

# 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 Appennino Settentrionale

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 1
Identificatore	

Indice

<b>1 – Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2 - Inquadramento dell'area costiera dell'Emilia-Romagna ricadente nel Distretto dell'Appennino Settentrionale</b>	<b>4</b>
<b>3 - Le alluvioni storiche in Emilia-Romagna</b>	<b>9</b>
<b>4 - Gli scenari utilizzati nell'analisi</b>	<b>11</b>
<b>5 – Metodologia per la mappatura della pericolosità nelle aree costiere</b>	<b>12</b>
<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>	
<b>6 – La valutazione degli elementi esposti</b>	<b>19</b>
<i>6.1 – Analisi dell'uso del suolo</i>	
<i>6.2 – Individuazione degli elementi strategici</i>	
<b>7 – La valutazione del rischio</b>	<b>22</b>
<b>8 – Considerazioni finali</b>	<b>25</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>26</b>
<b>Glossario</b>	<b>27</b>

## 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 dell'Appennino Settentrionale

Il settore costiero emiliano-romagnolo compreso tra la foce del F. Reno e Cattolica comprende le province di Ravenna, di Forlì-Cesena e Rimini e i comuni che si affacciano direttamente sul mare sono, da nord a sud, quelli di: Ravenna, Cervia (prov. RA), Cesenatico, Gatteo, Savignano sul Rubicone, San Mauro Pascoli (prov. FC), Bellaria-Igea Marina, Rimini, Riccione, Misano Adriatico, Cattolica (prov. RN).

Sulla base di quanto prescritto nella direttiva “alluvioni” il piano di gestione deve essere affidato ad un'autorità competente espressamente nominata.

L'Italia, in attesa dell'attuazione della costituzione delle Autorità di distretto, ha comunicato alla Commissione Europea le autorità competenti, scegliendo la possibilità prevista dal citato articolo 3 della direttiva e individuando quindi quali unità di gestione i bacini idrografici nazionali, interregionali e regionali. Le corrispondenti Autorità di bacino sono pertanto competenti ognuna per il proprio territorio, in coordinamento con il Ministero dell'Ambiente, le Regioni e le Province Autonome per ciò che riguarda la gestione in fase di evento ai sensi della normativa nazionale in materia di protezione civile.

Per il distretto dell'Appennino Settentrionale pertanto le unità di gestione e le relative autorità competenti per il tratto di costa dell'Emilia-Romagna sono quelle indicate nel seguente elenco.

Codice	Denominazione
ITADBI021	Autorità di bacino Interregionale del fiume Reno
ITADBI901	Autorità di Bacino Interregionale Marecchia – Conca
ITADBR081	Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

Tabella 1 – Autorità competenti per il tratto costiero dell'Emilia-Romagna ricadente nel Distretto Settentrionale

Questo territorio è caratterizzato da una costa bassa e sabbiosa sviluppatasi al margine della piana alluvionale dei rami meridionale del Po e dei fiumi appenninici.

In base alla conformazione fisica, all'assetto geologico, all'uso del suolo e alla storia evolutiva alle diverse scale temporali, questa porzione di territorio è stata suddivisa in due unità: il settore Ravennate, che si estende dalla foce del F. Reno fino a Cervia, e quello Riminese che comprende la zona meridionale della costa regionale, inglobando il tratto di quella di Forlì-Cesena.

Il settore **Ravennate** è caratterizzato da una piana costiera sabbiosa costruita dai fiumi appenninici e dai rami deltizi meridionali del Delta del Po e si estende per circa 40 km in direzione nord-sud con un'ampiezza variabile dai 20 km, in corrispondenza del delta del fiume Reno fino a circa 5 km in prossimità di Cervia.

Seguendo la costa a partire da nord sono riconoscibili le cuspidi deltizie del fiume Reno, dei Fiumi Uniti e del fiume Savio. La forma della linea costiera è principalmente ondulata a causa della convessità delle foci e della concavità dei blandi golfi che si sviluppano nelle aree interposte. Attualmente è in corso l'erosione delle cuspidi deltizie e l'accrescimento delle aree inter-cuspide ovvero è attivo una graduale tendenza di rettificazione della linea di riva, processo riconoscibile a partire dai primi decenni del '900.

L'intero settore è caratterizzato da una forte trasporto litorale delle sabbie verso nord, come risulta evidente dall'avanzamento della linea di riva che si osserva a sud dei moli portuali.



