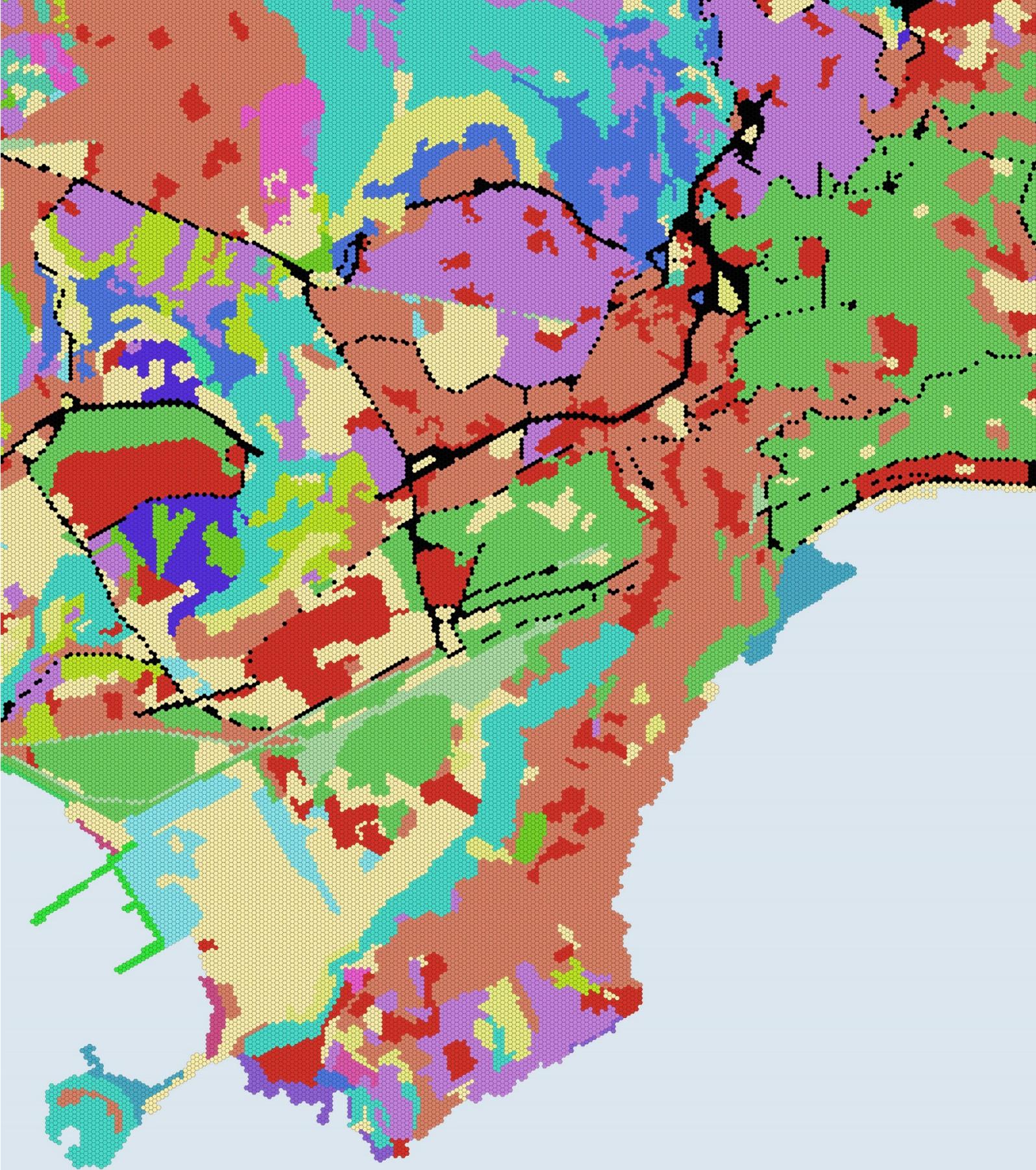
Senza alcuna misura di mitigazione o adattamento climatico, particolarmente a rischio è l'area portuale, con evidenti e ingenti ricadute economiche in termini diretti e, evidentemente, anche in termini indiretti. L'area si caratterizza, infatti, per valori di vulnerabilità ed esposizione molto alti. Anche l'area del porto turistico/diportistico del Sannazaro e le adiacenti aree residenziali sono classificate come aree a rischio, così come via Caracciolo e Via Parthenope che costituiscono due delle principali arterie stradali delle città.

Una valutazione dettagliata del rischio è rimandata al paragrafo successivo, di seguito si riportano la carta di land use, la carta di vulnerabilità e le tre carte di rischio per i tre scenari identificati.

⁷⁹ Tabella 8, capitolo 3, paragrafo 3.2.

⁸⁰ I potenziali danni stimati si riferiscono alla sola componente economica diretta e tangibile per singoli eventi di ESL caratterizzati da RT 100yr e 95%.

⁸¹ Tabella 7, capitolo 3, paragrafo 3.1.2.

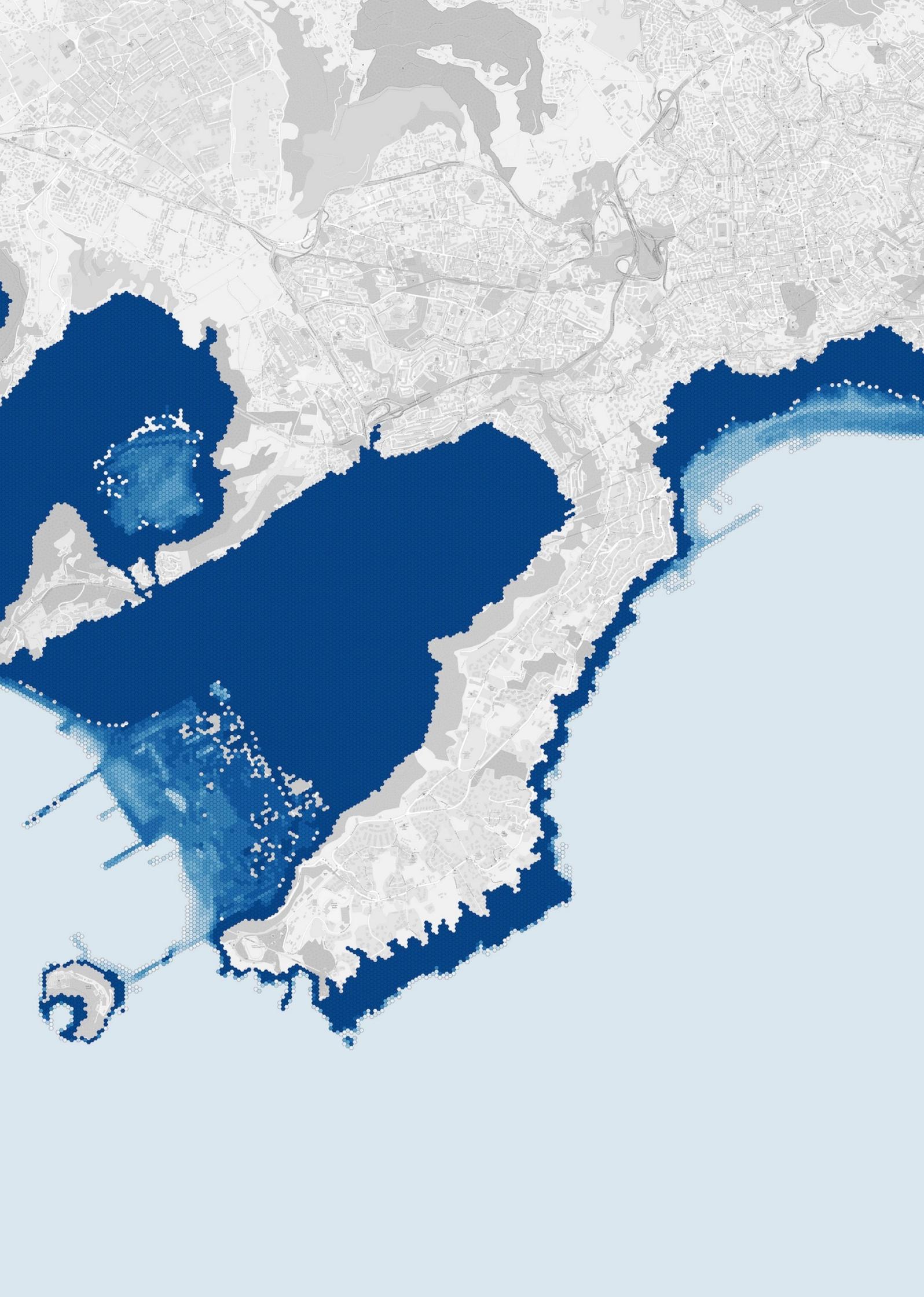


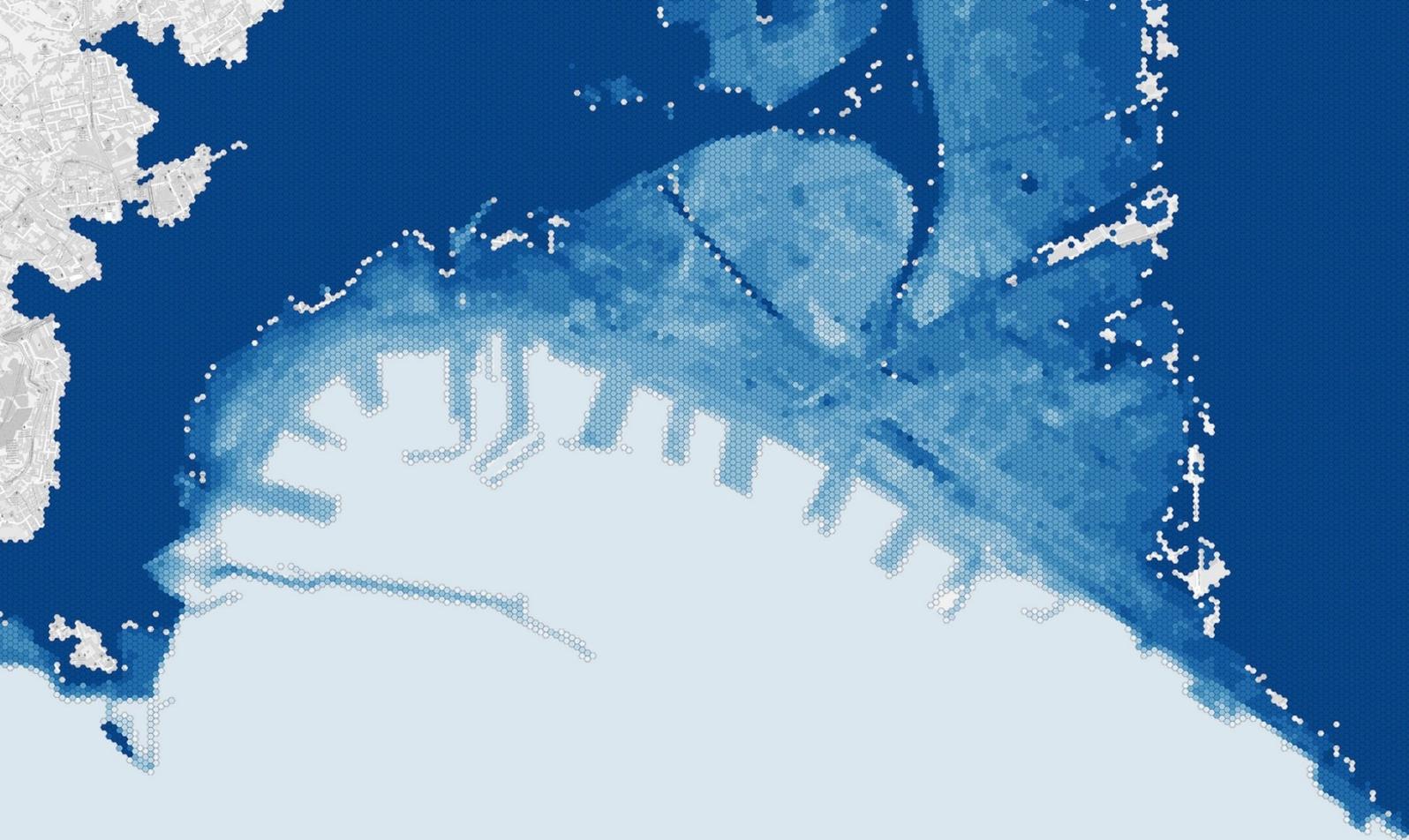


CARTA DI LAND USE
principali classi d'uso del suolo

- aree residenziali ad alta densità ■
- aree residenziali a media densità ■
- aree residenziali a bassa densità ■
- aree industriali, commerciali e pubbliche ■
- reti stradali e aree associate ■
- reti ferroviarie e aree associate ■
- area portuale per carico/scarico merci ■
- area porto passeggeri ■
- aree porto navale ■
- area porto turistico/diportistico ■
- area porto multifunzionale ■
- area porto cantieri navali ■
- area aeroportuale ■
- aree verdi urbane, aree sportive aree ricreative ■

Figura 35. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli. Carta di land use





CARTA DI VULNERABILITA'
elevazione altimetrica media



Figura 36. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli. Carta di vulnerabilità per eventi di ESL





Coast-RiskBySea, CARTA DI OUTPUT
classi di rischio



Figura 37. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di rischio per ESL (2050, RCP 4.5, 100RT, 95%)





Coast-RiskBySea, CARTA DI OUTPUT
classi di rischio



Figura 38. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di rischio per ESL (2050, RCP 8.5, 100RT, 95%)





Coast-RiskBySea, CARTA DI OUTPUT
classi di rischio



Figura 39. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di rischio per
ESL (2100, RCP 8.5, 100RT, 95%)

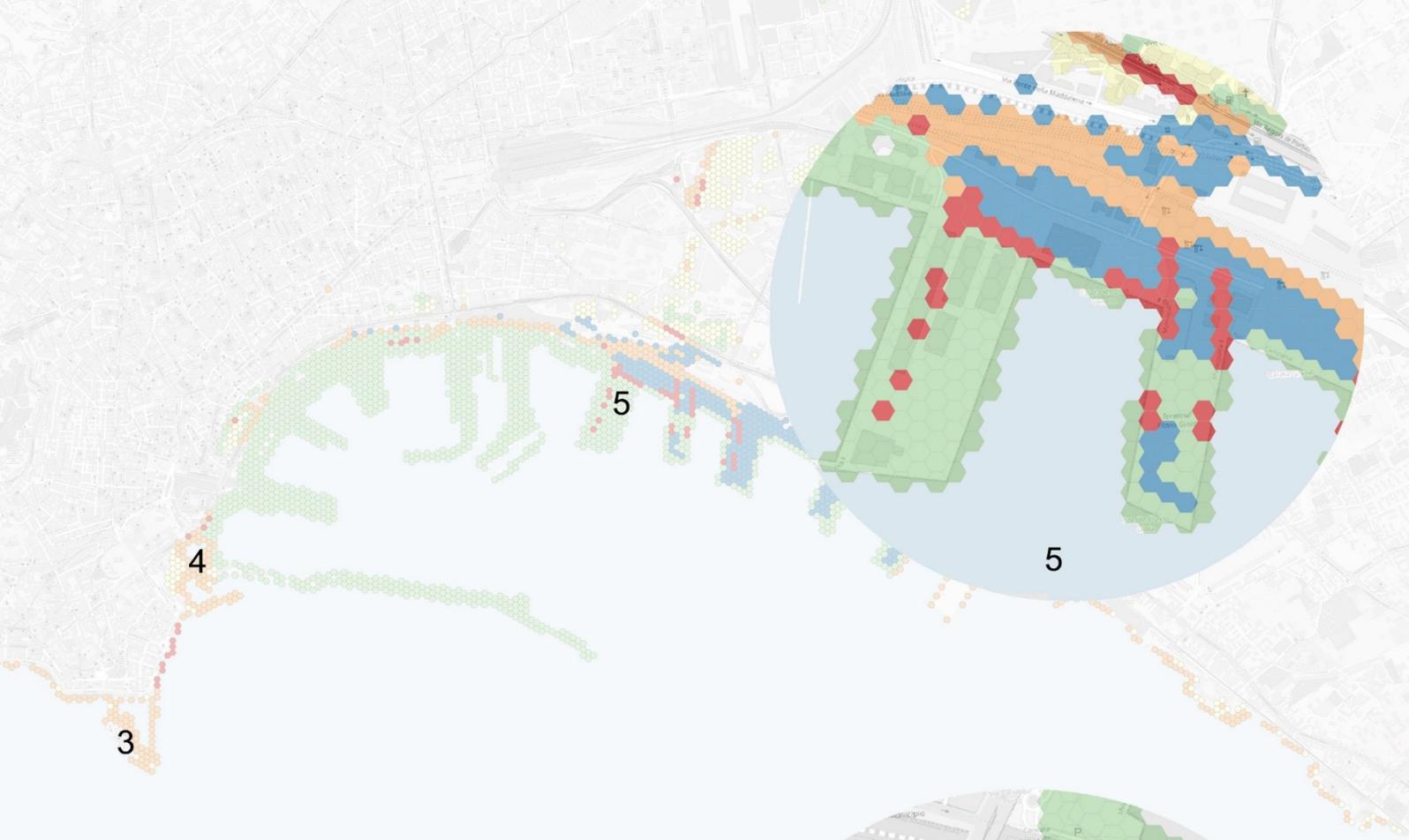


Figura 40. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, individuazione degli hotspots per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, 100RT, 95%)

3.2.3. Valutazione del rischio

L'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli ha evidenziato le caratteristiche dell'approccio che è particolarmente indicato per aree densamente urbanizzate, ulteriori approfondimenti saranno effettuati al fine di validare i risultati e testare il modello su altri casi studio, internazionali, per identificare la replicabilità, l'affidabilità, i limiti e le potenzialità dell'approccio.

Come evidenziato dalle carte di output (Figure 25, 26 e 27), sia al 2050 sia al 2100, per eventi di ESL, molteplici saranno le aree classificate a rischio medio e alto con impatti economici significativi. In particolare, al 2100, i danni potenziali stimati per eventi di ESL, caratterizzati da RT 100yr e 95%, per lo scenario RCP 4.5 sono stimati circa 69 milioni di euro impattando una superficie di circa 1,2km², mentre, per gli stessi parametri ma secondo lo scenario RCP 8.5, sono circa 226 milioni di euro (+227%) impattando una superficie di circa 2,8km². Danni significativi sono attesi anche al 2050, secondo lo scenario RCP 4.5 circa 44 milioni di euro, nel caso dello scenario RCP 8.5 circa 69 milioni di euro (+56%). Gli scenari e i relativi impatti sono comparati in figura (Figura 41).

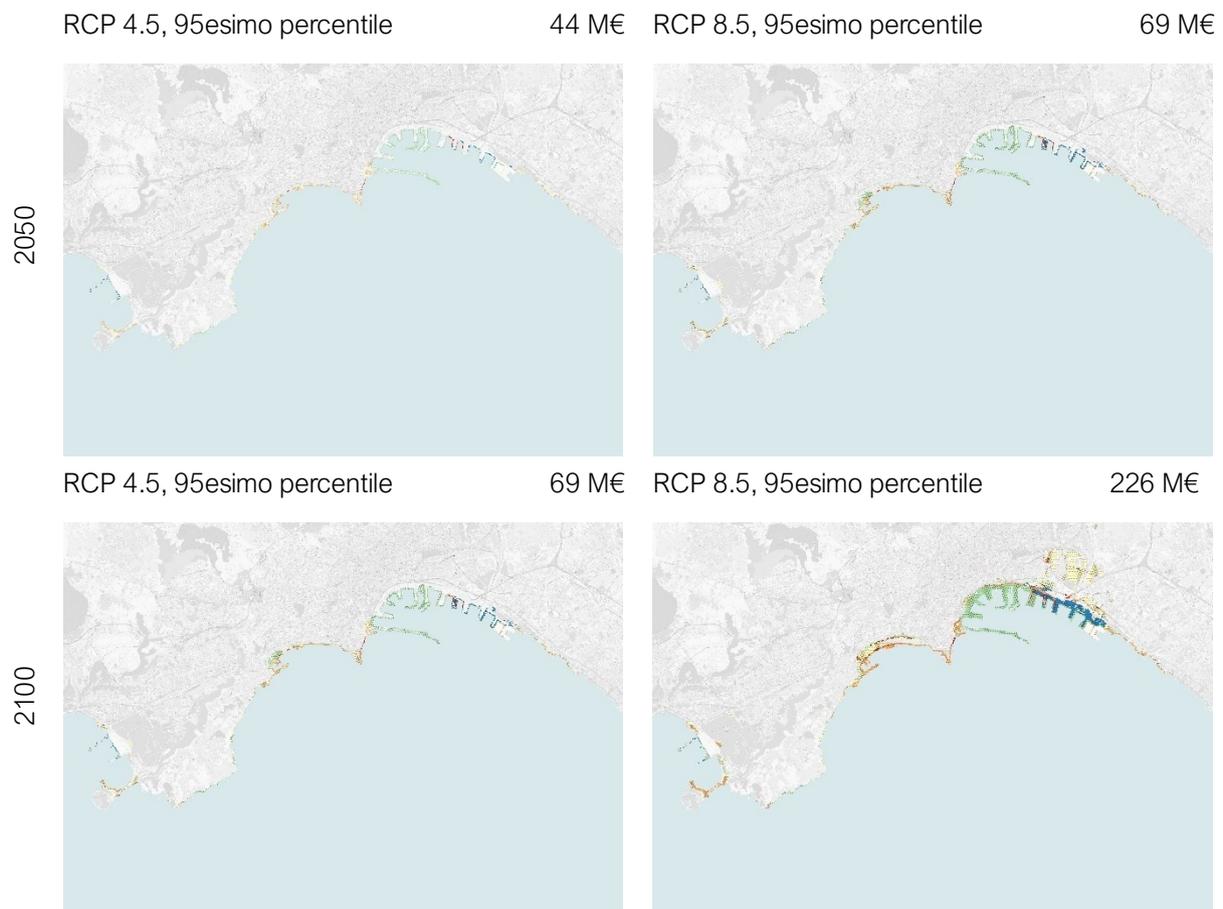


Figura 41. Scenari a confronto. Applicazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli al 2050 e 2100. Simulazioni di ESL, RT 100yr, 95%, per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5

I risultati dell'applicazione del modello Coast-RiskBySea dimostrano l'urgente necessità della messa in campo di azioni di mitigazione climatica atte a limitare le emissioni di gas climalteranti in virtù di nuovi modelli urbani più sostenibili. La riduzione delle emissioni consentirebbe una diminuzione, in termini di intensità e frequenza, degli eventi di inondazione costiera⁸² e dei conseguenti impatti economici associati; una limitazione secondo i limiti previsti dallo scenario di stabilizzazione RCP 4.5⁸³ consentirebbe una riduzione dei danni per eventi di ESL (100RT,95%) fino al 36% al 2050 e fino al 69% al 2100.

Dall'applicazione del modello è, inoltre, possibile individuare la caratterizzazione delle aree a rischio in termini di vulnerabilità ed esposizione. Pertanto, per analizzare i risultati, considerando il caso peggiore e simulando, quindi, eventi di ESL al 2100, caratterizzati da scenario RCP 8.5, RT 100yr e 95%, è stata analizzata la carta di output Coast-RiskBySea evidenziando per ciascuna classe d'uso del suolo, in funzione della nomenclatura Copernicus, il numero di celle impattate, la percentuale dell'estensione superficiale di tali celle rispetto al totale della superficie impattata, i danni in milioni di euro e la percentuale, di tali danni, sul totale degli impatti (Tabella 10).

	Classe d'uso del suolo	n. celle imp.	% sup. imp.	M€	% su danni
11110	Area residenziale (IMD ≥80%)	368	9%	15	7%
11120	Area residenziale (IMD ≥30-80%)	110	3%	5	2%
11130	Area residenziale (IMD <30%)	27	1%	0,06	0%
11210	Aree industriali, commerciali, pubbliche o militari	1259	29%	80	36%
12100	Reti stradale e aree associate	172	4%	36	13%
12200	Reti ferroviarie e aree associate	224	5%	30	16%
12310	Area porto commerciale	686	16%	4	2%
12320	Area porto passeggeri	1030	24%	10	5%
12350	Area porto turistico/diportistico	258	6%	33	15%
12370	Area cantieri navali	23	1%	3	1%
14000	Aree verdi urbane, aree sportive e ricreative	108	2%	7	3%

Tabella 10. Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Napoli. Scenario climatico di ESL al 2100 per RCP 8.5, RT 100yr e 95%

Come evidenziato, la relazione tra la percentuale di superficie impattata e la percentuale economica sul totale dei danni attesi, non è univoca. I danni sulle zone impattate, infatti, variano in funzione di vulnerabilità ed esposizione e pertanto dipendono dalle caratteristiche locali. Sul piano spaziale, risultano particolarmente impattate le aree a destinazione d'uso industriale, commerciali pubbliche o militari 29% della superficie potenzialmente impattata e il 36% dei danni totali (80 M€), seguite dalle

⁸² Gli eventi di ESL dipendono fortemente dagli scenari RCP, la componente graduale dell'hazard (il SLR) dipende, infatti, direttamente dall'aumento della temperatura media globale.

⁸³ Secondo lo scenario RCP 4.5, con forti azioni di mitigazione, al 2100, le concentrazioni atmosferiche di CO₂ si stabilizzerebbero a circa il doppio (560 ppm) dei livelli preindustriali (280 ppm).

aree portuali uso passeggeri 24% della superficie impattata e 5M€ di danni potenziali e dalle aree portuali ad uso commerciale 16% della superficie impattata e danni potenziali fino a 2M€. Sul piano economico particolarmente a rischio risultano anche le aree a destinazione d'uso ferroviario e stradale con danni attesi fino a 66 milioni di euro.

Il modello Coast-RiskBySea consente, quindi, la valutazione dei soli danni diretti, cioè dei effetti derivanti dalla diretta interazione tra l'acqua e il bene esposto; tuttavia, è evidente che, nel caso delle infrastrutture critiche come porti, strade e ferrovie, le dipendenze funzionali all'interno dell'infrastruttura stessa e le interdipendenze tra due o più infrastrutture, fanno sì che i danni economici possano propagarsi oltre i confini spaziali e temporali dell'area direttamente interessata dalle inondazioni, un approfondimento è rimandato al quinto capitolo.

A partire dall'individuazione delle aree critiche (hotspots) è possibile identificare gli elementi esposti che ricadono in tali aree, come gli edifici (Figura 42), e avviare processi di downscaling finalizzati alla valutazione dei potenziali impatti sui singoli elementi esposti.



Figura 42. Downscaling delle carte di rischio sugli elementi esposti per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, RT 100yr, 95%)

3.2.4. Accuratezza dei risultati

Per valutare le performance del modello Coast-RiskBySea è stata indagata l'accuratezza⁸⁴ dei risultati simulando un evento realmente accaduto e comparando i danni economici stimati con il totale dei fondi stanziati per la manutenzione straordinaria post-evento.

Il 28 dicembre del 2020 la costa tirrenica della regione Campania è stata interessata da un ingente mareggiata che ha particolarmente colpito la città di Napoli, dove, secondo recenti studi, per effetto combinato di vento e maree, le onde, nelle aree più esposte, hanno raggiunto un'altezza superiore a 1,00m. Secondo le stime di Mattei et al. (2021) le onde hanno raggiunto picchi fino a 1,60m⁸⁵ per effetto combinato di vento, marea e pressione barometrica (Mattei et al., 2021) mentre Fortelli et al. (2021) stima un'altezza complessiva massima, in prossimità della costa, pari a 1,08m (Fortelli et al., 2021).

La mareggiata, come evidenziato sia dalla letteratura scientifica che da indagini storiche, in termini di intensità e frequenza, è classificabile come evento di ESL caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni, nel dicembre 1927 si registrò, infatti, un episodio di simile entità che impattò l'area di via Caracciolo-Partenope, una delle principali arterie stradali della città (Fortelli et al., 2021; Figura 43).



Figura 43. La mareggiata di dicembre 1927. Fonte immagine: <https://www.vesuvionews.it/>

Sul piano spaziale, i danni si sono concentrati prevalentemente tra via Caracciolo e Castel dell'Ovo, aree fortemente esposte alla forza del mare. Particolarmente colpito è stato il tratto stradale di via Partenope compreso tra i civici 18-30 con danni al muro di sponda parabolico, alla pavimentazione e al parapetto, anche le attività commerciali sono state fortemente danneggiate così come l'antico arco del muro borbonico (Figura 44). Parallelamente, sono stati interessati dagli impatti dell'inondazione anche l'area del "Ramaglietto" ai piedi di Castel dell'Ovo, con danni alla pavimentazione in pietra lavica e alle sale interne, e, in ambito portuale, il molo San Vincenzo.

⁸⁴ L'accuratezza, accuracy, misura quanto il valore osservato (in questo caso il valore di danno risultante dall'applicazione del modello Coast-RiskBySea) sia vicino al valore reale della quantità (danno di un evento realmente accaduto), minore è l'errore è minore, maggiore è l'accuratezza.

⁸⁵ Il livello di ESL è il risultato della sommatoria del vento (0,8 m), onde (0,3 m), pressione barometrica (0,2 m) e livello dell'acqua (De Mattei et al., 2021).



Figura 44. Gli impatti della mareggiata del 28.12.2020 su via Partenope, Napoli

Nell'evento di dicembre 2020, nell'area di via Partenope, la presenza delle scogliere radenti ha attutito parte degli impatti dissipando l'energia delle onde, tuttavia, sono stati comunque danneggiati il muro parabolico, il parapetto e parte del marciapiede. Come evidenziato nella delibera comunale N23/K del 14.05.2021 del Comune di Napoli⁸⁶, l'importo stanziato per i lavori di manutenzione straordinaria, resa necessaria per l'impatto della mareggiata, è stato pari a 230.179,41, compresa IVA al 22% (Comune di Napoli, 2021; Figura 45).

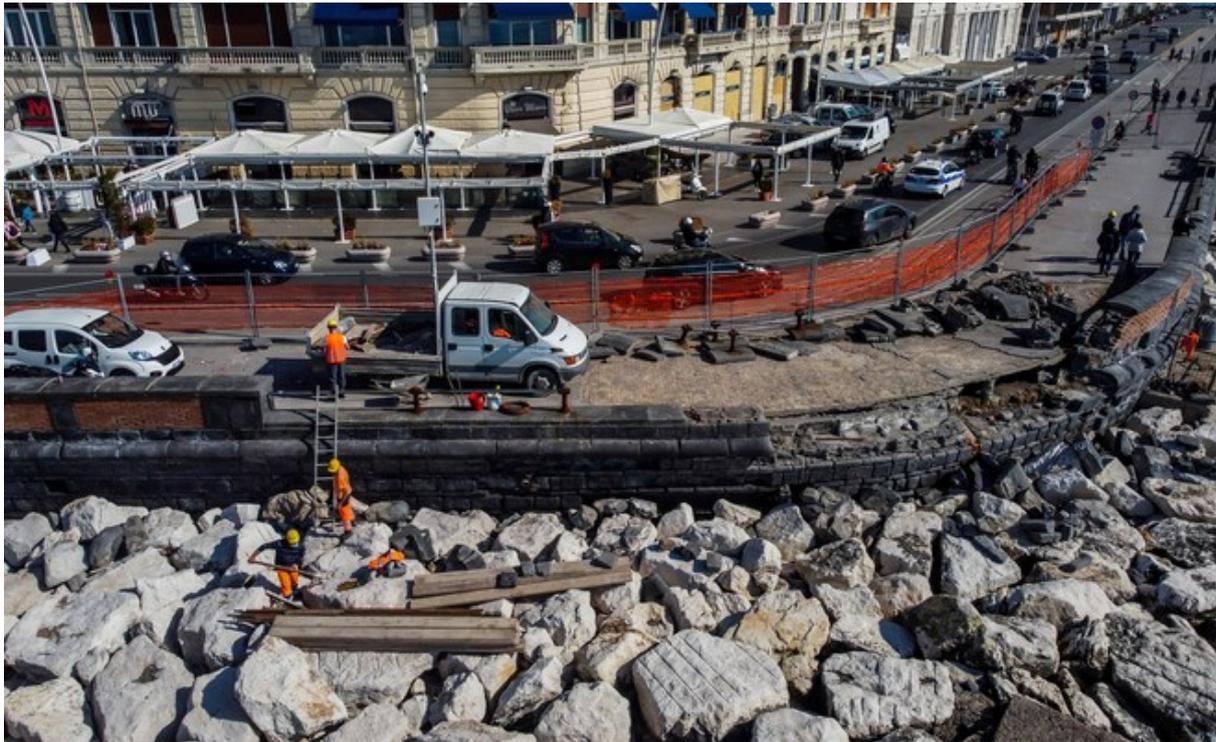


Figura 45. Vista aerea dei lavori di manutenzione straordinaria sul lungomare di Napoli, foto di A. Garofalo.
Fonte immagine: <https://www.ilmattino.it/fotogallery>

Per simulare l'evento e comparare i danni stimati dal modello Coast-RiskBySea, i valori di ESL, in accordo con un approccio semplificato, sono stati approssimati dapprima a 1,50m, considerando il livello di altezza massima stimato da Mattei et al. (2021), e poi a 1,00m considerando il livello stimato da Fortelli et al. (2021). Nel primo caso, l'applicazione nell'area oggetto di studio mostra danni pari a circa 288.000€ (Figura 46), mentre nel secondo a circa 180.000€ (Figura 47). In entrambi i casi, i risultati delle simulazioni non differiscono significativamente dall'impatto del danno previsto dal Comune di Napoli, nella simulazione a 1,50 i valori risultano maggiori per una differenza percentuale del 25%, mentre nella simulazione a 1,00 inferiori del 21%. Pertanto, il modello può essere considerato accurato e affidabile.

⁸⁶ Comune di Napoli, determina a contrarre: affidamento ulteriori lavori relativi ai "Lavori di manutenzione straordinaria per il ripristino del parapetto di Via Parthenope a seguito della mareggiata del 28.12.2020". Per maggiori informazioni visitare il sito: <https://www.comune.napoli.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/42838>.



Figura 46. Applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea nell'area interessata dalla mareggiata del 28.12.2020, simulazione per ESL 1,50m

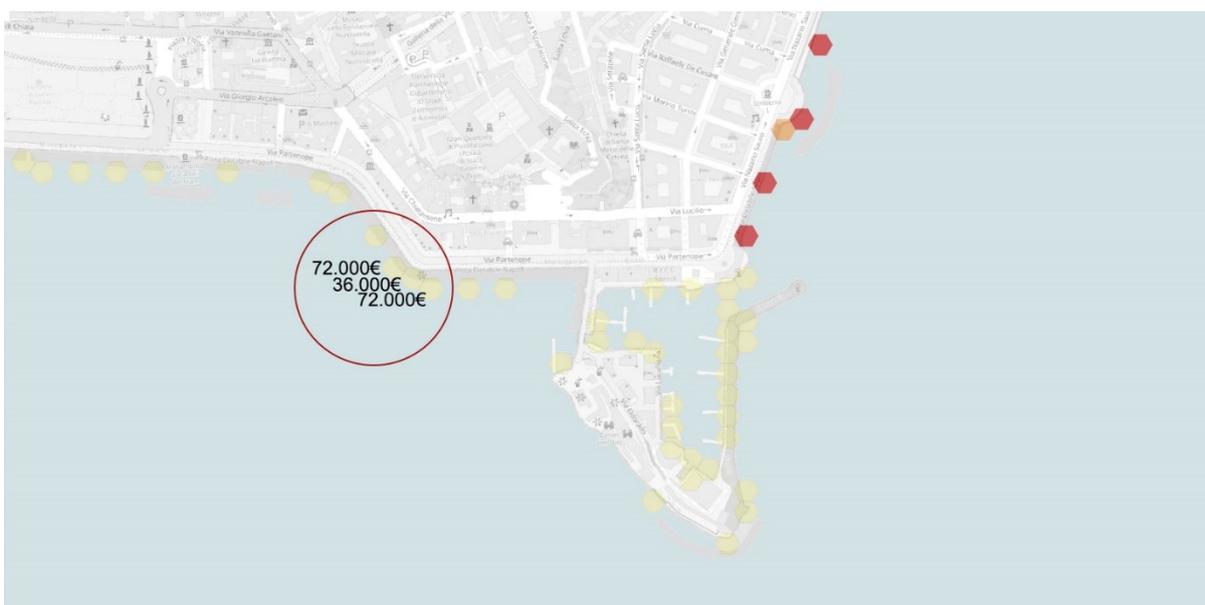


Figura 47. Applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea nell'area interessata dalla mareggiata del 28.12.2020, simulazione per ESL 1,00m

3.3. REPLICABILITÀ E AFFIDABILITÀ DEL MODELLO

Il primo test del modello Coast-RiskBySea è stato effettuato sul caso di studio di Napoli, validati i risultati, per verificare la replicabilità dell'approccio, il modello è stato testato su altre due città-porto euromediterranee: Barcellona, in Spagna, e Marsiglia, in Francia.

