

Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione

ai sensi dell'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e
del D.Lgs. n. 49 del 23.02.2010

Distretto Padano

Ambito Marino-Costiero

Regione Emilia-Romagna

RELAZIONE TECNICA A CORREDO DELLE MAPPE A CURA DEL
SERVIZIO GEOLOGICO SISMICI E DEI SUOLI

Data	Consegna 20.12.2013 srv.geol
Tipo	
Formato	Microsoft Word – dimensione: pagine 27
Identificatore	

Indice

1 – Introduzione	3
2 - Inquadramento dell'area costiera dell'Emilia-Romagna ricadente nel Distretto Padano	4
3 - Le alluvioni storiche in Emilia-Romagna	8
4 - Gli scenari utilizzati nell'analisi	10
5 – Metodologia per la mappatura della pericolosità nelle aree costiere	11
<i>5.1 – Basi di dati e conoscenze disponibili per il settore costiero</i>	
<i>5.2 - Perimetrazione delle zone inondabili</i>	
<i>5.3 – Elaborati di consegna</i>	
6 – La valutazione degli elementi esposti	18
<i>6.1 – Analisi dell'uso del suolo</i>	
<i>6.2 – Individuazione degli elementi strategici</i>	
7 – La valutazione del rischio	21
8 – Considerazioni finali	24
Bibliografia	25
Glossario	26

1 – Introduzione

obiettivi della direttiva 2007/60/CE (EFD), recepita dal decreto legge n. 49/2010.

La Regione Emilia-Romagna, attraverso il proprio gruppo di lavoro dedicato, ha deciso di produrre autonomamente tali elaborati sfruttando l'ampia mole di dati e di studi sul tema contenuti nel Sistema Informativo del Mare e della Costa.

Su proposta del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS), il gruppo di lavoro ha deciso di procedere alla creazione di carte di pericolosità da inondazione costiera, mettendo a punto un metodo 'semplificato' per la mappatura delle aree inondabili che si basa sull'uso del GIS piuttosto che di modelli idraulici, i quali richiederebbero tempi e costi non compatibili con le risorse del progetto.

Questo tipo di approccio si fonda sulla disponibilità di un modello digitale del terreno ad altissima risoluzione e di accurati studi in merito ai parametri del clima meteo marino che hanno fornito i dati per creare gli scenari di analisi necessari. Un fondamentale supporto è stato fornito dalle informazioni degli eventi di mareggiata storici e dalle simulazioni modellistiche condotte in alcuni siti studio della costa regionale. Grazie a questi dati, infatti è stato possibile verificare e collaudare la cartografia prodotta.

Il problema della sommersione della fascia costiera è stato affrontato in alcuni progetti europei quali Cenas (1990-1993) e MICORE (1998-2010) che hanno prodotto importantissimi risultati ai quali si fa riferimento soprattutto per la costruzione degli scenari di analisi.

Nell'ambito del progetto MICORE, in particolare, il SGSS, in collaborazione con ARPA-SIMC e UNife, ha prodotto il catalogo delle " mareggiate storiche " dove sono stati raccolti dati e informazioni sulle mareggiate che hanno afflitto le coste regionali nel periodo 1946-2010 (Perini et al. 2011). Tale lavoro ha costituito un riferimento indispensabile per la realizzazione delle cartografie previste dalla direttiva.

2 - Inquadramento dell'area costiera dell'Emilia-Romagna ricadente nel Distretto Padano

Il settore costiero emiliano-romagnolo compreso tra la foce del F. Reno e la foce del Po di Goro costituisce il margine meridionale del sistema deltizio Padano, corrisponde alla fascia litorale della provincia di Ferrara, per un'estensione di circa 40 Km (figura 1).

Questo settore è caratterizzato da una costa bassa e sabbiosa e da un'ampia piana costiera in cui si riconoscono:

- il sistema deltizio del F. Reno con diffuse aree umide e lagunari (Valli di Comacchio, Valli di Bellocchio);
- i cordoni dunari antichi sui quali si sono sviluppati i centri urbani dei Lidi ferraresi (Lido di Spina, Lido degli Estensi, Lido di Porto Garibaldi, Lido degli Scacchi, Lido di Pomposa, Lido delle Nazioni), che separano dal mare ampie aree bonificate, spesso al di sotto del livello del mare, e zone umide inondate (Lago delle Nazioni, Valle Bertuzzi);
- il complesso di frecce litorali che borda verso mare la foce del Po di Volano e dove si situa il Lido di Volano;
- il sistema deltizio del Po di Goro caratterizzato da un canale distributore proteso verso mare e circondato da estese aree bonificate depresse e da una sviluppata freccia litorale (Scanno di Goro) che racchiude parzialmente un'ampia laguna (Sacca di Goro).

La costa risulta interrotta, oltre che in corrispondenza di Foce Reno, anche da vari canali per lo più di origine artificiale: il canale Bellocchio che collega le Valli di Comacchio al mare, il canale Logonovo, presso il Lido degli Estensi e il canale navigabile Pallotta a Porto Garibaldi. Un elemento fisico dominante della costa studiata è il molo foraneo di Porto Garibaldi, già presente dalla fine del XIX secolo.

L'assetto altimetrico di questo territorio (figura 1) è un elemento distintivo e caratterizzante in quanto sono assai diffuse aree prossime e al di sotto del livello del mare, con quote tra -1 e -2 m s.l.m e localmente anche inferiori a - 3 m s.l.m. (in particolare nelle aree poste più a nord, in Comune di Goro). Queste aree sono per lo più zone bonificate (ad esempio, la valle del Mezzano), sede di pratica agricola ma anche di sviluppo del tessuto urbano e sono presenti già nell'immediato retro-spiaggia. I rilievi morfologici naturali sono costituiti prevalentemente dai cordoni litorali e dagli argini dei corsi d'acqua, con quote comprese tra 1 e 3 m s.l.m e solo localmente superiori a 3 metri s.l.m.. In molti tratti di litorale sono proprio la duna attuale o gli antichi apparati dunari a costituire l'unica barriera tra mare e le aree depresse.

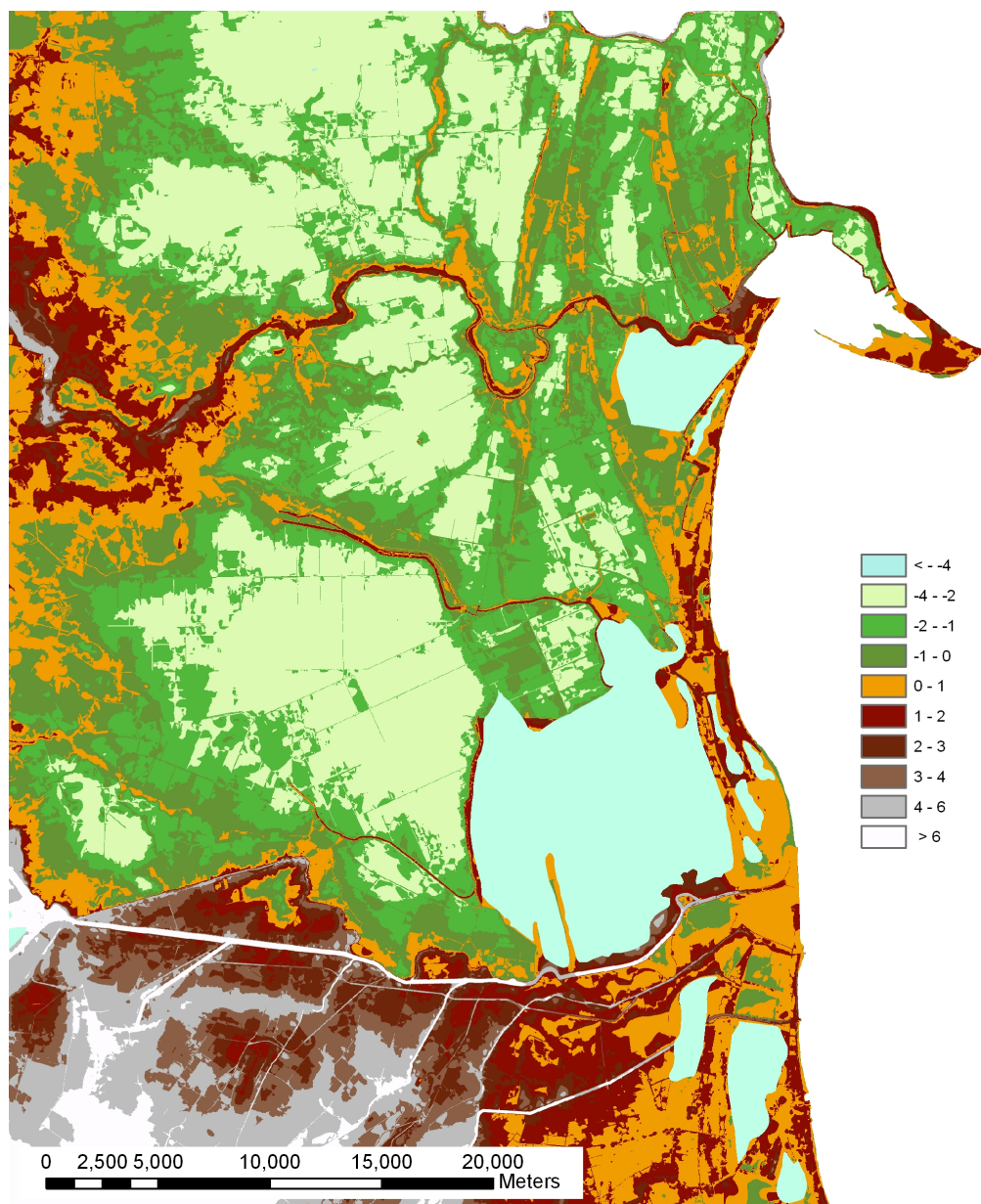


Figura I - Altimetria del settore costiero emiliano-romagnolo ricadente nel bacino del Po.

Tra la foce del F. Reno e quella del Po di Volano, la spiaggia emersa è caratterizzata da ampiezze comprese tra 0 e 300 m con valore medio di circa 70 m.