Questa dinamica condiziona anche l'ampiezza delle spiagge che varia da 0 m, in corrispondenza dei tratti di riva protetti da opere radenti (vedi foce Reno e Lido Adriano sud) fino ad un massimo di circa 150 m in corrispondenza dei moli sud del porto di Ravenna.

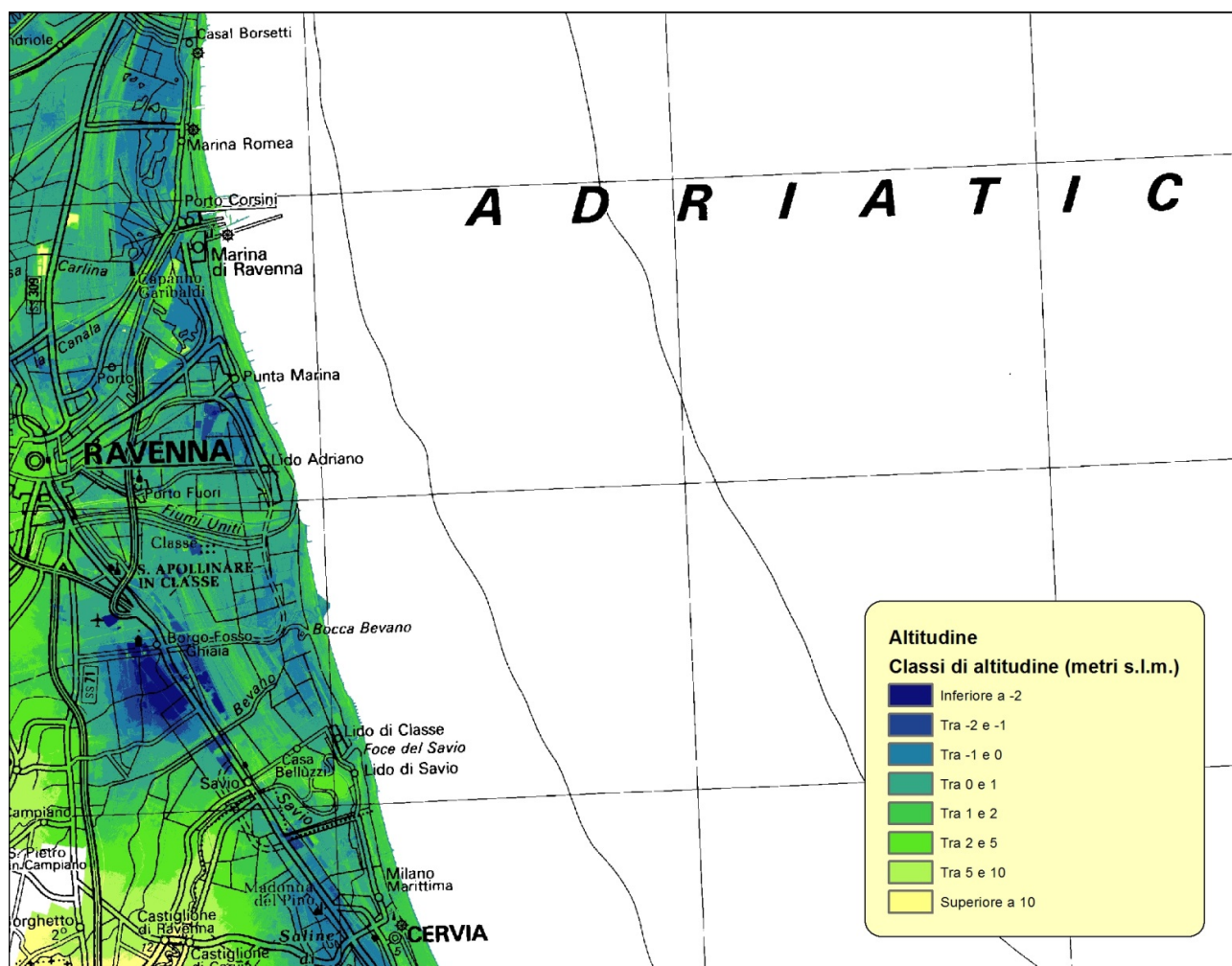


Figura 1 - Altimetria del settore costiero emiliano-romagnolo ricadente nel bacino del distretto dell'Appennino Settentrionale, settore ravennate.