Sul piano climatico, la regione Mediterranea è considerata un hotspot dei cambiamenti climatici, condizione che richiede l'urgente messa in campo di azioni di adattamento e mitigazione climatica. Sul piano spaziale e socioeconomico si caratterizza per una riva Nord in cui si concentrano i paesi industrializzati e una riva Sud in cui si concentrano i paesi in via di sviluppo e, più specificatamente, può essere articolata in quattro sistemi principali (Cardarelli, 1987; Pace, 2004; Ferragina e Nunziante, 2018):

- il sistema delle città-porto, espressione della centralità euromediterranea dislocata lungo l'asse E-O del bacino, tra queste Barcellona, Livorno e Trieste, in questo gruppo possono essere considerate anche le città di Napoli e Marsiglia;
- il sistema insulare-peninsulare, basato sulle isole maggiori e sulla penisola iberica e italiana, al limite tra centralità e perifericità;
- il sistema nord-africano, dal Marocco all'Egitto, con problemi di crescita demografica della fascia costiera e di desertificazione delle regioni interne;
- il sistema balcanico-medio orientale, caratterizzato da tensioni politiche, culturali ed etniche, che ne precludono le potenzialità di ponte verso l'Asia.

Il sistema delle città-porto euromediterranee si caratterizza per alti valori di vulnerabilità ed esposizione ai fenomeni di inondazione costiera soprattutto a causa della intensa urbanizzazione delle coste e della presenza di infrastrutture strategiche (porti, aeroporti e strade).

In questo contesto, il tema della riqualificazione urbana e della protezione climatica si offre come opportunità di tutela e valorizzazione del patrimonio antropico e naturale e presenta caratteristiche comuni che derivano dalla storia e dell'identità marittima quali fattori unificanti. Nelle città-porto euromediterranee appaiono maggiori le opportunità di sviluppo locale e di riqualificazione urbana ma, al contempo, persistono forti inerzie al cambiamento.

3.4.1. Le città-porto euromediterranee

Le città erano in passato plasmate da fattori ambientali e sociali, la generazione della forma urbana è fin dall'antichità dipesa dalla conformazione del paesaggio naturale, dall'avanzamento tecnologico e dalla necessità di difendersi dagli attacchi esterni. L'acqua è stata l'elemento alla base della civiltà umana e urbana e del suo sviluppo e, in area mediterranea, le città-porto si sono sviluppate mantenendo sempre una stretta relazione con il mare (Morello, 2009).

I principi insediativi delle città si sono quindi sviluppati in funzione dei caratteri morfologici e orografici del territorio, del rapporto tra il porto e le reti infrastrutturali, dei tracciati longitudinali e trasversali che caratterizzano la sequenza città-porto-mare e della presenza di centralità nei due sistemi (Corradini, 2011). Oggi le città possono essere considerate come un assemblaggio multiscalare di materiali e

fenomeni, naturali e antropici, complessi ed eterogenei, ed è il rapporto tra le diverse scale a rivelare la specificità dei luoghi (Russo, 2015).

Nello sviluppo delle città portuali, il porto è stato un elemento chiave dell'organizzazione spaziale urbanistica, inteso sia come struttura urbana che come parte integrante della città⁸⁷. In questo contesto, per l'analisi dell'evoluzione delle città-porto euromediterranee, è possibile identificare cinque tappe chiave (Rosselli, 2005):

1. Città-porto nucleare: fase compresa dalle origini della città fino al XVIII secolo e caratterizzata da una stretta interdipendenza tra spazio urbano e spazio portuale;
2. Città-porto moderna: fase che caratterizza tutto il XIX secolo e che vede la rapida espansione commerciale e industriale del porto svilupparsi lungo i fronti marittimi urbani, attraverso la creazione di una nuova interfaccia artificiale terra-mare;
3. Città-porto industriale: fase compresa tra la fine del XIX secolo e la seconda metà del XX secolo, caratterizzata dalla creazione dei grandi nodi infrastrutturali e dallo sviluppo insediativo, indipendente e autonomo di porto e città;
4. "L'abbandono della soglia": fase che parte negli anni '70, ed è tuttora in corso, caratterizzandosi per la delocalizzazione della "macchina portuale" e la riqualificazione dei waterfront urbani storici.

La stagione della riqualificazione sostenibile dei waterfront urbani ha permesso la valorizzazione di molteplici aree storiche in Europa e nel mondo⁸⁸. Nelle città italiane questa fase ha incontrato maggiori difficoltà dovute alla permanenza degli scali commerciali, alle caratteristiche insediative e orografiche delle aree portuali storiche e ai vincoli giuridico-amministrativi che, sostanzialmente, considerano il porto come un organismo indipendente (Bruttomesso, 1993; Giovinazzi 2007; Savino 2010; Pavia e Venosa, 2012; Iovino, 2016).

Nelle città-porto euromediterranee e, in generale nelle città di mare la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici dovranno diventare obiettivi prioritari in una prospettiva di sviluppo duratura e sostenibile. Al contrario di Napoli, sia Barcellona che Marsiglia sono state interessate da progetti, alcuni ancora in corso, di riqualificazione dei waterfront urbani.

Nel mediterraneo, Barcellona ha rappresentato, per lunghi anni, un modello di valore assoluto a cui fare riferimento per il recupero dei waterfront portuali storici e per l'integrazione città-porto-mare. In tempi più recenti Marsiglia, nell'ambito del progetto Euroméditerranée ha avviato un'importante azione di riqualificazione di circa tre miglia di waterfront storico con l'obiettivo di implementare la sostenibilità e la qualità della vita urbana.

⁸⁷ In questo contesto, è possibile identificare tre componenti fondamentali per la caratterizzazione della relazione città-porto: struttura del sito naturale, struttura del fronte d'acqua urbano e portuale, struttura complessa del rapporto città-porto (Rosselli, 2005)

⁸⁸ Il recupero sostenibile dei waterfront urbani si caratterizza per 10 principi progettuali: garantire la qualità ambientale, integrare il waterfront nel tessuto urbano, integrare molteplici usi, preservare il valore storico e identitario, garantire l'accessibilità e la fruibilità pubblica libera e continuativa, favorire la partnership pubblico-privata, coinvolgere la popolazione, progettare secondo scenari a lungo termine, intraprendere azioni progettuali aperte, flessibili e implementabili e, infine, confrontarsi con un'esperienza internazionale favorendo lo scambio di conoscenze (Bruttomesso e Moretti, 2010; Giovinazzi e Moretti, 2010).

3.4.2. Applicazione sperimentale del modello su Barcellona e Marsiglia

L'applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea sulle città di Barcellona (Spagna) e Marsiglia (Francia) ha permesso di verificare la replicabilità dell'approccio anche in contesti internazionali diversi da quello italiano, grazie all'utilizzo di dati open source di origine telerilevata e di dati caratterizzati da una copertura spaziale omogenea a livello europeo.

Sul piano operativo, a titolo esemplificativo, le simulazioni sono state effettuate al 2100 tenendo in considerazione eventi di ESL caratterizzati da scenario RCP 8.5, tempo di ritorno 100 anni e 95esimo percentile. Le proiezioni climatiche sono state ricavate nell'ambito delle banche dati del JRC (Vousdoukas et al., 2018). I valori attesi di ESL (2,97m per Barcellona e 3,10m per Marsiglia), come nell'ambito della sperimentazione condotta sul caso studio di Napoli, in virtù di un approccio semplificato, sono approssimati a 3,00m. I dati di esposizione sono ricavati dal land use del database Copernicus Coastal Zones 2018 (CCZ, 2021) e trasformati in valore esposto grazie all'introduzione delle global depth-damage functions (Huizinga et al., 2017); infine, i modelli DTM, per l'analisi della vulnerabilità, in funzione dell'elevazione altimetrica, sono stati ricavati, online e in formato open source, sui geoportali nazionali⁸⁹. Seguendo il workflow operativo elaborato, il modello Coast-RiskBySea è stato, quindi, applicato sulle due città.

Barcellona

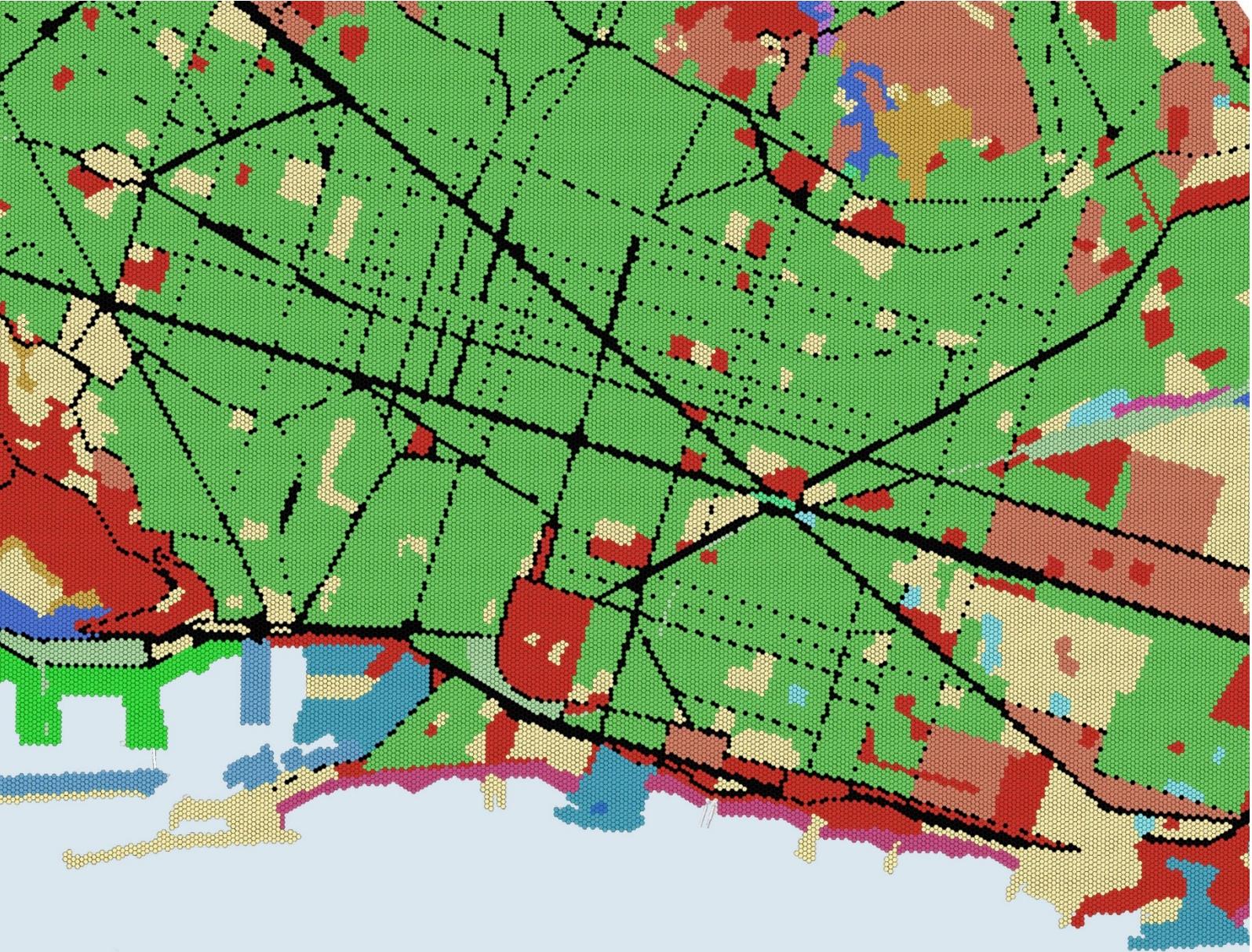
Barcellona è una delle città più importanti del Mediterraneo, distinguendosi per la presenza del porto, leader nel trasporto merci e passeggeri grazie alla posizione strategica. Come evidenziato nella carta di land use, la città è densamente urbanizzata; sul piano funzionale-spaziale l'area meridionale si caratterizza per la presenza del porto, l'area settentrionale per la presenza dei tre quartieri residenziali Vila Olimpica, Poblenou e Diagonal Mar (Figura 49).

Sul piano geomorfologico, come evidenziato nella carta di vulnerabilità, molteplici aree si caratterizzano per valori altimetrici critici inferiori a 2,00m (Figura 50), sul piano climatico, al 2100, infatti, le previsioni di eventi di ESL (caratterizzati da RT 100yr e 95%) stimano valori di circa 3,00m di altezza (Vousdoukas et al., 2018).

L'applicazione del modello Coast-RiskBySea mostra come la città sia caratterizzata da una costa meridionale con valori di rischio alto e medio-alto e dall'area costiera settentrionale dove, se non in maniera puntuale, il rischio, parametrizzato in funzione dei potenziali danni diretti e tangibili sull'ambiente costruito, è pressoché assente (Figura 51; Tabella 11).

⁸⁹ Il DTM per l'applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona è stato ricavato dal geoportale cartografico dell'AMB - Àrea Metropolitana de Barcelona, e si caratterizza per una risoluzione spaziale 1x1m, è disponibile in, al sito: <https://geoportalcartografia.amb.cat/AppGeoportalCartografia2/index.html?locale=en>. Anche per la città di Marsiglia il DTM si caratterizza per una risoluzione spaziale 1x1m ed è disponibile sul geoportale nazionale francese IGN - Institut national de l'information géographique et forestière, ed è disponibile al sito: <https://geoservices.ign.fr/>.





CARTA DI LAND USE
principali classi d'uso del suolo

- aree residenziali ad alta densità
- aree residenziali a media densità
- aree residenziali a bassa densità
- aree industriali, commerciali e pubbliche
- reti stradali e aree associate
- reti ferroviarie e aree associate
- area portuale per carico/scarico merci
- area porto passeggeri
- aree porto navale
- area porto turistico/diportistico
- area porto multifunzionale
- area porto cantieri navali
- area aeroportuale
- aree verdi urbane, aree sportive aree ricreative
- spiagge

Figura 49. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna), carta di land use



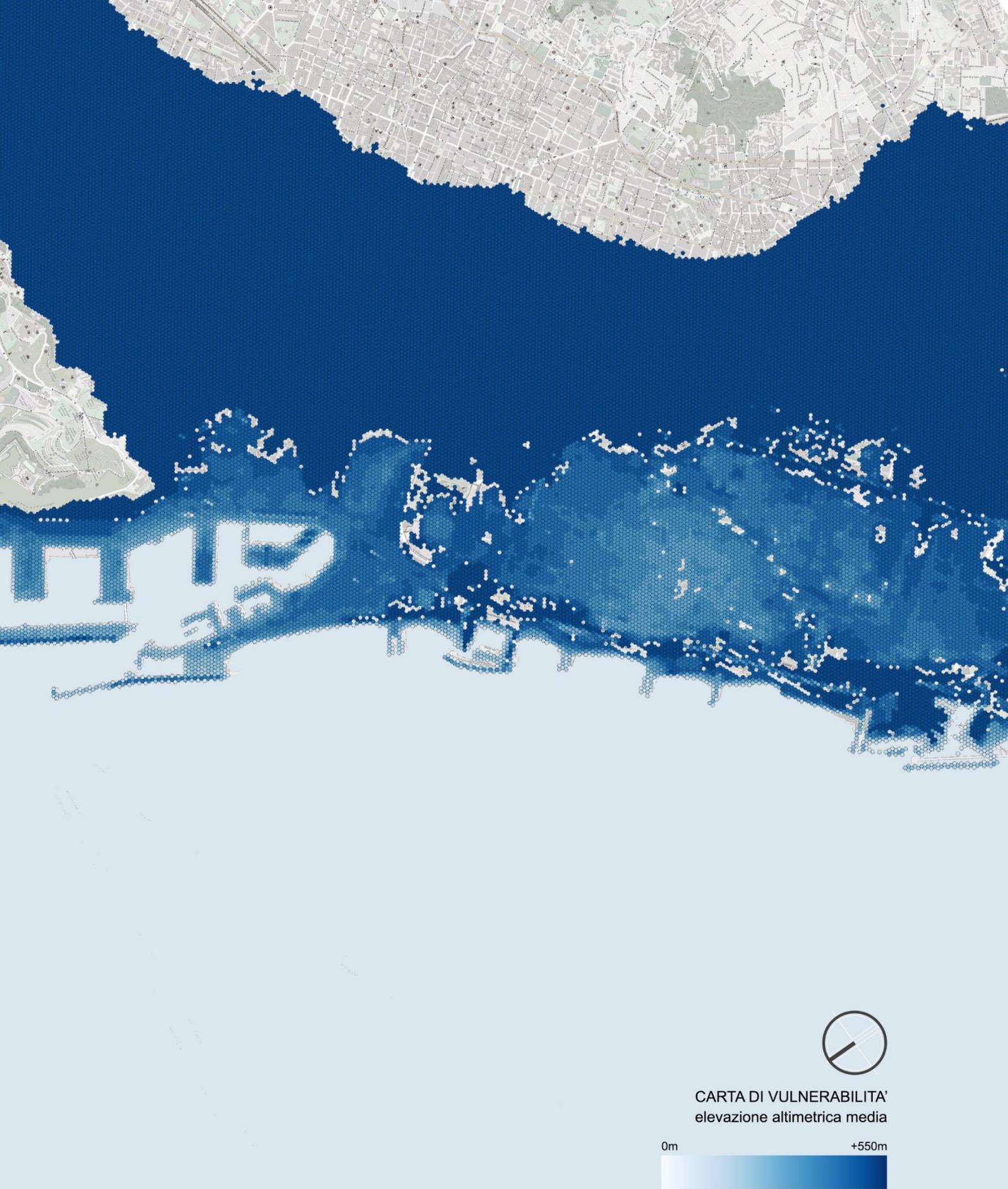
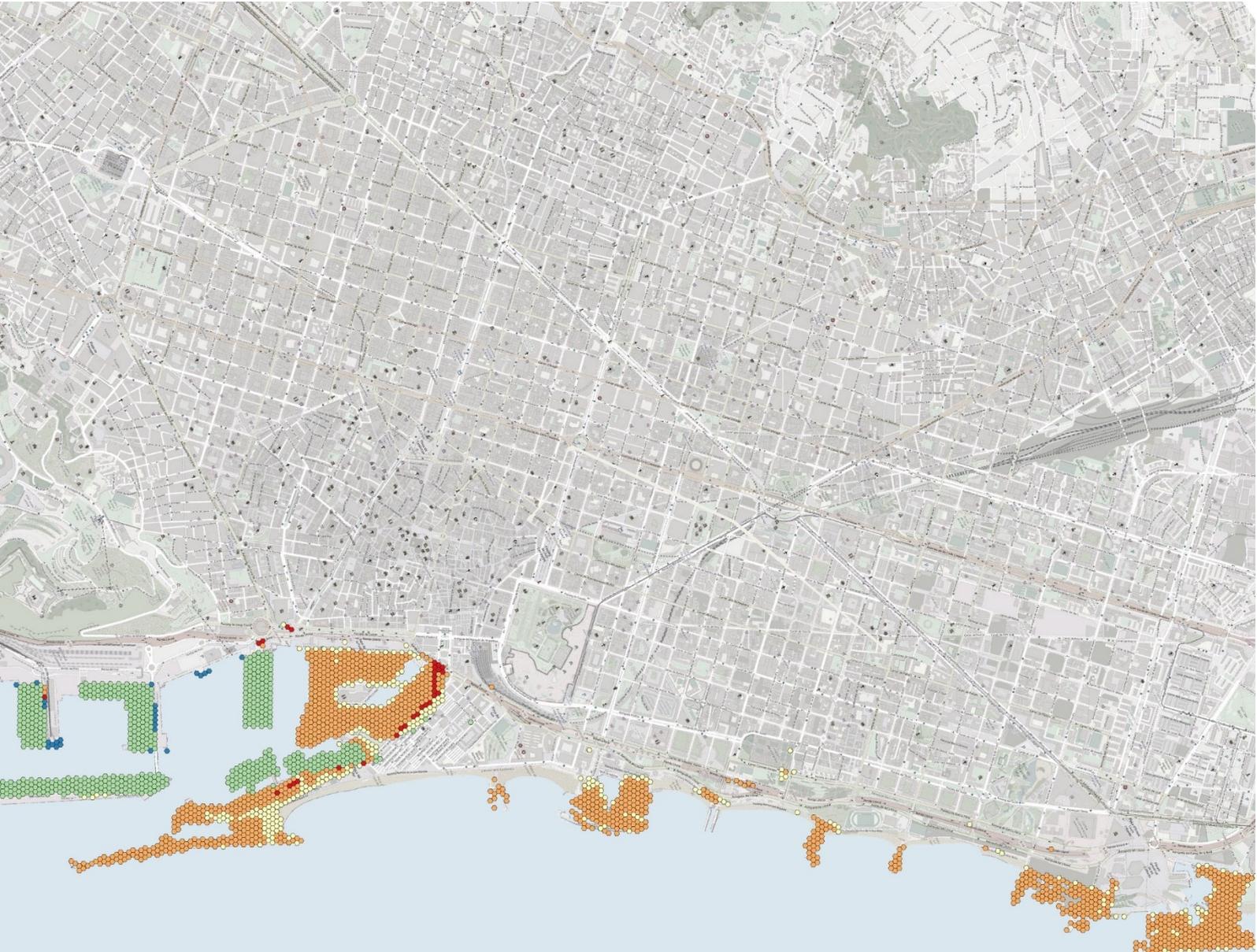


Figura 50. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna), carta di vulnerabilità per eventi di ESL





Coast-RiskBySea, carta di output
classi di rischio



Figura 51. Sperimentazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna), carta di rischio per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, RT 100, 95%)

	Classe d'uso del suolo	n. celle imp.	% sup. imp.	M€	% su danni
11110	Area residenziale (IMD ≥80%)	41	1%	2,23	0%
11120	Area residenziale (IMD ≥30-80%)				
11130	Area residenziale (IMD <30%)				
11210	Aree industriali, commerciali, pubbliche o militari	1018	23%	152,22	19%
12100	Reti stradale e aree associate	92	2%	27,10	4%
12200	Reti ferroviarie e aree associate	58	1%	11,93	2%
12310	Area portuale per carico/scarico merci	1918	44%	294,36	37%
12320	Area porto passeggeri	402	9%	159,82	20%
12350	Area porti turistici e da diporto	716	16%	114,70	15%
12370	Area cantieri navali	8	0%	1,01	0%
14000	Aree verdi urbane, aree sportive e ricreative	164	4%	25,04	3%

Tabella 11. Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Barcellona

Dall'analisi dei risultati del modello Coast-RiskBySea per la simulazione, al 2100, di eventi di ESL (100yr, 95%) emerge che sul piano spaziale, i danni si concentrano sulle aree ad uso industriale, commerciale, pubblico e militare (23% della superficie impattata), sulle aree portuali commerciali (44% della superficie impattata) e passeggeri (9% della superficie impattata). Particolarmente impattate risultano anche le aree portuali ad uso turistico/diportistico (16%) e le aree verdi urbane, sportive e ricreative (4%). Sul piano economico, anche se caratterizzate da minore estensione superficiale, i danni si concentrano nell'area commerciale del porto con danni attesi fino a 294 milioni di euro (37% dei danni totali), nelle aree industriali, commerciali pubbliche e militari con danni attesi fino a 152 milioni di euro (19% dei danni totali) e, infine, nelle aree portuali ad uso turistico/diportistico con 115 milioni di euro (15% dei danni totali).

Dalle carte di output del modello Coast-RiskBySea emerge come quasi tutto il territorio portuale, al 2100, per eventi di ESL (100yr, 95%) risulta potenzialmente impattato, parallelamente nei quartieri residenziali che insistono sulla costa settentrionale, interessati dal progetto di riqualificazione urbana avvenuto nell'ambito delle Olimpiadi del 1992, i danni sono diffusi solo in maniera puntuale. Barcellona, in occasione dei giochi Olimpici del 1992, fu, infatti, interessata da un grande progetto di riqualificazione urbana a vasta scala attento alle problematiche ambientali, sociali ed economiche. E sebbene non esplicito e prioritario, il richiamo alla sostenibilità appare evidente negli interventi realizzati in quegli anni⁹⁰.

L'intervento sul nuovo quartiere Vila Olimpica del Poblenou rappresentò l'occasione per risolvere il problema delle inondazioni temporanee, prevalentemente di carattere pluviale, che interessavano l'area a causa delle errate pendenze e dell'alta impermeabilità delle superfici; si registrava, inoltre, un problema diffuso di degrado ecologico e di contaminazione marina.

Le Olimpiadi rappresentarono l'occasione per realizzare un sistema di recupero e gestione delle acque adeguato attraverso azioni a grande scala, come il miglioramento del sistema fognario del sottosuolo, ed azioni puntuali atte a favorire la captazione e l'infiltrazione dell'acqua tramite interventi di adaptive design. In prossimità della spiaggia furono anche creati depositi sotterranei per stoccare

⁹⁰ In quegli anni era già maturata ed iniziava ad essere condivisa, traducendosi in concrete proposte progettuali, la consapevolezza degli impatti antropici sull'ambiente naturale.

l'acqua pluviale in eccesso mediante sistemi di raccolta, sistemi di pompaggio e impianti di depurazione per il riuso (Degen e Cabeza, 2012; Sauri e Palau-Rof, 2017; Aragón Perez, 2018). Sulla fascia costiera la sezione progettuale si caratterizza per un waterfront multifunzionale e multilivello, che, in sequenza, prevede: un'ampia spiaggia (di spessore variabile compreso tra 50 e 100m), una promenade sopraelevata di circa 4-6m rispetto alla spiaggia, seguita da un'area verde. Lo spazio verde si configura come una fascia di transizione tra l'area residenziale urbanizzata e la spiaggia, lo spessore e le caratteristiche di questo spazio variano al mutare del contesto con cui si relazione. Il disegno in sezione è sfruttato per inserire alla quota inferiore attrezzature commerciali e pubbliche. Il progetto integra, quindi, aspetti ambientali, sociali ed economici, coniugando protezione climatica e design urbano attraverso la creazione di spazio pubblico accessibile e di qualità (Losasso, 2017b; Figure 52; 53).

Per le iniziative avviate negli anni '90 e per quelle in corso, Barcellona è oggi nel virtuoso network C40⁹¹ e ha avviato un ambizioso piano climatico 2018-2030 che nell'asse 11 individua azioni volte alla conservazione, al ripristino e alla salvaguardia delle zone costiere promuovendone l'uso sostenibile mediante azioni volte alla mitigazione, all'adattamento e alla resilienza climatica e specifici piani di azioni come il Comprehensive Coastline Management Plan (PGIL) del 2007 o il masterplan per il Porto Olimpico del 2018 (Figura 54).



Figura 52. Parco del litoral, MBM arquitectes Barcellona. Fonte immagine: <https://www.mbrarquitectes.cat/>

⁹¹ C40, Cities Climate Leadership Group, è un network internazionale che coinvolge oltre 100 sindaci delle città leader nel mondo per la condivisione, la collaborazione e la messa in campo di azioni atte ad affrontare la crisi climatica in atto. Per maggiori informazioni visitare il sito: <https://www.c40.org/>.



Figura 53. Quartiere vila Olimpica, Barcellona. Fonte immagini: <https://ajuntament.barcelona.cat/santmarti/es/el-distrito-y-sus-barrios/la-vila-olimpica-del-poblenou>

Transforming communal spaces

Line of action
11 | **Conserving the seafront**



MUNICIPAL PLAYERS INVOLVED

- Municipal Manager's Office.
- Urban Ecology.
- Districts.
- Coastal research centres.
- Citizen organisations.
- Others.

STRATEGIC LINES OF THE CLIMATE PLAN



ASSOCIATED LINES OF ACTION:



Figura 54. Climate Plan (2018-2030), Barcellona C40. Immagine elaborata a partire da: <https://www.c40.org/cities/barcelona/>

Marsiglia

Marsiglia è una città-porto euromediterranea storica situata nel sud della Francia, importante centro per l'economia legata al mare in termini di commercio e turismo.

Come evidenziato anche nella carta di land use, la città è densamente urbanizzata e sul piano funzionale-spaziale l'area costiera si caratterizza per la presenza del porto (Grand port maritime de Marseille) uno dei porti commerciali più importanti del paese che, interessato da progetti di riqualificazione urbana, sta integrando sempre più usi turistico-ricreativi (Figura 55). Al contempo, sul piano geomorfologico la città si caratterizza per la complessa topografia collinare (sud-est) che ha fortemente condizionato i principi insediativi dell'area urbana (Robert et al., 2019).

Per la naturale conformazione topologica in pendenza e l'antropizzazione del territorio, la città è particolarmente soggetta ad eventi critici di inondazioni pluviali⁹², l'inadeguatezza dei sistemi di drenaggio fa sì che le acque meteoriche raggiungano velocemente anche la costa provocando ingenti danni sul piano ambientale, sociale ed economico. Tutta l'area è, infatti, classificata come "Territoire à Risque Important d'inondation (TRI)" (Chalvet e Claeys 2011; DREAL PACA, 2014).

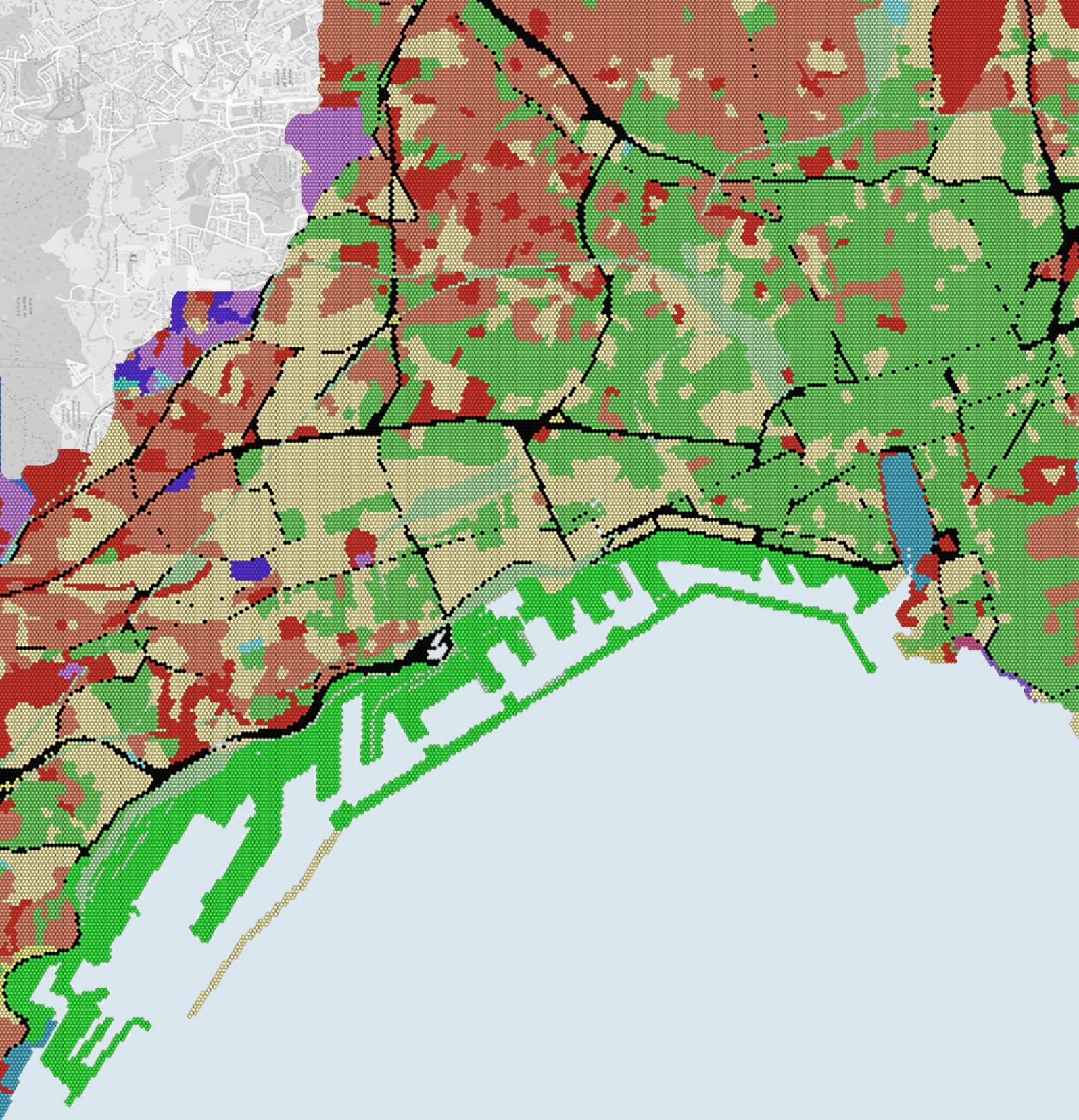
Sebbene l'innalzamento del mare non rappresenti la principale criticità climatica per il litorale marsigliese, per la pendenza e la tipologia di suolo in prevalenza roccioso, come evidenziato dalla carta di vulnerabilità, le aree portuali, soprattutto quelle del porto storico, potrebbero essere soggette ad eventi di ESL, caratterizzandosi per elevazione altimetriche medie inferiori ai 2,00m (Figura 56). Sul piano climatico, infatti, al 2100, gli eventi di ESL (RT 100yr, 95%) potrebbero raggiungere valori critici pari a circa 3,10m di altezza rappresentando una concreta minaccia per le attività economiche che insistono sulla costa (Vousdoukas et al., 2018).

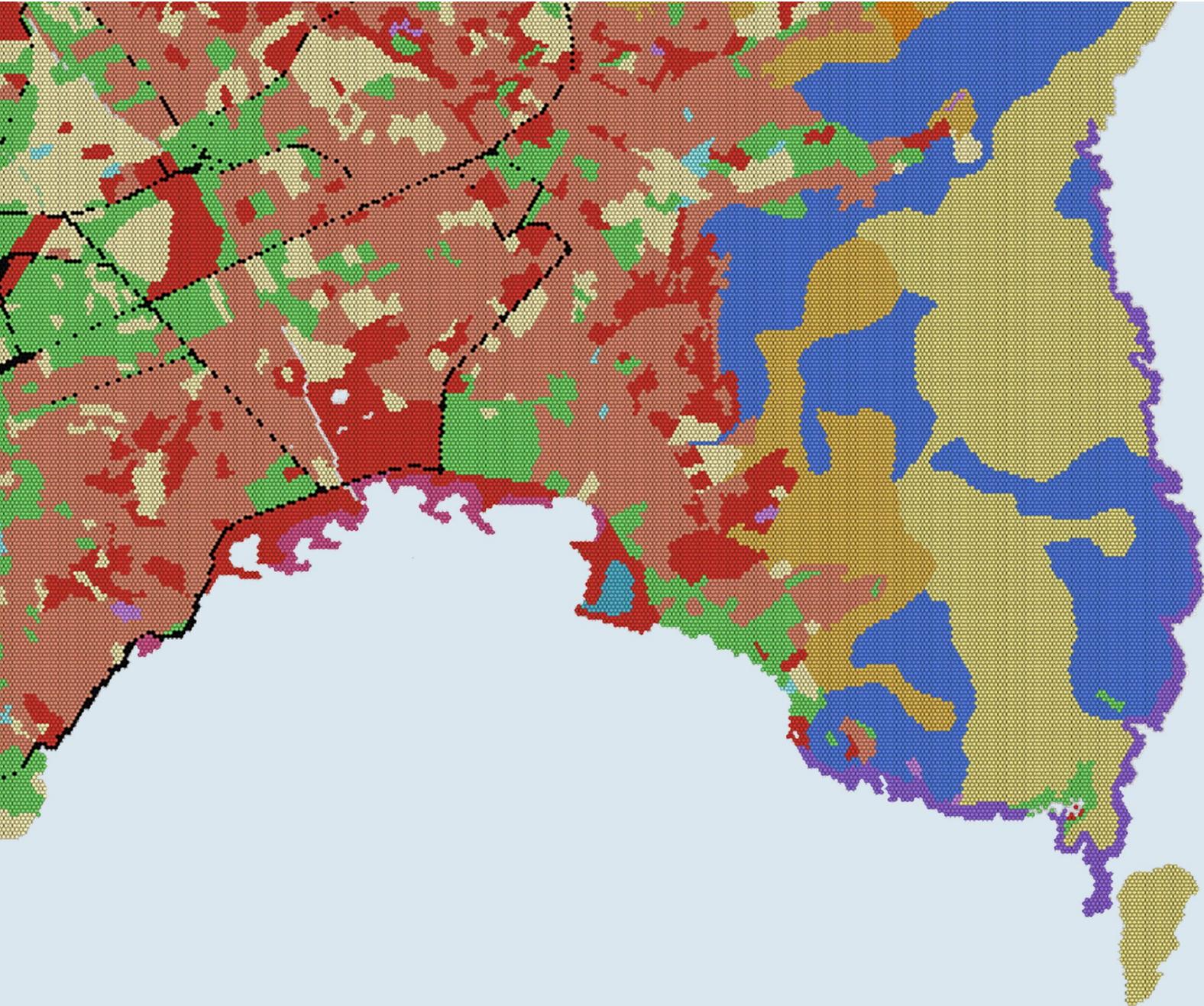
Nell'economia urbana e regionale il porto ricopre un ruolo fondamentale, nel 2011 si stimava un'occupazione di circa 43.000 posti di lavoro e un valore aggiunto alle aziende ad esso collegate di oltre 3,5 miliardi di euro (Robert e Laffront, 2021). I danni diretti e indiretti all'infrastruttura portuale potrebbero avere, quindi, conseguenze disastrose a scala più ampia, superando i confini spaziali e temporale delle aree direttamente interessate dai fenomeni di inondazione.