La duna costiera naturale è molto discontinua e scompare completamente in prossimità delle aree urbanizzate; si calcola un'estensione lineare complessiva pari al 45% dell'intero settore costiero considerato. La spiaggia sommersa è caratterizzata da una profondità di chiusura del profilo (intesa come l'estensione della zona di evoluzione morfologica per effetto delle onde) intorno ai -6/-7 m e da pendenze più accentuate nel settore della cuspidè deltizia del Reno (Vene di Bellocchio-Lido di Spina sud) e blande nel settore settentrionale (Lido delle Nazioni- Foce Volano).

Nel tratto lagunare la spiaggia emersa è praticamente assente, sostituita da difese costiere aderenti (argini) ed infrastrutture antropiche. La laguna è protetta da una freccia litoranea (denominata Scanno di Goro) che costituisce un sistema di spiaggia e duna molto dinamico. Qui l'ampiezza della spiaggia è compresa tra 0 e 40 m.

La foce del Po di Goro è stata ed è molto attiva, avanzando di oltre 10 km negli ultimi 200 anni. La dinamica litorale è particolarmente attiva anche nel settore meridionale dell'area in esame, dove si realizza, a partire dall'inizio del XX secolo, un progressivo smantellamento della cuspidè deltizia

del F. Reno ed il conseguente accrescimento del litorale posto a nord della stessa nonché della spiaggia a ridosso del molo sud di Porto Garibaldi. Il settore centrale è caratterizzato da una relativa stabilità connessa con una diffusa presenza delle opere di difesa rigide erette a partire dagli anni '60 e '70.

Il settore più settentrionale è caratterizzato dall'accrezione di frecce litorali visibili sin dalla fine del XIX secolo grazie all'apporto di sedimenti provenienti da sud e da est.

Le opere di difesa rigide sono ampiamente diffuse nel tratto costiero ferrarese. Tra il Po di Volano e la Foce del Reno risulta, difeso circa il 44% del litorale.

Le tipologie più diffuse sono la difesa longitudinale distaccata (scogliera frangiflutto emersa, concentrata tra Porto Garibaldi e Lido delle Nazioni) e la difesa longitudinale con scogliera aderente (a partire da Lido delle Nazioni verso nord).

La linea di riva lagunare (entro la Sacca di Goro) è completamente protetta da argini mentre le spiagge dello scanno sono protette solo in prossimità del faro.

Provincia	Estensione litorale	Estensione opere di difesa artificiali	Estensione difese naturali (duna):	Indice strutturale IS= costa protetta/lunghezza costa
Ferrara	~ 49,7 Km*	~ 26,8Km	~ 18 Km	0,5
<i>*compresa la linea di riva lagunare e la linea di riva dello Scanno di Goro</i>				

Tabella 1 - Indici strutturali calcolati a livello provinciale relativi all'anno 2005, (da Perini et al., 2008)

In corrispondenza dei maggiori centri urbani, la spiaggia è intensamente sfruttata per il turismo; circa 8 km dei 22,5 km compresi tra il Po di Volano e la foce del fiume Reno presentano infrastrutture direttamente sulla spiaggia il che significa che circa il 35% di tale litorale subisce un forte impatto antropico.

L'uso del suolo del settore costiero del territorio ferrarese ha subito profonde modificazioni a partire dal dopo guerra ad oggi. I cambiamenti più significativi che osserviamo dal 1943 al 2005 (AA.VV, 2008) possono essere riassunti brevemente in:

- progressivo aumento del territorio urbanizzato (+18%)
- drastica riduzione del sistema spiaggia a scapito prevalentemente delle dune (-8%)
- diminuzione delle aree umide (-13%).

Un altro fattore che influenza l'evoluzione di questo territorio è la subsidenza. Nel settore compreso tra la foce del f. Reno e la foce del Po di Volano, le velocità di abbassamento presentano un valore medio di circa 2 mm/a e valori massimi intorno ai 15 mm/a mentre nel settore deltizio il valore medio sale a circa 5,5 mm/a e i massimi si attestano intorno ai 20 mm/a. (figura 2).

Il clima medio del mare lungo l'intera costa regionale è caratterizzato da venti provenienti dal I, II e IV Quadrante, in particolare dominano quelli compresi tra ESE e SSE, tra NNE ed E e quelli di NO. I valori di massima altezza d'onda sono attribuibili ai venti di Bora (ESE) e di Levante (E) mentre le tempeste più frequenti sono prodotte dai settori compresi tra 60° e 120° (venti di Scirocco). Al largo l'altezza d'onda significativa è inferiore a 0.5 m con provenienza principale da E mentre l'altezza d'onda massima più frequente, calcolata nel periodo 2000-2004, risulta

compresa tra 1,8 e 2 m con provenienza da NE ed E. Il regime tidale è asimmetrico con componenti sia diurne sia semi-diurne e la massima escursione di marea è di 1.2 m in sizigie.

La costa ferrarese risulta in parte protetta rispetto ai venti di Bora mentre è fortemente esposto alle mareggiate provenienti da ENE – E e SE.

3 - Le alluvioni storiche in Emilia-Romagna

Il rischio di alluvione costiera in Emilia-Romagna è imputabile sia alla morfologia della piana costiera che all'elevato grado di sfruttamento antropico di questo ambito territoriale, avvenuto soprattutto a partire dal dopoguerra.

Questo processo continuo di occupazione delle aree prospicienti la spiaggia, che non si è arrestato completamente nonostante le raccomandazioni legate al programma di Gestione Integrata della Fascia Costiera, ha avuto come conseguenze:

- la forte riduzione, se non la perdita totale, della spiaggia;
- la perdita o la frammentazione delle dune costiere, che costituiscono la naturale barriera all'ingressione dell'acqua da mare, oltre che di un serbatoio naturale di sabbia;
- un estremo irrigidimento della linea di costa determinato dalla costruzione di opere di difesa rigide che hanno modificato il profilo topo-batimetrico della spiaggia e il trasporto solido litoraneo;
- un aumento dell'esposizione dei beni a rischio.

In questo contesto, in occasione di eventi di mareggiata intensi, si osservano processi idraulici e sedimentologici quali :

- l'inondazione dell'intera spiaggia, con conseguente danneggiamento delle strutture turistico - balneari;
- l'erosione della spiaggia (compresa la porzione sommersa) e della duna, con conseguente trasporto sedimentario in aree di retro spiaggia (formazione di ventagli di washover) e di spiaggia sommersa esterna (depositi di rip current);
- lo scavalco delle opere di difesa (rigide o morbide temporanee) e l'allagamento delle zone depresse retrostanti, oppure la formazione di brecce negli argini in sabbia.

Nel territorio regionale, la tipologia di fenomeni e le caratteristiche dei processi in atto sono ricorrenti e le località storicamente colpite coincidono quasi sempre con quelle attualmente più critiche. L'analisi storica delle mareggiate (passaggio fondamentale, peraltro previsto dalla normativa, ai sensi dell'art. 4) riveste, quindi, un ruolo molto importante per la conoscenza dei fenomeni e dei relativi impatti e può risultare uno strumento utile anche ai fini della valutazione e validazione dei risultati ottenuti dalla modellazione (più o meno raffinata).

In tal senso, la Regione Emilia-Romagna dispone di un grande numero di informazioni acquisite nell'ambito del progetto europeo Micore, grazie al quale è stato prodotto uno specifico catalogo, particolarmente completo e dettagliato, attraverso il quale sono state elaborate le mappe di pericolosità, su base storica. Esse evidenziano le aree particolarmente soggette ai fenomeni di erosione costiera, inondazione marina, esondazione di canali e dalla combinazione di più fenomeni (figura 2).

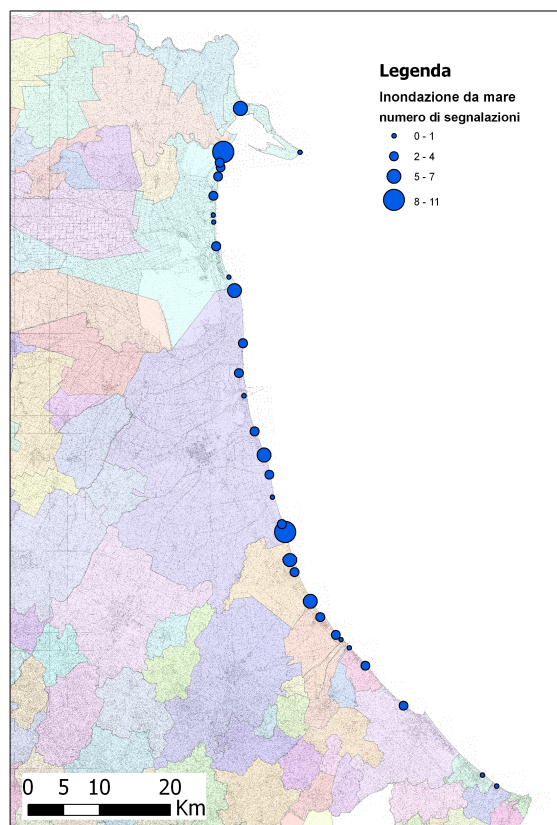


Figura 2 - Nel periodo 1946-2010 sono 31 le località che hanno subito danni per ingressione marina in occasione di fenomeni di mareggiata; tra queste quelle che presentano le maggiori ricorrenze sono: Lido di Savio, Lido Adriano, Lido di Volano e Goro

L'analisi storica ha evidenziato che le alluvioni costiere sono legate all'innalzamento della superficie del mare prodotto da più fattori concomitanti: marea astronomica, storm surge e wave set-up (figura 3).