L'altimetria del settore è caratterizzata dalla diffusione di aree con quote poco superiori al livello del mare (tra 0 e 1 m s.l.m.) e ampi settori depressi corrispondenti alle 'valli' inondate e/o bonificate (Figura 1). Le porzioni naturali maggiormente elevate, comunque non superiori generalmente ai 2-3 m, corrispondono alle creste degli antichi cordoni dunali e delle dune attuali; a queste si aggiungono i rilievi degli argini artificiali dei corsi d'acqua e dei rilevati stradali che vanno da 1 a 6 m circa.

La duna, importantissimo elemento morfologico per la difesa dall'ingressione marina, è frammentata e presente in meno del 38% della costa.

L'uso del suolo di questa porzione della fascia costiera, analizzata per circa 1,5 km dalla linea di riva verso l'entroterra (ampiezza di riferimento della dinamica litoranea regionale), è misto e caratterizzato dalla presenza di aree urbane, agricole, con vegetazione e zone umide.

I dati più significativi dell'evoluzione dell'uso del suolo dal dopoguerra ai giorni nostri possono essere riassunti brevemente in:

- progressivo aumento del territorio urbanizzato (+18%);
- drastica riduzione del sistema spiaggia a scapito prevalentemente delle dune (-11%);
- diminuzione delle aree coltivate (-14%).

Il settore **Riminese** è sviluppato per circa 50 km, da Cervia a Cattolica, ed è caratterizzata da complessi di duna/spiaggia, in gran parte mascherati dal tessuto urbano, che hanno formato una sottile striscia di litorale di ampiezza variabile da circa 5 km, nei pressi di Cervia, fino a 1000-800 m nella zona più a sud. I depositi sono riferibili a fasi sedimentarie alternate di deposizione ed erosione avvenute nel corso dell'Olocene.

La piana costiera comprende quindi il sottile settore dei sistemi di cordone litorale e, solo marginalmente, la piana costruita dai fiumi appenninici Rubicone e Savio. Le quote sono generalmente comprese tra i 2 e 3 m s.l.m. e degradano nella parte settentrionale a partire da Gatteo Mare, ove si osservano valori tra i 0 e 2 m s.l.m. (Figura 2).

Nei pressi di Cervia, sono invece presenti alcune aree al di sotto del livello del mare. Un elemento morfologico che contraddistingue questo tratto di costa è la scarpata di falesia fossile, localmente superiore ai 2 m di altezza e pressoché continua da Cattolica a Igea Marina, che separa gli ambienti alluvionali appenninici a quote superiori ai 6 m s.l.m. dalla piana costiera sabbiosa s.s.