Oltre ai danni economici, connessi agli effetti diretti e indiretti per l'infrastruttura portuale, molteplici potrebbero essere i danni sul piano ambientale e sociale, come la perdita degli habitat naturali e l'aumento dell'inquinamento marino, già presente nell'area (Robert e Laffront, 2021).

L'applicazione del modello Coast-RiskBySea, anche in questo caso effettuata per simulazioni di ESL al 2100 (RT 100yr, 95%), mostra come le aree urbane-portuali si caratterizzano per valori di rischio medio e alto, mentre, l'area residenziale, se non in maniera puntuale, non risultano impattate (Figura 57; Tabella 12).

⁹² L'intensificarsi di eventi di precipitazione estreme rende la città di Marsiglia estremamente vulnerabile ai fenomeni di inondazione, gli effetti, sull'ambiente urbano, sono implementati a causa della pendenza delle colline, dell'alta densità del tessuto e dell'alta percentuale di suoli impermeabili (Chalvet e Claeys 2011).





CARTA DI LAND USE
 principali classi d'uso del suolo

- aree residenziali ad alta densità ■
- aree residenziali a media densità ■
- aree residenziali a bassa densità ■
- aree industriali, commerciali e pubbliche ■
- reti stradali e aree associate ■
- reti ferroviarie e aree associate ■
- area portuale per carico/scarico merci ■
- area porto passeggeri ■
- aree portio navale ■
- area porto turistico/diportistico ■
- area porto multifunzionale ■
- area porto cantieri navali ■
- area aeroportuale ■
- aree verdi urbane, aree sportive aree ricreative ■

Figura 55. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di land use

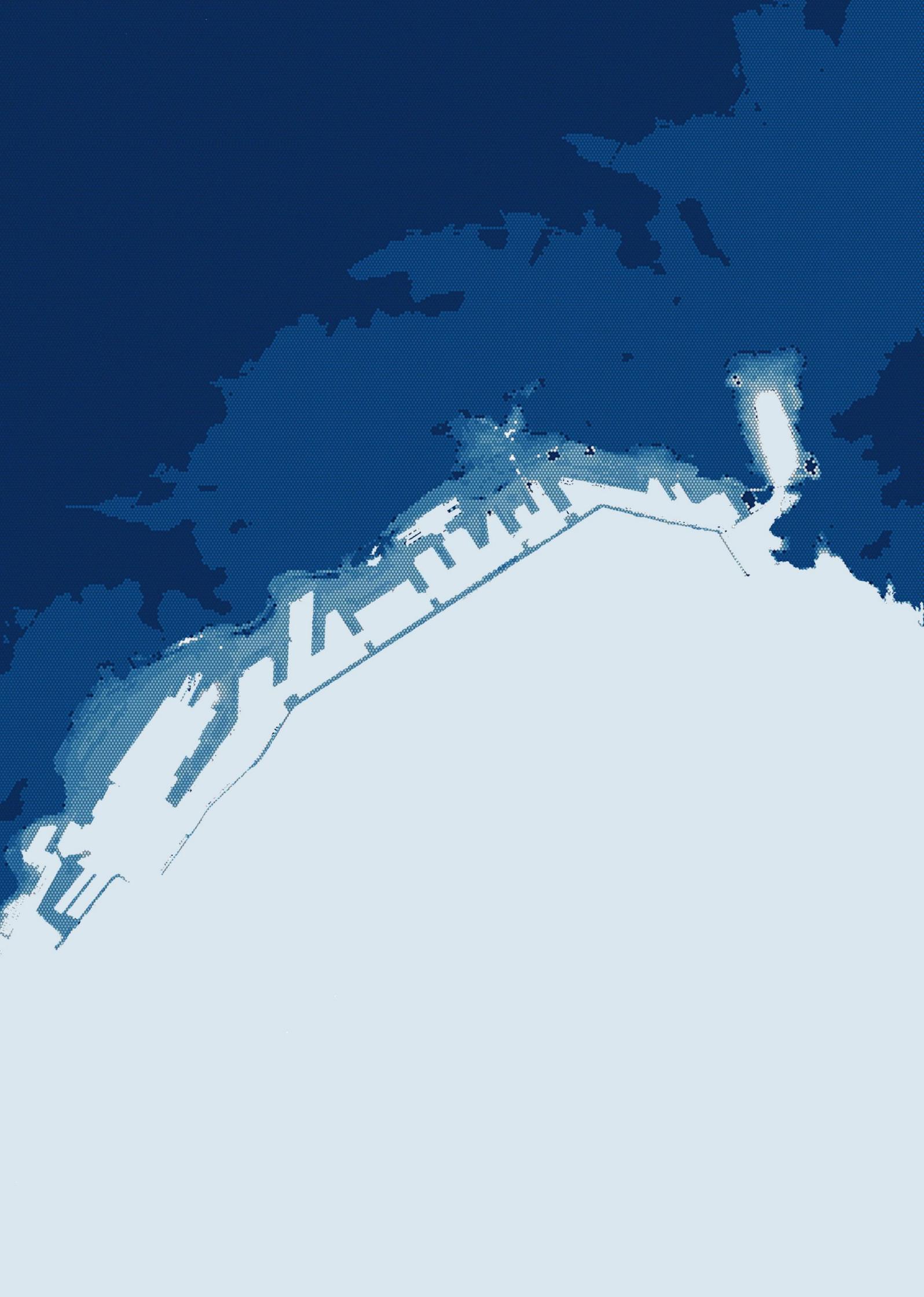
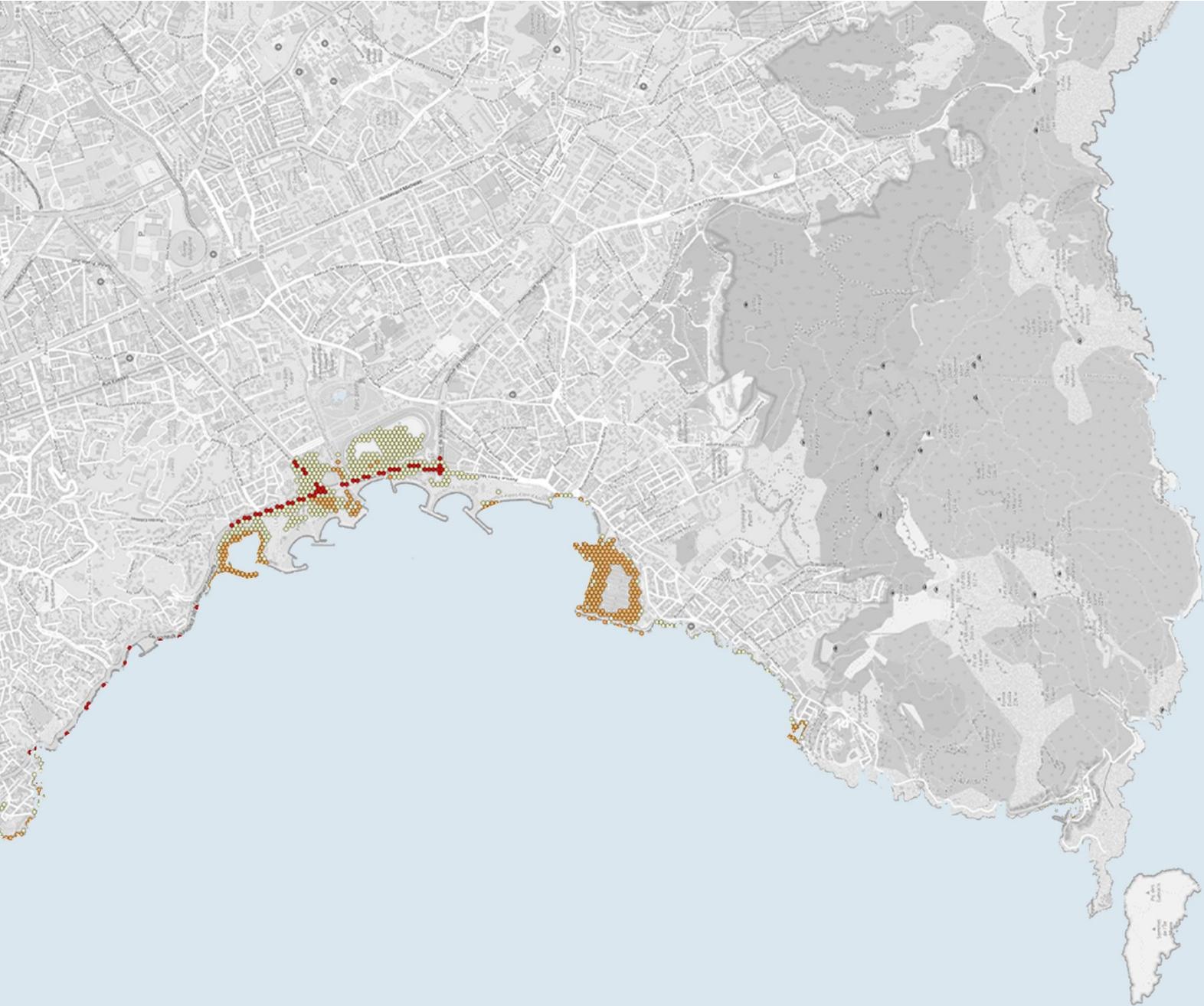




Figura 56. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di vulnerabilità per eventi di ESL





Coast-RiskBySea, carta di output
classi di rischio

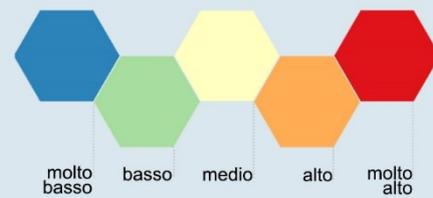


Figura 57. Sperimentazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di rischio per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, RT 100, 95%)

	Classe d'uso del suolo	n. celle imp.	% sup. imp.	M€	% su danni
11110	Area residenziale (IMD \geq 80%)	104	2%	6	3%
11120	Area residenziale (IMD \geq 30-80%)	23	1%	0,08	0%
11210	Aree industriali, commerciali, pubbliche o militari	260	6%	28	12%
12100	Reti stradale e aree associate	182	4%	42	18%
12200	Reti ferroviarie e aree associate	105	2%	17	7%
12310	Area portuale commerciale	2538	59%	17	7%
12350	Area porti turistici e da diporto	375	9%	50	21%
14000	Aree verdi urbane, aree sportive e ricreative	745	17%	75	32%

Tabella 12. Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Marsiglia. Scenario climatico di ESL al 2100 per RCP 8.5, RT 100yr e 95%

Dall'analisi dei risultati del modello Coast-RiskBySea per la simulazione, al 2100, di eventi di ESL (100yr, 95%) emerge che sul piano spaziale, i danni si concentrano nelle aree portuali a destinazione d'uso commerciale (59% della superficie impattata) e nelle aree verdi urbane, sportive e ricreative (17% della superficie impattata). Anche in questo la relazione tra superficie impattata e percentuale di danno sul totale, non è biunivoca, infatti, i danni, sul piano economico, si concentrano nelle aree verdi urbane, sportive e ricreative 75M€ (32% dei danni totali), nelle aree del porto turistico e da diporto 50M€ e (21% dei danni totali), nelle aree destinate al trasporto stradale 42M€ (18% dei danni totali) e nelle aree a destinazione d'uso industriale, commerciale e pubbliche 28M€ (12% dei danni totali).

Negli ultimi anni, come avvenuto anche per le altre città euro-mediterranee, il waterfront è stato interessato da numerosi progetti di riqualificazione urbana come: Villa Méditerranée, il Mucem o il centro commerciale Terrasses du Port e le banchine dell'Arenc (Buslacchi, 2013). Spesso il rischio di inondazioni, su orizzonti temporali a lungo termine, non è stato però considerato e sono stati realizzati parcheggi ed intere aree sotto il livello del mare (Robert e Laffront, 2021). L'area del porto storico risulta tutt'oggi soggetta a fenomeni di inondazione (Figura 58).

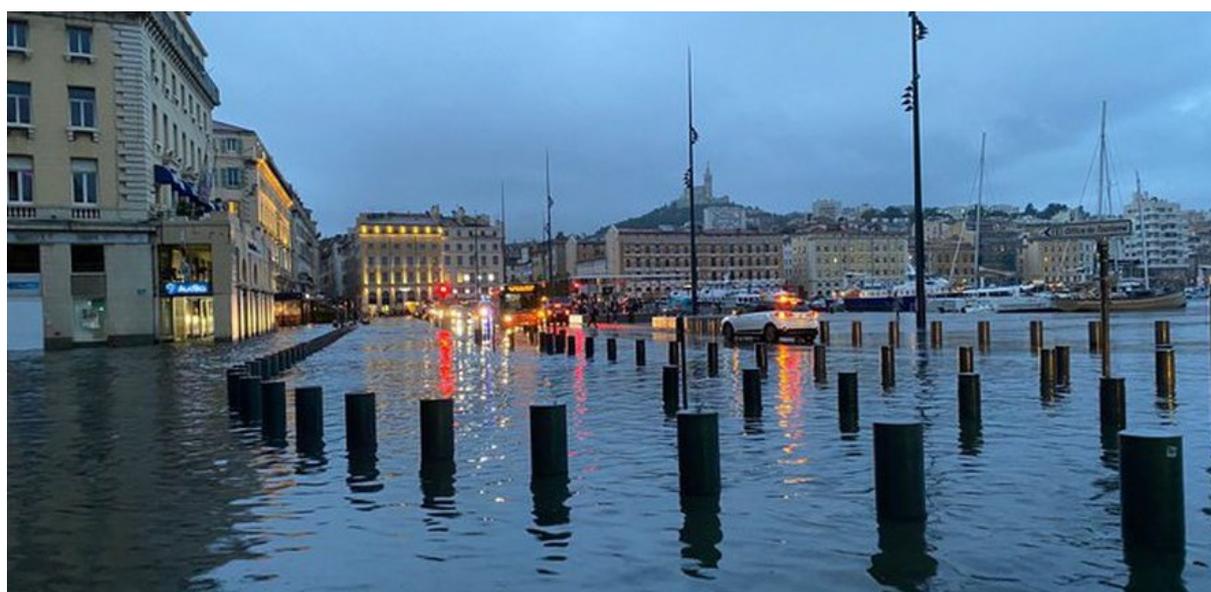


Figura 58. Il porto storico di Marsiglia inondato. Fonte immagine: <https://www.centrepresseaveyron.fr/>

3.4.3. Verifica dell'affidabilità dei risultati

L'affidabilità del modello Coast-RiskBySea è verificata a partire dalla comparazione tra i risultati ottenuti dalle simulazioni applicative e i risultati ottenuti dai modelli presenti nell'ambito della letteratura scientifica di riferimento che analizzano Napoli, Barcellona e/o Marsiglia come casi studio. In particolare, Prah et al. 2018 propone delle funzioni di danno, e le relative applicazioni, per 600 città costiere europee associando ad intervalli regolari di altezze d'acqua (50cm) i potenziali danni economici per eventi di inondazione costiera. I dati e l'approccio metodologico sono riportati in tabella e comparati con quelli del modello Coast-RiskBySea (Tabella 13).

Parametro	Prah et al., 2018	Coast-RiskbySea
Area studio e esposizione	Urban cluster derivati da CORINE land-cover Valori per m ² basati su CORINE land cover (risoluzione spaziale 100m) e land use LUCAS, Copernicus	Limiti comunali Valori per m ² basati sul land use Copernicus Coastal Zones Risoluzione = 10m MMW
Valore esposto	Land use €/m ² utilizzando le global depth damage functions (Huizinga et al. 2017)	Land use €/m ² utilizzando le global depth damage functions (Huizinga et al. 2017)
Orografia (vulnerabilità)	EU-DEM Risoluzione spaziale = 30m Accuratezza verticale = 2.9 meters	DTM locali Risoluzione spaziale = 1x1m Accuratezza verticale = +/- 15 cm
Modellazione dell'inondazione e hazard	Modellazione statica del fenomeno basata sulla connettività idraulica delle celle ad intervalli di 0,50m Non vengono fornite informazioni sull'hazard	Modellazione statica basata sulla conduttività idraulica delle celle intervalli 0,5-1m Eventi di ESL

Tabella 13. Dati e approcci metodologici a confronto tra il modello di proposto da Prah et al. (2018) e il modello Coast-RiskBySea

Come evidenziato, i modelli si caratterizzano per lo stesso approccio metodologico e per l'uso di dati open source e da telerilevamento. La scala dei dati di input, per il calcolo dei parametri di hazard e vulnerabilità (parametrizzata in funzione dell'orografia del terreno), nel modello Coast-RiskBySea si caratterizza per una risoluzione spaziale maggiore consentendo, quindi, un'analisi dei rischi sul piano spaziale più dettagliata.

Se l'applicazione sperimentale sulla città di Napoli è comparabile a causa della differente estensione spaziale delle analisi di rischio, per Barcellona e Marsiglia, con un discreto grado di approssimazione, i modelli sono comparabili e di seguito si riportano i risultati associando a cinque altezze d'acqua (+1,00m, +1,50m, 2,00m, +2,50m, +3,00) i risultati ottenuti dalle simulazioni di Prah et al. (2018) e quelli ottenuti dal modello Coast-RiskBySea.

Nel caso di Barcellona, essendo la risoluzione del modello di Prah inferiore rispetto a quella del modello proposto, alcune aree in prossimità della costa non vengono considerate e, pertanto, è stato

necessario prima di comparare i risultati, integrare una valutazione basata sulla sola intersezione delle aree considerate da entrambi i modelli.

La comparazione dei risultati sulla città di Barcellona⁹³ evidenzia differenze percentuali comprese tra il 31% e il 6% rispetto al modello proposto da Prah et al. (2018), con un valore medio pari a 21%, pertanto, la simulazione può essere considerata affidabile (Figura 59; Tabella 14). Come evidenziato, a parità di area, i risultati delle simulazioni del modello Cost-RiskBySea si caratterizzano per valori inferiori, l'errore riscontrato nell'affidabilità del modello può essere attribuito da una parte alla maggiore risoluzione spaziali che caratterizza i dati in ingresso del modello proposto e che consente, quindi, analisi più di dettaglio, dall'altra dall'integrazione dei dati effettuata per considerare aree omogenee tra i due modelli. L'implementazione sul piano spaziale si caratterizza, infatti, per valori di danno economico bassi, tale errore deriva dalla diversa, e inferiore, risoluzione dei dati di elevazione costiera utilizzati.

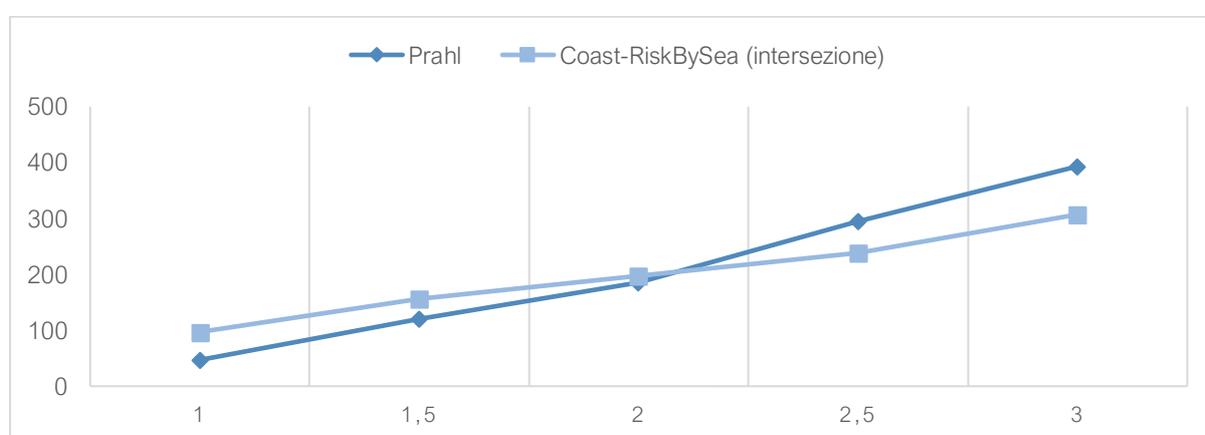


Figura 59. Analisi comparativa delle curve di danno proposte da Prah et al. (2018) e le curve di danno del modello Coast-RiskBySea sul caso studio di Barcellona

	h acqua	Coast-RiskBySea	Prah et al. 2018	Coast-RiskBySea (intersezione)	Differenza percentuale	
BARCELLONA	1,00 m	159 M€	74 M€	96 M€	+1 M€	31%
	1,50 m	250 M€	121 M€	154 M€	+2 M€	29%
	2,00 m	314 M€	186 M€	195 M€	+3 M€	6%
	2,50 m	369 M€	295 M€	236 M€	+3 M€	19%
	3,00 m	480 M€	393 M€	302 M€	+5 M€	22%

Tabella 14. Analisi comparativa dei risultati per l'affidabilità del modello sul caso studio di Barcellona e Marsiglia

Parallelamente, la comparazione dei risultati delle simulazioni sul caso studio di Marsiglia, rispetto al modello proposto da Prah et al. (2018), mostra delle differenze percentuali comprese tra il 37% e il 5%, con un valore medio pari a 20% (Figura 60; Tabelle 15).

⁹³ Per comparare l'applicazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona con i risultati ottenuti del modello di Prah et al. (2018) è stato necessario integrare anche le adiacenti aree dei comuni di Badalona e di Sant Adrià del Besòs. Non disponendo di un rilievo DTM per tali aree la modellazione è stata effettuata utilizzando, come da riferimento, il modello EU-DEM fornito dal servizio europeo Copernicus.

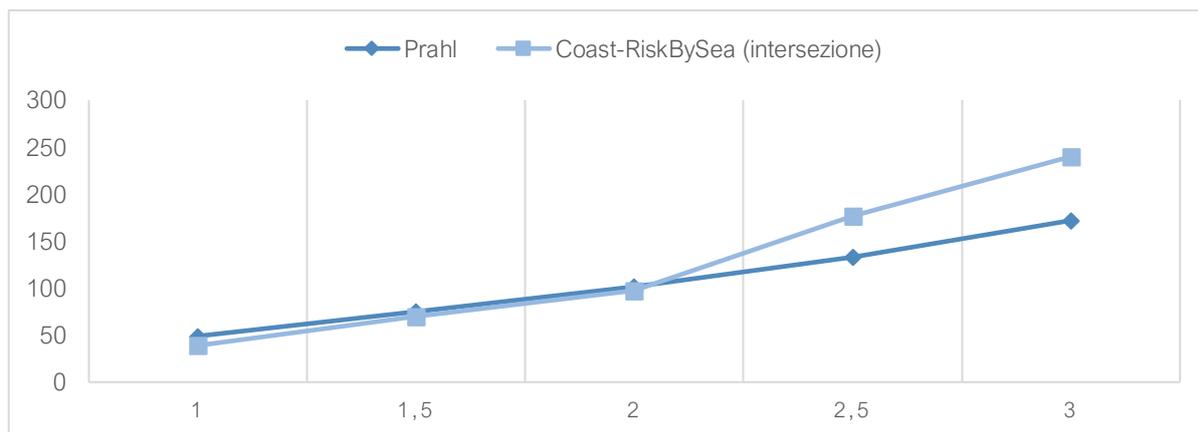


Figura 60. Analisi comparativa delle curve di danno proposte da Prah et al. (2018) e le curve di danno del modello Coast-RiskBySea sul caso studio di Marsiglia

	h acqua	Prah et al. 2018	Coast-RiskBySea	Differenza percentuale
MARSIGLIA	1,00 m	49 M€	39 M€	20%
	1,50 m	75 M€	70 M€	6%
	2,00 m	102 M€	97 M€	5%
	2,50 m	133 M€	177 M€	33%
	3,00 m	172 M€	240 M€	37%

Tabella 15. Analisi comparativa per l'affidabilità del modello sul caso studio di Marsiglia

Nonostante le differenze individuate dalle applicazioni sulle città di Napoli e Marsiglia, i risultati ottenuti dai modelli presenti in letteratura non si discostano significativamente rispetto ai risultati ottenuti con le simulazioni del modello Coast-RiskBySea e pertanto il modello può essere considerato affidabile. La differenza percentuale evidenziata è attribuibile alle differenti scale spaziali che caratterizzano i dati di input.

3.4. I RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Il management delle aree urbane in scenari di criticità climatiche è un imperativo urgente per tutti i decisori, in particolare, nelle aree costiere le proiezioni climatiche evidenziano un aumento in intensità e frequenza degli eventi di Extreme Sea Level (ESL) soprattutto lungo le coste del Mediterraneo, sia nel breve che nel lungo termine. Lungo le coste, peraltro, c'è un'alta concentrazione di attività, beni e servizi strategici esposti che richiede sistemi di supporto decisionale per orientare i progetti in chiave sostenibile e smart. In questo contesto, il modello Coast-RiskBySea (COASTal zones RISK assessment for Built environment bY extreme SEA level) si pone come supporto per identificare le aree a rischio e il grado di rischio correlato, parametrizzato in funzione dei potenziali danni economici, diretti e tangibili, sull'ambiente costruito. La metodologia proposta si basa sul quadro concettuale per la valutazione del rischio individuato dall'IPCC nei report AR5 e AR6 e il rischio, land use-based, è calcolato su reticolo vettoriale di riferimento caratterizzato da celle esagonali omogenee regolari.

In linea con gli obiettivi della Comunità Europea per la trasformazione verde e digitale, il modello Coast-RiskBySea si pone, quindi, come modello innovativo di osservazione e conoscenza del rischio di inondazione costiera orientato al supporto del progetto – tecnologico e ambientale – di adattamento climatico. Pertanto, sono caratteristiche e aspetti chiave del modello:

- Il downscaling dell'analisi degli impatti alla scala locale;
- la definizione e caratterizzazione di indicatori e parametri per valutare la vulnerabilità e l'esposizione dell'ambiente costruito in rapporto alle condizioni di rischio di inondazione costiera;
- la valutazione del rischio in funzione degli eventi di ESL integrando, quindi, sia la componente di hazard graduale sia quella event-based;
- la valutazione del rischio parametrizzata in funzione dei potenziali danni economici, diretti e tangibili, sull'ambiente costruito grazie all'introduzione delle funzioni di danno;
- la trasferibilità e replicabilità delle analisi su tutti i territori costieri dell'Unione Europea grazie all'utilizzo di dati open source e da telerilevamento con copertura spaziale omogenea;
- la possibilità di aggiornare, implementare e integrare le analisi grazie all'approccio gridded data, all'utilizzo di dati di origine telerilevata e della nomenclatura standard;
- la relazione tra le analisi di rischio e il progetto di adattamento grazie alla sistematizzazione, basata sulla letteratura scientifica e sull'analisi di casi studio internazionali, in un catalogo di soluzioni metaprogettuali di adattamento climatico e la verifica dell'applicabilità di tali soluzioni rispetto alle analisi di rischio e alle informazioni contenute nelle celle del modello in forma di attributi spaziali (capitolo 4).

Il modello Coast-RiskBySea si pone come efficace strumento di supporto per una valutazione rapida e sintetica dei possibili impatti, classificati in termini economici, degli effetti sempre crescenti del cambiamento climatico in area costiera. Dalle carte di output è possibile individuare le aree più interessate dai fenomeni di inondazione e comprenderne il grado di rischio correlato.

L'originalità dell'approccio risiede anche nella possibilità di applicare il modello in maniera omogenea su tutto il territorio costiero dell'Unione Europea, i dati sono, infatti, tutti open source e caratterizzati

per una copertura spaziale omogenea a livello europeo. Questa caratteristica influenza inevitabilmente la scala del modello che si relaziona con valutazioni a scala urbana.

La scala del reticolo di riferimento si caratterizza per celle esagonali iscritte in una circonferenza il cui raggio è pari a 15m rappresentando un concreto supporto decisionale a vari livelli pubblici e privati, includendo il supporto a progettisti, pianificatori, istituzioni e assicuratori. Ulteriori implementazioni del modello potrebbero consentire un'ulteriore riduzione di scala.

Per l'analisi del land use e, quindi, del valore esposto, il modello si basa sul nuovo database Copernicus Coastal Zones 2018 che rappresenta un dato fondamentale e innovativo. L'utilizzo della nomenclatura Copernicus consente, inoltre, di rendere le analisi continuamente implementabili grazie alla disponibilità aggiornata dei dati e, quindi, di prevedere un monitoraggio continuo. In aggiunta il metodo, caratterizzandosi per un approccio gridded data, consente di implementare, processare e combinare continuamente le informazioni, per esempio, potrebbero essere inseriti dei coefficienti per identificare le aree UNESCO.

Come evidenziato, il modello Coast-RiskBySea consente la valutazione del rischio in funzione della parametrizzazione economica dei danni economici diretti e tangibili. I danni sono elaborati grazie all'utilizzo delle global depth-damage functions che, però, si concentrano solo sull'ambiente costruito senza considerare quello naturale e il valore intangibile dei potenziali danni sul piano ambientale e sociale. Pertanto, il modello potrebbe essere implementato con l'introduzione di curve di danno per l'ambiente naturale e di parametri per consentire la valutazione del danno in termini intangibili sia per l'ambiente costruito che per quello naturale; potrebbero anche essere inseriti parametri per considerare i danni indiretti.

Rispetto alla valutazione dell'hazard, nel Coast-RiskBySea, il fenomeno delle inondazioni causate da eventi di extreme sea level è considerato di tipo statico. Le simulazioni potrebbero essere implementate valutando anche eventuali effetti di incremento/decremento del fenomeno, infatti, la conduttività idraulica delle superfici potrebbe influenzare l'intensità del flusso d'acqua e la presenza di scogliere, o di altri elementi di protezione, potrebbe ridurre gli impatti sull'ambiente costruito. Per le opere di difesa bisogna comunque tener conto che, considerando le proiezioni climatiche a lungo termine, potrebbero essere inadeguate perché superate dal livello del mare. Parallelamente altri parametri, come le pendenze, potrebbero incrementare gli effetti delle inondazioni.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 3

- Abadie, L. M., Sainz de Murieta E., Galarraga I. (2016), "Climate Risk Assessment under Uncertainty: An Application to Main European Coastal Cities", in *Frontiers in Marine Science*, vol. 3. Available online: doi.org/10.3389/fmars.2016.00265.
- Aragón Perez, A. (2018), *La construcción del pensamiento ecológico durante los Juegos Olímpicos de Barcelona 1992 : elementos de sostenibilidad, salubridad medioambiental y difusión*, tesi di dottorato, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Comunicació Audiovisual i Publicitat, 442 pp. Available online: <https://www.tdx.cat/handle/10803/665753#page=1>
- Ascione, A., Aucelli, P., Cinque, A., Di Paola, G., Mattei, G., Ruello, M., Russo Ermolli, E. Santangelo, N., Valente, E. (2020), "Geomorphology of Naples and the Campi Flegrei: human and natural landscapes in a restless land", in *Journal of Maps*. Available online: doi.org/10.1080/17445647.2020.1768448.
- Bruttomesso, R. (1993), *Waterfront. A new frontier for cities on water*, (a cura di), Edizioni Città d'Acqua, Venezia.
- Bruttomesso, R., Moretti, M. (2010), "Città-porto e riqualificazione del waterfront: evoluzione e scenario di una strategia vincente" in Savino, M., pp. 18-27.
- Buslacchi, M. E. (2013), "A View From The Sea The Regeneration of Marseille Waterfront: Iconic Buildings And Mediterranean Sea" in *TRIA: Territorio della Ricerca su Inseguimenti e Ambiente*, vol. 11, pp. 3-14. Available online: doi.org/10.6092/2281-4574/2053.
- Cardarelli, U. et al. (1987) *La Città Mediterranea. Primo rapporto di ricerca*, Istituto per la Pianificazione e la Gestione del Territorio, Napoli, 1987.
- Carlucci, R. (2017), "Discrete Global Grid Systems nuovo sistema di riferimento mondiale adottato da Open Geospatial Consortium", in *GEOMedia*, vol. 21 (6). Available online: <https://mediageo.it/ojs/index.php/GEOMedia/article/view/1502>.
- Chalvet, M., Claeys, C. (2011), "Marseille, une ville méditerranéenne entre pénurie et inondation", in *Vertigo*, Hors-série 10. Available online: doi.org/10.4000/vertigo.12083.
- Comune di Napoli (2021), "Lavori di manutenzione straordinaria per il ripristino del parapetto di Via Parthenope a seguito della mareggiata del 28.12.2020", Determina dirigenziale n. 23/K del 14.05.2021, Comune di Napoli, area infrastrutture, Servizio strade e grandi reti tecnologiche, IG/2021/0001012. Available online: <https://www.comune.napoli.it/flex/cm/pages/ServeBLob.php/L/IT/IDPagina/42838>.
- Corradini, S. (2011), "Urbanistica di genere per la città portuale", in *PORTUSplus*.
- De Pippo, T., Donadio, C., Pennetta, M., Petrosino, C., Terlizzi, F., Valente, A. (2007), "Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy", in *Geomorphology*, vol. 97, pp. 451-466. Available online: doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.015.
- Degen, M., Cabeza, M. (2012), "The Transformation of the 'Barcelona Model': An Analysis of Culture, Urban Regeneration and Governance", in *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 36. Available online: doi.org/10.1111/j.1468-2427.2012.01152.x.
- DREAL PACA (2014), *Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de Marseille – Aubagne. Cartographie des surfaces inondables et des risques – Service Prévention des Risques*.
- Excimap, (2007). *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. EXCIMAP - European exchange circle on flood mapping. Available at: https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/pdf/handbook_goodpractice.pdf.
- Ferragina A.M., Nunziante G. (2018), "Disparità e ineguaglianze tra i territori all'interno dell'area Mediterranea", in Ferragina E. (a cura di), *Rapporto sulle economie del Mediterraneo*. Edizione 2018, il Mulino, Bologna, pp. 137-175.
- Fortelli, A., Fedele, A., De Natale, G., Matano, F., Sacchi, M., Troise, C., Somma, R. (2021) "Analysis of Sea Storm Events in the Mediterranean Sea: The Case Study of 28 December 2020 Sea Storm in the Gulf of Naples, Italy", in *Applied Science*, vol. 11, 11460. Available online: doi.org/10.3390/app112311460
- Giovinazzi, O. (2007), *Città portuali e waterfront urbani*, (a cura di), Hoepli, Milano.
- Giovinazzi, O., Moretti, M. (2010), "Port Cities and Urban Waterfront: Transformations and Opportunities", in *TeMaLab journal of Mobility, Land use and Environment*, vol. 3, pp. 57-64.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. et al. (2013), "Future flood losses in major coastal cities", in *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 802-806. Available online: doi.org/10.1038/nclimate1979.