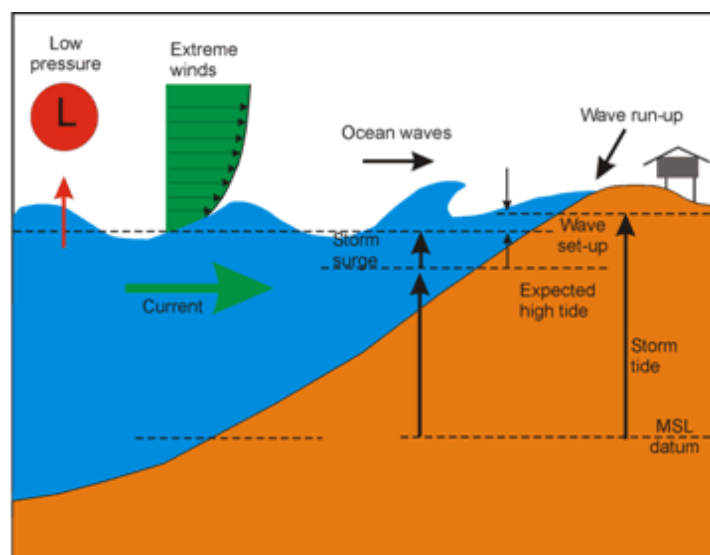


Figura 3- L'innalzamento della superficie del mare in occasione di un evento di mareggiata (storm tide) è un parametro complesso ed è uguale alla quota di marea astronomica attesa (expected high tide), incrementata dalla pressione barometrica e dal vento sotto costa (storm surge), nonché dall'accumulo dell'acqua nella zona di frangimento delle onde (wave set-up)

4 - Gli scenari utilizzati nell'analisi

Nell'ambito della metodologia semplificata utilizzata per l'analisi di pericolosità dell'Emilia-Romagna si è deciso di simulare l'inondazione prodotta dall'innalzamento del livello del mare in occasione di mareggiate caratterizzate dall'azione concomitante di onda e alta marea. I parametri considerati nella simulazione sono stati pertanto: il sollevamento meteorologico (storm-surge), la marea astronomica e il sovrizzo dell'onda (wave set-up).

Come richiesto dalla direttiva, sono stati analizzati tre scenari:

1. Lo scenario Frequente P3 (corrispondente ad eventi con $Tr = 10$ anni).
2. Lo scenario Poco Frequente P2 (corrispondente ad eventi con $Tr = 100$ anni).
3. Lo scenario Raro P1 (corrispondente ad eventi con $Tr \gg 100$ anni, definito anche super-100).

Lo scenario P1, $T \gg 100$ (o super 100), è stato introdotto in accordo con i Servizi Tecnici Regionali, per tener conto di aree che storicamente sono state colpite da mareggiate molto intense ma delle quali non sono note le caratteristiche meteo marine.

Come valore di riferimento si è deciso di utilizzare il massimo valore di innalzamento della superficie del mare calcolato per gli scenari estremi all'interno del Piano Costa dell'Emilia-Romagna del 1982 (Idroser, 1982), valutato attraverso un approccio modellistico.

Per la definizione dei valori da applicare agli scenari P3 e P2 si è fatto riferimento ai valori più attendibili reperiti nella bibliografia più recente, derivanti da analisi statistiche.

E' importante sottolineare che, in assenza di un'analisi dei tempi di ritorno combinati dei diversi parametri, si è scelto di adottare, come semplificazione, il criterio dello scenario peggiore determinato dalla concomitanza dei 3 parametri.

Scenario	Tempo di ritorno (anni)	Valori di Storm-Surge in metri <i>Masina e Ciavola, 2011</i>	Valore medio di massima marea astronomica <i>(Idroser 1996)</i>	Valore medio di set-up in metri <i>Decouttere et al 1997</i>	Elevazione totale superficie del mare
Frequente P3	Tdr = 10	H critica = 0,79 m s.l.m.	0.40 m	0.30	1,49 m
Poco Frequente P2	Tdr = 100	H critica = 1.02 m s.l.m.	0.40 m	0.39	1,81 m
Raro P1	Tdr >> 100				2,5 m

Tabella 2 - Sintesi dei valori di innalzamento della superficie del mare considerati nell'analisi

5 – Metodologia per la mappatura della pericolosità nelle aree costiere

Il metodo di analisi proposto per la mappatura della pericolosità nelle aree costiere, si basa su un approccio semplificato che risponde alle esigenze di ottenere un primo prodotto in tempi brevi, come richiesto dalla Direttiva e dal D.lgs. 49/2010 (disporre delle mappe di pericolosità e di rischio al giugno 2013), tenendo conto delle scarse risorse economiche disponibili.

Si ritiene, inoltre, che la mappatura della pericolosità basata su metodologie semplificate sia, in questa fase, la più indicata per affrontare lo studio di un territorio complesso e dinamico come quello costiero, ove si analizzano processi precedentemente esclusi dai PAI. Si sottolinea inoltre che approcci più complessi potranno essere applicati successivamente in occasione dei cicli di revisione previsti dalla Direttiva (a partire dal 2015).

In generale, salvo particolari situazioni, il metodo semplificato non renderà possibile la definizione dei tiranti idrici e delle velocità (come richiesto all'art. 6, c. 3 del D.Lgs. 49/2010), senza tuttavia inficiare la sostanziale conformità rispetto agli obiettivi che si pone la normativa di riferimento.

Il metodo proposto ha indubbi vantaggi in termini di semplicità e rapidità di utilizzo e, per il collaudo, può beneficiare dei risultati di un certo numero di studi pregressi, come quelli legati al catalogo delle mareggiate storiche, e quelli in cui è stata effettuata la modellistica idraulica bidimensionale a scala locale.

La metodologia che si propone è stata presentata e discussa sia all'interno di tavoli di lavoro regionali (estesi ai vari settori competenti in materia) che in ambito extra regionale, ove sono stati condivisi l'impostazione generale, i punti di forza e i limiti.

Le mappe di pericolosità predisposte non tengono conto della presenza di misure di difesa temporanee, quali ad esempio le dune invernali e la protezione con paratie mobili, non essendo queste vere e proprie opere strutturali, ma strumenti utilizzati per la gestione del rischio, posti in essere, in particolare nel periodo invernale, per ridurre i danni conseguenti alle mareggiate, dagli enti e dai privati.

5.1 – Basi di dati e conoscenze disponibili per il settore costiero

La Regione Emilia-Romagna dispone di una serie complessa e numerosa di dati a supporto delle analisi, per lo più organizzati e contenuti nel Sistema Informativo Mare-Costa prodotto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

In particolare gli strati informativi geografici disponibili e gli studi pregressi sono riassunti nella tabella 3.

Strati informativi geografici disponibili per l'ambito costiero	
CTR	1:5000
Limiti amministrativi	Comuni, province, STB, ADB
Linee di riva	Dal 1800 al 2010 (10 linee a partire dal 1943 con frequenza più ravvicinata nell'ultimo decennio)
DTM alta risoluzione	Lidar 2004 (grid 1x1) da Rimini a Gorino Lidar 2008 PNT (tutta la costa) (fornito in coordinate geografiche grid equivalente circa 1.5x1.5) Lidar 2010 (APC) (grid 1x1) post mareggiata
Rilievi batimetrici	2006 e precedenti
Uso del suolo Fascia costiera	Classificazione in GIS ricavata da foto interpretazione volo costa 2005 e da foto interpretazione volo costa 2008
Carte morfologiche	Aggiornamento 2005
Opere di difesa	Cataloghi informativi opere di difesa rigida 2005 e 2008.
Ripascimenti	DB aggiornato al 2010 e collegato alle celle litoranee
Dati meteorologici	Dati bibliografici sui livelli di onda e marea classificati per diversi tempi di ritorno
Studi a supporto della mappatura di pericolosità	
Pericolosità da mareggiata per T1-T10 e T100 lungo	Analisi degli impatti attraverso modello monodimensionale con output puntuale spaziato circa 500 m. Per ciascun punto oltre al tipo di impatto è noto il livello massimo raggiunto dall'acqua elaborato attraverso una formula per il calcolo del run-up

transetti	La pericolosità è infatti valutata utilizzando un metodo statistico/modellistico basato sul calcolo della risalita della lama d'acqua per effetto combinato di mareggiata e marea di tempesta. Esiste inoltre un output lineare che combina l'effetto atteso con la tipologia di uso del suolo della prima fascia costiera attribuendo un valore di rischio qualitativo (alto-medio-basso)
Mappe di pericolosità per le località di Savio e Cesenatico	Mappe di inondazione ricavate dall'applicazione del modello bidimensionali Mike 21 per le aree di Lido di Savio e Cesenatico nord, relative all'analisi dell'effetto combinato di mareggiata e piena fluviale.
Mappe storiche	Cartografie GIS delle località storicamente colpite da eventi di mareggiata e classificazione delle tipologie di impatto
Database in_storm	Contiene l'archivio dei dati di previsione e allerta degli eventi di mareggiata, nonché i dati di registrazione dei fenomeni e dei relativi impatti sul territorio
Altre cartografie	Progetto Plancoast (attuato nei territori costiero della prov. FE): analisi di arretramento della linea di riva per effetto combinato di subsidenza e innalzamento del livello del mare (secondo curve IPCC); scenari di evoluzione della linea di riva

Tabella 3 – Strati informativi geografici e studi a supporto della mappature della pericolosità disponibili per il settore costiero della Regione Emilia-Romagna

5.2 - Perimetrazione delle zone inondabili

Per l'individuazione spaziale delle aree inondabili sono state utilizzate in prima approssimazione le metodologie indicate nel Report T03-08-02 'Guidelines on Coastal Flood Hazard Mapping', basate essenzialmente sul confronto tra altezze critiche del mare e l'assetto morfologico.

L'altimetria della piana costiera regionale, tuttavia, risulta poco adatta all'applicazione del suddetto metodo a causa dell'estensione delle aree con quota al di sotto del livello medio del mare nel territorio costiero ferrarese-ravennate, si manifesta un marcato sovradimensionamento degli allagamenti, che non ha riscontro nei dati storici. Si è pertanto optato per l'introduzione di un 'fattore correttivo' per tenere conto della perdita di carico dell'acqua nel corso di un evento di inondazione.