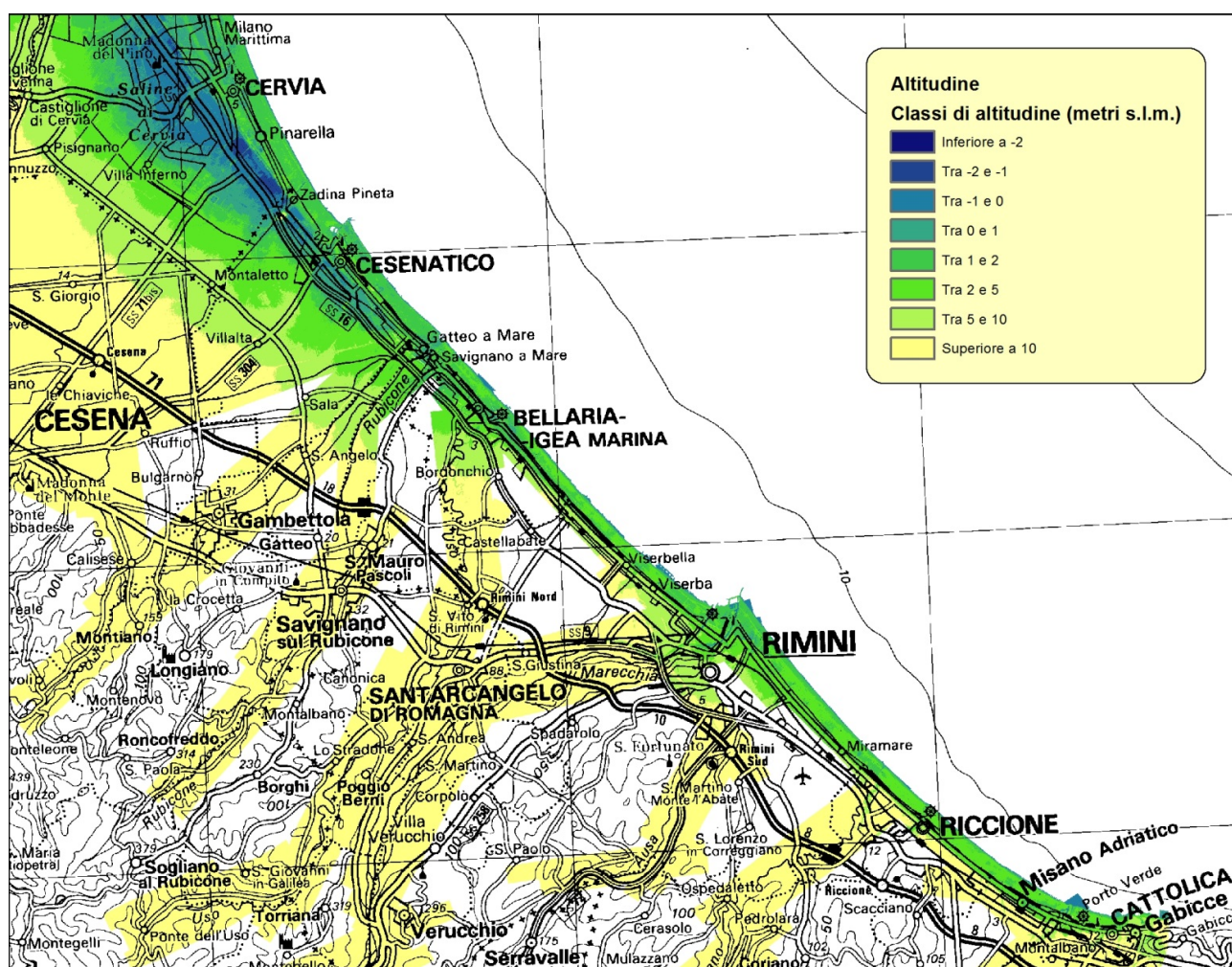


Figura 2 - Altimetria del settore costiero Emiliano-Romagnolo ricadente nel bacino del Distretto dell'Appennino Settentrionale, settore riminese

Le geometrie della piana costiera e l'andamento della linea di riva sono relativamente stabili se considerate alla scala dei 1.000 e dei 100 anni. Negli ultimi 50 anni variazioni locali sono comunque in gran parte attribuibili alla costruzione delle difese costiere e dei porti.

Attualmente le evidenze morfologiche di dune sono rare o assenti (1% del complesso duna/spiaggia) a causa dei prelievi di sabbia per uso edilizio e dello spianamento delle stesse legato all'intensa urbanizzazione. Le spiagge sono lateralmente continue e ampie mediamente 80 m, con

valori minimi inferiori ai 10 m e massimi di circa 170 m; esse sono caratterizzate dalla continua presenza di stabilimenti balneari.

La costa ha un andamento prevalentemente rettilineo con un'interruzione in corrispondenza dei porti di Rimini e Cesenatico dove assume la forma di un cuneo asimmetrico.

Questa unità presenta un indice di urbanizzazione pari a 1, calcolato attraverso il rapporto lunghezza di litorale urbanizzato/ lunghezza di litorale totale.

L'uso del suolo della fascia costiera, ampia circa 1,5 km dalla linea di riva verso l'entroterra, è caratterizzato dalla prevalenza di aree urbane e da zone agricole o con vegetazione.

I dati più significativi dell'evoluzione dell'uso del suolo dal dopoguerra ai giorni nostri possono essere riassunti brevemente come un drastico aumento del territorio urbanizzato (+40%) a scapito prevalentemente del territorio coltivato (-45%).

La linea di costa emiliano-romagnola è fortemente irrigidita dalla presenza di opere di difesa particolarmente diffuse soprattutto nelle province meridionali (Perini et al, 2008).

Il territorio costiero di pertinenza del Bacino del distretto dell'Appennino Settentrionale, come già ricordato, interessa le province di Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini che, come si evince dalla Tabella hanno un grado di artificializzazione della costa piuttosto elevato e diversificato. La tipologia di opere presenti, per lo più, comprende opere di difesa longitudinali emergenti e/o soffolte, opere trasversali e subordinatamente difese aderenti.