- Huizinga, H. J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017), *Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines*, Joint Research Centre Available online: doi.org/10.2760/16510.
- Iovino, G. (2016), "La rigenerazione del waterfront nelle città marittimo-portuali. L'esperienza di Salerno", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, vol.157, pp.41-52. Available online: <https://www.openstarts.units.it/handle/10077/993>.
- IPCC (2014a), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J.Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press (1132 pp.). Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- IPCC (2014b), "Annex II: Glossary" in: Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., et al. (eds), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 1757–1776. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- IPCC (2021), *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis The Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report*. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- Kenward, T., Lettenmaier, D., Wood, E., Fielding, E. (2000), "Effects of Digital Elevation Model Accuracy on Hydrologic Predictions", in *Remote Sensing of Environment*, vol. 74, pp. 432-444. Available online: doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00136-X.
- Kopp, R., Horton, R., Little, C., Mitrovica, J., Oppenheimer, M., Rasmussen, D.J., Strauss, B., Tebaldi, C. (2014), "Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide gauge sites", in *Earth's Future*, vol. 2, pp. 383-406. Available online: doi.org/10.1002/2014EF000239.
- Mattei, G., Di Luccio, D., Benassai, G., Anfuso, G., Budillon, G., Aucelli, P. (2021), "Characteristics and coastal effects of a destructive marine storm in the Gulf of Naples (Southern Italy)", in *Natural hazards*. Available online: doi.org/10.5194/nhess-2021-224.
- Mattei, G., Rizzo, A., Anfuso, G. et al. (2020), "Enhancing the protection of archaeological sites as an integrated coastal management strategy: the case of the Posillipo Hill (Naples, Italy)" in *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, vol. 31, pp. 139–152. Available online: doi.org/10.1007/s12210-019-00867-9.
- Morello, E. (2009), "Scenari di sostenibilità ambientale e nuovi paradigmi per il progetto di architettura, progettazione ambientale e forma urbana" in Bertoldini M., Campioli A. (a cura di), *Cultura tecnologica e ambiente, Città studi edizioni, Trofarello (TO)*, pp.111-133.
- Pace, G. (2004), "Modi di pensare e vedere la città mediterranea", Urban/Regional 0312003, University Library of Munich, Germany.
- Pavia, R., di Venosa M. (2012), *Waterfront dal conflitto all'integrazione/From conflict to integration*, ListLab, Trento.
- Prahl, B. F., Boettle, M., Costa L., Kropp, J.P., Rybski, D. (2018), "Damage and protection cost curves for coastal floods within the 600 largest European cities", in *Scientific Data*, vol. 5. Available online: doi.org/10.1038/sdata.2018.34.
- Robert, S., Laffont-Schwob, I. (2021), "Le littoral marseillais", in *Marseille et l'environnement. Bilan, qualité et enjeux*, cap. 6. Available online: doi.org/10.4000/books.pup.41453.
- Rosselli, A. (2005), "Il porto come struttura e significato", *Portus*, pp. 5-9. Available online: <http://retedigital.com/en/publications/portus/>
- Russo, M. (2015), "Multiscalarità. Dimensioni e spazi della contemporaneità", in ARCHIVIO DI STUDI URBANI E REGIONALI, Franco Angeli, pp.5-22.
- Saurí, D., Palau-Rof, L. (2017), « Urban drainage in Barcelona: From hazard to resource?», *Water Alternatives*, vol. 10, pp. 475-492.
- Savino, M. (2010), *Waterfront di Italia. Piani, Politiche e Progetti*, (a cura di), Franco Angeli, Milano.
- Vafeidis, A., Nicholls, R., McFadden, L., Tol, R., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P., Boot, G., Klein, R. (2008), "A New Global Coastal Database for Impact and Vulnerability Analysis to Sea-Level Rise", in *Journal of Coastal Research*, vol. 24., pp. 917-924. Available online: doi.org/10.2112/06-0725.1.
- Valente, R., Stamatopoulos, L., Donadio, C. (2014), "Environmental design criteria through geoindicators for two Mediterranean coastlands". *City Safety Energy*, vol. 2, pp. 63-75. Available online: doi.org/10.12896/cse20140020023
- Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E. et al. (2018), "Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood

hazard.”, in *Nature Communication*, vol. 9. Available online: doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w.

Wahl, T., Haigh, I., Nicholls, R. *et al.* (2017), “Understanding extreme sea levels for broad-scale coastal impact and adaptation analysis”, in *Nature Communications*, vol. 8. Available online: doi.org/10.1038/ncomms16075.

White, D., Kimerling, A., Overton, W. (2013), “Cartographic and Geometric Components of a Global Sampling Design for Environmental Monitoring”, in *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19, pp. 5-22 Available online: doi.org/10.1559/152304092783786636.

World Bank (2011), *The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium. Environment and Development*. Available online: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2252>.

DATI

CZ LC/LU (2018), Copernicus Coastal Zones Land Cover/Land Use 2018. Available online: <https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones/coastal-zones-2018>.

Huizinga et al., (2017), Global depth-damage functions. Available online: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105688>

MATTM (2007), Digital Terrain Model, Available online: http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=LiDAR_Campania

Vousdoukas et al. (2018), ESL projections database. Available online: <https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/LISCOAST>.

CAPITOLO 4
IL MODELLO Coast-RiskBySea
COME STRUMENTO DI SUPPORTO DECISIONALE
PER IL PROGETTO DI ADAPTIVE DESIGN

Nel **quarto capitolo**

è approfondito il ruolo chiave della conoscenza e dell'osservazione dei rischi climatici per orientare il progetto di adattamento climatico nella fase di metaprogettuale.

A partire dallo stato dell'arte e dall'analisi di casi studio, è costruito un catalogo di soluzioni di adattamento climatico orientato al supporto decisionale della fase metaprogettuale. Il catalogo è relazionato con il modello Coast-RiskBySea mediante la definizione dell'applicabilità delle soluzioni in funzione degli aspetti di vulnerabilità ed esposizione.

PAROLE CHIAVE

adattamento climatico, metaprogetto, supporto decisionale

4.1. IL CONTRIBUTO DEL MODELLO Coast-RiskBySea PER IL SUPPORTO AL METAPROGETTO DI ADATTAMENTO CLIMATICO

La lettura urbana in chiave sistemica impone la necessità di considerare molteplici informazioni per orientare il progetto in regime di cambiamento climatico, tenendo conto di tutte le sue istanze. Nell'ambito della conoscenza dei rischi finalizzata al supporto decisionale per l'attuazione di progetti di adattamento climatico, l'Unione Europea individua molteplici gap conoscitivi in termini di informazioni su danni, costi e vantaggi delle azioni progettuali e la mancanza di analisi e valutazione dei rischi a scala regionale e locale; pertanto, emerge la necessità di integrare i quadri di conoscenza del rischio e degli impatti alla scala locale (EC, 2013a; EC, 2021b).

In maniera trasversale, gli scenari della cultura digitale e dell'Industria 4.0 promuovono innovazioni nel campo dei processi progettuali, attuati mediante il ricorso alle tecnologie abilitanti, per l'incremento della resilienza del sistema fisico e socioeconomico (EC, 2012).

Il progetto ambientale adattivo si caratterizza per la multiscalarità sia in fase istruttoria che operativa, la tecnologia consente di governare il processo progettuale integrando, infatti, simultaneamente, visioni ad ampia scala con definizioni di dettaglio, è possibile individuare tre scale di riferimento: regione/città, distretto/quartiere e blocco/edificio (Valente, 2020). In questo scenario, la governance dei processi decisionali consente di fornire risposta al binomio conoscenza-progetto mediante processi di downscaling rispetto alle azioni di planning ad area vasta e parallelamente, più in generale, consente di orientare il progetto edilizio di adattamento climatico. Nei processi decisionali convergono e interagiscono molteplici processi di: conoscenza, metaprogettazione e progettazione dell'adattamento climatico (Losasso, 2017a).

In ambito urbano, la valutazione dei rischi climatici costituisce un aspetto fondamentale per definire l'applicabilità del progetto di adattamento climatico inteso come progetto capace di prefigurare gli scenari futuri. In questo contesto, occorre pensare agli insediamenti urbani come entità complesse che devono adattarsi al clima attuando interventi di retrofit (flessibili e dinamici), utilizzando un continuo flusso di informazioni secondo processi feed back loop con risposte reattive e sistemiche in grado di innescare comportamenti resilienti. Il design resilient-based consente di trovare il giusto equilibrio tra l'innovazione tecnologia, la governance delle risorse e le strategie di sviluppo sostenibile e smart (Losasso, 2018a).

Nell'ambito degli interventi resilience-based, gli interventi di adaptive design alla scala locale costituiscono un'azione strategica sia nel breve che nel medio termine (D'Ambrosio, 2016a); i sistemi di protezione possono essere, infatti, inadeguati se si considerano orizzonti temporali più lunghi o eventi climatici eccezionali (Barroca, 2018).

Progettare in area costiera richiede, inoltre, specifiche attenzioni per realizzare interventi ecocompatibili, integrati con il contesto e con un ridotto impatto ambientale, mediante soluzioni tecnico-ambientali che preservino l'equilibrio ecosistemico e non depauperino le risorse (D'Ambrosio, 2006). In questo contesto, la metaprogettazione consente di individuare criteri e requisiti del sistema tecnologico-ambientale finalizzati alla proposta di variazioni progettuali con scenari diversi. I cataloghi di soluzioni metaprogettuali non sono infatti solo una "matrice di progetti" ma rappresentano uno

strumento di azione decisionale progressiva, supportando il passaggio dalla fase istruttoria a quella di formalizzazione e sintesi e, quindi, dalla fase analitica a quella progettuale (Tucci, Ceccafosso e Turchetti, 2021).

I cataloghi di alternative tecniche da una parte consentono il supporto ai processi decisionali in chiave climate adaptive, rappresentando strumenti utili per la valutazione delle alternative progettuali, dall'altra sono anche strumenti informativi di conoscenza a disposizione di professionisti, ricercatori e amministrazioni locali (Filagrossi Ambrosino e Leone, 2017).

Per il supporto decisionale al progetto di adattamento climatico, i software GIS-based consentono di orientare le scelte decisionali mediante soluzioni validate da processi di conoscenza oggettivi, grazie all'utilizzo di approcci metodologici rigorosi e alla qualità dei dati introdotti nei processi decisionali (D'Ambrosio, 2017; Aprea, D'Ambrosio e Di Martino, 2018; Milardi, 2021).

Per orientare il progetto di adattamento climatico la conoscenza e la caratterizzazione degli aspetti di vulnerabilità ed esposizione sono elementi chiave. Agendo su vulnerabilità ed esposizione è possibile, infatti, ridurre il rischio, mediante azioni di adattamento che possono agire a varie scale e interessare siti specifici o aree più vaste.

Pertanto, allo scopo di fornire uno strumento di supporto decisionale, nella fase metaprogettuale, finalizzato al progetto di adattamento alla scala locale, il modello Coast-RiskBySea è associato ad un catalogo di soluzioni di adattamento climatico. L'applicabilità e l'efficacia delle soluzioni dipende dai contesti locali e, quindi, le informazioni contenute nelle celle, in forma di attributi spaziali, definiscono l'applicabilità di una o più soluzioni rispetto alle caratteristiche dei luoghi (Figura 61).

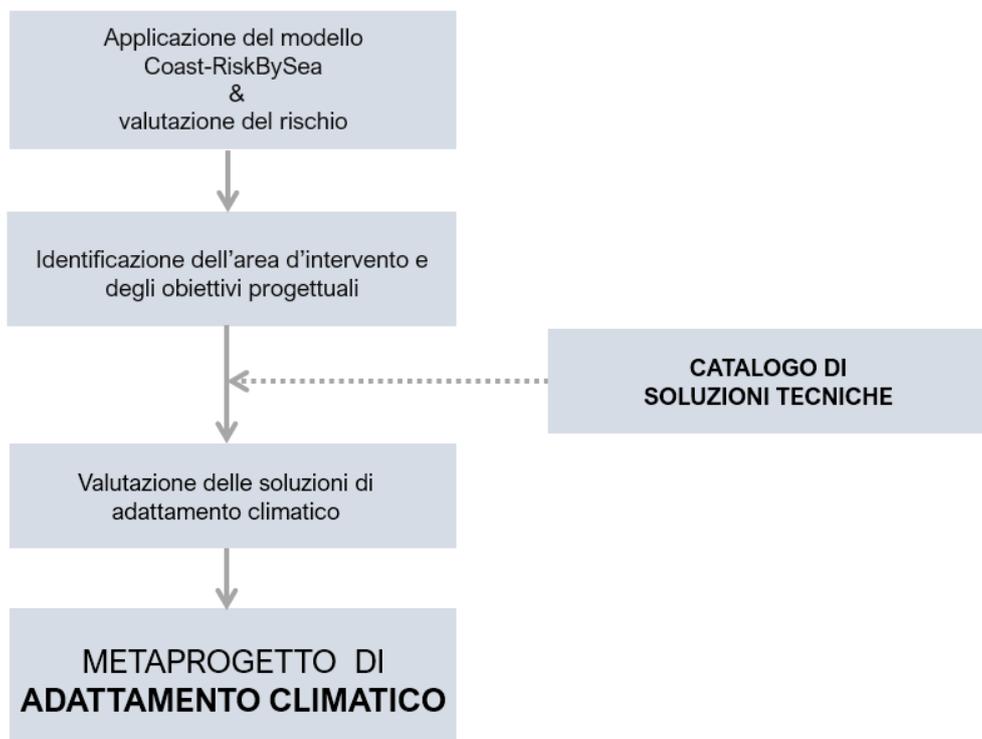


Figura 61. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al processo decisionale

4.2. SCHEDATURA DELLE SOLUZIONI DI ADATTAMENTO CLIMATICO PER L'AMBIENTE URBANO - COSTIERO

Per implementare il modello di osservazione e conoscenza Coast-RiskBySea, associando le analisi di rischio ad una raccolta di misure di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera, è stata operata una schedatura di soluzioni progettuali individuate a partire dalla letteratura scientifica di riferimento e dall'analisi di buone pratiche progettuali nell'ambito del panorama nazionale ed internazionale.

Ai fini del supporto decisionale, orientato al metaprogetto dell'ambiente urbano costiero in chiave smart e sostenibile, le soluzioni di adattamento climatico sono state opportunamente classificate e, per ognuna, è stata costruita una scheda informativa ai fini della costruzione di un catalogo orientato al supporto decisionale.

Come anticipato nel paragrafo 1.4.1, per l'ambiente urbano-costiero, è possibile classificare le soluzioni di adattamento climatico in funzione delle strategie introdotta per contrastare i rischi costieri e, quindi, in misure che agiscono per: difesa, accomodamento o delocalizzazione (IPCC CZM, 1990). Queste strategie sono valide sia alla scala urbana che a quella degli edifici, è, infatti, possibile permettere all'acqua di entrare minimizzando i danni strutturali (accomodamento), evitare all'acqua di entrare mediante l'utilizzo di materiali resistenti alle infiltrazioni "difendendo" quindi l'edificio e il proprio contenuto (difesa) o possono essere "ritirati" delocalizzando l'edificio per intero, o delocalizzando le componenti sensibili, come centraline e generatori elettrici (delocalizzazione) (UNEP, 2010).

Parallelamente l'IPCC, nel report AR5, individua tre categorie di azioni: strutturali/fisiche, sociali e istituzionali. Le azioni strutturali/fisiche possono essere categorizzate in misure ingegnerizzate e sull'ambiente costruito, azioni tecnologiche, azioni ecosystem-based e servizi; le misure sociali sono rivolte alla popolazione e attuate mediante azioni rivolte all'educazione, all'informazione e al miglioramento del comportamento dei cittadini; infine, alle misure istituzionali appartengono le azioni attuate mediante finanziamenti economici, leggi e direttive, policies e programmi operativi (Noble et al., 2014).

A livello nazionale, nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC), le misure di adattamento sono classificate in: grigie, verdi e soft. In particolare, alla categoria di azioni grigie, o azioni di tipo infrastrutturale e tecnologico, appartengono tutte le soluzioni strutturali fisiche tecnologiche e/o ingegneristiche; alle soluzioni verdi, o basate su approccio ecosistemico, tutte le soluzioni caratterizzate per l'approccio ambientale che individua nel capitale naturale e nei servizi ecosistemici elementi fondativi per lo sviluppo di azioni progettuali più sostenibili; alle soluzioni soft, o di tipo non strutturale, appartengono soluzioni a molteplici livelli attuate attraverso misure gestionali, politiche ed economiche (MITE, 2015).

Una sintesi comparativa dei principali metodi di classificazione delle soluzioni di adattamento climatico, individuando le è riportata in tabella (Tabella 16).

RIFERIMENTI	TIPOLOGIA DI CLASSIFICAZIONE	CATEGORIE	SUB-CATEGORIE
IPCC CZM (1990) UNEP 2010	Strategie di adattamento	Difesa	
		Accomodamento	
		Delocalizzazione	
IPCC - AR5 (2014)	Tipologia di azione	Azioni Strutturali/fisiche	Azioni ingegnerizzate e sull'ambiente costruito
			Azioni tecnologiche
			Approccio Ecosystem-based
			Servizi
		Azioni Sociali	Educazione
			Informazione
			Comportamento
		Azioni Istituzionali	Finanziamenti
			Leggi e direttive
Policies e programmi operativi			
MITE (2015)	Tipologia di azione	Misure soft o di tipo non strutturale	
		Misure verdi o basate su un approccio ecosistemico	
		Misure grigie o di tipo infrastrutturale e tecnologico	

Tabella 16. Metodi di classificazione delle soluzioni di adattamento climatico

Seguendo il framework proposto nella dall'IPCC (IPCC CZM, 1990) e dall'UNEP⁹⁴ (UNEP, 2010), le soluzioni di adattamento climatico identificate sono state classificate in tre categorie di opere in funzione della strategia di adattamento: difesa, accomodamento e delocalizzazione. Ciascuna categoria è caratterizzata da sub-categorie che definiscono le categorie d'intervento.

Individuate e classificate le soluzioni, per ognuna è stata costruita una scheda informativa finalizzata alla costruzione del catalogo.

4.2.1. Struttura e descrizione delle schede

La struttura e i contenuti delle schede sono stati derivati a partire da un'analisi condotta sui cataloghi di soluzioni di adattamento climatico identificati nell'ambito della letteratura scientifica di riferimento e, in particolare, sono state approfondite la raccolta di soluzioni individuate nella piattaforma europea Climate-Adapt⁹⁵, le soluzioni proposte nella piattaforma Climate adaptation app⁹⁶, le strategie di

⁹⁴ L'UNEP, United Nations Environment Programme, è il programma delle Nazioni Unite, nato nel 1972, per stabilire l'agenda ambientale globale, promuovere lo sviluppo sostenibile e la tutela dell'ambiente. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.unep.org/>.

⁹⁵ La piattaforma europea Climate-adapt fornisce una raccolta di soluzioni e casi studio di adattamento climatico categorizzate in funzione delle criticità climatiche affrontate. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

⁹⁶ La piattaforma Climate adaptation app offre una raccolta di soluzioni di adattamento climatico categorizzate in funzione dei targets climatici. In particolare, il catalogo è parametrizzabile in funzione dell'applicabilità delle soluzioni rispetto ai fenomeni di inondazione costiera e fluviale, inondazione pluviale, inondazione causata dalle acque sotterranee, ondata di calore e siccità. È stata sviluppata da Sweco, Bosch Slabbers, Stichting Landscape + Urban Design, Deltares, Witteveen+Bos, KNMI e dall'associazione Klimaat voor Ruimte. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://www.climateapp.nl/>.

adattamento climatico per la città di New York fornite dal NYDCP (NYDCP, 2013a) e le Measures Technical Cards proposte dal progetto Horizon 2020 Clarity⁹⁷ (Tabella 17).

CLIMATE-ADAPT	CLIMATE ADAPTATION APP	CLARITY	NYDCP
1. categoria IPCC	1. adaptation target	1. climate benefits	1. criticità affrontata e capacità prestazionale
2. livello di coinvolgimento degli stakeholders	2. land use	2. parametri di performance	2. applicabilità della soluzione
3. vantaggi e svantaggi	3. tipologia	3. costi	3. costi
4. costi e benefici	4. geomorfologia del suolo	4. co-benefits	4. co-benefits
5. aspetti normativi	5. scala di intervento		5. informazioni aggiuntive
6. tempi di implementazione			
7. ciclo di vita			

Tabella 17. Confronto tra le metodologie e i riferimenti di ricerca per la costruzione del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico

A partire dallo stato dell'arte è stata, dunque, costruita una scheda informativa scheda finalizzate alla costruzione del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico per il supporto al metaprogetto in ambito urbano costiero. Le schede sono articolate in due sezioni, nella prima sezione le soluzioni sono descritte, sinteticamente, in funzione di sei blocchi di informazioni omogenee e ricorrenti che ne individuano i principali aspetti (caratteristiche principali, targets climatici, co-benefits, indicazioni economiche, applicabilità e, infine, riferimenti), nella seconda, sono individuate e schematizzate graficamente le soluzioni-tipo.

In dettaglio, si riportano e descrivono i sei punti che caratterizzano le schede.

1. *Caratteristiche principali*

La soluzione viene sinteticamente descritta evidenziando le principali caratteristiche in funzione della strategia di adattamento, della scala di intervento e della tipologia di azione. Come anticipato, per le soluzioni di adattamento è possibile individuare tre strategie: difesa, accomodamento e delocalizzazione (IPCC CZM, 1990; UNEP, 2010). Per la scala d'intervento si identificano soluzioni a scala di regione/città, di distretto/quartiere, di blocco/edificio e soluzioni transcalari (Demuzere et al., 2014; Georgescu et al., 2015; Valente, 2020). Infine, per la tipologia di azione, le soluzioni sono classificate in grigie/infrastrutturali e tecnologiche, verdi/ basate su un approccio ecosistemico e soft/non strutturali (MITE, 2015). Infine, sono indicati anche eventuali criticità.

2. *Targets climatici*

Valutazione dell'efficacia e del comportamento prestazionale della soluzione rispetto alle principali criticità climatiche affrontate, in particolare in funzione di: alta marea, inondazioni costiere, erosione, inondazioni pluviali ed eventi di ondata di calore.

⁹⁷ Il progetto Clarity - Integrated Climate Adaptation Service Tools for Improving Resilience Measure Efficiency è un Progetto Horizon 2020 coordinato dall'AIT – Austrian Institute of Technology. Nell'ambito della reportistica propone un catalogo di soluzioni tecniche di adattamento climatico, annex III D 3.3. Per maggiori informazioni consultare il sito web: <https://clarity-h2020.eu/>.

Per ogni criticità climatica, a partire dalle valutazioni qualitative proposte dalla piattaforma “Climate adaptation app” (Climate app) e dalla raccolta di soluzioni “Urban Waterfront adaptive solution” (NYDCP, 2013a), è individuato un indicatore di efficacia: 1) soluzione poco efficace = ●○○, 2) soluzione mediamente efficace = ●●○, 3) soluzione molto efficace = ●●●.

3. *Co-benefits*

Valutazione dei potenziali co-benefits⁹⁸ ambientali, sociali ed economici. In particolare, a partire dalla letteratura scientifica di riferimento (Floater et al., 2016), sono identificati come co-benefits ambientali la riduzione dei GHG, il ripristino o l’aumento della biodiversità, il miglioramento della qualità dell’aria e il controllo dell’acqua pluviale; come co-benefits sociali sono identificati la creazione di spazio pubblico accessibile, il miglioramento della qualità urbana, l’aumento dell’inclusione sociale e il miglioramento di comfort e benessere umano; infine come co-benefits economici sono individuati il potenziale aumento del valore immobiliare, la diminuzione dei costi assicurativi e il risparmio economico nella gestione del rischio.

L’efficacia delle soluzioni rispetto ai co-benefits identificati è ricavata a partire dalle schede del database di soluzioni di adattamento proposto dalla piattaforma Climate-adapt, dalle “Measures technical cards” elaborate dal progetto CLARITY, dal catalogo “Urban waterfront adaptive solution” (NYDCP, 2013a) e dall’analisi di casi studio. Nelle schede, se presenti, i co-benefits sono evidenziati mediante una rappresentazione affidata a simboli e contestualmente descritti testualmente.

4. *Indicazioni economiche*

Indicazioni economiche sui costi di costruzione, manutenzione e/o gestione della soluzione ricavati a partire dalla letteratura scientifica di riferimento (APAT, 2007; UNEP, 2010; NYDCP, 2013a; Climate-Adapt) e dall’analisi di casi studio nazionali ed internazionali.

5. *Applicabilità*

L’applicabilità della soluzione, a partire da indagini deduttive condotte sullo stato dell’arte (APAT 2007; UNEP, 2010; NYDCP, 2013a) e dall’analisi di casi studio nazionali ed internazionali, è valutata in funzione della geomorfologia, dell’uso e della gestione del suolo per le soluzioni che si rapportano con la scala regionale/urbana e del distretto/quartiere e in funzione della destinazione d’uso e della tipologia costruttiva per le misure a scala del sito/edificio.

6. *Riferimenti*

In forma sintetica, sono indicati, uno o più riferimenti progettuali individuati nell’ambito della letteratura scientifica.

Essendo il modello Coast-RiskBySea rivolto al supporto decisionale caratterizzato da diversi livelli di expertise, l’obiettivo è stato la costruzione di una scheda leggibile a diversi gradi di complessità,

⁹⁸ Per co-benefits si intendono i potenziali effetti positivi e indiretti che le soluzioni di adattamento climatico, sebbene progettate per rispondere ad una o più criticità climatiche, possono apportare in termini di benefici ambientali, sociali e/o economici (IPCC, 2014b).

pertanto, le informazioni testuali sono accompagnate da una rappresentazione sintetica e intuitiva affidata ai simboli di cui si riporta la legenda (Figura 62).

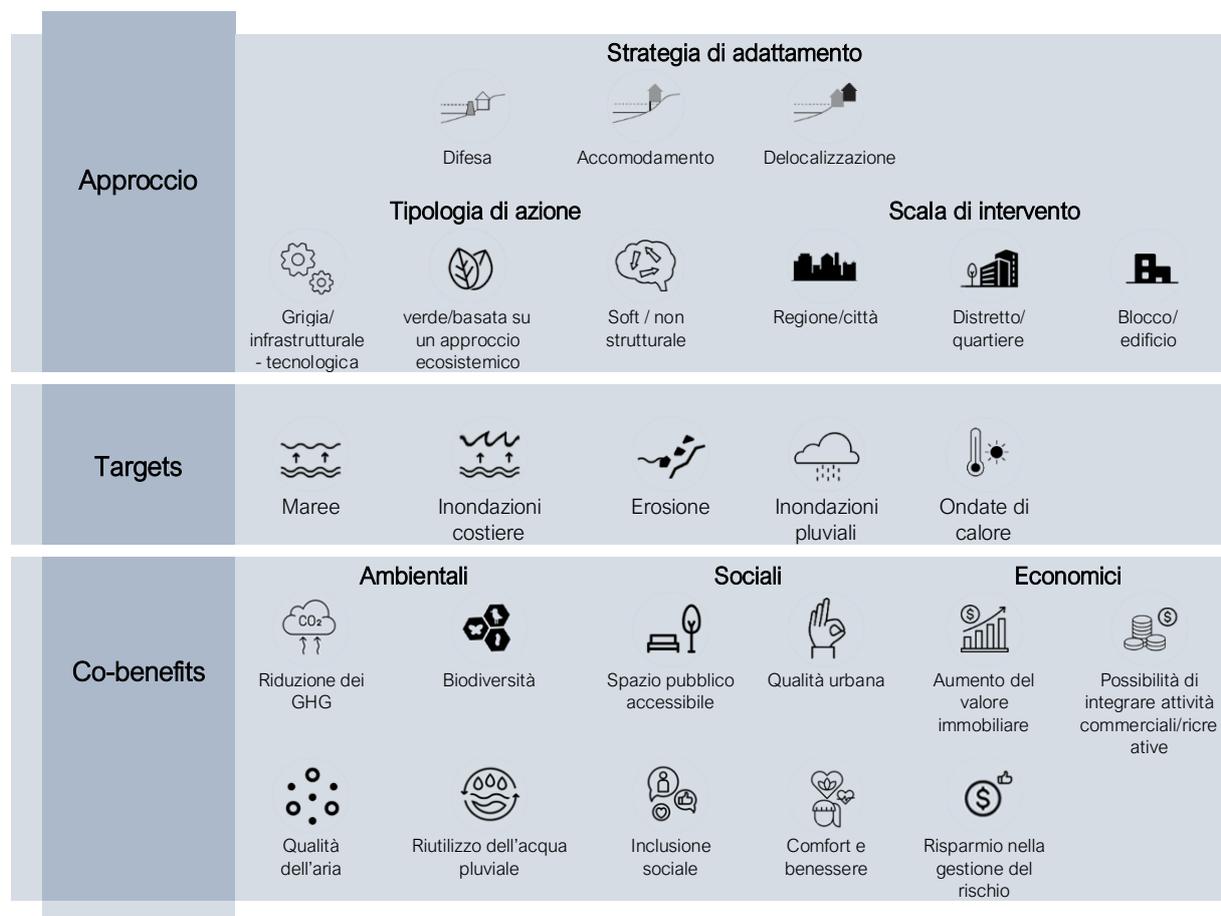


Figura 62. Legenda del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico

4.2.2. Catalogo delle soluzioni di adattamento climatico

Il catalogo sviluppato si configura come una raccolta di soluzioni specifiche per l'ambiente urbano costiero atte a supportare i processi decisionali per il progetto di adattamento climatico, in particolare, nel passaggio dalla fase istruttoria a quella operativa.

Le soluzioni di adattamento individuate e i riferimenti per la costruzione delle schede tecniche sono identificati nell'ambito di database e report di ricerca (tra gli altri APAT, 2007; UNEP, 2010; NYDCP, 2013a; ISPRA, 2014; Voorendt, 2015; MITE, 2017; piattaforma Climate adaptation app; Measures technical cards del progetto Clarity) e nell'ambito di analisi su casi studio internazionali individuati e analizzati in qualità di buone pratiche dai network internazionali di ricerca come l'UCCRN⁹⁹, il C40¹⁰⁰ e CLIMATE-ADAPT.

⁹⁹ L'UCCRN, Urban Climate Change Research Network, è un ente che unisce oltre 800 studiosi in tutto il mondo che si occupano di cambiamenti climatici, con particolare attenzione al tema della mitigazione e dell'adattamento climatico in ambito urbano. Per maggiori informazioni consultare il sito: <https://uccrn.ei.columbia.edu/>.

L'indagine ha condotto alla selezione di 21 soluzioni di adattamento climatico ascrivibili a tre categorie di opere, in particolare 11 soluzioni afferenti alla categoria di soluzioni che agiscono per difesa, 8 per accomodamento e 2 per delocalizzazione.

Nell'ambito della categoria difesa è possibile distinguere tre sub-categorie: opere distaccate, trasversali e aderenti.

- Opere distaccate: sono costituite da elementi distaccati dalla linea di riva, paralleli o sub-paralleli alla costa, per consentire la difesa dei territori dalle inondazioni costiere, improvvise o graduali, e dall'erosione. Nella sub-categoria opere trasversali rientrano le dighe meccaniche, le dighe e i moli, le barriere emergenti e/o sommerse e le isole artificiali naturali.
- Opere trasversali: sono costituite da strutture posizionate perpendicolarmente o obliquamente rispetto alla linea di riva per contrastare principalmente i fenomeni erosivi, ridurre l'energia delle correnti marine costiere e attenuare, parzialmente, il moto ondoso. Nella sub-categoria opere trasversali rientrano i pennelli.
- Opere aderenti: sono costituite da strutture realizzate in aderenza alla riva allo scopo di dissipare l'energia delle onde e la riflessione delle onde incidenti. Afferiscono alla sub-categoria opere aderenti i muri di sponda, i muri di protezione permanenti, i muri di protezione temporanei, le paratie, le scogliere radenti e i rivestimenti.

Nell'ambito della categoria accomodamento è possibile individuare quattro sub-categorie: aree buffer, modifiche geomorfologiche, edifici water-proof e materiali water-resistant.

- Aree buffer: o zone cuscinetto sono delle aree filtro tra l'acqua e i beni esposti. Nelle aree buffer rientrano i parchi costieri, il ripristino/inserimento di aree umide e le spiagge e dune.
- Modifiche geomorfologiche: sono tutte quegli interventi progettuali che prevedono la modifica della geomorfologia del suolo terrestre per prevenire i fenomeni di inondazioni costiere. In questa sub-categoria rientra l'elevazione delle infrastrutture.
- Edifici water-proof: appartengono a questa categoria gli edifici progettati per adattarsi ai fenomeni di inondazione costiera impedendo all'acqua di entrare o minimizzando e controllandone gli impatti agli edifici e al contenuto. Afferiscono a questa sub-categoria gli edifici flottanti e gli edifici su pilotis.
- Materiali water-resistant: in questa categoria rientrano tutti quei materiali progettati per resistere all'acqua. Afferiscono a questa sub-categoria le pavimentazioni permeabili e i sistemi di impermeabilizzazione a secco e ad umido per gli edifici.

Nell'ambito della categoria delocalizzazione è possibile individuare la sub-categoria degli interventi orientati al ritiro pianificato.

- Ritiro pianificato: in questa categoria rientrano tutte le azioni volte alla delocalizzazione degli elementi esposti identificati come elementi sensibili. Come soluzioni si indentificano la delocalizzazione delle infrastrutture sensibili e, alla scala degli edifici, la delocalizzazione delle attrezzature sensibili.

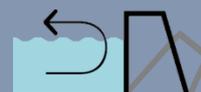
Di seguito si riporta il catalogo.

¹⁰⁰ Per maggiori informazioni visitare il sito: <https://www.c40.org/>.

CATALOGO DELLE SOLUZIONI DI ADATTAMENTO CLIMATICO AI FENOMENI DI INONDAZIONE COSTIERA
per il supporto al metaprogetto in ambito urbano

<i>Categoria</i>	<i>Sub-categoria</i>	<i>Soluzione tipo</i>
DIFESA	1. Opere distaccate	1.1. dighe meccaniche
		1.2. dighe e moli
		1.3 barriere emergenti e/o sommerse
		1.4. isole artificiali naturali
	2. Opere trasversali	2.1. pennelli
	3. Opere in aderenza	3.1. muri di sponda
		3.2. muri di protezione permanenti
		3.3. muri di protezione temporanei
		3.4. paratie
		3.5. scogliere radenti
3.6. rivestimenti		
ACCOMODAMENTO	4. Aree buffer	4.1. parchi costieri
		4.2. ripristino/inserimento di aree umide
		4.3. spiagge e dune
	5. Modifiche geomorfologiche	5.1. elevazione delle infrastrutture
	6. Edifici water-proof	6.1. edifici flottanti
		6.2. edifici su pilotis
	7. Materiali water-resistant	7.1. pavimentazioni permeabili
		7.2. sistemi di impermeabilizzazione
DELOCALIZZAZIONE	8. ritiro pianificato	8.1. delocalizzazione delle infrastrutture sensibili
		8.2. delocalizzazione delle attrezzature sensibili

1.1. DIGHE MECCANICHE



Caratteristiche principali



Le dighe meccaniche sono sistemi di protezione di tipo “hard” altamente ingegnerizzati, che agiscono difendendo i beni esposti modificando la direzione e l'intensità del flusso d'acqua. Si classificano, pertanto, come soluzione di tipo grigio/infrastrutturale tecnologico e si relazionano con la scala di regionale/urbana. Quando necessario, il passaggio dell'acqua avviene in modo controllato mediante dispositivi detti stramazzi.

Targets climatici



Le dighe agiscono “difendendo” i beni esposti impedendo il passaggio dell'acqua. L'efficacia prestazionale rispetto all'innalzamento graduale del livello del mare dipende dall'orizzonte temporale considerato.

Co-benefits



Ambientali: le dighe meccaniche possono consentire una migliore gestione del ciclo delle acque meteoriche, considerando anche eventuali sistemi di stoccaggio e recupero delle acque.

Economici: questa soluzione consente di risparmiare nella gestione dei rischi climatici e, al contempo, offre la possibilità di trasformare l'energia del moto ondoso idroelettrica creando valore aggiunto.

Applicabilità

Gestione del suolo: l'efficacia della soluzione dipende dalla messa in funzione e, pertanto, le dighe sono sistemi che richiedono una preparazione pre-evento affidata ad expertise specifiche e prevedendo la coordinazione di molteplici enti.