Questo fattore è stato determinato sperimentalmente confrontando i risultati del modello con alcune misure di run-up e con la perimetrazione delle aree inondate in corrispondenza di centri abitati, dati acquisiti in occasione di recenti mareggiate, e contenuti nel database in_storm. L'analisi di questi dati ha fornito un range di possibili valori, tra i quali è stato scelto quello maggiormente cautelativo: il modello assume che lo smorzamento dell'allagamento possa essere espresso da un angolo d'inclinazione verso terra della superficie dell'elevazione totale del mare la cui cotangente ha come valore 0,002.

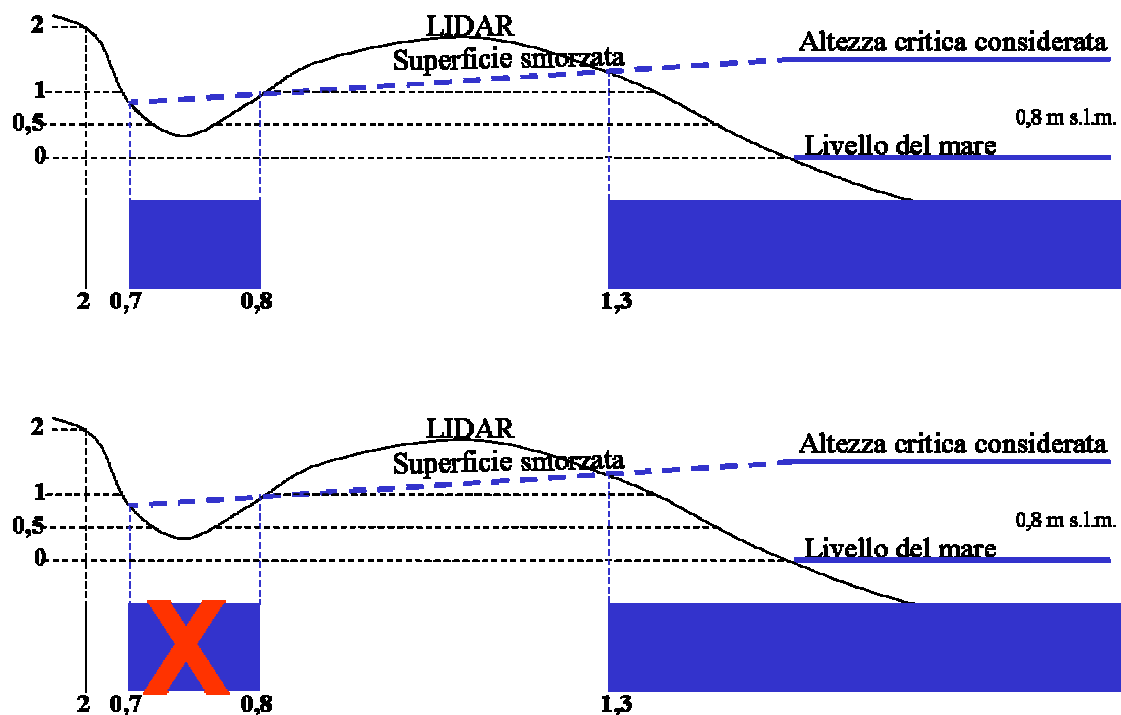


Figura 4 - Rappresentazione schematica della propagazione dell'onda; esclusione dei varchi non in comunicazione con la linea di riva

La semplice applicazione di una correzione basata sulla distanza lineare dalla linea di costa generava comunque interpretazioni del fenomeno ancora sovradimensionate, soprattutto in contesti con aree elevate distribuite longitudinalmente alla linea di costa, subito seguite verso terra da aree depresse.

Per evitare queste sovrastime, il modello utilizza una distanza dalla linea di riva non di tipo euclideo, ma che tiene conto dei percorsi minimi possibili effettuati dalle acque per raggiungere le diverse aree (che risulta quasi sempre maggiore rispetto alla distanza euclidea). Per fare questo sono stati utilizzati strumenti di analisi GIS (*Cost Distance*, implementato nell'estensione *Spatial Analyst* del software ArcGIS) che hanno considerato, oltre la distanza dalla linea di riva, anche la quota e il rilievo topografico.

Il risultato del modello è una matrice raster in cui ciascuna cella assume un valore in funzione della distanza dalla linea di riva. Questa distanza viene utilizzata per smorzare le altezze d'acqua fino all'intersezione con la superficie morfologica.

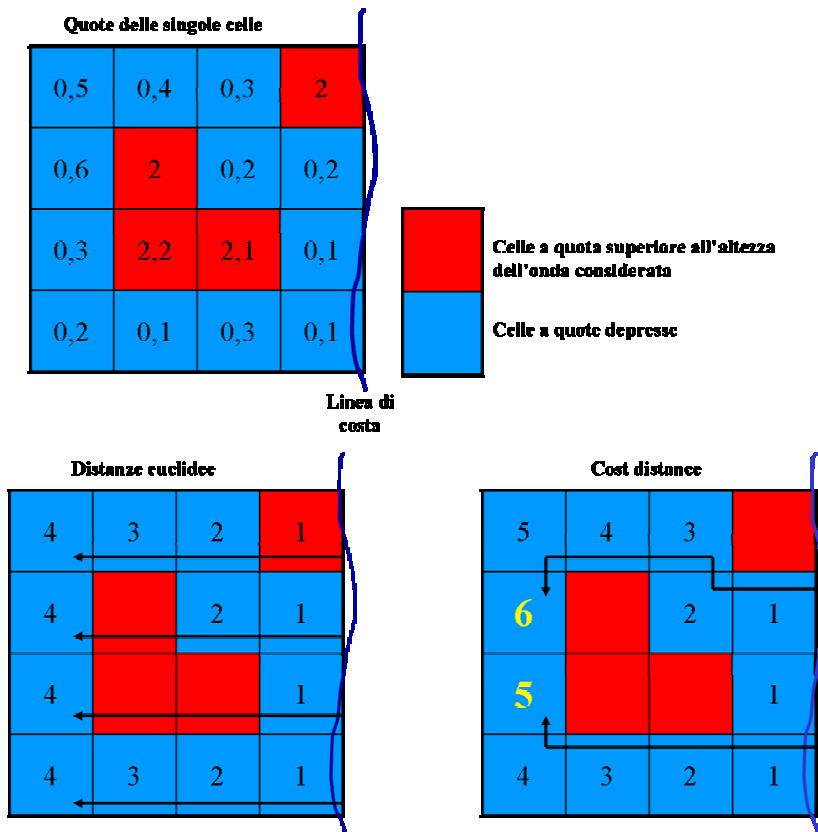


Figura 5 - Schema del modello raster semplificato

Questo tipo di approccio permette di individuare le porzioni della fascia costiera potenzialmente inondabili per ciascuno dei diversi scenari considerati. L'analisi di distribuzione delle aree individuate permette poi di delimitare quelle zone, morfologicamente depresse, che presentano 'varchi' e che consentono l'ingressione marina, escludendo così quelle 'isolate', che non verrebbero interessate dalle inondazioni (vedi schema figura 4 ed esempio di mappatura in figura 7).

La procedura appena descritta è stata tradotta in un protocollo metodologico costituito da una concatenazione di operatori di analisi geografica, costruita utilizzando l'applicazione Model Builder di ArcGIS.

Il modello prodotto assume come dati in input un solo strato geografico (DTM da Lidar) e due valori (angolo di smorzamento e altezza del mare critica) che costituiscono dei parametri, ossia è possibile specificarli ogni volta che il modello viene lanciato per valutare scenari differenti.

L'output del modello è costituito da un dato geografico che individua le aree potenzialmente inondabili per lo scenario prefigurato.