Provincia	Estensione litorale	Estensione opere di difesa artificiali	Estensione difese naturali (duna):	Indice strutturale IS= costa protetta/lunghezza costa
<b>Ravenna</b>	~ 47,5 Km	~ 23,4 Km	~ 18,3 Km	0,5
<b>Forlì-Cesena</b>	~ 9,4 Km	~ 7,2 Km	~ 0,2 Km	0,8
<b>Rimini</b>	~ 35 Km	~ 22,6 Km	~ 0,5 Km	0,6

Tabella 2 - Indici strutturali calcolati a livello provinciale relativi all'anno 2005, (da Perini et al., 2008)

Un altro fattore che caratterizza questo territorio è la subsidenza; nell'ambito costiero, questo fattore è cruciale e deve essere attentamente controllato soprattutto dove l'altimetria della costa è più depressa poiché, sul lungo termine, potrebbe favorire l'ingressione delle acque marine.

Lungo la fascia costiera la componente naturale della subsidenza, dovuta principalmente alla compattazione dei sedimenti incoerenti e ai movimenti verticali del substrato roccioso è variabile dai 4-5 mm/anno del settore nord, dal delta del Po al settore ravennate (Teatini et al., 2005; Houtenbos et al, 2005), fino a circa 0,5 mm/anno a sud di Cesenatico (Gambolati et al., 1998).

Tali valori hanno subito forti accelerazioni nell'ultimo secolo in particolare a partire dagli anni '40, per effetto dell'estrazione di fluidi dal sottosuolo (acqua, petrolio, gas, ecc.) e per la bonifica di valli e di terreni paludosi, raggiungendo velocità di abbassamento di gran lunga superiori a quelli naturali.

Negli ultimi decenni, grazie a politiche ed interventi atti a ridurre il fenomeno, si è osservata una riduzione dei valori di abbassamento del suolo, anche se localmente si registrano ancora valori superiori a 10 mm/anno, in corrispondenza delle cuspidi deltizie (F. Reno, F. Uniti e F. Savio) e nell'immediato entroterra tra Cesenatico e Rimini.

Il clima medio del mare lungo la costa regionale appartenente al Distretto dell'Appennino Settentrionale 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  $60^\circ$  e  $120^\circ$  (venti di Scirocco).

Al largo l'altezza d'onda significativa (ovvero la media del terzo più alto delle onde presenti in una data superficie del mare) è inferiore a 0.5 m con provenienza principale da est 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. Questo settore del litorale risulta particolarmente esposto ai venti di Bora e a quelli orientali.

### 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 3).



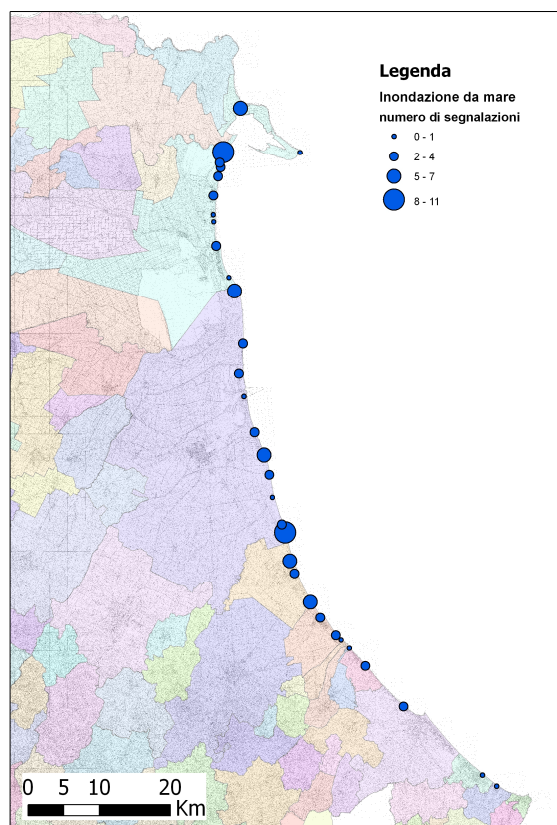


Figura 3 - Nel periodo 1946-2010 sono 31 le località che hanno subito danni per ingressione marina in occasione di fenomeni di mareggiata; tra queste quelle che presentano le maggiori ricorrenze sono: Lido di Savio, Lido Adriano, Lido di Volano e Goro

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 4).