Indicazioni economiche

Costruzione: classificandosi come opere altamente ingegnerizzate, i costi di costruzione sono elevati. Un esempio di questo tipo di infrastruttura è il MOSE di Venezia costato circa 5.493 milioni di euro, “prezzo chiuso” al 2005.

Manutenzione: l'efficacia della soluzione dipende direttamente dalla capacità delle autorità di mantenere funzionante l'infrastruttura, la manutenzione è, quindi, onerosa e costante.

Riferimenti

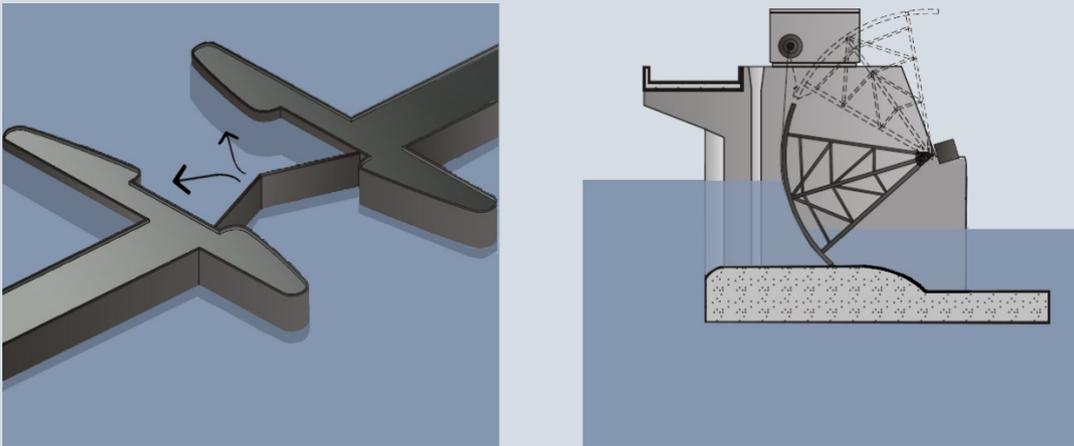
Il Mose (MOdulo Sperimentale Elettromeccanico) per la difesa di Venezia e della sua laguna dalle acque alte



Fonte immagine: : <https://www.mosevenezia.eu/>

Soluzioni tipo di dighe meccaniche caratterizzate da barriere radiali

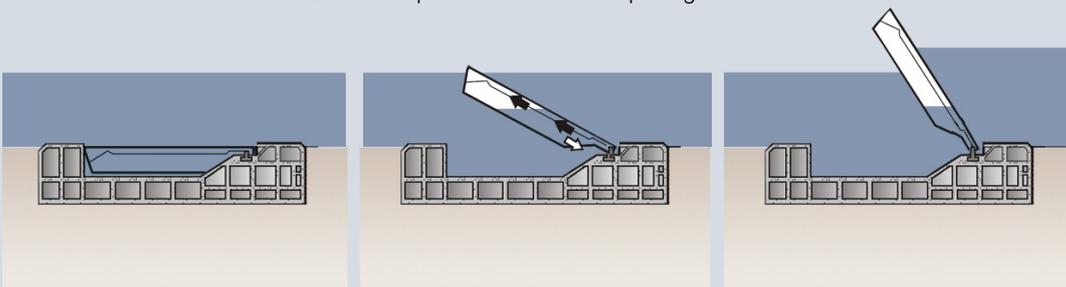
Soluzioni tipo di dighe meccaniche radiali anti-marea con paratoie a chiusura orizzontale (a destra) e chiusura verticale (a sinistra). La chiusura delle paratoie viene azionata mediante sistemi elettromeccanici.



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

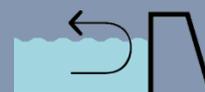
Soluzione tipo di diga caratterizzate da paratoie mobili: il sistema MOSE, fasi di esercizio

In caso di livelli del mare superiori alla quota prefissata, le paratie sono svuotate grazie all'immissione di aria compressa e sono automaticamente sollevate con una rotazione attorno alla cerniera. Questo sistema consente di isolare temporaneamente Venezia dalla sua laguna fino ad un dislivello massimo di 200cm rispetto ai livelli dell'acqua lagunare.



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

1.2. DIGHE E MOLI



Caratteristiche principali



Le dighe o moli si classificano come soluzioni di tipo grigio/infrastrutturali e tecnologiche e si relazionano con la scala regionale/urbana.

Le dighe sono elementi di protezione distaccati da terra, mentre i moli sono radicate a terra e, pertanto, possono essere utilizzati anche per attraccare le imbarcazioni. La funzione principale di queste opere è la protezione dai fenomeni di inondazioni costiere, causate da tempeste e mareggiate, per consentire le normali attività di navigazione e transito delle navi. Questi sistemi si caratterizzano per la forma allungata e possono essere di due tipologie:

- a scogliera
- a parete verticale

Targets climatici



La funzione principale di questi sistemi è proteggere le aree portuali dagli eventi di mareggiata. Le dighe agiscono dissipando l'energia delle onde incidenti e riducendo i fenomeni di riflessione dei moti ondosi creando una barriera tra l'acqua e i beni esposti.

Possono contribuire anche a limitare gli effetti dell'erosione costiera.

Co-benefits



Economici: le dighe e i moli permettono un notevole risparmio nella gestione dei rischi climatici e la continuità delle attività portuali anche in caso di tempeste e mareggiate. Nel caso dei moli è possibile prevedere l'attracco di imbarcazioni incrementando le attività economiche e commerciali.

Applicabilità

Uso del suolo: la costruzione delle dighe portuali ha forti impatti sul piano estetico e ambientale e può causare la perdita di naturalità dei luoghi. È possibile utilizzare materiali naturali, come i massi di cava, per minimizzare gli impatti.

Geomorfologia del suolo: le dighe a scogliera, o frangiflutti, sono utilizzate su fondali caratterizzati da basse profondità. Le dighe a parete verticali sono invece preferibili in caso di profondità elevate e permettono l'ormeggio delle imbarcazioni.

Indicazioni economiche

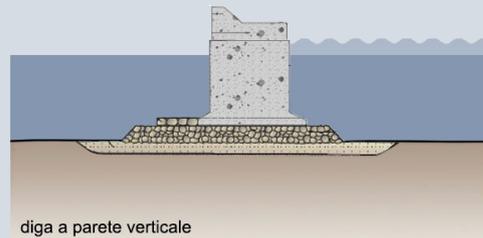
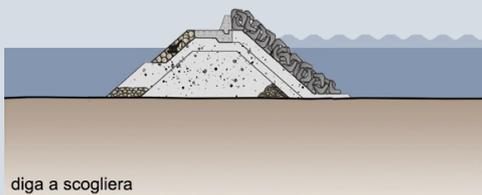
Riferimenti

Molo e diga nel porto di Salerno



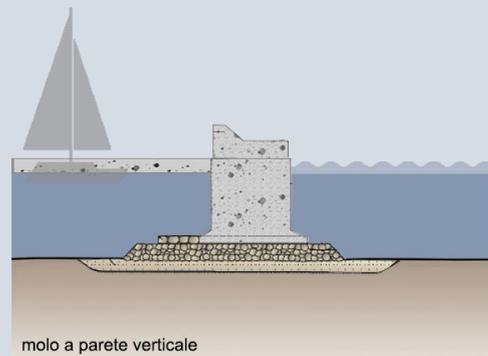
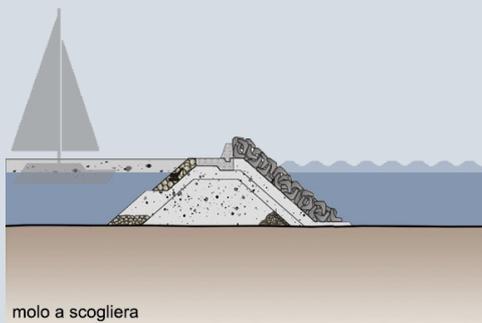
Soluzioni tipo di dighe

La costruzione delle dighe richiede l'ausilio di mezzi marittimi; le dighe a scogliera sono realizzate con massi naturali o artificiali, le dighe a parete verticale sono, in genere, realizzate dove la profondità è maggiore e costruite mediante elementi prefabbricati.



Soluzioni tipo di moli

Rispetto alle dighe i moli sono radicati a terra e, pertanto, possono essere utilizzati per l'ormeggio delle imbarcazioni. Sia nel caso delle dighe che dei moli a scogliera realizzati con materiali naturali è necessario prevedere elementi chimicamente inalterabile e meccanicamente resistenti, compatti e caratterizzati da elevato peso specifico.



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

1.3. BARRIERE EMERGENTI E/O SOMMERSE



Caratteristiche principali

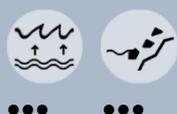


Le barriere emergenti e/o sommerse sono opere di protezione distaccate e parallele alla costa per la difesa dei litorali dai fenomeni di erosione e moto ondoso che si relazionano con la scala del distretto/quartiere.

I tempi di realizzazione e i costi contenuti rendono questa soluzione ampiamente diffusa anche se presenta molteplici inconvenienti, tra cui un significativo impatto ambientale e paesaggistico, la perdita di naturalità, la necessità di manutenzione periodica e lo scarso ricambio d'acqua.

La distanza dalla costa e la tipologia di materiale scelto dipendono dalle caratteristiche del sito. Le barriere sommerse e/o emergenti possono essere realizzate con massi naturali o artificiali, l'utilizzo di elementi naturali o artificiali di tipo innovativo può favorire lo sviluppo dell'habitat intertidale.

Targets climatici



La soluzione consente la protezione delle coste dai fenomeni di erosione costiera e moto ondoso favorendo il dissipamento dell'energia delle onde. Se le barriere sono sommerse il dissipamento energetico è parziale, tuttavia vi è un minore impatto paesaggistico e un maggiore ricambio d'acqua.

Co-benefits



Ambientali: è importante realizzare barriere permeabili per lo sviluppo degli habitat marini. Se le barriere sono realizzate con materiali ecocompatibili, come ad esempio in blocchi di cemento organico o reef balls, è possibile favorire maggiormente lo sviluppo o la creazione di habitat intertidale.

Economici: prevedere barriere emergenti e/o sommerse consente un risparmio nella gestione dei rischi climatici grazie alla capacità di tali sistemi di attenuare fenomeni di erosione ed inondazione costiera dissipando l'energia delle onde.

Applicabilità

Uso del suolo: le barriere sommerse e/o emergenti incrementano la protezione costiera ma, al contempo, presentano svantaggi in termini paesaggistici, funzionali e ambientali, pertanto, è opportuno progettare queste opere in coerenza con i siti e prevedere dei varchi per consentire il passaggio dell'acqua, dei natanti o delle imbarcazioni.

Indicazioni economiche

Costruzione: i tempi e i costi di realizzazione dell'opera sono contenuti e, pertanto, è tra le opere di protezione costiera più diffuse.

Riferimenti

Barriera tradizionali emergente realizzata con massi da cava a Napoli

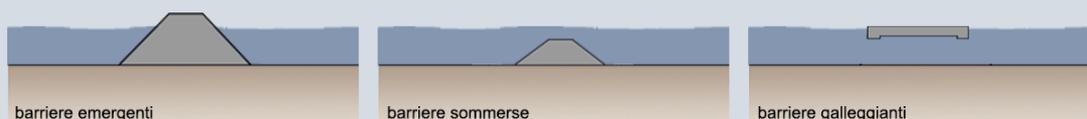


Barriere emergenti in pianta



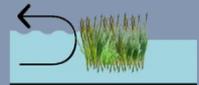
Soluzioni tipo di barriere emergenti, sommerse e galleggianti in sezione

Le barriere emergenti consentono una protezione maggiore rispetto alle barriere sommerse o galleggianti prevedendo un maggior contributo nel dissipamento dell'energia delle onde e dalla minore capacità di trattenere i sedimenti; tuttavia, le barriere sommerse presentano un minore impatto visivo e ambientale e limitano anche gli effetti di intorbidamento e di inquinamento delle acque.



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

1.4. ISOLE ARTIFICIALI NATURALI



Caratteristiche principali



Le isole artificiali sono soluzioni di tipo verde/basate su un approccio ecosistemico, create artificialmente allo scopo “difendere” i beni esposti limitando i fenomeni di erosione e l’impatto delle inondazioni sull’ambiente costruito. La scala degli interventi si relaziona con il distretto/quartiere.

Oltre ai benefit climatici, queste soluzioni svolgono importanti co-benefits sul piano ambientale.

Targets climatici



La funzione principale delle isole artificiali naturali è proteggere la costa dai fenomeni di erosione costiera, consentono, inoltre, di dissipare parte dell’energia del moto ondoso, e quindi di incrementare anche la protezione per fenomeni di inondazione costiera caratterizzati da onde di intensità medio-bassa.

Co-benefits



Ambientali: rispetto ai sistemi di protezione tradizionali (come le scogliere e i pennelli), le isole a carattere vegetale consentono notevoli benefici sul piano ambientale, in particolare, migliorando la qualità dell’acqua e dell’aria, consentendo un maggiore stoccaggio del carbone e favorendo il ripristino o la creazione di nuovi habitat intertidali.

Economici: la soluzione consente di risparmiare nella gestione dei rischi climatici associata all’erosione e alle inondazioni costiere.

Applicabilità

Uso e gestione del suolo: l’applicabilità della soluzione dipende dai contesti locali e dalla destinazione d’uso dell’area. L’installazione è relativamente semplice e flessibile, l’isola può essere creata a partire da una bonifica, espandendo isole già presenti o costruendo su scogliere esistenti.

Indicazioni economiche

Costruzione: caratterizzandosi come soluzioni di tipo verde, i costi sono contenuti rispetto ai benefici offerti.

Riferimenti

Sistema di barriera caratterizzata da isole artificiali a carattere vegetale in Louisiana (USA)



Fonte immagine: <https://www.floatingislandinternational.com/case-studies>

Isole artificiali vegetali BioHavens®



Fonte immagine: <https://www.floatingislandinternational.com/>

2.1. PENNELLI



Caratteristiche principali



I pennelli sono opere di protezione trasversali costruite obliquamente rispetto alla linea di riva allo scopo di proteggere i territori dai fenomeni di erosione attenuando l'energia delle onde. La soluzione si classifica come soluzioni di tipo grigio/infrastrutturale tecnologico e si relaziona con la scala del distretto/quartiere e può essere costruita in forma di strutture isolate o in forma di sistemi complessi "sistemi di pennelli".

I pennelli possono essere realizzati in diversi materiali come massi naturali o artificiali, calcestruzzo, ferro o legno, possono essere di varie forme e rigidi o deformabili. In genere si estendono dal retrospiaggia alla prima linea dei frangenti di mareggiata. I pennelli possono essere:

- Impermeabili
- Permeabili
- Sommersi
- Compositi
- Di transizione
- Headlands

I pennelli causano un'alterazione naturale del bilancio di sedimenti trasportati lungo la costa, gli effetti negativi possono essere ridotti attraverso azioni di ripascimento delle spiagge.

Targets climatici



La funzione principale dei pennelli è l'attenuazione dei fenomeni di erosione, sono, infatti, sistemi ottimali ove la deriva litoranea è ben definita. Per incrementare ulteriormente la protezione è possibile realizzare anche barriere distaccate emergenti o sommerse. I pennelli non sono efficaci per la marea, ma, in funzione dell'inclinazione, possono fornire un contributo nel dissipamento dell'energia delle onde, attenuando, quindi, anche le inondazioni costiere.

Co-benefits



Ambientali: se permeabili i pennelli possono favorire lo sviluppo dell'habitat intertidale.

Applicabilità

Geomorfologia del suolo: è necessario individuare le caratteristiche qualitative e quantitative del suolo. I pennelli non sono efficaci nei territori soggetti a subsidenza.

Indicazioni economiche

Costruzione: in media il costo è di circa 400-800€ a metro lineare in funzione del materiale scelto.
Manutenzione: in media queste infrastrutture durano 50-100 anni, per mantenere performante il sistema è necessario prevedere manutenzioni annuali.

Riferimenti

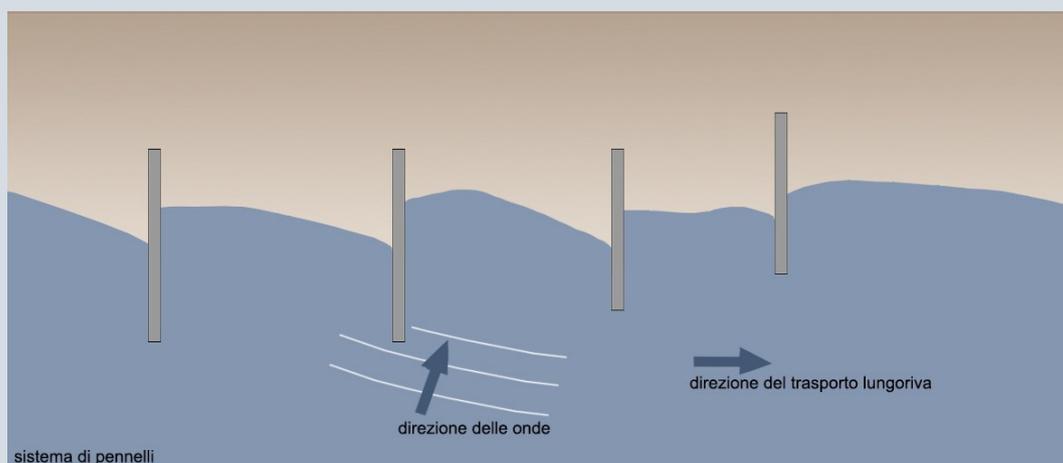
Vista aerea del sistema di pennelli con massi da cava a Marina di Massa



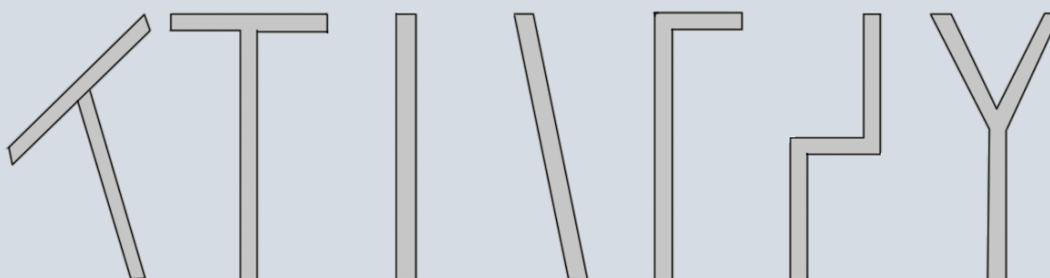
Immagine da Google Earth

Sistemi di pennelli in pianta

Per consentire la protezione dai fenomeni di erosione costiera, è opportuno distanziare i pennelli e dimensionare la lunghezza delle strutture in maniera decrescente rispetto alla direzione delle onde. I pennelli sono posti in maniera perpendicolare o sub-perpendicolare alla linea di costa e possono assumere forme differenziate.



Tipologie di pennelli, forme



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

3.1. MURI DI SPONDA



Caratteristiche principali



I muri di sponda sono sistemi di protezione verticali, compatti e continui di tipo “hard” costruiti parallelamente al waterfront, allo scopo di stabilizzare e il contenere il terreno in modo da proteggerlo dai fenomeni di inondazione ed erosione costiera. I muri di sponda appartengono alla categoria delle soluzioni grigie/infrastrutturali e tecnologiche, si relazionano con la scala del distretto/quartiere e possono essere realizzati seguendo diverse forme (ad esempio verticali, obliqui o a gradoni). Per incrementare la protezione è possibile armare ulteriormente i muri di sponda associandoli a sistemi di protezione in aderenza, come le scogliere.

Targets climatici



I muri di sponda consentono di difendere i beni esposti evitando il passaggio dell'acqua. Sono strutture altamente resistenti che assumono anche funzione statica, per incrementare ulteriormente la protezione è possibile prevedere anche sistemi rivestimenti o sistemi radenti. Per evitare eventi di riflessione è possibile realizzare muri di sponda caratterizzati da pendenze. È necessario controllare periodicamente eventuali effetti erosivi sul sistema stesso.

Co-benefits



Sociali: la soluzione può essere integrata nel design urbano per creare spazio pubblico accessibile e di qualità architettonica.
Economici: i muri di sponda consentono di risparmiare nella gestione dei rischi climatici e, al contempo, offrono l'opportunità di prevedere nuove attività economiche e commerciali in superficie.

Applicabilità

Uso del suolo: la soluzione è particolarmente impattante sul piano ambientale, pertanto, è opportuno verificarne la compatibilità.
Geomorfologia del suolo: i muri di sponda devono essere al suolo, quindi, è richiesto un suolo stabile.

Indicazioni economiche

Costruzione: in media i costi sono circa 14/40.000 € per metro lineare.
Manutenzione: ispezioni e manutenzioni sono richieste ogni 3-5 anni.

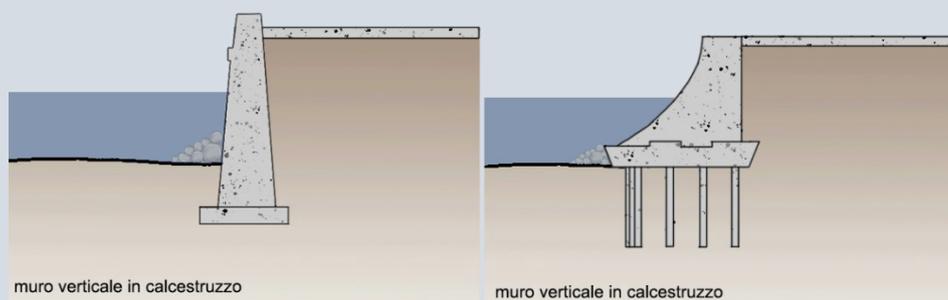
Riferimenti

Muro di sponda verticale in calcestruzzo ad Hafen City, Amburgo

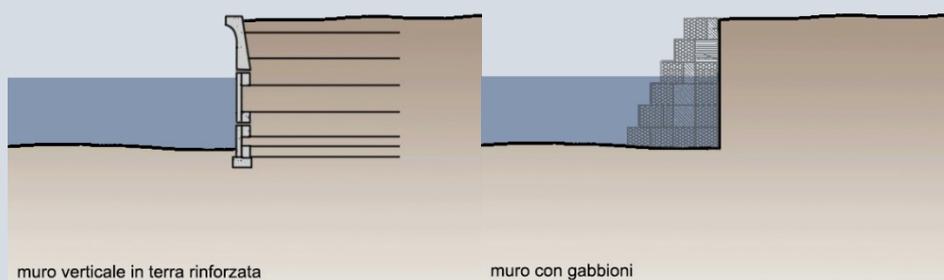


Soluzioni tipo di muri di sponda

I muri di sponda in calcestruzzo verticali e con parete curva; la forma curva favorisce il dissipamento dell'energia delle onde, per incrementare ulteriormente la protezione è possibile prevedere sistemi di protezione in aderenza (scogliere radenti) o distaccate (barriere emergenti e/o sommerse).

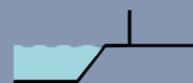


I muri di sponda in terra-armata o in terra rinforzata sono utilizzati, in genere, per il sostegno di strade e ferrovie costruite lungo le coste. Sono realizzati con pannelli di calcestruzzo armato e rinforzi in acciaio immorsati nel terreno. I muri di sponda in gabbioni sono, invece, caratterizzati da altezza comprese tra 3-5m e dalla forma a gradonate; la caratteristica di permeabilità di questi sistemi consente il dissipamento dell'energia delle onde e, pertanto, sono indicati per onde di moderata energia.



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

3.2. MURI DI PROTEZIONE PERMANENTI



Caratteristiche principali



I muri di protezione permanenti (floodwalls) sono strutture verticali artificiali ancorate al suolo e utilizzate per contrastare le inondazioni costiere mediante azioni di difesa.

Si classificano come soluzione di tipo grigio/infrastrutturale e tecnologiche e si relazionano con la scala del blocco/edificio.

È importante integrare questi sistemi di protezione nel design urbano evitando di creare barriere fisiche e visive.

Targets climatici



I muri di protezione permanenti “difendono” i beni esposti impendendo il passaggio dell’acqua, risultano, quindi, molto efficaci per gli eventi improvvisi di inondazione costiera caratterizzati da una breve estensione temporale e da onde di intensità medio-bassa.

L’efficacia della soluzione dipende dalle proiezioni climatiche considerate.

Oltre alle inondazioni costiere è possibile controllare anche le inondazioni pluviali.

Co-benefits



Ambientali: i muri di protezione permanenti permettono di controllare anche il ciclo di gestione delle acque meteoriche.

Sociali: i sistemi di protezione possono essere integrati nel design urbano, creando spazi sicuri, accessibili e fruibili alla popolazione.

Economici: i sistemi di protezione permanenti consentono di risparmiare nella gestione dei rischi (soprattutto nelle fasi di risposta e recupero).

Applicabilità

Uso del suolo: Questi sistemi sono indicati per tutte le destinazioni d’uso. In genere si utilizzano in luoghi dove non vi è molta disponibilità di spazio e, quindi, risultano ottimali per i contesti densamente urbanizzati.

Geomorfologia del suolo: I muri di protezione devono essere progettati in coerenza con le aree contigue al fine di assicurare una corretta gestione delle acque meteoriche, mediante il controllo delle pendenze e del deflusso delle acque sulle aree adiacenti a quote più basse. Sono ancorati al suolo e quindi importante adottarli con suoli resistenti.

Indicazioni economiche

Costruzione: i costi di costruzione dipendono dalla tipologia di materiale scelto e non differiscono dai normali costi di costruzione.

Riferimenti

Muro di protezione integrato nel design urbano a Deventes, Olanda



Fonte immagine: Voorendt (2015)

Soluzioni tipo di muri di protezione permanenti integrati nel design urbano

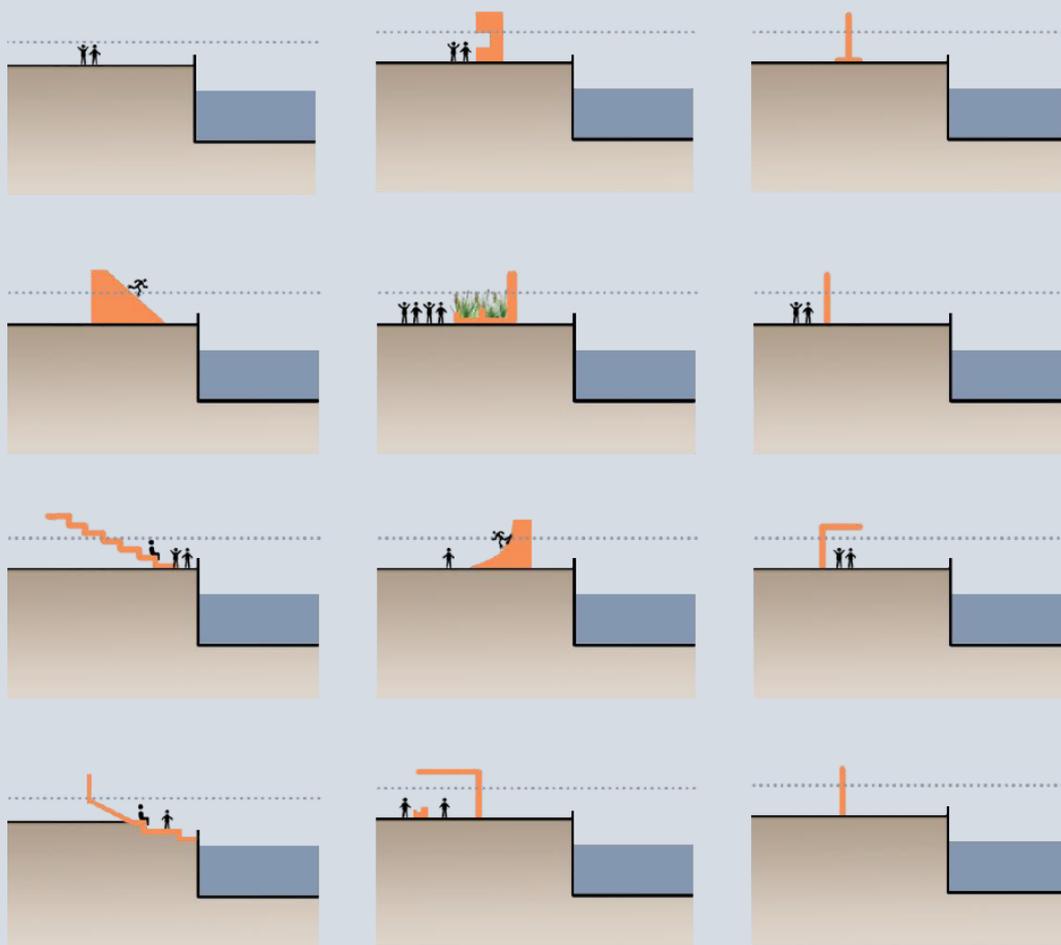
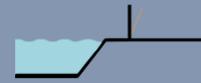


Immagine elaborata a partire da: <https://big.dk/#projects-hud>

3.3. MURI DI PROTEZIONE TEMPORANEI



Caratteristiche principali



I muri di protezione permanenti (floodwalls) sono strutture verticali artificiali ancorate al suolo e utilizzate per contrastare le inondazioni costiere.

Si classificano come soluzione di tipo grigio/infrastrutturale tecnologico e si relazionano con la scala del blocco/edificio.

A differenza dei muri di protezione permanenti questi sistemi sono messi in funzione solo quando vi è necessità di protezione e, pertanto, richiedono una preparazione pre-evento.

Targets climatici



I muri di protezione temporanei “difendono” i beni esposti impendendo il passaggio dell’acqua, risultano, quindi, molto efficaci per gli eventi improvvisi di inondazione costiera caratterizzati da una breve estensione temporale e da onde di intensità medio-bassa. L’efficacia dipende dalle proiezioni climatiche considerate.

Oltre alle inondazioni costiere è possibile controllare anche quelle pluviali.

Co-benefits



Sociali: I sistemi di protezione temporanei sono indicati in contesti densamente urbanizzati, se messi in funzione consentono di continuare ad utilizzare gli spazi pubblici in sicurezza. Al termine degli eventi sono smontati senza creare barriere fisiche e visuali tra la città e il mare.

Economici: i sistemi di protezione consentono di risparmiare nella gestione dei rischi (soprattutto nelle fasi di risposta e recupero)

Applicabilità

Usa del suolo: Questi sistemi sono indicati per tutte le destinazioni d’uso. In genere si utilizzano in luoghi dove non vi è molto spazio e, quindi, sono molto indicati per i contesti densamente urbanizzati.

Geomorfologia del suolo: I muri di protezione devono essere progettati in coerenza con le aree contigue al fine di assicurare una corretta gestione delle acque meteoriche, mediante il controllo delle pendenze e del deflusso delle acque sulle aree adiacenti a quote più basse. Sono ancorati al suolo e quindi importante adottarli con suoli resistenti.

Gestione del suolo: i muri temporanei richiedono una preparazione pre-evento ed expertise specifiche per la messa in campo dell’azioni attraverso la coordinazione di molteplici enti.

Indicazioni economiche

Costruzione: i costi dipendono dal materiale scelto e dall’estensione, in media si può approssimare a circa 280.000€ per km.

Manutenzione: la soluzione richiede importanti costi in termini di manodopera e in termini operativi.

Riferimenti

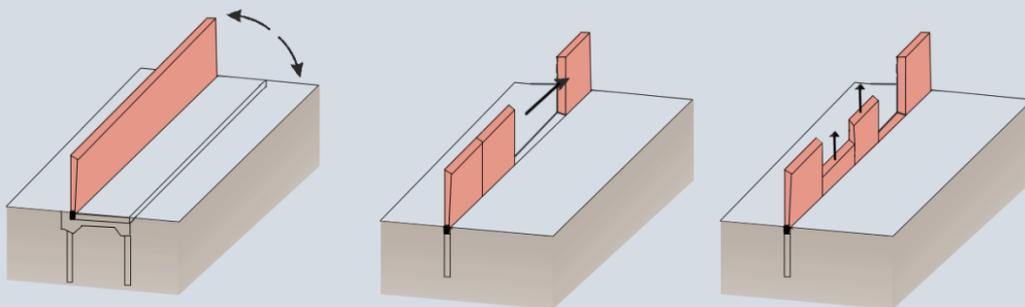
Muri di protezione temporanei



Fonte immagine: <https://floodcontrolinternational.com/stop-log-flood-barriers/>

Soluzioni tipo di muri di protezione temporanei

I muri di protezione temporanei possono interessare siti specifici o aree più vaste. I meccanismi di funzionamento sono molteplici, ad esempio è possibile prevedere sistemi che prevedono una rotazione attraverso un sistema di cerniere, sistemi scorrevoli sui binari orizzontali o sistemi dispiegabili sul piano verticale.



Elaborazione immagini a partire da: AECOM (2020)

3.4. PARATIE



Caratteristiche principali



Le paratie sono sistemi di protezione verticali, di tipo leggero costruite parallelamente al waterfront, allo scopo di stabilizzare e il contenere il terreno in modo da proteggerlo dai fenomeni di erosione e inondazione costiera. Sono indicate per piccoli tratti costieri, si relazionano con la scala sito/edificio e non assumono funzioni statiche. Possono essere realizzate con materiali naturali (legno) o artificiali (calcestruzzo, piastre o pali in acciaio).

Targets climatici



La funzione principale delle paratie è proteggere il terreno dall'erosione stabilizzandolo. La soluzione, sebbene in prima istanza progettata per contrastare i fenomeni di erosione, se opportunamente rinforzata, consente la protezione anche per gli eventi di inondazione costiera caratterizzati da intensità medio-basse. Essendo una struttura di carattere verticale può portare alla formazione di riflessione locale dei moti ondosi.

Co-benefits



Sociali: la costruzione di paratie consente di creare spazio pubblico accessibile migliorando la qualità urbana.

Economici: nelle aree a destinazione d'uso portuale e/o turistiche la soluzione può facilitare l'attracco delle imbarcazioni, oltre a consentire il risparmio nella gestione dei rischi costieri associati all'erosione e alle inondazioni costiere.

Applicabilità

Uso del suolo: la soluzione è particolarmente adatta ove è richiesta un'adeguata profondità dei fondali per l'ormeggio delle imbarcazioni.

Geomorfologia del suolo: essendo ancorata al suolo, per le fondazioni è importante adottare questa soluzione solo in caso di suolo relativamente stabile.

Indicazioni economiche

Costruzione: in media i costi sono circa 14/19.000 € per metro lineare.

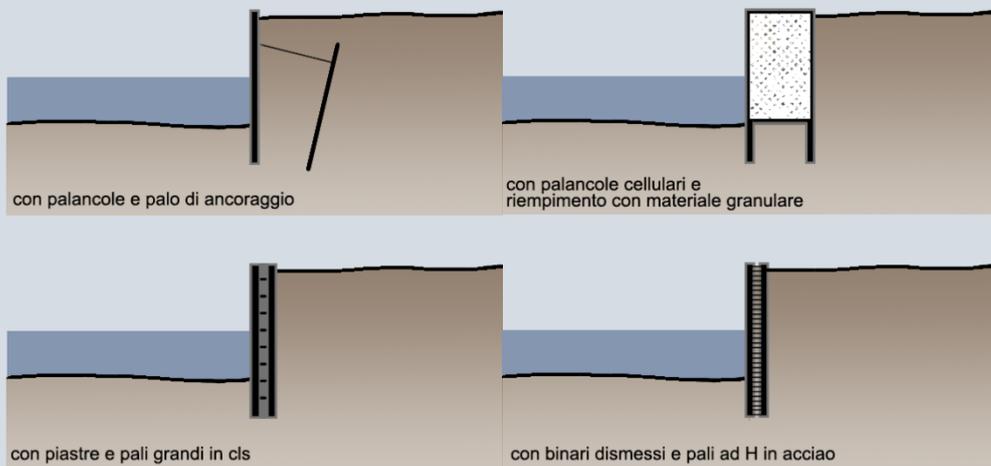
Manutenzione: sia il rinforzo che la riparazione sono opere semplici, ispezioni e manutenzioni sono richieste ogni 3-5 anni.