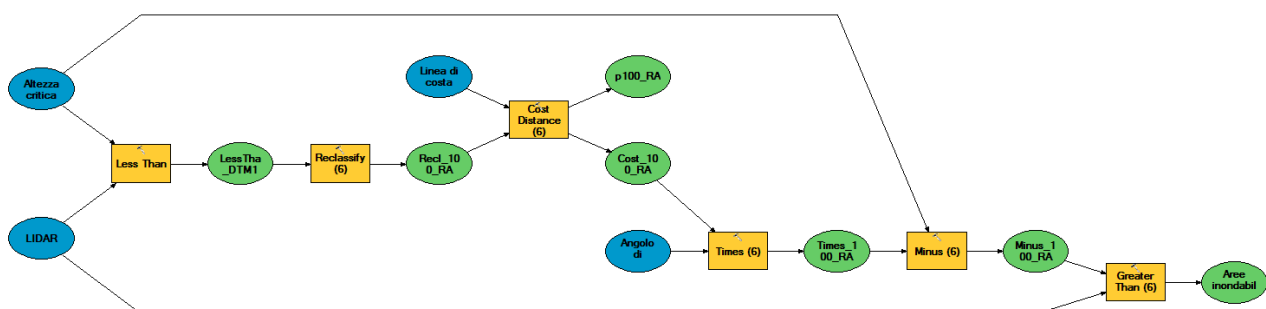


Figura 6 – Implementazione della metodologia nel Model Builder

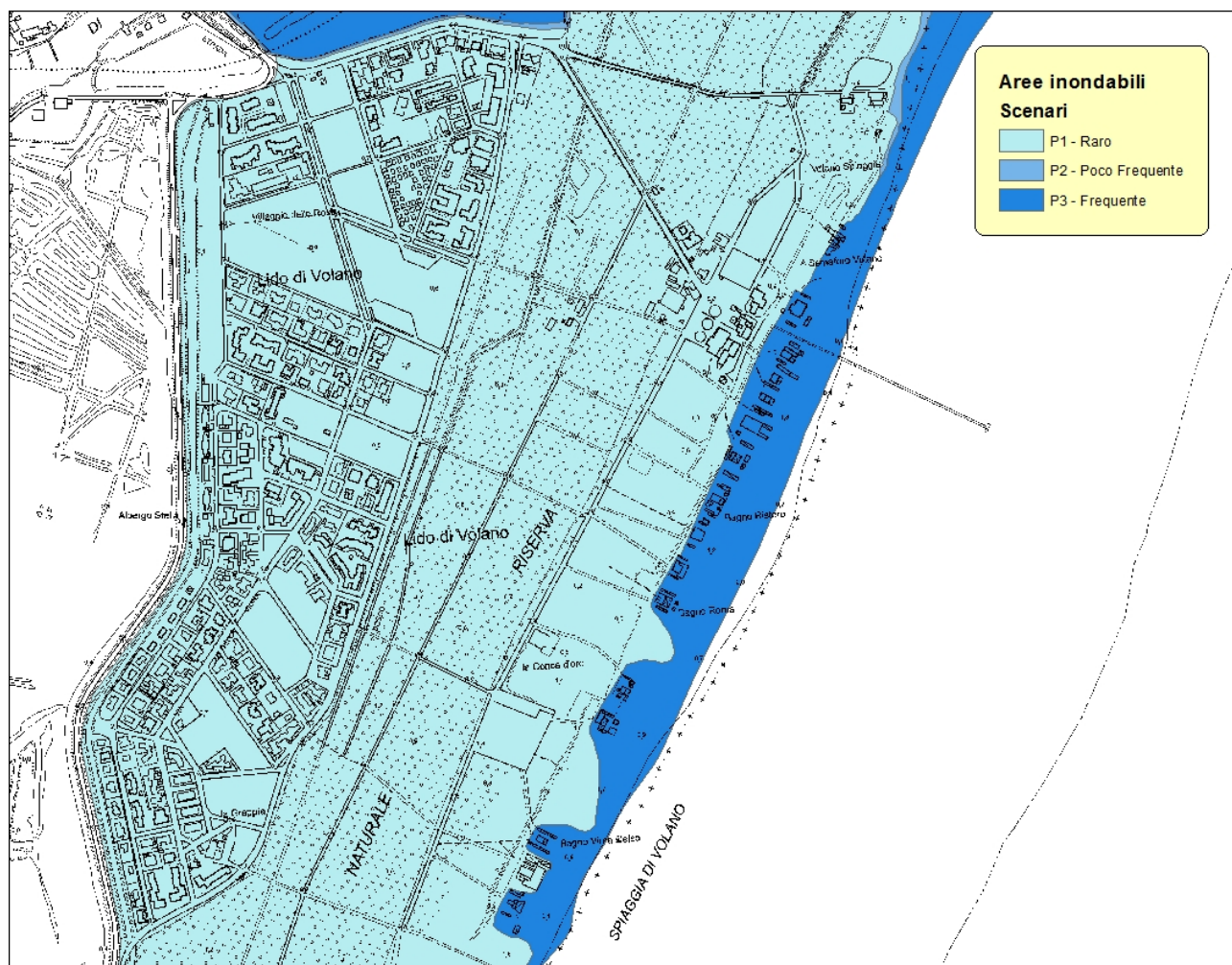


Figura 7 - Esempio di mappatura nella zona di Lido di Volano

Una prima validazione del metodo è stata fatta confrontando, in alcune specifiche zone, i risultati ottenuti con quelli derivanti dall'applicazione di modelli idraulici bidimensionali sperimentati in due casi di studio della costa regionale, Cesenatico e Savio (Zanuttigh et al.2011). Un ulteriore importante confronto è stato quello con i dati cartografici relativi agli eventi storici, elaborati nell'ambito del progetto Micore e contenuti sia nel volume 'Le mareggiate e gli impatti sulla costa dell'Emilia-Romagna 1946-2010' che nel database in_Storm.

Al termine dei confronti e delle validazioni sono state prodotte le mappe definitive che riportano le aree costiere allagabili e sono state effettuate alcune analisi statistiche sintetizzate nelle tabelle e nelle figure di seguito riportate.

In tabella 4 e nella figura 8 viene descritta la distribuzione dei diversi scenari di pericolosità nel tratto di costa della Regione Emilia-Romagna compresa all'interno del Distretto Padano.

Scenario	Superficie (ha)
P3 - H	724
P2 - M	564
P1 - L	2.104

Tabella 4 – Superfici interessate dai diversi livelli di pericolosità

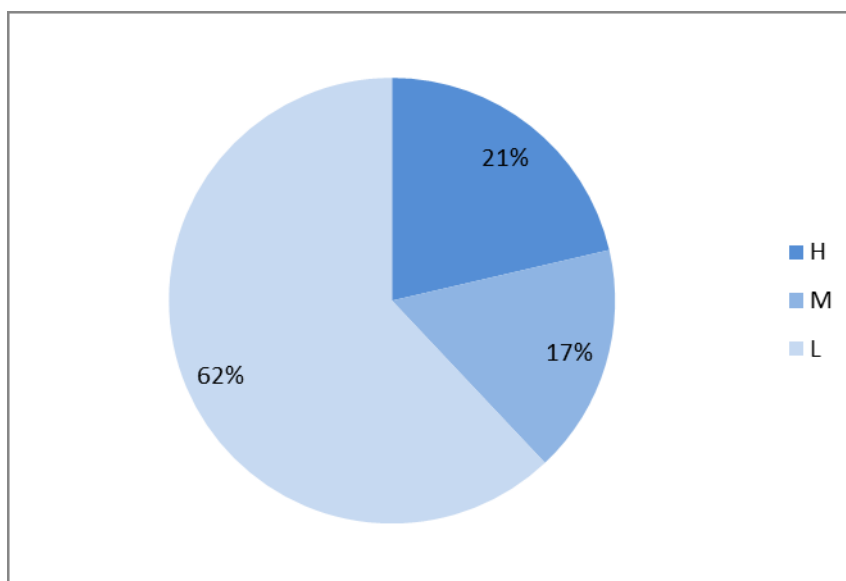


Figura 8 – Distribuzione delle superfici interessate dai diversi livelli di pericolosità

La tabella 5 riporta invece le superfici in ettari per ciascun comune (o porzione di comune, come nel caso di Ravenna) ricadente in ciascuno dei 3 scenari.

Comune	Superfici (ha)		
	P1	P2	P3
Codigoro	219	1	112
Comacchio	1139	175	278
Goro	578	332	175
Mesola	61	0	-
Ravenna	107	56	159

Tabella 5 – Superfici coinvolte con i diversi livelli di pericolosità per ognuno dei comuni del tratto costiero della Regione Emilia-Romagna compreso nel Distretto Padano

Le superfici potenzialmente inondabili sono state poi suddivise in base alle macro-categorie di uso del suolo corrispondenti a quelle porzioni di territorio (tabelle 6).

Categoria uso del suolo	Codigoro	Comacchio	Goro	Mesola	Ravenna
Attività produttive	211	380	714	5	139
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse	110	694	199	56	182
Infrastrutture strategiche	11	11	51		1
Strutture strategiche e sedi di attività collettive		85	9		
Zone urbanizzate		423	113		

Tabella 6 – Usi del suolo riscontrati nelle aree potenzialmente inondabili

5.3 – Elaborati di consegna

I dati di pericolosità sono stati restituiti, in accordo da quanto definito dai documenti tecnici prodotti da ISPRA, in formato geografico georeferenziato (shapefile).

I dati sono stati consegnati suddivisi in base all’Autorità di Bacino e/o al Distretto di appartenenza.

Complessivamente sono stati forniti tre livelli informativi corrispondenti alla superficie interessata da un determinato livello di pericolosità. Il nome dei file è stato attribuito usando lo schema:

Codice Stato + Codice UoM + Sigla Tema + Scenario + Ambito Territoriale + Ambito Amministrativo + Data

dove le varie parti assumono i seguenti valori:

Codice Stato = IT;

Codice UoM = N008 (per il distretto del Po);

Sigla Tema = FHM (Flood Hazard Maps);

Scenario = L / M / H (Low / Medium / High corrispondenti a piene Rare / Poco Frequenti / Frequenti);

Ambito Territoriale = ACM;

Ambito Amministrativo = RER (Regione Emilia Romagna);

Data = anno mese giorno.

Scenario	Nome shapefile
P1 - L	ITN008FHMLACMRER20131222
P2 - M	ITN008FHMMACMRER20131222
P3 - H	ITN008FHMHACMRER20131222

Tabella 7 – Dati geografici relativi alla pericolosità

6 – La valutazione degli elementi esposti

Le analisi di rischio considerano le condizioni di vulnerabilità del territorio attraverso due diversi indicatori:

1 – Analisi degli elementi di dettaglio dell’uso del suolo e conseguente valutazione della loro suscettibilità alla perdita di valore e di funzioni in conseguenza di inondazioni marine;

2 – Individuazione degli elementi strategici e sensibili individuati dalla Direttiva Alluvioni e dal D.Lgs. 49/10 (art. 6 – comma 5).

6.1 – Analisi dell’uso del suolo

Un primo tipo di indicatore che considera le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni è rappresentato da una interpretazione delle classi di uso del suolo utilizzate dai database regionali. Ad ogni classe è associato un valore di ‘Danno’ compreso tra 1 e 4 (1 conseguenze negative minime, 4 conseguenze massime), che tiene conto del diverso tipo di impatto conseguente ad alluvioni di acqua salata.

In tabella 8 sono riportate le classi di uso del suolo presenti nel territorio potenzialmente impattabile da eventi di alluvione costiera; ad ognuna di esse viene associata una classe di danno potenziale.