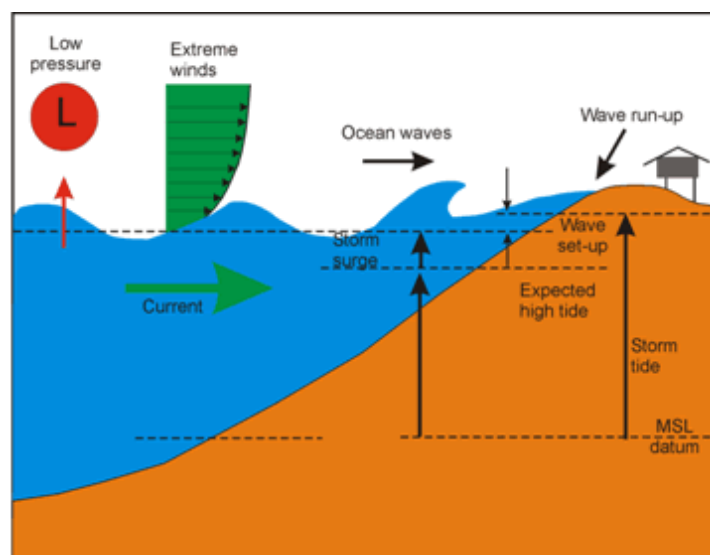


Figura 4 - L'innalzamento della superficie del mare in occasione di un evento di mareggiata (storm tide) è un parametro complesso ed è uguale alla quota di marea astronomica attesa (expected high tide), incrementata dalla pressione barometrica e dal vento sotto costa (storm surge), nonché dall'accumulo 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 <b>P3</b>	Tdr = 10	H critica = 0,79 m s.l.m.	0.40 m	0.30	1,49 m
Poco Frequente <b>P2</b>	Tdr = 100	H critica = 1.02 m s.l.m.	0.40 m	0.39	1,81 m
Raro <b>P1</b>	Tdr $\gg 100$				2,5 m

Tabella 3 - 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 4.

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 transetti	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 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 nel 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 4 – Strati informativi geografici e studi a supporto della mappature dalla 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.

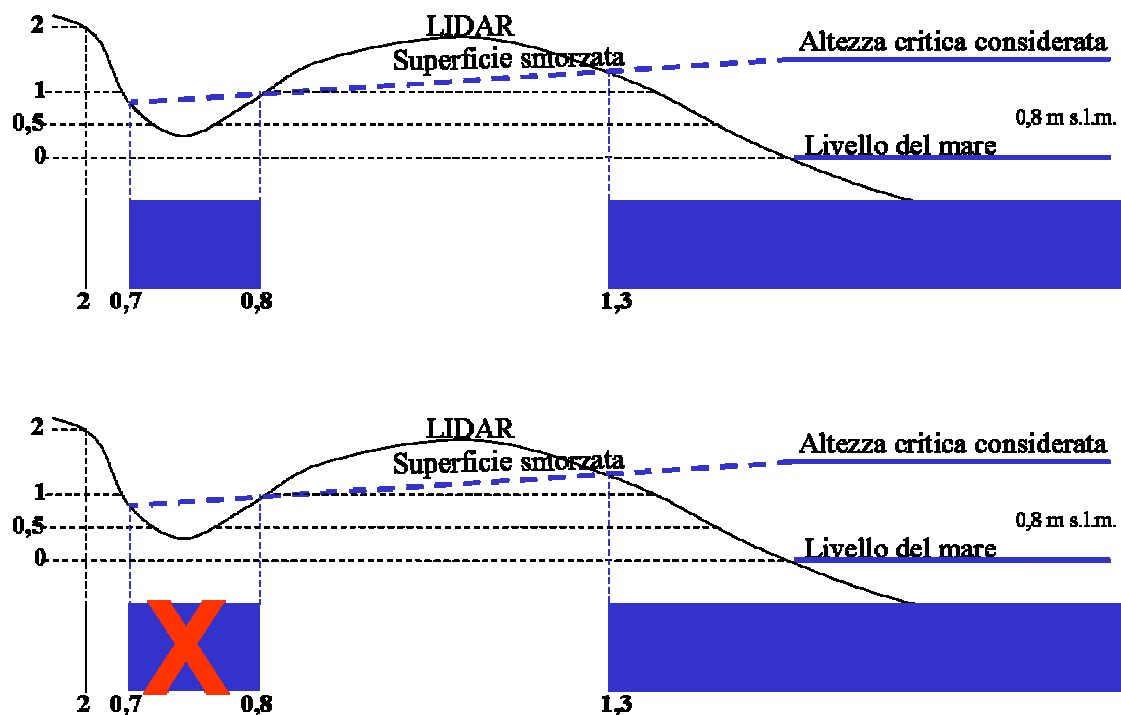


Figura 5 - Rappresentazione schematica della propagazione dell'onda; esclusione dei varchi non in comunicazione con la linea di riva

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.