Riferimenti

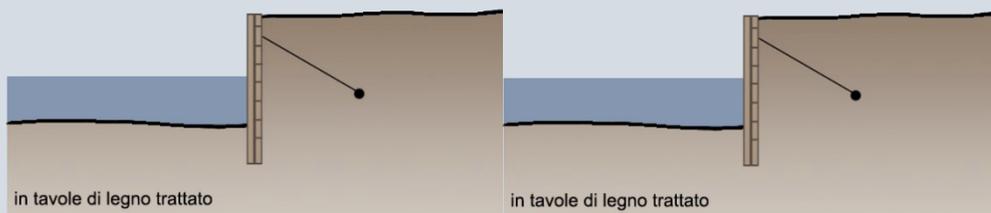
Sistemi di paratie in acciaio, Amburgo



Soluzioni tipo di paratie realizzate con elementi artificiali



Soluzioni tipo di paratie realizzate con elementi naturali



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

3.5. SCOGLIERE RADENTI



Caratteristiche principali



Le scogliere radenti, o aderenti, sono sistemi di protezione flessibili e permeabili, composti da blocchi di pietra, cemento o altri materiali, costruiti paralleli e in aderenza alla costa. La permeabilità tra gli elementi rende possibili piccoli spostamenti senza compromettere la stabilità del sistema stesso. Le scogliere radenti si relazionano con la scala del distretto/quartiere e si caratterizzano come soluzione di tipo grigio/infrastrutturale tecnologico. Lo scopo principale è il dissipamento delle energie delle onde.

Targets climatici



Le scogliere radenti permettono la protezione delle coste dissipando gran parte dell'energia delle onde e creando un filtro tra l'acqua e gli elementi esposti, limitando, quindi, sia il fenomeno dell'overtopping che dell'erosione.

Co-benefits



Ambientali: rispetto alle soluzioni verticali, questa soluzione, sebbene non nella stessa misura delle soluzioni EBA, può consentire la creazione di habitat intertidale. Per minimizzare l'impatto ambientale è possibile utilizzare materiali ecocompatibili e innovativi come blocchi ricavati a partire da sabbie locali o in eco-cemento.

Sociali: la soluzione può essere integrata con il disegno dei waterfront in modo da consentire una fruizione dell'area in sicurezza mantenendo una stretta relazione con il mare.

Economici: riduce l'impatto delle inondazioni sugli elementi costruiti e, quindi, garantisce un risparmio nella gestione dei rischi.

Applicabilità

Uso del suolo: la soluzione è ideale per i waterfront consolidati, dove non è possibile inserire altre soluzioni come spiagge e/o aree umide. Non è indicata le aree dove è previsto l'attracco marittimo.

Geomorfologia del suolo: la soluzione deve essere adattata con profondità medio-basse.

Gestione del suolo: l'installazione delle scogliere consente, senza modifiche per l'ambiente costruito, di incrementare la protezione.

Indicazioni economiche

Costruzione: in media il costo è di circa 5/14.000 € a metro lineare.

Manutenzione: questi sistemi richiedono, generalmente, una manutenzione costante data la flessibilità che caratterizza questi sistemi soprattutto in caso di mareggiate.

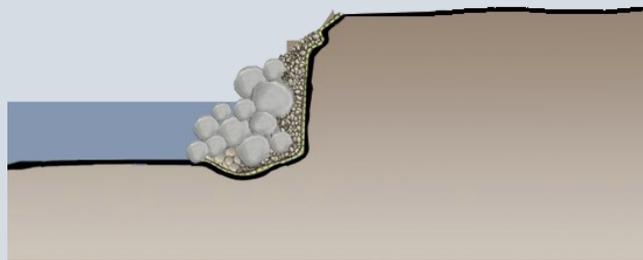
Riferimenti

Scogliere radenti

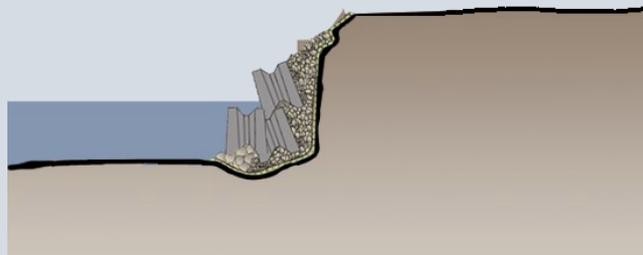


Fonte immagine : APAT (2007)

Soluzioni tipo di scogliere radenti con massi naturali

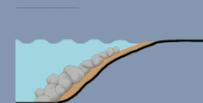


Soluzioni tipo di scogliere radenti con blocchi prefabbricati di calcestruzzo



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

3.6. RIVESTIMENTI



Caratteristiche principali



I rivestimenti sono sistemi di protezione superficiali costruiti in aderenza alla costa senza assumere funzione statica o di sostegno del terreno, si caratterizzano come sistemi rigidi.

Si relazionano con la scala del sito/edificio e si caratterizzano come soluzioni di tipo grigio/infrastrutturale e tecnologico.

I rivestimenti sono composti da tre elementi: uno strato di protezione esterno detto mantellata e realizzato con materiali differenziati, uno strato filtrante e una protezione al piede. Per minimizzare l'impatto ambientale è possibile utilizzare materiali ecocompatibili e innovativi come blocchi ricavati a partire da sabbie locali.

Targets climatici



I rivestimenti proteggono il sito, dissipando gran parte dell'energia delle onde e creando un filtro tra l'acqua e gli elementi esposti. Spesso è necessario integrare la protezione con pennelli, barriere o azioni di ripascimento delle spiagge in quanto la protezione offerta è solo super.

Co-benefits



Economici: prevedere dei rivestimenti sulla linea di costa consente di ridurre l'impatto delle inondazioni sugli elementi costruiti e, quindi, garantisce un risparmio nella gestione dei rischi.

Applicabilità

Uso del suolo: la soluzione è ideale per i waterfront consolidati, dove non è possibile inserire altre soluzioni come spiagge e/o aree umide. Non è indicata le aree dove è previsto l'attracco marittimo o l'uso di spiagge. Queste soluzioni, infatti, possono provocare un notevole impatto visivo e limitare la fruibilità degli spazi.

Gestione del suolo: l'installazione delle scogliere consente, senza modifiche per l'ambiente costruito, di incrementare la protezione.

Indicazioni economiche

Costruzione: in media il costo è di circa 5/14.000 € a metro lineare.

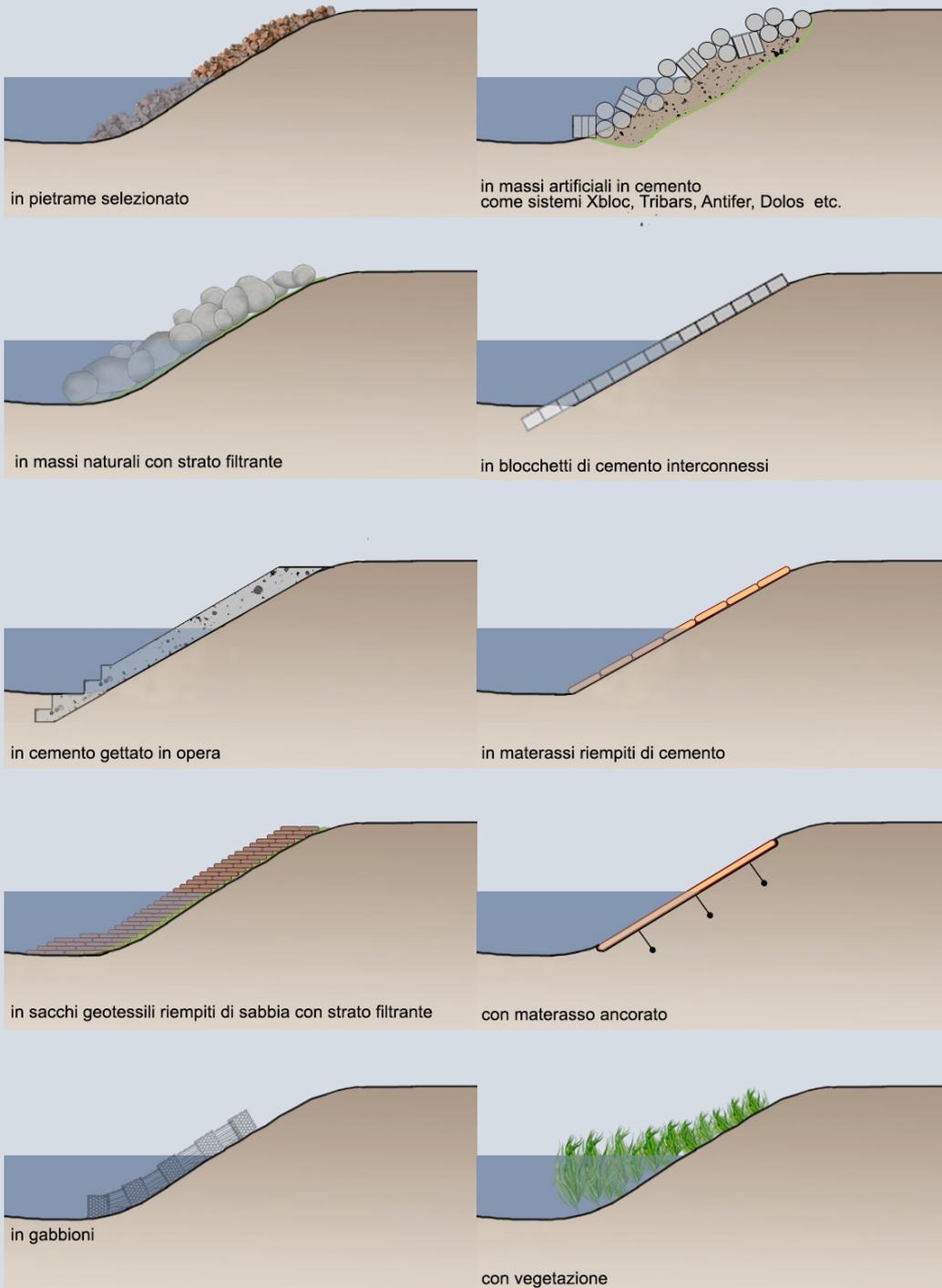
Riferimenti

Rivestimento in pietrame e in piastre di calcestruzzo



Fonte immagini: APAT (2007)

Soluzioni tipo di rivestimenti in elementi artificiali o naturali



Elaborazione immagini a partire da: APAT (2007)

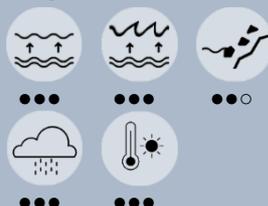
4.1 PARCHI COSTIERI



Caratteristiche principali



Targets climatici



Co-benefits



Applicabilità

Indicazioni economiche

Riferimenti

I parchi costieri (waterfront parks) sono soluzioni di tipo verdi/basate su un approccio ecosistemico che agiscono creando aree pubbliche ricreative progettate per essere inondate con danni minimi (accomodamento).

Si relazionano con la scala regionale/urbana e del distretto/quartiere, consentono di proteggere le aree urbane grazie all'alta permeabilità che caratterizza i suoli. Svolgono importanti benefici per l'ambiente urbano riducendo anche fenomeni di inondazioni pluviali ed eventi di ondata di calore, svolgendo, inoltre, molteplici servizi ecosistemici.

L'inserimento di parchi urbani lungo la costa consente di ridurre gli impatti sull'ambiente costruito fungendo da buffer zone. L'efficacia dipende dagli scenari climatici considerati in fase progettuale.

Per incrementare la protezione è possibile armare la riva, inserire elementi di protezione come scogliere o sistemi di stabilizzazione della costa come le paratie. L'alta permeabilità delle superfici consente una riduzione del run-off, è possibile captare, convogliare e drenare l'acqua pluviale.

Infine, la presenza di aree verdi può ridurre la temperatura fino a 5° in meno del suolo nudo e 15° in meno della temperatura dell'asfalto.

Ambientali: la soluzione è compatibile con il ripristino o l'inserimento di zone umide, molteplici sono inoltre i benefici per la biodiversità.

Sociali: la funzione primaria dei parchi è creare nuovi spazi pubblici ricreativi migliorando il benessere della popolazione e il coinvolgimento della comunità cittadina.

Economici: i parchi possono diventare un polo attrattivo dell'intero sistema urbano offrendo anche la possibilità di integrare nuove attività economiche. Consentono di diminuire i costi associati alla gestione dei rischi costieri.

Uso e gestione del suolo: la soluzione è applicabile solo previa un'ampia disponibilità di spazio pubblico libero o un terreno acquistabile.

Geomorfologia del suolo: la soluzione è applicabile con qualsiasi tipologia di suolo.

Costruzione: I costi dipendono dalla disponibilità del terreno.

Manutenzione: la manutenzione, insieme alla pulizia, deve essere costante.

Elemental, Mitigation Park a Constitución, Cile



Il progetto di ricostruzione post-tsunami sulla fascia costiera si concentra sulla proposta di un nuovo parco urbano in grado di creare nuovo spazio pubblico accessibile e di proteggere la città da eventuali future inondazioni grazie al disegno in sezione.

Il parco è progettato per essere inondato ma con danni minimi.

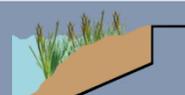
“The Big U” di Big Architects, New York

Il progetto del parco costiero “The Big U” per il waterfront di Manhattan a New York, progettato nell’ambito del concorso Rebuilt by Design bandito a seguito dell’uragano Sandy nel 2012, prevede un parco urbano il cui profilo in sezione prevede inondazioni in caso di eventi estremi riportando danni minimi.



Fonte immagine: <https://big.dk/#projects-hud>

3.6. RIPRISTINO/INSERIMENTO DI AREE UMIDE



Caratteristiche principali



Targets climatici



Co-benefits



Applicabilità

Indicazioni economiche

Riferimenti

L'inserimento o il ripristino di ecosistemi/aree umide sulla riva si caratterizza come soluzioni di tipo verde, caratterizzata da un approccio ecosistemico, e si relaziona con la scala del distretto/quartiere.

Oltre che incrementare la protezione del sito, il ripristino o l'inserimento di aree umide porta notevoli benefici sul piano ambientale.

La presenza di ecosistemi/aree umide sulla riva consente di attenuare i fenomeni di inondazione costiera dissipando l'energia delle onde. Oltre a limitare gli impatti delle inondazioni costiere, è possibile stabilizzare il terreno per prevenire anche i fenomeni di erosione costiera.

Ambientali: il ripristino o la creazione di ecosistemi/aree umide sulla riva consente di creare o migliorare lo stato della zona interdunale, aiutando anche a mantenere la qualità dell'acqua dolce e quindi riducendo l'intrusione salina.

Economici: questa soluzione consente un risparmio nella gestione dei rischi climatici e, rispetto ai sistemi di difesa tradizionali, risulta più vantaggiosa in termini economici.

Uso del suolo: non è indicata per le aree dove è prevista la navigazione.

Geomorfologia del suolo: la soluzione è indicata per aree caratterizzate da elevazioni altimetriche basse.

Costruzione: rispetto ai sistemi di difesa tradizionali si caratterizzano per i costi limitati. Ad esempio, il progetto Kruikebeke, sul fiume Scheldt, è costato circa 1 milione per ettaro.

Manutenzione: il ciclo di vita delle zone umide dipende dalle condizioni locali, in particolare dai processi di erosione e sedimentazione; spesso è necessaria una manutenzione regolare.

Aree umide a Brooklyn bridge park, New York



Fonte immagine : <https://greatecology.com/portfolio-item/brooklyn-bridge-park/>

Progetto South Bay Sponge, Rebuilt By Design, New York

Il Progetto “The Sponge Bay” prevede una rinaturalizzazione dell’area a carattere verde con lo scopo di proteggere l’ambiente urbano dalle inondazioni e di favorire lo sviluppo dell’habitat intertidale.



Fonte immagine : <http://www.resilientbayarea.org/south-bay-sponge>

4.3. SPIAGGE E DUNE



Caratteristiche principali



L'inserimento di spiagge e dune, o il ripascimento delle esistenti, si classifica come opera di accomodamento, creando una buffer zone aderente e morbida tra l'acqua e gli elementi esposti. La soluzione si caratterizza per l'approccio EbA, e quindi, come soluzione di tipo verde. Consiste nella copertura con materiale sabbioso, ghiaioso o ciottoloso su spiagge esistenti (ripascimento) oppure creandone nuove.

Targets climatici



La presenza di spiagge lungo la costa consente di creare una buffer zone tra l'acqua e l'ambiente urbano costruito, proteggendo, quindi, gli elementi esposti. L'aggiunta di sistemi dunali può consentire una maggiore protezione per la capacità di tali sistemi di dissipare maggiormente l'energia delle onde. In termini di stabilità, più è grossolano il materiale utilizzato maggiore è il contributo offerto per la stabilità del sito. Per limitare i fenomeni di erosione, data l'instabilità dei profili sabbiosi, può essere necessario integrare sistemi di protezione come barriere emergenti e/o sommerse o pennelli.

Co-benefits



Ambientali: l'approccio EbA si caratterizza per il basso impatto ambientale.
Sociali: la soluzione consente di creare nuovo spazio pubblico accessibile ad uso ricreativo.
Economici: la presenza di spiagge e/o dune consente di diminuire i costi associati alla gestione dei rischi costieri e offre la possibilità di integrare nuove attività economiche.

Applicabilità

Uso del suolo: la soluzione agisce modificando la morfologia dell'area, è, pertanto, opportuno realizzare interventi compatibili con il contesto.
Geomorfologia del suolo: la soluzione modifica sia la morfologia che il substrato dell'area, risulta ideale per aree caratterizzate da elevazioni basse e medio-basse.
Gestione del suolo: la soluzione richiede continuo monitoraggio e manutenzione, le spiagge sono, infatti, soggette a fenomeni erosivi e di trasporto di materiale. Il ripascimento può essere eseguito puntualmente o periodicamente.

Indicazioni economiche

Costruzione: i costi variano significativamente in funzione della quantità e disponibilità di materiale.

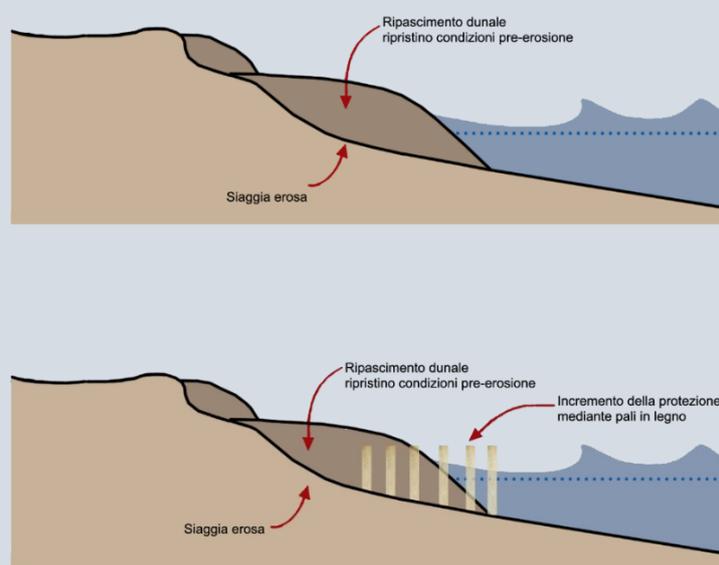
Riferimenti

Ripascimento a sabbioso per incrementare la protezione lungo la costa a Delfland, Olanda



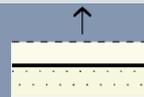
Fonte immagine: <https://www.deltares.nl/en/projects/sand-engine/>

Soluzione tipo di ripascimento costiero con sistemi dunali



Elaborazione immagini a partire da: <https://climateactiontool.org/content/restore-natural-coastal-buffers-beach-and-dune-nourishment-and-restoration>

5.1. ELEVAZIONE DELLE INFRASTRUTTURE



Caratteristiche principali



Targets climatici



Co-benefits



Applicabilità

Indicazioni economiche

Riferimenti

Elevare suolo e strade riduce il rischio di inondazioni modificando la quota altimetrica delle infrastrutture esposte. Si classifica come soluzione grigia/infrastrutturale e tecnologica ed è indicata per grandi progetti di retrofit o per aree in via di sviluppo, rapportandosi quindi con la scala del distretto/quartiere, è necessario coinvolgere molteplici stakeholders.

Elevare le infrastrutture consente di ritirare dalle aree a rischio di inondazione costiera gli elementi esposti. Per incrementare ulteriormente la protezione è possibile integrare sistemi di protezione, permanenti o temporanei e/o armare la riva per contrastare anche l'erosione.

Controllando le pendenze e il deflusso delle acque meteoriche sulle aree adiacenti a quote più basse è possibile gestire anche le acque pluviali.

Ambientali: la soluzione è compatibile con il ripristino o l'inserimento di zone umide sulla riva.

Sociali: l'elevazione di suolo e strade consente la fruizione degli spazi in sicurezza e offre, al contempo, l'opportunità di migliorare e integrare i servizi pubblici e le infrastrutture del sottosuolo.

Economici: la soluzione consente di diminuire i danni economici dovuti alle inondazioni e di investire in aree non edificabili o, comunque, ad alto rischio. Nei progetti di retrofit, può avere impatti positivi sui tassi di assicurazione.

Uso del suolo: la soluzione ha forti impatti sulle risorse naturali e antropiche, non è quindi indicata per aree di interesse storico e densamente urbanizzate, al contrario, è indicata per grandi progetti di retrofit o in aree di nuova edificazione.

Geomorfologia del suolo: la soluzione è applicabile in aree a bassa quota pianeggianti e caratterizzate da suolo sabbioso, paludoso o roccioso. Non è indicata per aree rocciose e già caratterizzate da pendenze.

Gestione del suolo: sul piano organizzativo e istituzionale è necessario coinvolgere molteplici stakeholders. Elementi critici per il cambio di quota che richiedono la coordinazione di enti pubblici e privati sono: la connessione degli spazi pubblici pedonali, il ripristino dei collegamenti infrastrutturali sotterranei e di transito, i collegamenti e gli accessi alle proprietà private.

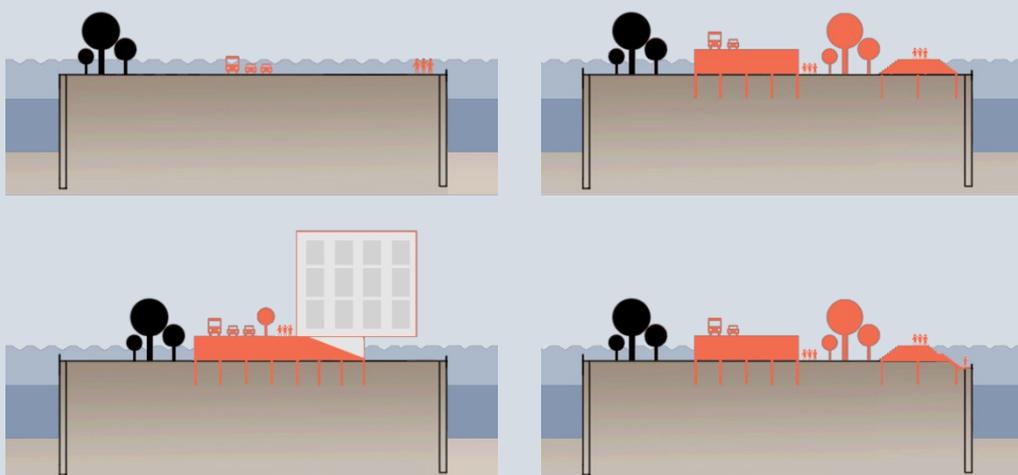
Costruzione: i costi di costruzione sono elevati, soprattutto per la necessità di ripristinare le infrastrutture del sottosuolo, mentre per la manutenzione/gestione i costi sono equiparabili a qualsiasi infrastruttura.

Elevazione dell'infrastruttura stradale ad Hafen city, Amburgo



Source : <https://commons.wikimedia.org/>

Soluzioni tipo per l'elevazione delle infrastrutture



6.1. EDIFICI FLOTTANTI



Caratteristiche principali



Gli edifici flottanti possono essere “galleggianti” o “anfibi” si caratterizzano come soluzioni di tipo grigio/ infrastrutturale tecnologico. Gli edifici galleggianti sono perennemente in acqua mentre i secondi solo quando il livello dell’acqua aumenta e, di solito, sono fissati a degli ormeggi per evitare troppi movimenti. Progettare edifici flottanti consente di continuare ad utilizzare le aree a rischio creando un edificio capace di adattarsi ai cambiamenti dell’acqua. Dall’analisi di casi studio si evidenzia che progettare edifici flottanti è indicato per edifici residenziali mono-bifamiliari o, comunque, per attrezzature urbane di piccole dimensioni.

Targets climatici



Costruire edifici galleggianti e anfibi consente di realizzare progettare sistemi che si adattano ai livelli dell’acqua. La soluzione risulta, pertanto, molto appropriata per hazard di tipo graduale come l’innalzamento graduale del livello del mare o le maree. Se necessario, è opportuno rinforzare le strutture per contrastare anche gli eventi di inondazioni costiere.

Co-benefits



Ambientali: rispetto alla costruzione di isole artificiali per nuove urbanizzazioni, questa soluzione è meno invasiva sul piano ambientale.
Sociali: la vicinanza all’acqua può ridurre gli effetti negativi del calore, migliorando le condizioni di comfort e benessere indoor.
Economici: nelle aree densamente abitate, costruire sull’acqua, in termini dei costi legati all’occupazione dei suoli può risultare particolarmente vantaggioso; l’investimento, in genere, rientra in 10 anni.

Applicabilità

Gestione del suolo: è necessario prevedere una connessione con le infrastrutture primarie (elettricità, acqua, gas etc.) condizione che rende l’applicabilità della soluzione limitata in alcuni contesti.

Indicazioni economiche

Costruzione: ai costi tradizionali di costruzione va aggiunto quello della piattaforma galleggiante.

Riferimenti

Watervilla IJburg 2 ad Amsterdam, Water Studio, 2008



Fonte immagine: <https://www.waterstudio.nl/>

Meccanismo di funzionamento di un edificio flottante



Meccanismo di funzionamento di un edificio flottante anfibio



6.2. EDIFICI SU PILOTIS



Caratteristiche principali



La costruzione di edifici su pilotis si classifica come soluzione di tipo grigio/infrastrutturale e tecnologia e si relaziona con la scala di sito/edificio e agisce mediante un approccio di accomodamento.

Qualora non fosse possibile realizzare l'intero edificio su pilotis è possibile ridurre al minimo la superficie a quota inondazioni.

È necessario prevedere l'accesso mediante rampe o scale.

Targets climatici



Elevare gli edifici su pilotis consente di minimizzare la superficie esposta al rischio di inondazioni, costiere o pluviali, si riducono gli impatti all'edificio e al contenuto.

La soluzione consente di migliorare anche la resistenza meccanica, i pilotis, infatti, possono assumere la funzione delle fondamenta.

Co-benefits



Economici: la soluzione comporta risparmio nella gestione dei rischi e può condurre ad un aumento del valore immobiliare e alla diminuzione dei costi assicurativi.

Tuttavia, lo spazio al piano terra non può essere utilizzato se non come parcheggio.

Applicabilità

Destinazione d'uso: dato il mancato utilizzo del piano terra, è preferibile adottare questa soluzione nel caso di edifici a carattere residenziale o terziario.

Geomorfologia del suolo: i pilotis fungono da fondamenta e, pertanto, è necessario disporre di un terreno stabile e resistente.

Indicazioni economiche

Costruzione: rispetto agli edifici tradizionali costruire su pilotis può portare maggiori costi economici, anche a causa del mancato utilizzo del piano terra.

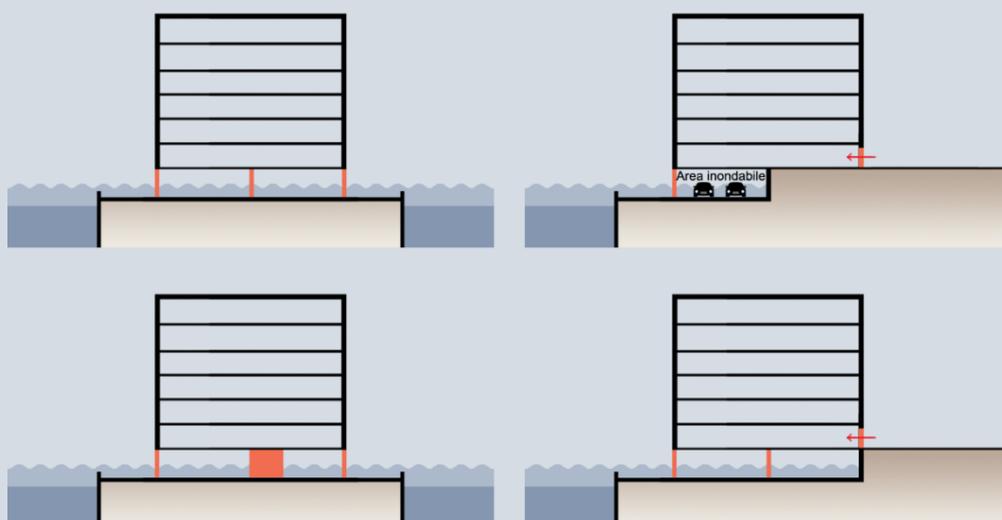
Riferimenti

Edificio su pilotis sul fiume Elba, Amburgo

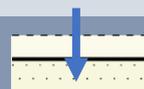


Soluzioni tipo di edifici su pilotis

Gli edifici costruiti su pilotis permettono di continuare ad occupare le aree vulnerabili evitando danni agli edifici e al loro contenuto; è necessario prevedere l'ingresso tramite rampe, scale o elevazioni dell'infrastruttura stradale ad una quota più elevate. Oltre a costruire l'intero edificio su pilotis è possibile ridurre al minimo la superficie localizzata alla quota inondabile o destinare l'area del piano terra a funzioni inondabili, come le aree parcheggio.



7.1. PAVIMENTAZIONI PERMEABILI



Caratteristiche principali



Le pavimentazioni permeabili sono soluzioni di tipo grigio/infrastrutturali e tecnologiche e si caratterizzano per la capacità di permettere all'acqua di infiltrarsi evitando il runoff superficiale.

La soluzione si relaziona con la scala di distretto/quartiere e blocco/edificio e agisce secondo un approccio di accomodamento, permettendo di continuare ad occupare le aree vulnerabili minimizzando gli impatti.

Targets climatici



Le pavimentazioni drenanti assorbono l'acqua e, quindi, in caso di inondazioni, costiere o pluviali, consentono di ridurre gli impatti prevenendo la formazione di zone di accumulo d'acqua. Sono particolarmente indicate per il contrasto ai fenomeni di inondazione pluviale.

Le pavimentazioni permeabili possono essere integrate con superfici verdi limitando gli effetti di ondata di calore.

Co-benefits



Ambientali: consentono una migliore gestione delle acque sia meteoriche che derivanti da fenomeni di inondazione costiera, riducendo gli impatti e, di conseguenza, consentendo di utilizzare lo spazio pubblico in sicurezza.

Economici: l'infiltrazione dell'acqua diminuisce l'impatto sull'ambiente costruito e, quindi, i danni economici associati.

Applicabilità

Uso del suolo: questa soluzione superficiale è applicabile per tutte le destinazioni d'uso che non prevedono pressioni meccaniche intense e continue, come nel caso di aree a destinazione d'uso ferroviario e stradale di tipo primario dove non è indicata. È indicata per le aree pedonali, ciclabili, pubbliche ove non è richiesta una particolare resistenza meccanica.

Indicazioni economiche

Costruzione: i costi dipendono dal materiale e dall'estensione superficiale, eventuali costi iniziali sono comunque giustificati dal risparmio ricavato in fase di gestione dei rischi climatici.

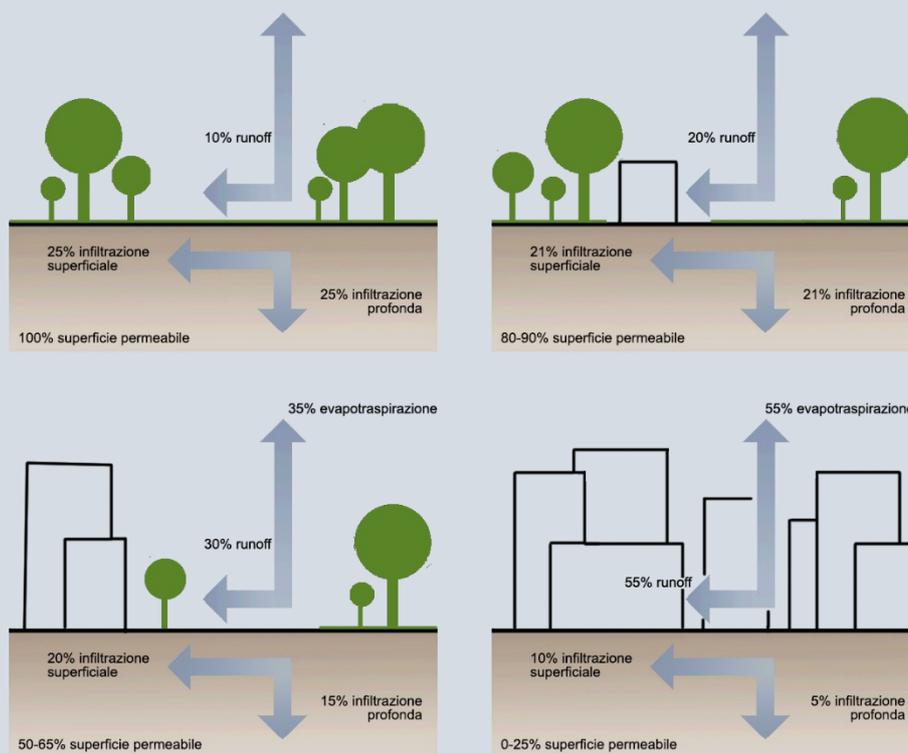
Manutenzione: rispetto alle pavimentazioni impermeabili questi sistemi richiedono una manutenzione minore e, di conseguenza, costi minori.

Riferimenti

Pavimentazioni permeabili ad Hafen city, Amburgo



Percentuale di run-off, di infiltrazione superficiale e profonda, e di evapotraspirazione in funzione della percentuale di superficie permeabile



Elaborazione immagine a partire a USDA (2010)

7.2. SISTEMI DI IMPEARMILIZZAZIONE



Caratteristiche principali



I sistemi di impermeabilizzazione a secco o a umido sono soluzioni di tipo grigio/infrastrutturali e tecnologiche che si relazionano con la scala del blocco/edificio. La soluzione agisce per accomodamento rendendo le strutture impermeabili nella parte basamentale, impedendo all'acqua di entrare. Oltre a impermeabilizzare la parte basamentale degli edifici è importante integrare serramenti a tenuta stagna.

Targets climatici



I sistemi di impermeabilizzazione (a secco o a umido), senza modificarne la posizione, previene i danni agli edifici e al loro contenuto evitando il passaggio dell'acqua.

Questi sistemi sono particolarmente indicati per la protezione da eventi caratterizzati da brevi intervalli temporali e da onde di altezza comprese tra 1,00-1,30m. Non aumentano la resistenza meccanica, pertanto, se necessario, è opportuno rinforzare le strutture.

Co-benefits



Ambientali: prevedere sistemi di impermeabilizzazione al piano può migliorare anche l'isolamento termico (nel caso del retrofit) riducendo, quindi, indirettamente anche il consumo energetico e di conseguenza le emissioni di CO₂.

Economici: l'impermeabilizzazione del piano terra ne consente l'uso e la fruibilità in sicurezza senza necessità di sopraelevazioni, risulta, quindi, ottimale per le attività commerciali. Può portare alla riduzione dei costi assicurativi.

Applicabilità

Caratteristiche costruttive: l'impermeabilizzazione non agisce sulla resistenza strutturale degli edifici all'acqua, quindi nel caso di interventi di retrofit, se necessario, è opportuno rinforzare gli edifici.

Destinazione d'uso: l'impermeabilizzazione non è indicata per edifici industriali e per edifici che presentano piani semi-interrati. Risulta invece ottimale per edifici a destinazione residenziale, commerciale, uso misto o servizi per la possibilità di utilizzare il piano terra.

Indicazioni economiche

Costruzione: il costo dipende dalle dimensioni perimetrali dell'edificio, dall'altezza attesa dell'acqua, dal numero di aperture e dal tipo di materiale scelto. In genere, questa soluzione, in caso di retrofit, è più costosa rispetto a quella a secco.