Categoria	Classe di danno
1112 Er Tessuto residenziale rado	D4
1120 Ed Tessuto residenziale discontinuo	D4
1211 Ia Insediamenti produttivi	D4
1213 Is Insediamenti di servizi	D4

1215 It	Impianti tecnologici	D3
1221 Rs	Reti stradali	D3
1222 Rf	Reti ferroviarie	D4
1226 Ri	Reti per la distribuzione idrica	D4
1231 Nc	Aree portuali commerciali	D4
1232 Nd	Aree portuali da diporto	D4
1233 Np	Aree portuali per la pesca	D4
1331 Qc	Cantieri e scavi	D3
1332 Qs	Suoli rimaneggiati e artefatti	D1
1411 Vp	Parchi e ville	D2
1412 Vx	Aree incolte urbane	D1
1421 Vt	Campeggi e strutture turistico-ricettive	D4
1422 Vs	Aree sportive	D4
1423 Vd	Parchi di divertimento	D4
1428 Vb	Stabilimenti balneari	D3
1430 Vm	Cimiteri	D3
2121 Se	Seminativi semplici irrigui	D2
2123 So	Colture orticole	D2
2210 Cv	Vigneti	D2
2220 Cf	Frutteti	D2
2241 Cp	Pioppeti colturali	D2
2310 Pp	Prati stabili	D2
2410 Zt	Colture temporanee associate a colture permanenti	D2
2420 Zo	Sistemi colturali e particellari complessi	D2
2430 Ze	Aree con colture agricole e spazi naturali importanti	D2
3114 Bp	Boschi planiziari a prevalenza di farnie e frassini	D2
3120 Ba	Boschi di conifere	D2
3130 Bm	Boschi misti di conifere e latifoglie	D2
3220 Tc	Cespuglieti e arbusteti	D1
3231 Tn	Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	D1
3232 Ta	Rimboschimenti recenti	D1
3310 Ds	Spiagge, dune e sabbie	D1
4110 Ui	Zone umide interne	D1
4211 Up	Zone umide salmastre	D1
4212 Uv	Valli salmastre	D1
5111 Af	Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione scarsa	D1
5112 Av	Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione abbondante	D1
5113 Ar	Argini	D1
5114 Ac	Canali e idrovie	D1
5121 An	Bacini naturali	D1
5123 Ax	Bacini artificiali	D1
9998	Opere di difesa	D1
9999	Duna stabilizzata	D2

Tabella 8 – Classi di uso del suolo con corrispondente classe di danno

In figura 10 è riportata l'interpretazione dell'uso del suolo in funzione del danno potenziale per l'area di Lido di Volano.

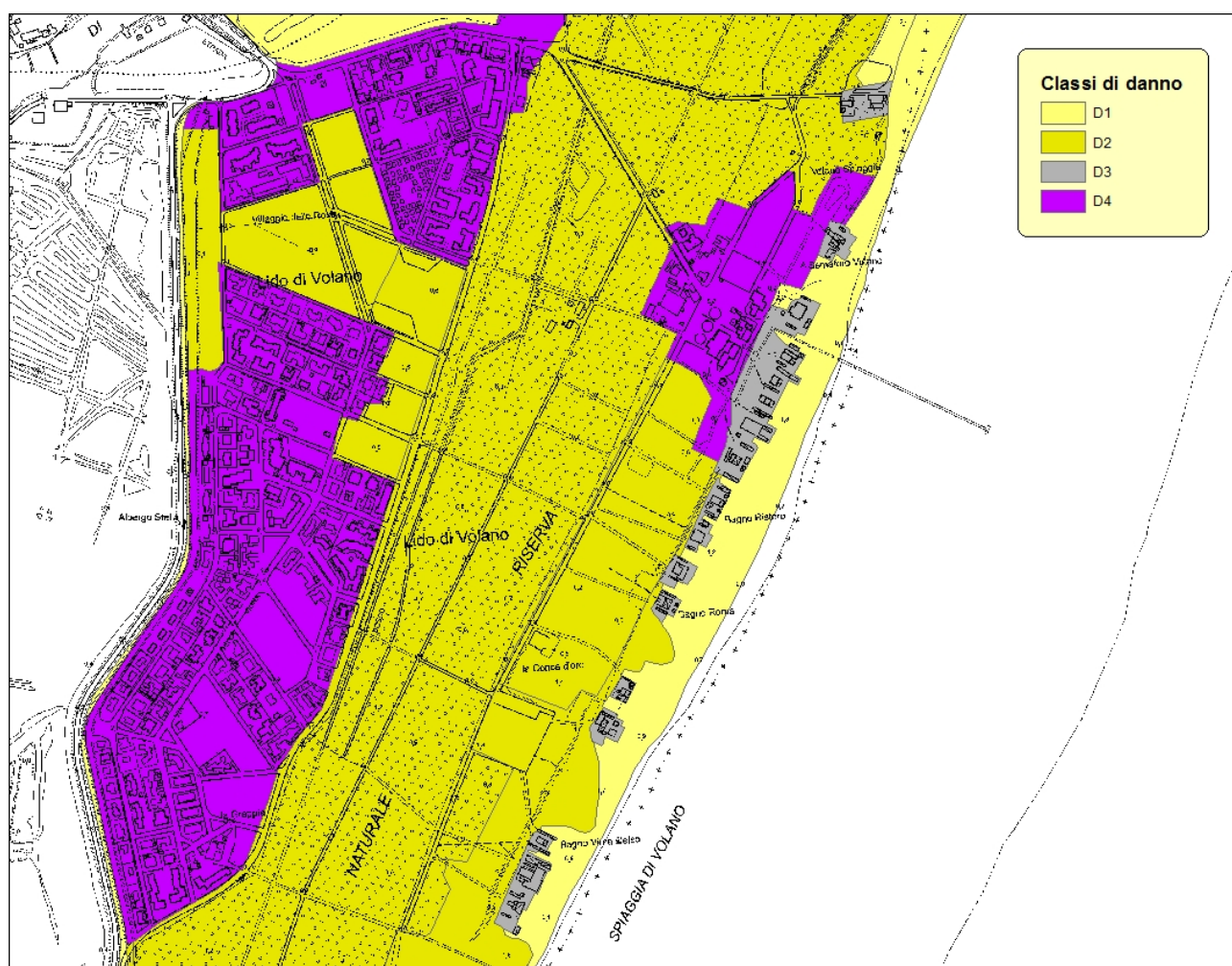


Figura 10 – Esempio di classificazione dell’uso del suolo in funzione del danno potenziale

6.2 – Individuazione degli elementi strategici

La Direttiva Alluvioni indica al comma 5 dell’articolo 6 alcuni elementi sensibili da tenere in considerazione nelle analisi di mappatura del rischio.

Il primo elemento da considerare è la popolazione potenzialmente coinvolta per gli eventi dei diversi scenari.

La popolazione coinvolta residente in ciascun comune ricadente nel Distretto Settentrionale è stata calcolata utilizzando la densità di popolazione riscontrata nelle diverse sezioni censuarie interessate da fenomeni di inondazioni. In tabella 9 sono riportati i valori complessivi di popolazione che per ciascuno scenario potrebbero essere coinvolti.

Comune	Scenari		
	P1 n. abitanti	P2 n. abitanti	P3 n. abitanti
Codigoro	2	1	1
Comacchio	3.278	610	389
Goro	3.058	2.000	577
Mesola	2	0	0
Ravenna	3	2	1

Tabella 9 – Comuni costieri della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Padano e popolazione potenzialmente coinvolta con i diversi scenari di inondazione costiera

Gli altri elementi strategici considerati sono suddivisi in base alla primitiva geografica con cui sono rappresentati; essi sono pertanto suddivisi in elementi puntuali (tabella 10) ed elementi lineari (tabella 11).

Tipo di elemento	P1	P2	P3	Totale
Beni storico-culturali	7	3	1	11
Ospedali e servizi sanitari	8	5	-	13
Scuole di ogni ordine e grado	1	-	-	1

Tabella 10 – Tipi di elementi puntuali e numero di essi potenzialmente coinvolti

Tipo di elemento	P1	P2	P3	Lunghezza complessiva (m)
Reti stradali	103.181	27.601	8.201	138.984
Acquedotti	3.210	7.656	59	10.926
Reti elettriche	42.078	11.001	3.529	56.609

Tabella 11 – Tipi di elementi lineari e lunghezza dei tratti potenzialmente coinvolti

7 – La valutazione del rischio

Le linee guida proposte dal MATTM hanno previsto la possibilità di modulare il rischio in relazione all'intensità dei processi attesi attraverso la flessibilità delle classi di rischio introdotta in alcune celle della matrice, pervenendo così alla definizione di due matrici, una più cautelativa e una meno cautelativa; per il settore costiero si è scelto di utilizzare la matrice meno cautelativa, illustrata in figura 11.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R3	R2
	D3	R3	R3	R1
	D2	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

Figura 11 – Matrice meno cautelativa adottata in ambito costiero

Applicando la matrice ai layer di pericolosità e di danno è stato derivato lo strato informativo del rischio, del quale in figura 12 viene rappresentato lo stralcio relativo al centro abitato di Cesenatico.