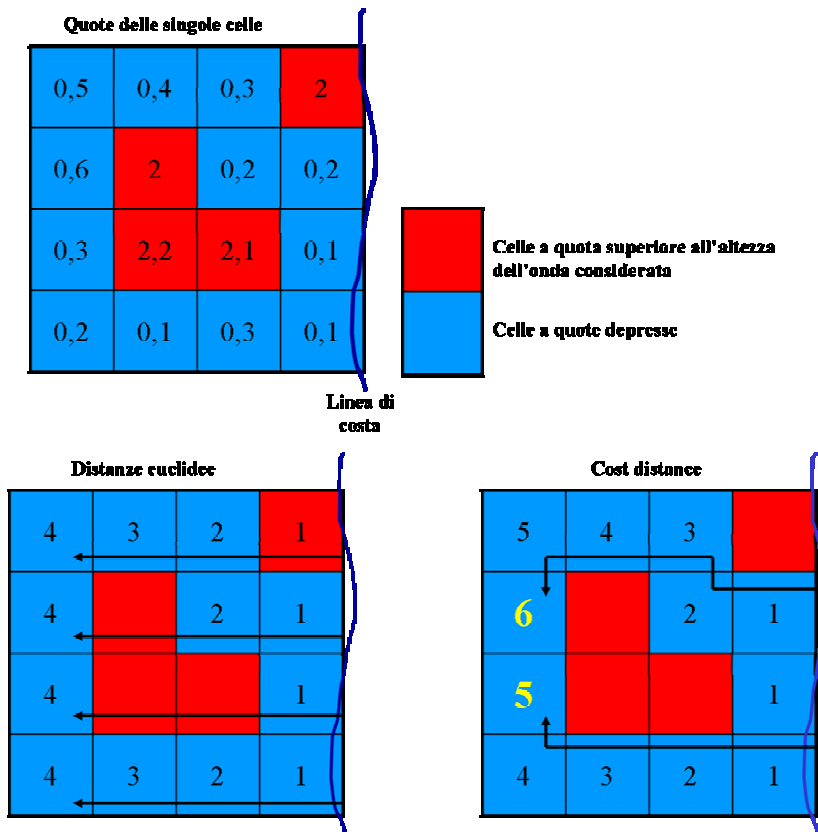


Figura 6 - Schema del modello raster semplificato

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 5 ed esempio di mappatura in figura 8).

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.