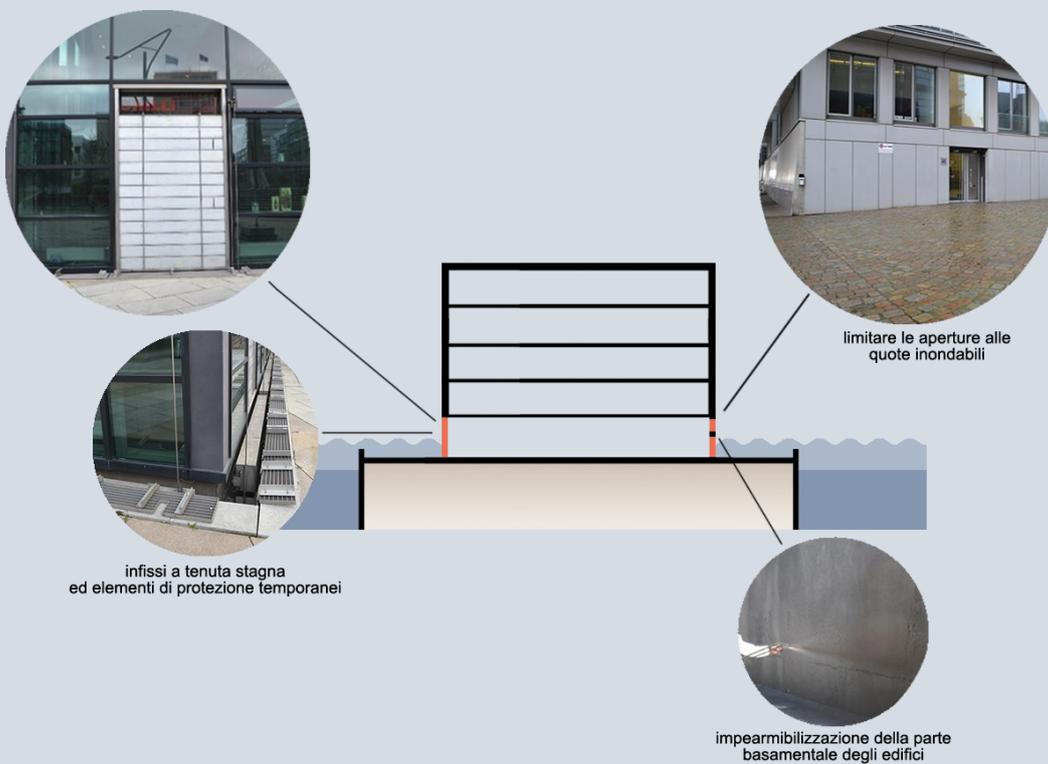
Manutenzione: i costi di manutenzione dipende da materiale scelto.

Riferimenti

Edificio con sistemi di impermeabilizzazione ad Hafen city, Amburgo



Soluzioni per l'impermeabilizzazione degli edifici



8.1. DELOCALIZZAZIONE DELLE INFRASTRUTTURE SENSIBILI



Caratteristiche principali



La delocalizzazione delle infrastrutture sensibili, o ritiro pianificato, si caratterizza come soluzione di tipo soft/non strutturale, attuata mediante il ricorso ad azioni di tipo istituzionale.

La delocalizzazione consiste nel rimuovere le infrastrutture esposte dalle aree a rischio e delocalizzarle in aree prive, pertanto, tali interventi si relazionano con la scala regionale/urbana o del distretto/quartiere a seconda dell'infrastruttura che deve essere localizzata.

Targets climatici



La delocalizzazione delle infrastrutture sensibili agisce modificando la posizione dei beni esposti in aree prive di rischio e, quindi, può essere molto efficace se si considerano scenari climatici a lungo termine, ad esempio 100 anni.

Co-benefits



Ambientali: la delocalizzazione delle infrastrutture sensibili può consentire il ripristino e la protezione degli ecosistemi e delle zone umide sulla riva.

Economici: delocalizzare può consentire un notevole aumento del valore immobiliare, una diminuzione dei costi assicurativi e un risparmio economico nella gestione delle emergenze.

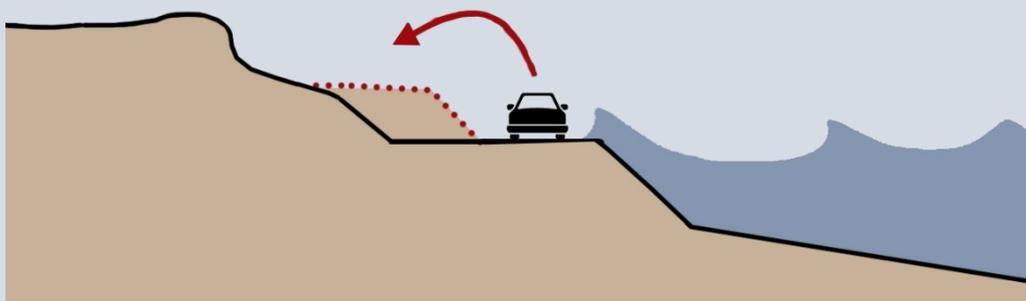
Applicabilità

Uso del suolo: la delocalizzazione è possibile solo previa un'ampia disponibilità di spazio pubblico libero.

Gestione del suolo: è necessario disporre di aree per la delocalizzazione e coordinare molteplici enti.

Indicazioni economiche

Costruzione: i costi dipendono dal progetto e dai contesti specifici.



8.2. DELOCALIZZAZIONE DELLE ATTREZZATURE SENSIBILI



Caratteristiche principali



La delocalizzazione delle attrezzature sensibili si caratterizza come soluzione di tipo soft/non strutturale e si relaziona con la scala di sito/edificio.

Delocalizzare le attrezzature sensibili, come gli impianti, consente di mettere in sicurezza tali sistemi in aree prive di rischio, prevedendone la delocalizzazione a quote altimetriche più alte o in zone isolate.

Targets climatici



La soluzione agisce modificando la posizione delle attrezzature sensibili esposte in aree prive di rischio; è opportuno prevedere anche azioni per la protezione dell'edificio oltre che del suo contenuto.

Co-benefits



Economici: delocalizzare le attrezzature sensibili consente notevoli benefici economici derivanti dal risparmio economico nella gestione dei rischi senza necessità di investimenti economici; tuttavia, può portare al mancato utilizzo dei piani inferiori.

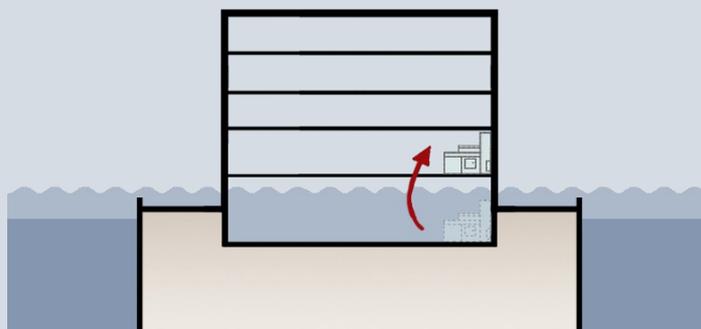
Applicabilità

Caratteristiche costruttive: se necessario, è opportuno prevedere sistemi per il rinforzo meccanico degli edifici.

Destinazione d'uso: la soluzione è applicabile in qualsiasi contesto e destinazione d'uso, può risultare sconsigliata per edifici a carattere industriale e commerciale.

Indicazioni economiche

I costi dipendono dalla quantità di attrezzature che devono essere delocalizzate; per gli edifici a carattere commerciale e/o industriale la delocalizzazione delle attrezzature sensibili è, generalmente, più costosa rispetto alla protezione nella localizzazione iniziale



4.3. LA RELAZIONE TRA IL MODELLO COAST-RISKBYSEA E LE SOLUZIONI DI ADATTAMENTO

Il catalogo delle soluzioni di adattamento climatico (paragrafo 4.2) è associato al modello di osservazione e conoscenza Coast-RiskBySea, al fine di fornire un supporto decisionale nella fase metaprogettuale.

La relazione tra il modello e il set di soluzioni è costruita, in ambiente GIS, mediante un collegamento ipertestuale che rimanda alle schede tecniche in formato pdf. L'applicabilità delle soluzioni è definita a partire dalle informazioni contenute nelle celle, in forma di attributi spaziali; ad ogni cella è, quindi, associato un set di soluzioni che varia in funzione delle caratteristiche locali di vulnerabilità, hazard ed esposizione (Figura 63).

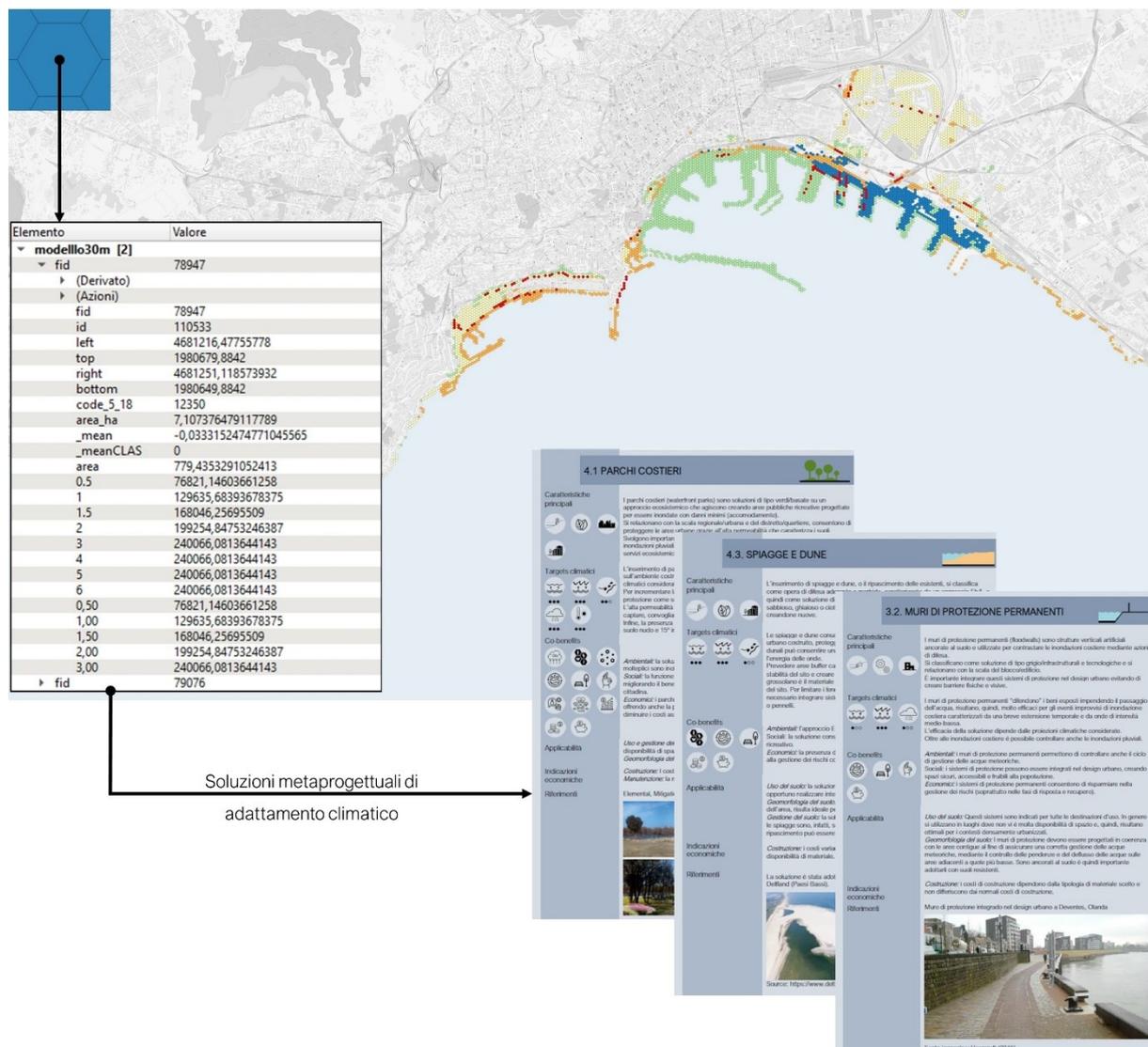


Figura 63. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto per il metaprogetto di adattamento climatico

In prima istanza, l'applicabilità delle soluzioni è identificata in funzione delle classi d'uso del suolo e, quindi, in base all'esposizione classificata secondo l'indicatore di land use.

La relazione, tra il modello e il catalogo, è costruita in forma matriciale a partire da indagini deduttive condotte sulla letteratura scientifica di riferimento (APAT, 2007; UNEP, 2010; NYDCP, 2013a; Climate Adapt) e dall'analisi di casi studio nazionali ed internazionali. Ad ogni classe di land use, identificata a partire dall'applicazione del modello Coast-RiskBySea e caratterizzata dalla nomenclatura del database di riferimento Copernicus Coastal Zones 2018.

Per il land use, la matrice è costruita associando alle classi d'uso del suolo, identificate con lettere (A-Q), le soluzioni di adattamento climatico, identificate con numeri (1-21), secondo la legenda in tabella (Tabella 18). Ad ogni classe è quindi associato un set di soluzioni (Tabella 19).

A	11110	Area residenziale (IMD \geq 80%)	1	Dighe meccaniche
B	11120	Area residenziale (IMD \geq 30-80%)	2	Dighe e moli
C	11130	Area residenziale (IMD <30%)	3	Barriere emergenti e/o sommerse
D	11210	Aree industriali, commerciali, pubbliche (altro)	4	Isole artificiali naturali
E	14000	Aree verdi urbane, sportive e per il tempo libero	5	Pennelli
F	12350	Area porti turistici e da diporto	6	Muri di sponda
G	12100	Reti stradale e aree associate	7	Muri di protezione permanenti
H	12200	Reti ferroviarie e aree associate	8	Muri di protezione temporanei
I	12310	Area portuale per carico/scarico merci	9	Paratie
J	12320	Area porto passeggeri	10	Scogliere radenti
K	12330	Area portuale per la pesca	11	Rivestimenti
L	12340	Area porto navale	12	Parchi costieri
M	12350	Area porto turistico/diportistico	13	Ripristino/inserimento di aree umide
N	12360	Area porto multifunzionale	14	Spiagge e dune
O	12370	Area porto cantieri navali	15	Elevazione delle infrastrutture
P	12400	Area aeroportuale	16	Edifici flottanti
Q	21100	Terreni arabili irrigati e non irrigati	17	Edifici su pilotis
	21200	Area destinate a serre	18	Pavimentazioni permeabili
	22100	Aree coltivate a vigneti, alberi da frutta, bacche	19	Sistemi di impermeabilizzazione
	22200	Aree a coltivata a oliveti	20	Delocalizzazione delle infrastrutture sensibili
	23100	Aree a colture annuali associate a colture permanenti	21	Delocalizzazione delle attrezzature sensibili
	23200	Aree a coltivazione complessa		
	23300	Aree caratterizzata da terreni occupati principalmente dall'agricoltura con aree significative di vegetazione naturale		

Tabella 18. Legenda per le classi di land use e le soluzioni di adattamento

Soluzioni di adattamento climatico

Classi di land use Coast-RiskySea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
F	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
G	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
H	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
I	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
J	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
K	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
L	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
M	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
N	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
O	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
P	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
Q	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabella 19. La relazione tra le classi d'uso del suolo e le soluzioni di adattamento climatico

Oltre che in funzione della classe d'uso del suolo, l'applicabilità delle soluzioni di adattamento climatico è parametrizzabile in funzione della vulnerabilità e, quindi, in funzione dell'elevazione costiera media individuata su ogni cella a partire dall'applicazione del modello Coast-RiskBySea. Anche in questo caso l'applicabilità può essere indentificata a partire da indagini deduttive condotte sulla letteratura scientifica di riferimento (APAT, 2007; UNEP, 2010; NYDCP, 2013a) e dall'analisi di casi studio.

Ulteriori approfondimenti sono richiesti al fine di definire correttamente l'applicabilità delle soluzioni rispetto ai contesti locali, ad esempio rispetto ai vincoli giuridico-amministrativi, e potranno essere oggetto di sperimentazioni future.

Le scelte progettuali rimangono sempre affidate ai decisori che identificano le potenziali soluzioni e definiscono i criteri e i benchmark rispetto ai contesti locali.

4.3.1. Simulazione degli interventi: un caso applicativo sulla città di Napoli

La relazione tra il modello Coast-RiskBySea e il catalogo delle soluzioni di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera è finalizzata al supporto decisionale per gli interventi in ambito urbano. A partire dal framework individuato dall'IPCC nel report AR5 (Noble et al., 2014), il processo decisionale per la selezione delle soluzioni di adattamento, si articola in quattro fasi:

1. Identificazione dell'area d'intervento (hotspot), delle criticità e degli obiettivi.
2. Consultazione delle alternative progettuali (catalogo delle soluzioni).
3. Definizione dell'approccio progettuale (es. tipologia di azione e scala d'intervento), parametrizzazione del catalogo e identificazione delle soluzioni.
4. Simulazione dell'intervento di adattamento e valutazione della riduzione dei danni.

Ai fini sperimentali, per testare verificare l'efficacia del modello Coast-RiskBySea come strumento di informazione e consultazione delle alternative progettuali per il supporto decisionale nella fase metaprogettuale, è stato simulato un intervento sulla città di Napoli. L'applicazione sperimentale è stata condotta per dimostrare la sola applicabilità senza porsi come progetto dimostratore.

Dall'applicazione del modello Coast-RiskBySea (paragrafo 3.2.2) è stata identificata l'area di via F. Caracciolo¹⁰¹, una delle principali arterie stradali della città, come area critica (hotspot) (Figura 64).

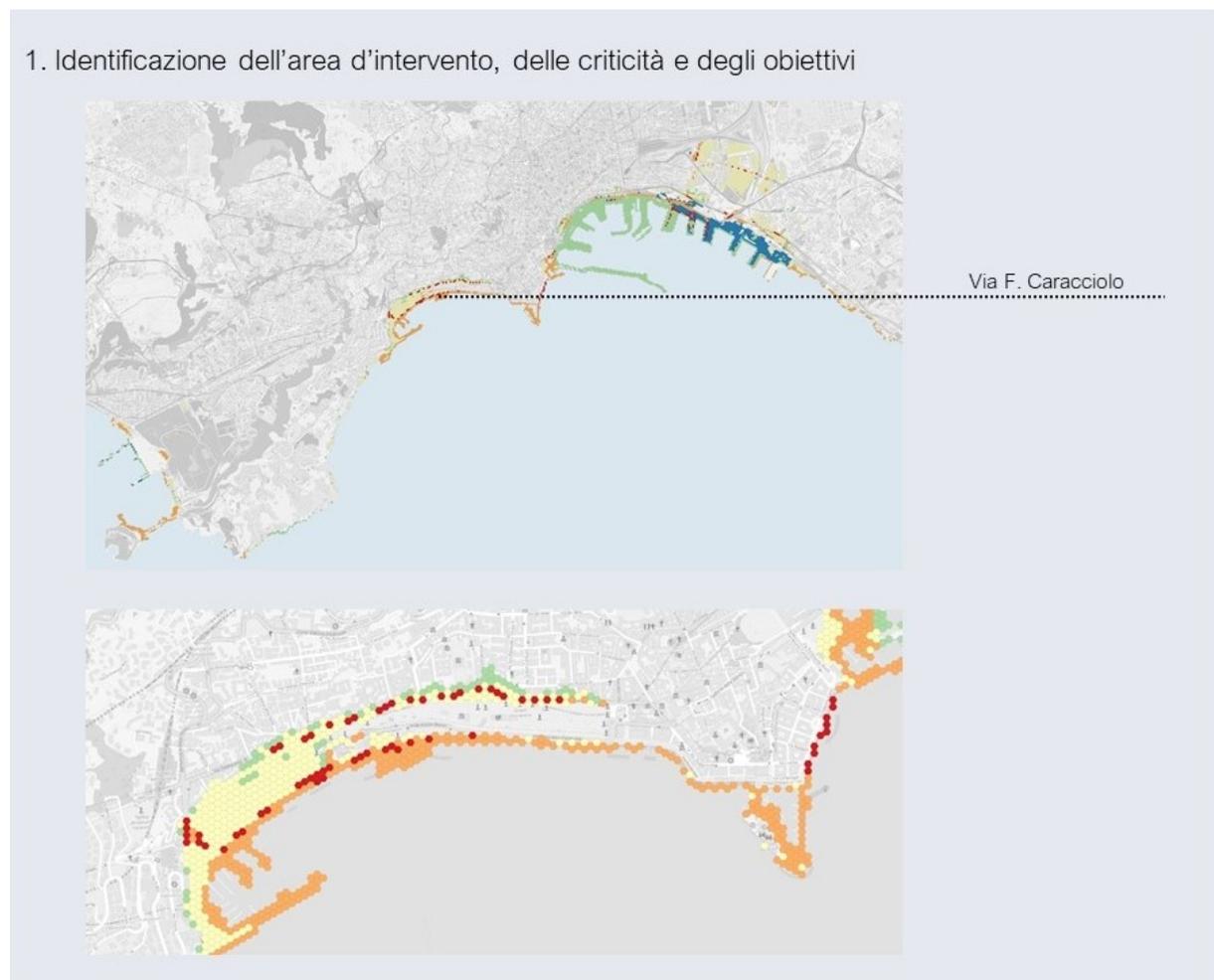


Figura 64. Applicazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Napoli (2100, RCP 8.5, RT 100yr, 95%) e identificazione di via F. Caracciolo come area critica

Identificata l'area di intervento, ad ogni cella, in base alle informazioni contenute in forma di attribuiti spaziali, è associato un set di soluzioni identificate nell'ambito del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico ai fenomeni di inondazione costiera (Figura 65).

¹⁰¹ Via Francesco Caracciolo è una delle principali arterie stradali della città di Napoli e del suo lungomare. È un'ampia promenade che corre in parallelo alla Villa Comunale e al mare, fu realizzata a seguito della colmata delle antiche spiagge. Per il contrasto ai fenomeni di inondazione sono presenti scogliere radenti e sistemi di rivestimenti. La protezione è ulteriormente incrementata anche grazie alla presenza di barriere emergenti. L'area rientra nel perimetro UNESCO.

2. Consultazione delle alternative progettuali (catalogo delle soluzioni)

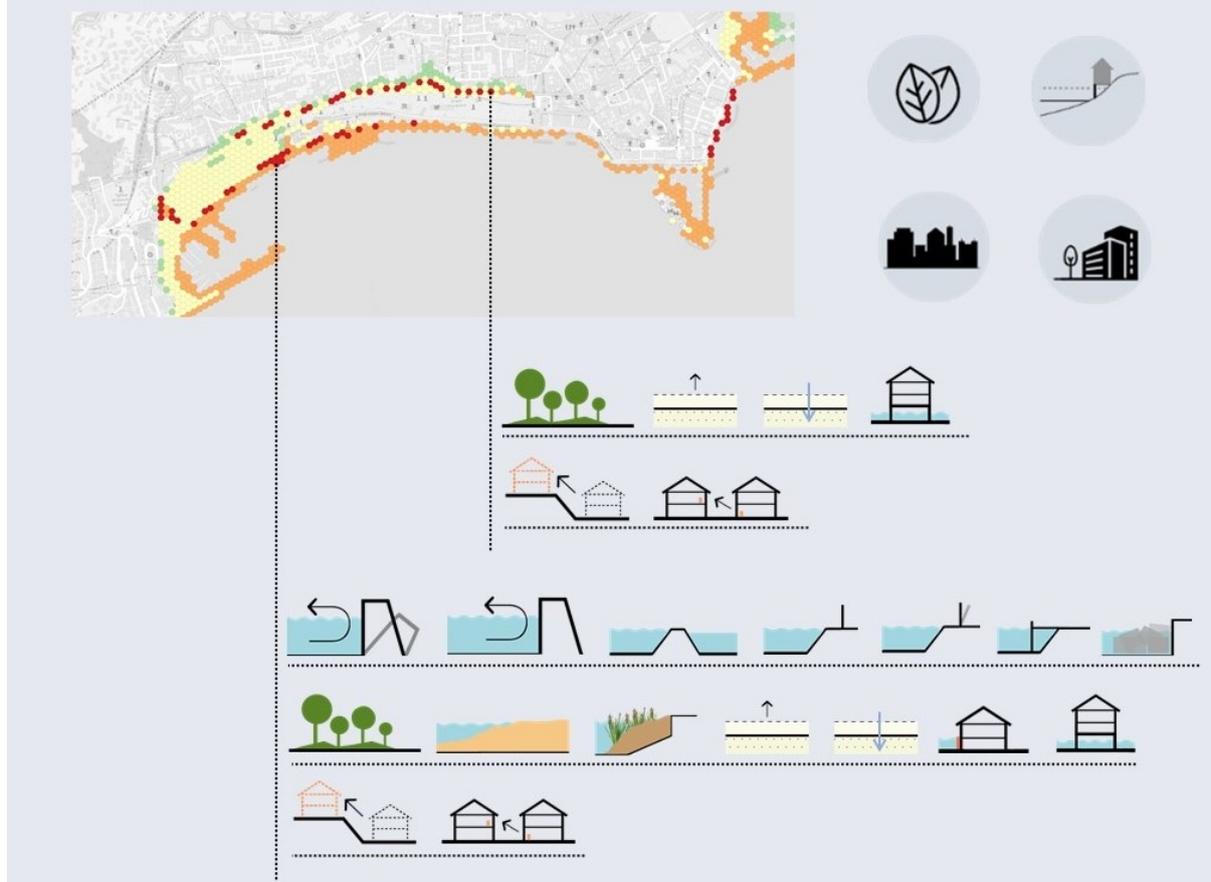


Figura 65. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, consultazione delle alternative progettuali

Individuate le alternative progettuali il catalogo delle soluzioni è parametrizzato in funzione dei criteri caratterizzanti del progetto e, in particolare, della tipologia di azione (grigia, verde e/o soft) e della scala d'intervento (regione/città, distretto/quartiere e/o blocco/edificio). Ai fini dimostrativi sono state selezionate le soluzioni caratterizzate da un approccio verde/basate su un approccio ecosistemico, che si relazionano con la scala del distretto/quartiere e che agiscono secondo un approccio di difesa (Figura 66).

Pertanto, senza tenere in considerazione aspetti tecnici, socioeconomici e/o vincoli normativi, al solo scopo dimostrativo, nell'ambito delle soluzioni proposte dal catalogo, è selezionata e applicata la soluzione aree verdi. Prevedere aree verdi consente, infatti, di ridurre gli impatti sull'ambiente costruito mediante la creazione di una buffer zone tra l'acqua e gli elementi esposti, al contempo, svolgono importanti benefici per l'ambiente urbano riducendo anche i fenomeni di ondata di calore. Rispetto ai fenomeni di inondazioni, costiere e pluviali, i parchi sono concepiti per essere inondati ma con danni minimi data l'alta percentuale di superficie permeabile.

Nel caso in esame è necessario considerare anche soluzioni di tipo soft per la delocalizzazione della strada, intesa come infrastruttura sensibile.

3. Definizione dell'approccio progettuale (soluzioni verdi, scala regionale/urbana e del distretto/quartiere, strategia di accomodamento), parametrizzazione del catalogo e identificazione delle soluzioni

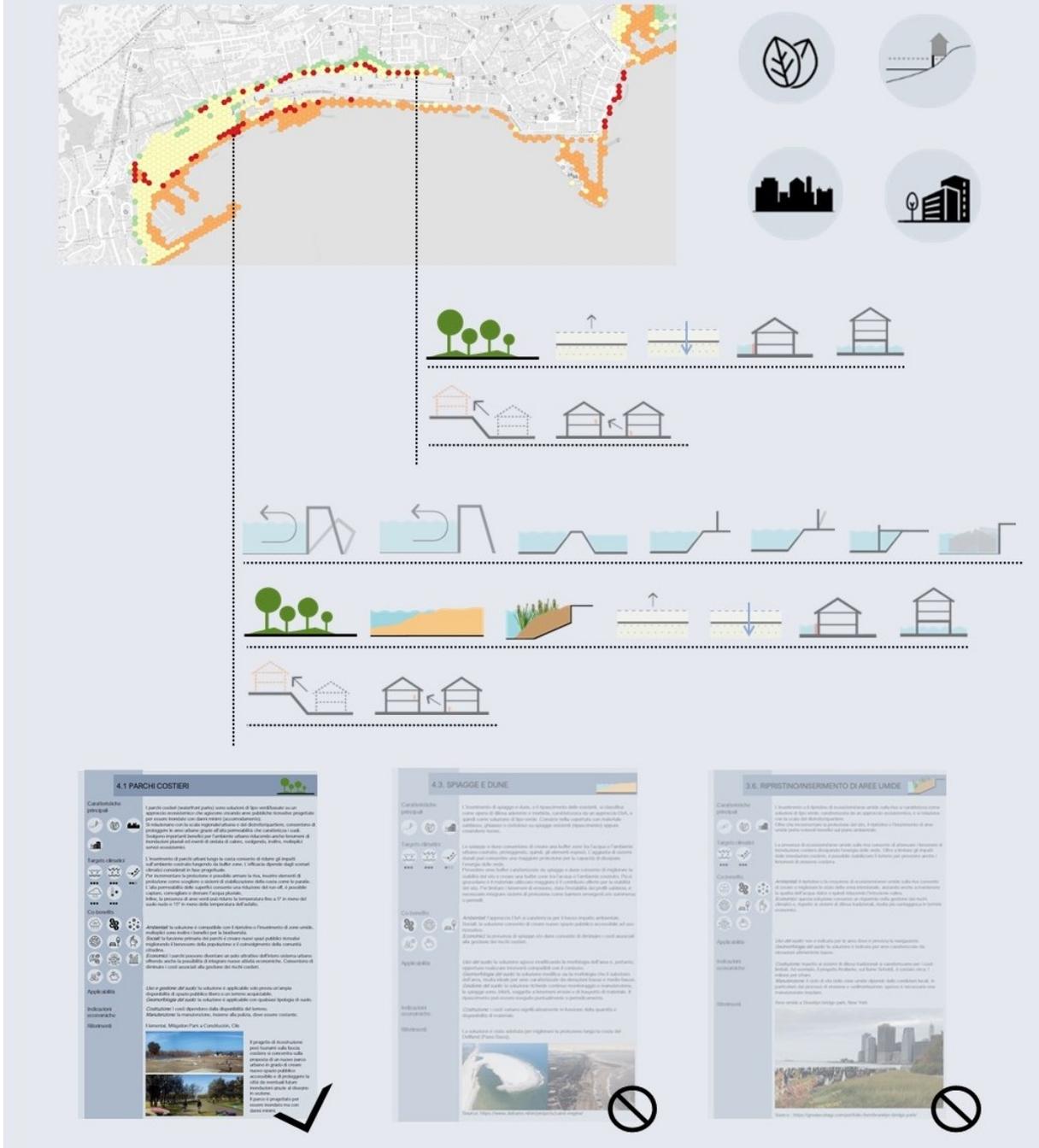


Figura 66. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, identificazione delle soluzioni

L'applicazione sperimentale evidenzia una riduzione dei potenziali danni economici fino a 2,3M € per eventi di ESL al 2100 (RT 100yr, 95%). Oltre ai benefit climatici diretti nella riduzione degli impatti per fenomeni di inondazione costiera, la soluzione consente di ridurre anche gli impatti per eventi di inondazione pluviale, fenomeni di erosione e di inondata di calore. In aggiunta molteplici sono i co-benefits offerti sul piano ambientale, sociale ed economico (Figura 67).

4. Simulazione dell'intervento di adattamento e valutazione della riduzione dei danni



Figura 67. Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, simulazione dell'intervento

Come evidenziato, per alcune soluzioni è possibile testarne direttamente l'efficacia sia sul piano economico, in termini di riduzioni del danno, che su quello spaziale.

Ai fini della proposta del modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto ai processi decisionali, sarà necessario indagare per ogni soluzione di adattamento afferente al catalogo proposto delle modalità di computazionali per calcolare la riduzione del danno, tra queste, è possibile individuare specifiche funzioni di danno, dei coefficienti o integrare modellazioni computazionali site-specific.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 4

APAT (2007), *Atlante delle opere di sistemazione costiera*, APAT – Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici, ISPRA, 177pp. Available online: <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/atlante-delle-opere-di-sistemazione-costiera>.

Aprèda, C., D’Ambrosio, V., Di Martino, F. (2018), “A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems”, in *Environmental Science & Policy*. 93. 11-26. Available online: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.016.

Barroca, B. (2018), “Vulnerability, Urban Design and Resilience Management” in Antunes do Carmo J. S. (eds), *Natural Hazards - Risk Assessment and Vulnerability Reduction*, IntechOpen. Available online: doi.org/10.5772/intechopen.78585.

D’Ambrosio, V. (2006), “Tecnologie e requisiti per la compatibilità ambientale degli interventi: il repertorio di soluzioni tecniche per gli spazi aperti” in Losasso, M., *Riqualificare i litorali. Progetti e tecnologie per interventi sostenibili sulla fascia costiera di Napoli*, Clean edizioni, Napoli, pp. 115-162.

D’Ambrosio, V. (2016a), “Conoscenza del sistema urbano e progetto ambientale climate adaptive”, in D’Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2016), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 26-37.

D’Ambrosio, V. (2017), “Processi di adattamento in ambito urbano. La piattaforma Metropolis come strumento di supporto alle decisioni”, in D’Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 32-45.

Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A., Mittal, N., Feliu, E., Faehnle, M. (2014), “Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure” in *Journal of environmental management*. 146C. 107-115. Available online: doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025.

EC (2012), *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Una strategia europea per le tecnologie abilitanti – Un ponte verso la crescita e l’occupazione. COM (2012) 341*. Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

EC (2013a), *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici. COM (2013) 216 final*. Available online at: <https://eur-lex.europa.eu>

EC (2021), Forging a climate-resilient Europe -The New EU strategy on Adaptation to Climate Change, COM(2021) 82 final, Brussel 24.02.2021.

Filagrossi Ambrosino, C., Leone M.F. (2017), “Soluzioni di climate-adaptive design per la riduzione degli impatti sul sistema urbano”, in D’Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 106-125.

Floater, G.J., Heeckt, C., Ulterino, M., Mackie, L., Rode, P., Bhardwaj, A., Carvalho, M.L., Gill, D.D., Bailey, T., Huxley, R. (2016). *Co-benefits of urban climate action: a framework for cities*, London School of Economics and Political Science, London, UK. Available online: <http://eprints.lse.ac.uk/68876/>

Georgescu, M., Chow, W. Wang, Z., Brazel, A., Trapido-Lurie, B., Roth, M, Benson, V. (2015), “Erratum: Prioritizing urban sustainability solutions: coordinated approaches must incorporate scale-dependent built environment induced effects” in *Environmental Research Letters*, vol. 10. Available online: doi.org/10.1088/1748-9326/10/6/061001.

IPCC CZM (1990), “Strategies for Adaptation to Sea Level Rise”, Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Available online: <https://www.ipcc.ch/publication/strategies-for-adaptation-to-sea-level-rise/>.

ISPRA (2014), *Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera*, ISPRA, Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, manuali e linee guida 105/2014, 73pp.

Losasso, M. (2018a), “La ricerca tecnologica e ambientale per il progetto resiliente” in Leone M., Tersigni E., Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali, Clean, Napoli, pp. 7-11.

Losasso, M. (2017a), “Prefazione”, in D’Ambrosio, V. , Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e*

indirizzi per la riduzione dei rischi climatici, Clean Edizioni, Napoli, pp. 12-15.

Losasso, M. (2017b), "Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito" in D'Ambrosio, V., Leone, M. F. (eds) (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 152-174.

Milardi, M. (2021) "Test, simulazioni, protocolli, attività on site e in laboratorio" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici e progetti pilota per l'adattamento climatico / Form Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptatio*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 53-60.

MITE (2015), SNAC - Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici. <https://www.mite.gov.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0>.

MITE (2017) Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti del cambiamento climatico, tavolo nazionale sull'erosione costiera MATTM-REGIONI con il coordinamento tecnico di ISPRA.

Noble IR, Huq S, Anokhin YA, Carmin J, Goudon D, Lansigan FP et al (2014), "Adaptation needs and options" In: Field CB et al. (eds) *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 833–868. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

NYDCP (2013a), "COASTAL CLIMATE RESILIENCE Urban Waterfront Adaptive Strategies. Available online: https://www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/plans-studies/sustainable-communities/climate-resilience/urban_waterfront.pdf.

Robert, S., Fox, D., Boulay, G., Grandclement, A., Garrido, M. et al. (2019), "A framework to analyse urban sprawl in the French Mediterranean coastal zone", in *Regional Environmental Change*, Springer Verlag, 2019, vol. 19 (2), pp.559-572. Available online: doi.org/10.1007/s10113-018-1425-4.