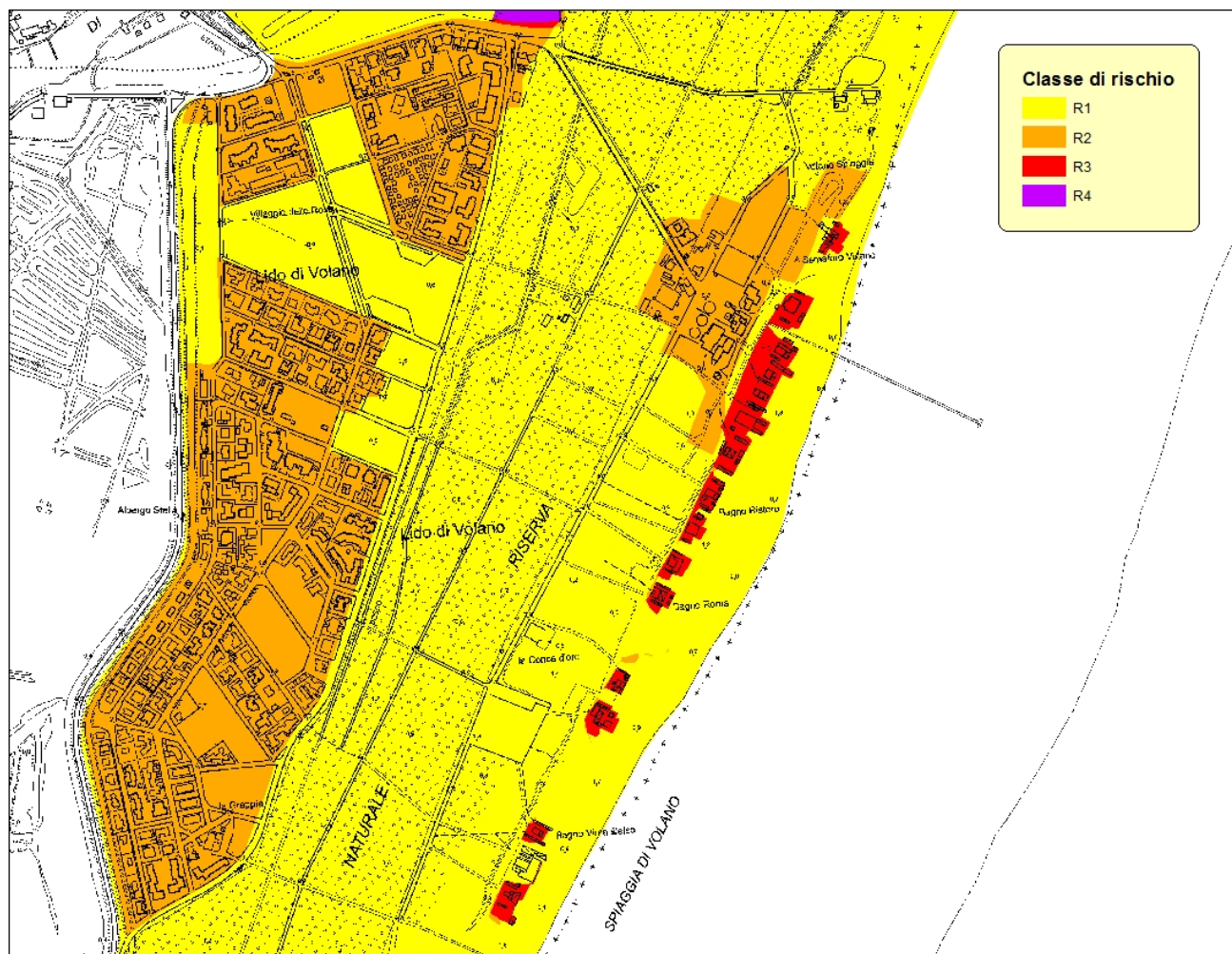


Figura 12 – Esempio di mappa del rischio

Complessivamente, nella porzione costiera della Regione Emilia-Romagna ricadente nel Distretto Padano, le aree a rischio predominanti sono le R1; in tabella 12 sono riportate le superfici complessive ricadenti in ciascuna classe; in figura 13 viene rappresentata in grafico la loro distribuzione.

Classe di rischio	Superficie totale (ha)
R1	2245
R2	876
R3	183
R4	88

Tabella 12 – Superfici interessate dai diversi livelli di rischio

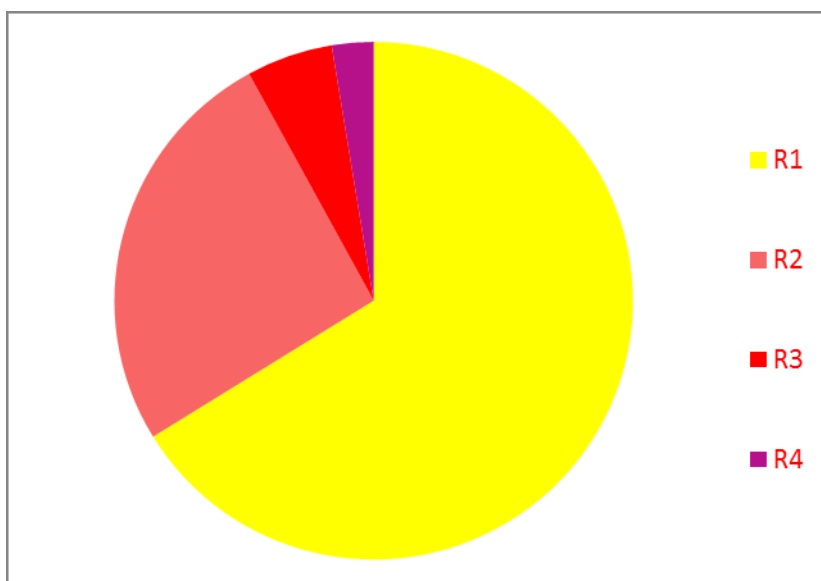


Figura 13 – Distribuzione delle differenti classi di rischio

E' importante poi considerare come le diverse classi di rischio si distribuiscono nei comuni costieri ricadenti nel Distretto Padano; questa distribuzione viene riportata in tabella 13 e rappresentata in figura 14.

Comune	R1	R2	R3	R4	TOTALE
Codigoro	324	8			332
Comacchio	1072	449	68	3	1592
Goro	612	324	87	62	1085
Mesola	61				61
Ravenna	176	95	28	23	322

Tabella 13 – Superfici (ha) interessate dai diversi livelli di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Padano

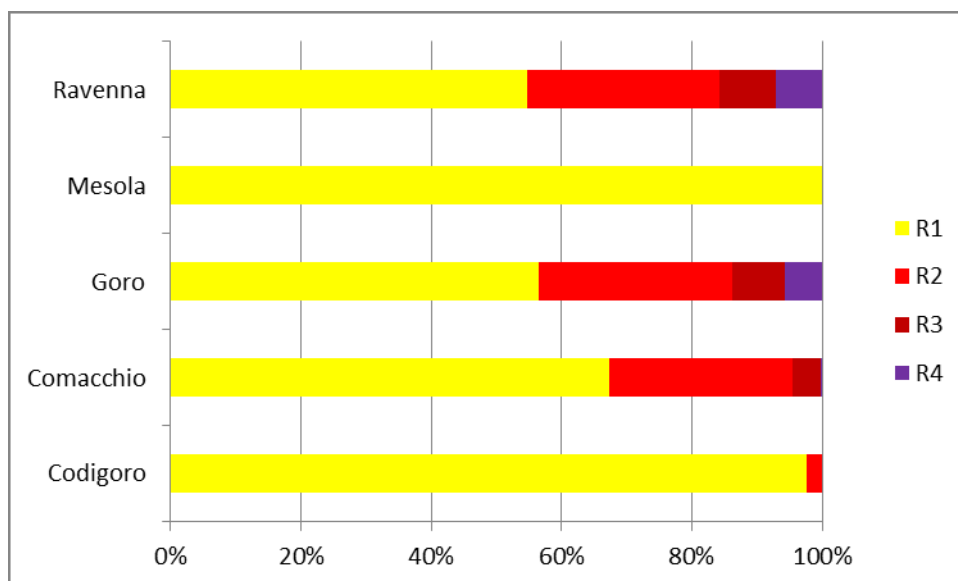


Figura 14 – Distribuzione relativa delle classi di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Settentrionale

Un altro dato interessante da analizzare è la presenza di aree urbanizzate (classi di uso del suolo ‘Tessuto urbano rado’ e ‘Tessuto urbano discontinuo’) ricadenti in aree potenzialmente inondabili; tali aree concentrano infatti criticità specifiche e in esse diventa di fondamentale importanza pianificare interventi di mitigazione del rischio; in tabella 14 vengono riportate le superfici urbanizzate interessate da rischio di inondazione per i comuni ricadenti nel Distretto Padano.

Comune	R2	R3	R4	TOTALE
Comacchio	317	7	1	325
Goro	22	48	23	93

Tabella 14 – Superfici urbanizzate interessate da condizioni di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Padano

Tra gli elementi presenti nel settore costiero che maggiormente risentono dei fenomeni di inondazioni ci sono poi gli stabilimenti balneari; questo tipo di attività costituiscono in molti casi il primo antropico ad essere interessato dagli allagamenti; in tabella 15 vengono riportate le superfici corrispondenti a stabilimenti balneari interessate da rischio di inondazione ricadenti nel Distretto Padano; nel tratto costiero analizzato gli stabilimenti a rischio ricadono esclusivamente nel comune di Comacchio.

Comune	Superficie (ha)
R1	4
R3	45

Tabella 15 – Superfici occupate da stabilimenti balneari interessate da condizioni di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Padano

8 - Considerazioni Finali

Le mappe di pericolosità e rischio dell'area costiera emiliano-romagnola afferente al Distretto Padano costituiscono la tappa iniziale del percorso di piano e altresì forniscono un primo strumento utile ad evidenziare le criticità che caratterizzano questo ambito territoriale e/o le aree che necessitano di ulteriori e più approfondite analisi.

Per la lettura delle mappe è importante ricordare nuovamente quanto sottolineato nella parte metodologica ovvero che in questa analisi non si è tenuto conto della presenza di difese temporanee come le 'dune invernali' né delle misure di protezione civile già in atto che prevedono, per esempio, la chiusura di alcuni varchi che interrompono la continuità delle difese radenti presenti in questa porzione di territorio.

Per questi motivi, infatti, i Comuni di Gorino, Goro e Codigoro presentano vaste aree ricadenti in scenari di inondazione frequente (P3) o poco frequente (P2), che, grazie alle misure di protezione civile in occasione di allerta per evento meteo-marino intenso, risultano di fatto notevolmente più limitate.

Nel settore compreso tra la Foce del Po di Volano e Porto Garibaldi si può osservare che le superfici caratterizzate da inondazioni frequenti e poco frequenti (P3 e P2) sono in gran parte limitate alla spiaggia. Questo risultato è da attribuire alla presenza di argini di difesa e/o dune naturali e artificiali molto estesi. Solo dove questi elementi non sono continui o presentano quote inferiori a quelle di sicurezza, si osservano zone di ampliamento di tali scenari.

Lungo il settore di costa a sud di Lido degli Estensi le aree P3 sono maggiormente estese, ad eccezione di un breve tratto nei pressi del Bagno Giamaica, dove è presente un argine molto avanzato. Le zone inondabili corrispondono per lo più ad ambienti naturali di spiaggia o a zone umide. Questo è particolarmente evidente nel tratto di costa antistante le vene di Bellocchio dove, la totale scomparsa delle dune avvenuta nell'ultimo decennio e le basse quote di spiaggia, determinano una elevata estensione dello scenario P3 che raggiunge l'area umida retrostante.