Tucci, F., Ceccafosso V., Turchetti G. (2021) "La multiscalarità degli interventi di adattamento climatico" in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (a cura di), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi*

strategici e progetti pilota per l'adattamento climatico / Form Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programs and Pilot Projects for Climate Adaptatio, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 61-67.

UN (2015) The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (Sendai Framework) <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>

UNEP (2010), "Technologies for Climate Change Adaptation – Coastal Erosion and Flooding", in Zhu, X., Linham, M. M., Nicholls, R.J., Technical Report, 166 pp. Available online: https://www.climatesmartplanning.org/sites/cspp/files/TNA_Guidebook_AdaptationCoastalErosionFlooding.pdf

USDA (2010), "Disturbance Affecting Stream Corridors", in *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*, Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG), United States Department of Agriculture, 30 pp. Available online : <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/restoration/?cid=stelprdb1043448>.

Valente, R. (2020) "Esperienze di progetti ambientali multisecolari", in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia, Collana Studi e Progetti*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. pp.262-266.

Voorendt, M. Z. (2015), *Example of multifunctional flood defences*, working report, TU Delft.

SITOGRAFIA

CLARITY, <https://clarity-h2020.eu/>. Nell'ambito della reportistica è proposto il catalogo "Adaptation Measures Technical Cards", annex III D 3.3.

Piattaforma CLIMATE ADATPTATION APP, <https://www.climateapp.nl/>

CLIMATE-ADAPT, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

CAPITOLO 5
CONCLUSIONI
E PROSPETTIVE DI RICERCA

Nel **quinto capitolo**

sono evidenziati i risultati ottenuti e sono delineate le criticità, per poi mettere a fuoco le prospettive di sviluppo della ricerca. Come prospettive di ricerca sono individuati due assi di sviluppo per l'implementazione del modello Coast-RiskBySea e, in particolare, processi di downscaling alla scala di dettaglio e la valutazione dei danni indiretti e intangibili.

5.1. I RISULTATI DELLA RICERCA

Nell'Antropocene, la prevenzione di eventi climatici critici, associati ad hazards meteorologici o agli effetti sempre crescenti del cambiamento climatico, è un aspetto chiave del management urbano. L'aumento delle temperature globali sta conducendo a diversi fenomeni come: l'innalzamento del livello del mare e l'intensificazione degli eventi climatici estremi (cicloni, tempeste, mareggiate, precipitazioni), l'aumento della temperatura marina, l'alterazione dei moti ondosi, la concentrazione di CO₂, infine, l'aumento del run-off (Nicholls et al., 2007).

Gli scenari climatici impongono, con urgenza, la messa in campo di azioni di adattamento e mitigazione climatica per adeguare le città agli impatti attuali e limitare quelli futuri soprattutto nella regione euro-mediterranea e, più in generale, nelle città di mare (IPCC, 2022). In area costiera le proiezioni climatiche, sia nel breve che nel lungo termine, mostrano un aumento significativo, in termini di intensità e frequenza, degli eventi di Extreme Sea Level (Vousdoukas et al., 2018) con potenziali effetti disastrosi per gli insediamenti urbani che insistono sulla costa dove, peraltro, vi è un'alta densità abitativa accompagnata dalla presenza di importanti infrastrutture e attività. In Europa circa il 19% della popolazione vive entro i 10km dalla linea di costa e il valore dei beni esposti, come manufatti edilizi, infrastrutture e attività produttive, entro 500 metri dal mare è stimato tra i 500 e i 1000 miliardi di euro (EC, 2006; EC, 2010).

I rischi climatici rappresentano la probabilità che si verifichi un evento critico moltiplicato per gli impatti che si avrebbero se esso si verificasse e dipendono dall'interazione tra la vulnerabilità, l'esposizione e l'hazard. In ambiente urbano gli impatti sono incrementati a causa delle caratteristiche insediative del costruito. Valutare i rischi e gli impatti climatici significa individuare gli elementi esposti e vulnerabili per definire e attuare, in maniera preventiva, le strategie e le azioni di adattamento climatico (EC, 2013).

L'efficacia dei progetti di adattamento climatico dipende dalla capacità (del progetto) di saper prefigurare gli scenari futuri, pertanto, dall'osservazione e dalla conoscenza dei rischi. L'individuazione e la caratterizzazione dei parametri di esposizione, vulnerabilità e hazard richiede l'integrazione di molteplici informazioni in appositi strumenti di supporto ai processi decisionali al fine di considerare le molteplici istanze del progetto in regime di cambiamento climatico. La complessità che caratterizza le città contemporanee richiede, inoltre, un approccio sistemico e multiscale per il controllo del binomio clima-ambiente costruito (Losasso, 2018b).

In linea con quanto evidenziato, il principale prodotto della ricerca, allineandosi con gli obiettivi della Comunità Europea per la trasformazione verde e digitale, è il modello Coast-RiskBySea (COASTal zones RISK assessment for Built environment bY extreme SEA level). Il modello si pone come una metodologia e come strumento innovativo di osservazione e conoscenza del rischio di inondazione costiera, orientato al supporto del progetto di adattamento climatico.

L'apporto disciplinare della progettazione ambientale ha fornito gli strumenti metodologici e processuali per affrontare le complesse interazioni tra progetto urbano, ambiente e sviluppo sostenibile, configurandosi come un controllo di tipo processuale attuato con il ricorso a tecnologie abilitanti (simulation, modelling, machine learning e gestione dei dati). Parallelamente il supporto

aziendale tecnologicamente avanzato ha permesso l'introduzione dei dati telerilevati a sostegno del processo di osservazione e conoscenza, potenziando la capacità di raccolta, sistematizzazione, condivisione e trasferimento di dati e modelli dagli ambiti dell'informazione geospaziale e delle scienze del clima a quelli della progettazione, migliorando, peraltro, la capacità di interazione tra ricerca scientifica e industria del telerilevamento, nel campo disciplinare della progettazione ambientale.

Caratteristiche e aspetti chiave del modello sono il downscaling delle analisi alla scala locale, la definizione e caratterizzazione dei parametri di vulnerabilità ed esposizione, la parametrizzazione del rischio in funzione dei potenziali danni economici, la replicabilità e l'implementabilità dell'approccio sul piano spaziale, infine, la relazione tra le analisi di rischio e il catalogo di soluzioni di adattamento climatico.

L'applicazione sperimentale del Coast-RiskBySea sulle città di Napoli, Barcellona e Marsiglia ha evidenziato livelli di rischio medio-alto, per tutti e tre gli insediamenti euro-mediterranei, ribadendo la necessità di attuare azioni di mitigazione e adattamento climatico. Gli obiettivi climatici dovranno essere, infatti, integrati nel design urbano per implementare la prevenzione, l'adattamento e il recupero agli impatti climatici mitigando le cause e prefigurando la capacità degli insediamenti urbani di risposta adattiva agli impatti futuri.

5.2. LIMITI E PROSPETTIVE DI RICERCA PER L'IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

Il principale prodotto di ricerca è il modello Coast-RiskBySea orientato al supporto decisionale per il progetto di adattamento climatico. La conoscenza e l'osservazione del rischio di inondazione costiera, sull'ambiente costruito, attuata con il ricorso alle tecnologie abilitanti, consente, infatti, di orientare il progetto in chiave climate proof mediante un approccio sistemico, multiscalare e integrato che consente il downscaling dell'analisi degli impatti alla scala locale. La relazione tra il modello di rischio e il catalogo di soluzioni tecniche metaprogettuali individuate consente, poi, il supporto decisionale nel passaggio dalla fase istruttoria a quella operativa.

Nell'ambito del modello proposto è possibile identificare due assi di sviluppo:

1. Processi di downscaling alla scala di dettaglio
2. Valutazione dei danni indiretti e intangibili

Il downscaling delle analisi di rischio alla scala di dettaglio è un aspetto fondamentale per il supporto decisionale alla scala locale, più sono accurate le previsioni più sono di supporto ai decisori. In questo contesto i processi di downscaling possono essere attuati sia integrando nuovi dati, e quindi riducendo la scala del reticolo di riferimento, sia grazie all'interoperabilità che caratterizza i sistemi digitali.

Parallelamente, la parametrizzazione degli impatti delle inondazioni costiere in funzione dei potenziali danni è un aspetto fondamentale per la gestione dei rischi in ambito urbano, sia alla scala locale che a quella globale. Il modello Coast-RiskBySea consente l'analisi dei soli danni diretti e tangibili ai fenomeni di inondazione costiera calcolati mediante le funzioni di danno, tuttavia, soprattutto nel caso delle inondazioni sull'ambiente urbano, molteplici potrebbero essere i danni indiretti e i danni intangibili sia indiretti che diretti (Habermann e Hedel, 2018; Tabella 5). Successive implementazioni, pertanto, potrebbero riguardare anche la valutazione dei danni indiretti e intangibili. Infine, come anticipato nel capitolo 4, sarà necessario implementare la relazione tra il modello e il catalogo delle soluzioni di adattamento ai fini del controllo sistemico degli interventi metaprogettuali in termini di riduzione dei rischi e dei danni economici associati.

5.2.1. Processi di downscaling alla scala di dettaglio

Il modello Coast-RiskBySea consente di individuare le aree più a rischio (hotspots) e il grado di rischio correlato, ulteriori processi di downscaling potrebbero essere attuati riducendo la scala del reticolo di riferimento o grazie all'interoperabilità che caratterizza i sistemi digitali.

Per attuare un aumento di scala e, di conseguenza la riduzione della dimensione delle celle reticolo di riferimento, è necessario introdurre dati di carattere locale. Per preservare la caratteristica di replicabilità dell'approccio sul piano spaziale, nell'analisi d'uso del suolo, è possibile combinare i dati del database Copernicus Coastal Zones con i dati del database Copernicus Urban Atlas, disponibili per le maggior aree urbane europee; l'integrazione dei due datasets consente un'analisi dei rischi, sul piano spaziale, più accurata, e, di conseguenza, la riduzione della dimensione delle celle del reticolo di riferimento. Ulteriori sperimentazioni potranno essere condotte integrando altri dati come, per il caso di Napoli, il Data Base Topografico (DBT).

Parallelamente, nel contesto dell'interoperabilità che caratterizza i sistemi digitali, l'integrazione di strumenti GIS-BIM può consentire il passaggio dalla scala urbana alla scala dell'edificio. A partire dall'individuazione delle aree critiche (hotspots) è possibile, infatti, associare agli elementi che ricadono in tali aree, i modelli comportamentali BIM-based degli elementi esposti siano essi edifici o infrastrutture (Figura 68).

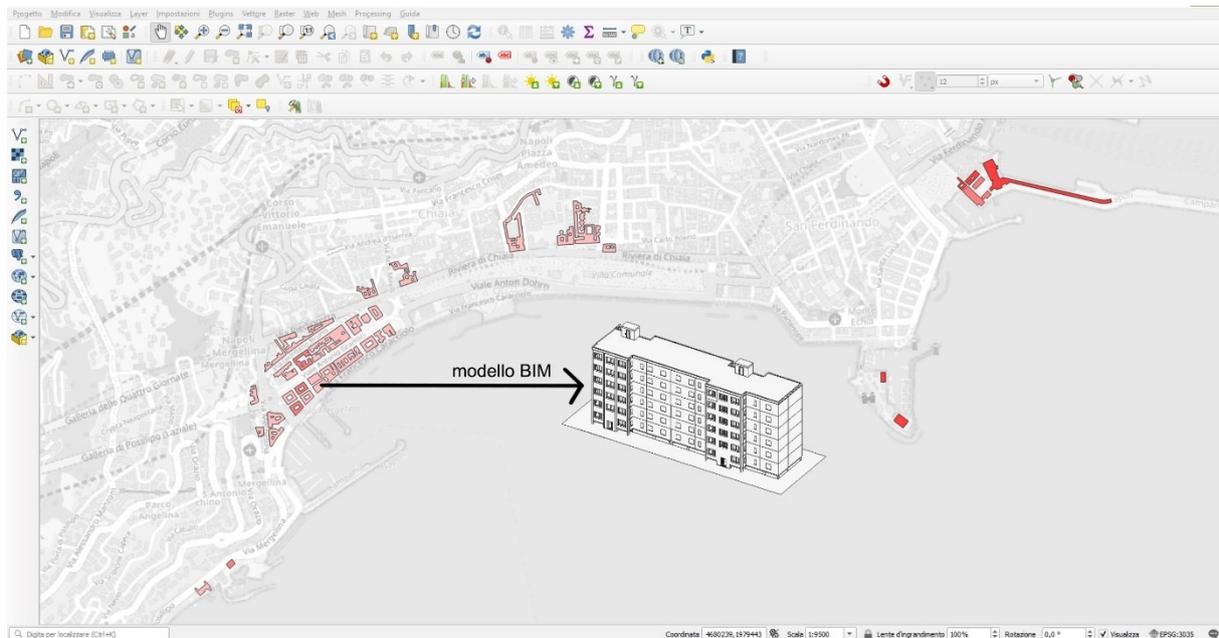


Figura 68. La relazione tra il modello Coast-RiskBySea e gli strumenti BIM come strumento di supporto al progetto di adattamento climatico

L'integrazione GIS-BIM può consentire il controllo sistemico degli interventi progettuali orientati all'adattamento climatico; l'efficacia dei progetti di retrofit tecnologico-ambientale richiede, infatti, approcci simulativi in chiave di upscaling e downscaling dinamico per il controllo del binomio esigenze-prestazione e delle ricadute in termini di impatti ambientali, economici e architettonici. In questo scenario progettuale, la fase decisionale acquista una nuova processualità induttiva, sistemica e circolare attivando "loops" capaci di combinare intuizione, esperienza e automatismo (Thiis e Heilif, 2008; Russo Ermolli, 2020).

Implementando il catalogo delle soluzioni tecniche, potrebbero essere, pertanto, stimate le ricadute dell'intervento di adattamento in termini di riduzione del rischio e del danno, parametrizzato in funzione delle perdite economiche, permettendo parallelamente anche il controllo dei costi associati e delle ricadute progettuali in termini ambientali ed architettonici¹⁰².

¹⁰² L'interoperabilità che caratterizza i sistemi informatici mediante l'utilizzo di tool dedicati (design parametrico, simulazione energetica, etc.) potrebbe consentire una valutazione più accurata delle soluzioni di adattamento climatico.

5.2.2. La valutazione dei danni indiretti e intangibili

Come anticipato, le inondazioni costiere possono provocare danni, diretti o indiretti, sul piano ambientale, sociale ed economico caratterizzandosi per differenti variabili spaziali e temporali. I danni diretti sono i danni istantaneo e derivano dall'interazione fisica tra l'acqua e gli elementi esposti, mentre quelli indiretti possono oltrepassare i confini (spaziali e temporali) dell'area direttamente interessata dall'evento e sono quindi più difficili da quantificare. I danni possono essere distinti in danni tangibili e intangibili, se non quantificabili monetariamente (Markantonis, Meyer e Schwarze, 2012; Rogers et al., 2019; Tabella 20).

TIPOLOGIA DI DANNI		IMPATTI
AMBIENTALI danni intangibili	diretti	Erosione
	indiretti	Perdita di flora e fauna Perdita di sostanze nutritive Inquinamento Contaminazione del suolo
SOCIALI danni intangibili	diretti	Vittime/feriti Interruzione/limitazione delle attività di soccorso Danni al patrimonio culturale (perdita di memoria, valore attrattivo)
	indiretti	Malattie mentali/post-traumatiche Disagi sociali connessi all'interruzione delle infrastrutture primarie (elettricità, scuola, istituzioni) Interruzione/limitazione delle attività di soccorso
ECONOMICI danni tangibili	diretti	Danni al patrimonio costruito (edifici, infrastrutture, spazi aperti etc.) Danni al contenuto degli edifici
	indiretti	Interruzione/limitazione delle attività commerciali/industriali Interruzione/limitazione delle attività di turismo Interruzione/limitazione delle attività di mobilità (prodotti e passeggeri)

Tabella 20. I principali danni per fenomeni di inondazioni costiere

I danni delle inondazioni costiere sulle infrastrutture, includendo, quindi, porti, aeroporti e sistemi di trasporto stradale e ferroviario, possono essere diretti (istantanei e localizzati) o indiretti. Valutando, ad esempio, un'inondazione su un tratto di sezione stradale, è evidente che i danni, sul piano spaziale e temporale, possano propagarsi oltre l'area direttamente interessata dall'evento a causa della natura a rete e interconnessa che caratterizza questo tipo di infrastrutture. Se la strada è inquadrata anche nell'ambito delle infrastrutture critiche¹⁰³, le dipendenze funzionali tra le componenti¹⁰⁴ del sistema stradale e le interdipendenze con altri sistemi urbani, ad esempio tra il sistema di trasporto stradale e il sistema di soccorso, fanno sì che i danni fisici sull'infrastruttura

¹⁰³ Le infrastrutture critiche (CI) sono sistemi che svolgono ruoli essenziali per il funzionamento delle città contemporanee. La resilienza climatica delle infrastrutture critiche costituisce un aspetto complesso, ma cruciale, per garantire la filiera socioeconomica sulla base del principio dell'interdipendenza funzionale.

¹⁰⁴ Il termine componente fa riferimento alle parti che compongono un sistema.

impattino inevitabilmente anche altri sistemi urbani compromettendo il funzionamento dell'intera città¹⁰⁵ (Rinaldi, Peerenboom e Kelly, 2001; Pant et al., 2018).

Anche nel caso delle infrastrutture portuali, infrastrutture strategiche e motori di sviluppo economico a molteplici scale, i danni fisici all'infrastruttura possono provocare numerosi e più frequenti impatti indiretti sulle filiere economiche e produttive (Barroca, Clemente e D'Ambrosio, 2021).

Per analizzare e valutare i possibili "effetti a catena", causati da eventi perturbanti, come nel caso di hazard climatici, è necessario leggere i sistemi urbani come sistemi complessi e interdipendenti (Zuccaro, De Gregorio e Leone, 2018). In questo contesto, l'analisi degli impatti indiretti può essere approfondita mediante l'uso di modelli di flusso a blocchi funzionali che permettono l'introduzione del concetto di resilienza funzionale. La resilienza funzionale¹⁰⁶ è, infatti, legata alle interazioni (dipendenze) che avvengono tra i sistemi, i sottosistemi o le componenti che caratterizzano gli elementi complessi e che, quindi, richiedono un'analisi multiscalare degli effetti diretti e indiretti, che superi i confini spaziali e temporali dell'area direttamente interessata dall'evento (Robert et al., 2009; Gonzva et al., 2016).

Comprendere le dipendenze e le interdipendenze dei sistemi complessi permette di identificare gli elementi critici e, sulla base di tali conoscenze, orientare le trasformazioni progettuali in chiave climate proof, attuando soluzioni climate-resilient e site-specific integrando aspetti di sviluppo sostenibile, qualità urbana e management del rischio (Barroca e Pacteau, 2018; Raeven et al., 2018; Antonini, 2019). La "questione ambientale" è, infatti, mutevole e multidimensionale e richiede azioni progettuali proattive e reattive per la riduzione delle vulnerabilità e l'aumento graduale della resilienza (Baiani e Valitutti, 2013).

A partire da tali presupposti, future implementazioni del modello Coast-RiskBySea, sia in termini operativi che concettuali, potrebbero riguardare l'introduzione della valutazione dei danni indiretti tangibili quantificabili in funzione dei potenziali effetti negativi derivanti dalla interruzione e/o dal rallentamento delle attività e parametrizzati anch'essi in termini economici. Ai fini del calcolo possono essere introdotte specifiche funzioni di danno (Habermann e Hedel, 2020). Al contempo, esistono specifiche metodologie come il metodo WTP, Willingness To Pay, che indagano gli impatti indiretti in funzione della disponibilità massima delle persone a pagare per un prodotto/servizio (Proverbs e Lamond, 2015; Florec et al., 2017).

Parallelamente potrebbero essere valutati i danni indiretti considerando la potenziale diminuzione del PIL locale dovuta al forzato stop delle attività commerciale e/o industriali e ai potenziali danni ai beni immagazzinati negli edifici. Tuttavia, la mancanza di informazioni dettagliate sulla distribuzione delle attività ai piani terra, interrati o seminterrati nelle città a livello paneuropeo comporta un'elevata incertezza nel calcolo dei potenziali danni economici e rende difficile questa tipologia di analisi (Zuccaro e Leone, 2021).

¹⁰⁵ Quanto evidenziato è accaduto a luglio 2021 in occasione di una tragica alluvione che ha colpito i paesi dell'Europa centrale, soprattutto Germania, Belgio e Olanda, causando oltre 200 vittime, anche a causa dell'impossibilità dei soccorsi di raggiungere l'area a causa dell'interruzione del traffico stradale e delle telecomunicazioni, condizione che ha creato gravi ritardi compromettendo le missioni di soccorso.

¹⁰⁶ Nei sistemi infrastrutturali, è possibile individuare tre livelli di interdipendenza che derivano dalla connettività che caratterizza la rete, dalla resistenza delle singole componenti e, infine, dalla capacità dei sistemi tecnici di non influenzare l'operatività dell'intera infrastruttura (Barroca et al., 2013).

Infine, ulteriori sperimentazioni sono necessarie al fine di identificare e quantificare i danni ambientali e sociali, come l'erosione, la contaminazione di suolo e acque, la perdita di flora e fauna, ma anche i danni alle persone e al patrimonio culturale.

Pertanto, con l'obiettivo di implementare il modello Coast-RiskBySea, si identificano come potenziali assi di sviluppo la valutazione dei potenziali danni indiretti (tangibili e intangibili) per le infrastrutture, la valutazione dei danni indiretti (tangibili e intangibili) per gli edifici e, infine, la valutazione dei potenziali impatti, diretti e indiretti, ambientali e sociali.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 5

- Antonini, E. (2019), "Uncertainty, fragility, resilience", in *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. Available online: doi.org/10.19229/2464-9309/612019.
- Baiani, S., Valitutti, A. (2013), "Land and built environment resilience. Strategies and operational tools for prevention, mitigation and adaptation of fragile and sensitive contexts" (2013), in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 5, pp. 95-100. Available online: doi.org/10.13128/Techne-12807.
- Barroca, B., Clemente, M.F., D'Ambrosio, V. (2022), "Resilienza funzionale dei sistemi portuali e strategie per il progetto climate proof" in Bonciani B., Bordato L., Giovene di Girasole E. (a cura di), *Dialoghi tra porto e città nell'epoca della globalizzazione*, Arance editore, Collana "Ricerca e Documentazione", pp. 233-250.
- Barroca, B., Pacteau C. (2018), "Resilience and urban design: what does the French flood of 2016 teach us?" in *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 31-38. Available online: doi.org/10.13128/Techne-23199.
- Gonzva, M., Barroca, B., Lhomme, S., Gautier, P., Diab Y., (2016), "Apport de la sûreté de fonctionnement à l'analyse spatialisée du risque inondation", in *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 26 (3), pp 329-361. Available online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01676222>.
- Habermann, N., Hedel, R. (2020), "Damage functions for transport infrastructure", in *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 9, pp. 420-434. Available online: doi.org/10.1108/IJDRBE-09-2017-0052.
- IPCC (2022), *AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.
- Joseph, R., Proverbs, D., Lamond, J. (2015), "Assessing the value of intangible benefits of property level flood risk adaptation (PLFRA) measures" in *Natural Hazards*, vol. 79, pp.1275-1297. Available online: doi.org/10.1007/s11069-015-1905-5.
- Losasso, M. (2018b), "Progetto, Ambiente, Resilienza | Design, Environment, Resilience", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 16-20. Available online: doi.org/10.13128/Techne-23195.
- Markantonis, V., Meyer, V., Schwarze, R. (2012) "Review Article: Valuating the intangible effects of natural hazards – review and analysis of the costing methods" in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 12, pp- 1633-1640. Available online: doi.org/10.5194/nhess-12-1633-2012.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R, Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D. (2007), "Coastal systems and low-lying areas Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", (eds) M.L. Parry et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-35. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter6-1.pdf>.
- Pant, R., Thacker, S., Hall, J., Alderson, D., Barr, S. (2018), "Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure" in *Journal of Flood Risk Management*, vol. 11, pp. 22-33. Available online: doi.org/10.1111/jfr3.12288.
- Raven, J., Stone, B., Mills, G., Towers, J., Katzschner, L., Leone, M., Gaborit, P., Georgescu, M., and Hariri, M. (2018), "Urban planning and design", in Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (Ed.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York, pp. 139-172.
- Rinaldi, S.M., Peerenboom, J.P., Kelly, T.K. (2001), "Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies", in *IEEE Control Systems*, vol. 21, pp 11-25. Available online : doi.org/10.1109/37.969131.
- Robert, B., Pinel, W., Pairet, J-Y., Rey, B., Hémond, Y., Yan, G., Cloutier, I. (2009). *Résilience organisationnelle, concepts et méthodologie d'évaluation*, [Organisational resilience – concepts and methods of analysis.] Montréal: Presses internationales polytechniques, pp. 52.
- Rogers, A.A., Dempster, F.L., Hawkins, J.I. et al. (2019), "Valuing non-market economic impacts from natural hazards", in *Natural Hazards*, vol. 99, pp.1131-1161. Available online: doi.org/10.1007/s11069-019-03761-7.
- Russo Ermolli, S. (2020), "Il pensiero computazionale", in Russo Ermolli S., *The Digital Culture of Architecture. Note sul cambiamento cognitivo e tecnico tra continuità e rottura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 94-110.

Thiis, T. K., Eilif H. (2008), "Use of BIM and GIS to enable climatic adaptations of buildings", 7th European Conference on Product and Process Modelling (ECPM) At: Sophia Antipolis, France Available online: doi.org/10.1201/9780203883327.

Zuccaro, G., De Gregorio, D., Leone, M.F. (2018), "Theoretical model for cascading effects analyses", in *International journal of disaster risk reduction*, vol. 30, pp 199-215. Available online: doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.04.019.

Zuccaro, G., Leone, M. (2021), "Climate Services to Support Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Urban Areas: The CLARITY Project and the Napoli Case Study", in *Frontiers in Environmental Science*, vol. 9. Available online: doi.org/10.3389/fenvs.2021.693319.

APPENDICE

A1_ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

%	Percentile
Coast-RiskBySea	COASTal zones RISK assessment for Built environment bY Extreme Sea Level
CZM	Coastal Zones Management
DTM	Digital Terrain Model
EbA	Ecosystem based Approach
EC	European Commision
EEA	European Environment Agency
EO	Earth Observation
EP	European Parliament
ESA	European Space Agency
ESL	Extreme Sea Level
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
JRC	Joint Research Centre
m	metri
M	Milioni
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MISE	Ministero dello Sviluppo Economico
MITE	Ministero della Transizione Ecologica
NGEU	NextGeneratio UE
NYDCP	New York City Department Planning
PNAC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
RCP	Representative Concentration Pathways
SLR	Sea Level Rise
RT	Return Period
SNAC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
UN	United Nation
UNEP	United Nations Environment Programme
Yr	Years

A2_ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Inquadramento della ricerca

Figura 2. Le fasi della ricerca

Figura 3. Le conseguenze del cambiamento climatico. Fonte immagine: IPCC (2021)

Figura 4. La relazione tra l'aumento delle temperature globali in funzione degli scenari RCP e gli scenari di sviluppo socioeconomico SSP. Fonte immagine: IPCC (2021)

Figura 5. Dall'analisi dei rischi climatici allo sviluppo climate-resilient. Fonte immagine: IPCC (2022)

Figura 6. Gli impatti del cambiamento climatico sui sistemi antropici

Figura 7. Cambiamenti nei Extreme Sea Level e coastal flooding in Europa, scenari RCP a confronto. Fonte immagine: <https://www.eea.europa.eu/ims/extreme-sea-levels-and-coastal-flooding>

Figura 8. Approcci di adattamento climatico in area costiera. Elaborazione immagine a partire da UNEP (2010)

Figura 9. Area gioco ad Hafen City, Amburgo

Figura 10. Elbphilharmonie Hafen City, Amburgo

Figura 11. Terrazza Marco Polo, Hafen City, Amburgo

Figura 12. Terrazza Marco Polo, Hafen City, Amburgo

Figura 13. Promenade Niederhafen, Hafen city, Amburgo

Figura 14. Edifici residenziali ad Hafen City, Amburgo

Figura 15. Sistemi di protezione temporanei per gli infissi ad Hafen city, Amburgo

Figura 16. Ingresso degli edifici a quota non inondabile, Hafen City, Amburgo

Figura 17. Rotterdam weather wise map, la sfida del sea level rise. Souce: <https://www.c40.org/cities/rotterdam/>

Figura 18. Il progetto RIVERDIKE, strategie per il disegno del limite. Fonte immagine: <http://www.urbanisten.nl/>

Figura 19. Floating pavillon, Rotterdam. Fonte immagine: <https://www.blue21.nl/>

Figura 20. Floating farm, Rotterdam

Figura 21. "Urban waterfront adaptive strategies" New York, strategie di adattamento. Fonte immagine: NYDCP (2013a)

Figura 22. "Comprehensive Coastal Protection Plan" New York, masterplan. Fonte immagine: NYDCP (2013b)

Figura 23. "Comprehensive Coastal Protection Plan" New York, strategie di adattamento. Fonte immagine: NYDCP, (2013b)

Figura 24. Dai modelli climatici globali ai modelli d'impatto alla scala locale. Elaborazione immagine a partire Vautard (2018)

Figura 25. Il contributo dei big data negli studi climatici. Elaborazione immagine a partire da: Hassani (2019)

Figura 27. Elaborazioni del DTM per l'analisi di pendenza e rilievo sulla città di Napoli. Fonte DTM: (MATTM, 2007)

Figura 28. Elaborazione dell'NDVI su immagini satellitari della città di Napoli, a partire da immagini satellitari di luglio 2019. Fonte immagine di riferimento: www.planet.com

Figura 29. Carta di land use della città di Napoli elaborata a partire dai dati del database Copernicus Coastal zones 2018 (<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones/coastal-zones-2018>)

Figura 30. Carta di land use della città di Napoli elaborata a partire dai dati del database Urban Atlas 2018 (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>)

Figura 31. Framework concettuale per il supporto al progetto di adattamento climatico. Elaborazione immagine a partire da Noble et al. (2014)

Figura 32. Framework concettuale del modello Coast-RiskBySea, derivato dai modelli IPCC (R5, AR6)

Figura 33. Workflow operativo del modello Coast-RiskBySea

Figura 34. Workflow operativo applicato al caso studio di Napoli

Figura 35. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di land use

Figura 36. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di vulnerabilità per eventi di ESL

Figura 37. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di rischio per ESL (2050, RCP 4.5, 100RT, 95%)

Figura 38. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, carta di rischio per ESL (2050, RCP 8.5, 100RT, 95%)

Figura 39. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, Carta di rischio per ESL (2100, RCP 8.5, 100RT, 95%)

Figura 40. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli, individuazione degli hotspots per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, 100RT, 95%)

Figura 41. Scenari a confronto. Applicazione del Coast-RiskBySea sulla città di Napoli al 2050 e 2100. Simulazioni di ESL, RT 100yr, 95%, per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5

Figura 42. Downscaling delle carte di rischio sugli elementi esposti per eventi di ESL (RCP 8.5, RT 100yr, 95%)

Figura 43. La mareggiata del 1927. Fonte immagine: <https://www.vesuvionews.it/>

Figura 44. Gli impatti della mareggiata del 28.12.2020 su via Partenope, Napoli

Figura 45. Vista aerea dei lavori di manutenzione straordinaria sul lungomare di Napoli, foto di A. Garofalo. Fonte immagine: <https://www.ilmattino.it/fotogallery>

Figura 47. Applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea nell'area interessata dalla mareggiata del 28.12.2020, simulazione per ESL 1,50m

Figura 48. Applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea nell'area interessata dalla mareggiata del 28.12.2020, simulazione per ESL 1,00m

Figura 49. Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna). Carta di land use

- Figura 50.** Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna), carta di vulnerabilità per eventi di ESL
- Figura 51.** Sperimentazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Barcellona (Spagna), carta di rischio per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, RT 100, 95%)
- Figura 52.** Parco del litoral, MBM arquitectes Barcellona. Fonte immagine: <https://www.mbmarquitectes.cat/>
- Figura 53.** Quartiere vila Olimpica, Barcellona. Fonte immagini: <https://ajuntament.barcelona.cat/santmarti/es/el-distrito-y-sus-barrios/la-vila-olimpica-del-poblenou>
- Figura 54.** Climate Plan (2018-2030), Barcellona C40. Fonte immagine: <https://www.c40.org/cities/barcelona/>
- Figura 55.** Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di land use
- Figura 56.** Sperimentazione del Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di vulnerabilità per eventi di ESL
- Figura 57.** Sperimentazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Marsiglia (Francia), carta di rischio per eventi di ESL (2100, RCP 8.5, RT 100, 95%)
- Figura 58.** Il porto storico di Marsiglia inondato. Fonte immagine: <https://www.centrepresseaveyron.fr/>
- Figura 59.** Analisi comparativa delle curve di danno proposte da Prah et al. (2018) e le curve di danno del modello Coast-RiskBySea sul caso studio di Barcellona
- Figura 60.** Analisi comparativa delle curve di danno proposte da Prah et al. (2018) e le curve di danno del modello Coast-RiskBySea sul caso studio di Marsiglia
- Figura 61.** Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al processo decisionale
- Figura 62.** Legenda del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico
- Figura 63.** Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto per il metaprogetto di adattamento climatico
- Figura 64.** Applicazione del modello Coast-RiskBySea sulla città di Napoli (2100, RCP 8.5, RT 100yr, 95%) e identificazione di via F. Caracciolo come area critica
- Figura 65.** Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, consultazione delle alternative progettuali
- Figura 66.** Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, identificazione delle soluzioni
- Figura 67.** Il modello Coast-RiskBySea come strumento di supporto al progetto di adaptive design, simulazione dell'intervento
- Figura 68.** La relazione tra il modello Coast-RiskBySea e gli strumenti BIM come strumento di supporto al progetto di adattamento climatico

A3_ELENCO DELLE TABELLE

- Tabella 1.** Tipologie di coste e caratteristiche geomorfologiche dei luoghi. Elaborazione a partire da: Valente (1999b)
- Tabella 2.** Approcci a confronto: DDA e CCA, elaborazione a partire da: EEA (2017)
- Tabella 3.** Riferimenti modelli e ricerche basati su metodi valutativi qualitativi e metodi valutativi basati su misure di parametri
- Tabella 4.** Dati e approcci metodologici dei modelli di Hallegatte et al. (2013) e PrahI et al. (2018)
- Tabella 5.** Le quattro tipologie di danno. Elaborazione a partire da: Habermann e Hedel (2018)
- Tabella 6.** La relazione tra le classi d'uso del suolo (Copernicus) e le funzioni di danno
- Tabella 7.** Classificazione del rischio in funzione dei potenziali danni economici
- Tabella 8.** Proiezioni climatiche di ESL, dati derivati da (Vousdoukas et al., 2018)
- Tabella 9.** Raccolta dei dati per l'applicazione sperimentale del modello Coast-RiskBySea sulla città di Napoli
- Tabella 10.** Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Napoli. Scenario climatico di ESL al 2100 per RCP 8.5, RT 100yr e 95%
- Tabella 11.** Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Barcellona
- Tabella 12.** Coast-RiskBySea, risultati dell'applicazione sperimentale sulla città di Marsiglia. Scenario climatico di ESL al 2100 per RCP 8.5, RT 100yr e 95%
- Tabella 13.** Dati e approcci metodologici a confronto tra il modello di proposto da PrahI et al. (2018) e il modello Coast-RiskBySea
- Tabella 14.** Analisi comparativa dei risultati per l'affidabilità del modello sul caso studio di Barcellona e Marsiglia
- Tabella 15.** Analisi comparativa per l'affidabilità del modello sul caso studio di Marsiglia
- Tabella 16.** Metodi di classificazione delle soluzioni di adattamento climatico
- Tabella 17.** Confronto tra le metodologie e i riferimenti di ricerca per la costruzione del catalogo delle soluzioni di adattamento climatico
- Tabella 18.** Legenda per le classi di land use e le soluzioni di adattamento
- Tabella 19.** La relazione tra le classi d'uso del suolo e le soluzioni di adattamento climatico
- Tabella 20.** I principali danni per fenomeni di inondazioni costiere