Le fasi successive di analisi richiederanno, pertanto, eventuali aggiustamenti della perimetrazione in base agli impatti dei futuri eventi notevoli di mareggiata ed approfondimenti volti sia a verificare l'efficacia delle protezioni temporanee utilizzate nel settore nord sia i punti di discontinuità della duna e degli argini attraverso i quali può avvenire una importante propagazione del flusso. Va ricordato che tutto il territorio appartenente al Distretto Padano presenta quote di retro duna e/ o retro argine molto basse, anche al di sotto del livello del mare e che, quindi, la sua salvaguardia risulta strettamente dipendente da un sistema di difesa costiera ben funzionante.

Bibliografia

AA.VV. (2008) –“Applicazione delle linee guida per la Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC) a scala provinciale. Area di studio:la costa del Ferrarese” Rapporto Finale (monografia) Progetto Interreg IIIB NP CADSES (2006-2008) Plancoast “Spatial planning in coastal zone”. Regione Emilia Romagna.

Decouttere C., De Baker K, Monbaliu J. & Berlamont J. 1997. Storm wave simulation in the Adriatic Sea. In CENAS, Kluwer Academic (ed.), Dordrecht, The Netherlands: pp. 189-210.

Gambolati, G., Giunta, G., Putti, M., Teatini, P., Tomasi, L., Betti, I., Morelli, M., Berlamont, J., De Backer, K., Decouttere, C., Monbaliu, J., Yu, C.S., Broeker, I., Kristenser, E.D, Elfrink, B., Dante, A. And Gonella, M., 1998. Coastal evolution of the Upper Adriatic Sea due to Sea Level Rise, and Natural and Anthropogenic Land Subsidence. CENAS, Kluwer Academic (ed.), Dordrecht, The Netherlands, pp. 1-34.

Houtenbos, A.P.E.M., Hounjet, M.W.A., Barends, B.J., 2005. Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna area. Proceedings of the 7th International Symposium on Land Subsidence (Shanghai, China), pp. 79–99.

Idroser (1982) - *Piano progettuale per la difesa della costa Adriatica emiliano-romagnola*. Regione Emilia-Romagna.

Idroser (1996) - Progetto di Piano per la difesa del mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia- Romagna. Regione Emilia-Romagna, Bologna, pp. 365.

Masina M. & Ciavola P. (2011). Analisi dei livelli marini estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate. Studi Costieri 2011 – 18 pp.87-101

Perini L., Lorito S. & Calabrese L. (2008) - *Il Catalogo delle opere di difesa costiera della Regione Emilia-Romagna*. Studi Costieri **15**, pp. 39-56.ISSN1129-8588 Nuova Grafica Fiorentina.

Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C. (a cura di) (2011) – *Le Mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna,1946-2010*. I quaderni di Arpa, pp. 141. Arpa Emilia Romagna, Bologna, ISBN 88-87854-27-5.

Report Number T03-08-02 ‘Guidelines on Coastal Flood Hazard Mapping’

Teatini P., Ferronato M., Gambolato G., Bertoni W., Gonella M., 2005 – A century of land subsidence in Ravenna, Italy. Environmental Geology 47(6), pp 831-846.

Zanuttigh B., Perini L. & Mazzoli P., 2011. Scenarios of combine driver and sea water inundation along the Adriatic Coast. Geophysical Research Abstract vol. 13, EGU2011 -1694.

Glossario

Cost Distance: algoritmo di analisi raster, normalmente utilizzato in analisi di tipo economico, è stato adattato per la valutazione delle aree inondabili.

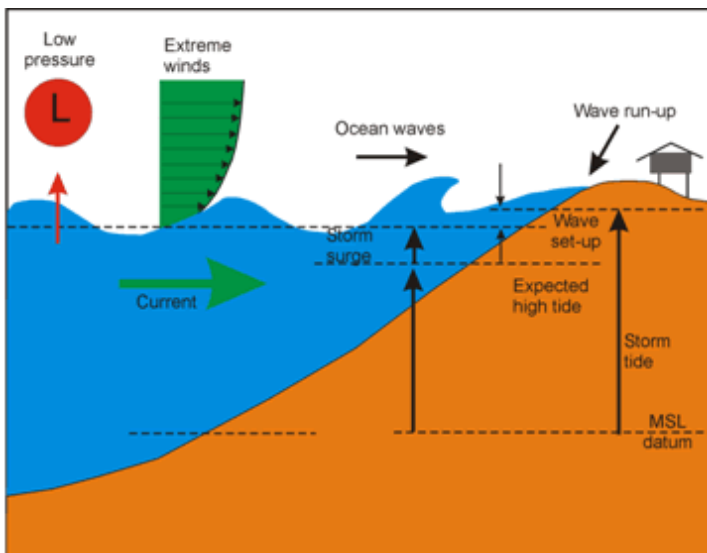
Danno: si tratta di un'interpretazione delle classi di uso del suolo in funzione della perdita di funzionalità potenziale conseguente ad eventi di mareggiata; tale valutazione tiene conto anche delle conseguenze specifiche in occasione di inondazioni di acqua salata.

Erosione costiera : processo di asportazione di sedimento dalla spiaggia (caso Emilia-Romagna) e/o dalla falesia, determinato dall'azione delle onde, correnti di marea o dal vento. L'erosione si verifica principalmente in eventi meteo marini intensi e provoca l'arretramento della linea di riva e l'abbassamento della superficie topografica di spiaggia. Il tasso di erosione è generalmente espresso in Volume/lunghezza/tempo (anno), oppure in termini di arretramento della linea di riva m/anno

Ingressione marina: processo di inondazione della costa (emersa) da parte del mare. L'acqua marina può raggiungere le aree topograficamente depresse retrostanti la spiaggia fluendo attraverso i varchi presenti nella duna costiera o negli argini, oppure scavalcando le stesse difese (fenomeno di tracimazione). Allo stesso fenomeno è ascrivibile la tracimazione dei canali in corrispondenza delle foci.

Mareggiata:

un evento meteo-marino di forte intensità e proporzioni, nei termini delle grandezze fisiche che lo caratterizzano: vento, onda e livello del mare (marea astronomica + sovrizzo). Tale evento produce spesso impatti significativi sulla costa, quali allagamenti, erosione, danni alle infrastrutture, ecc. Non esiste un'unica definizione di mareggiata, poiché questo termine assume caratteristiche "locali", essendo legata al diverso impatto che le condizioni meteo-marine possono avere sul litorale.



I parametri che caratterizzano una mareggiata sono: vento (wind), onde (waves), correnti (current), marea astronomica (tide), sovrizzo atmosferico (surge), impilamento dell'onda sotto costa (wave set-up), risalita dell'onda sulla spiaggia (run-up)

Marea astronomica: moto periodico di ampie masse d'acqua (laghi, mari e oceani) che si innalzano (flusso, alta marea) e abbassano (riflusso, bassa marea) per effetto dell'attrazione della lune e del sole e della rotazione terrestre.

Onda marina: movimento oscillatorio della massa d'acqua che determina uno spostamento verso l'alto e verso il basso della superficie del mare. I principali parametri che descrivono l'onda sono: l'Altezza Significativa, il periodo e la direzione. L'altezza dell'onda è definita come la differenza tra il massimo livello raggiunto dall'onda (cresta) ed il suo livello minimo (cavo), l'altezza significativa dell'onda viene calcolata a partire dalle altezze di tutte le onde presenti in un'area della superficie del mare, ordinate per altezza crescente. Si definisce Altezza Significativa la media del terzo più alto, e la si esprime in metri (m). Il periodo medio è, invece, la semplice media dei periodi di tutte le onde considerate in un'area di superficie del mare, dove per periodo si intende l'intervallo di tempo necessario affinché in uno stesso punto si alternino due creste d'onda. Si misura in secondi (s). Per Direzione si intende la direzione di provenienza delle onde, espressa in base alla convenzione Nautica, secondo la quale gli angoli (in gradi sessagesimali) sono riferiti al Nord.

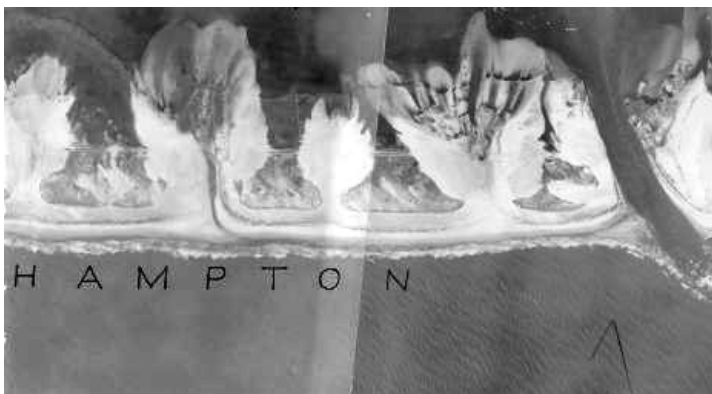
Run-up: risalita dell'onda sulla spiaggia e/o su un argine . La misura di questo parametro è determinata dalla quota, in verticale, della massima risalita dell'onda rispetto alla superficie ferma del mare.

Smorzamento: lo smorzamento consiste nella perdita di quota del livello marino che si registra nel corso di un fenomeno di ingressione; questo parametro è stato valutato in modo empirico, utilizzando una serie di misurazioni effettuate in concomitanza di eventi di mareggiata e scegliendo il valore più cautelativo.

Storm Surge (Sovralzo): risalita del livello del mare determinate dall'effetto combinato del vento e della diminuzione della pressione atmosferica. Essa non include la marea astronomica.

Tracimazione: fenomeno di scavalcamento di una duna o di una difesa costiera (argine) dovuta all'effetto di wave run-up e/o del surge che determinano un innalzamento della cresta dell'onda. Il fenomeno è spesso accompagnato da un trasporto di sabbia verso terra.

Washover fan (ventaglio di washover): accumulo di sabbia, a forma di ventaglio, deposto nell'area di retrospiaggia. Esso è prodotto dal trasporto di sedimento da parte delle onde e dello 'storm surge' che producono un consistente asporto di sabbia dalla spiaggia e/o dalla duna e il trasferimento, nell'area retrostante.



Wave set-up: sopra-elevazione della superficie del mare sotto costa per effetto della frangenza delle onde.