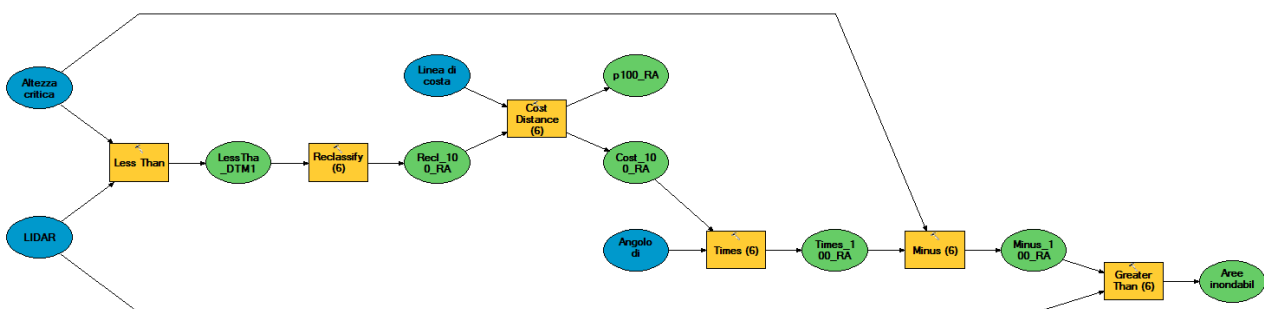


Figura 7 - Implementazione della metodologia nel Model Builder

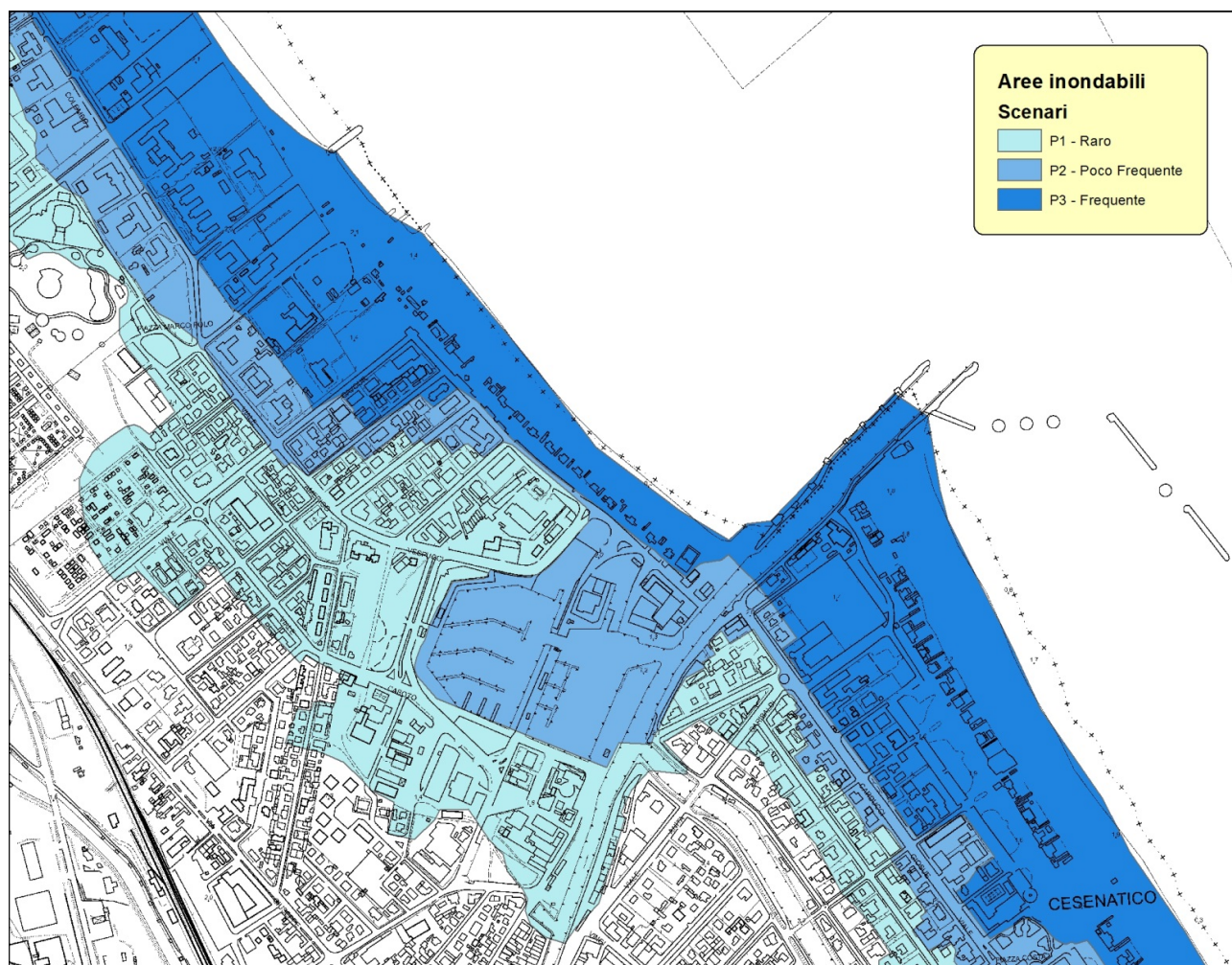


Figura 8 - Esempio di mappatura nella zona del Porto canale di Cesenatico

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 5 e figura 9 viene descritta la distribuzione dei diversi scenari di pericolosità nel tratto di costa della Regione Emilia-Romagna compresa all'interno del Distretto Settentrionale.

Scenario	Superficie (ha) incrementali	Superficie (ha) totali
P3 - H	1.064	1.064
P2 - M	709	1.773
P1 - L	2.638	4.411

Tabella 5 – Superfici interessate dai diversi livelli di pericolosità; le superfici sono derivate per sottrazione (la P2 non tiene conto delle aree P3 e la P1 non tiene conto delle aree P3 e P2)

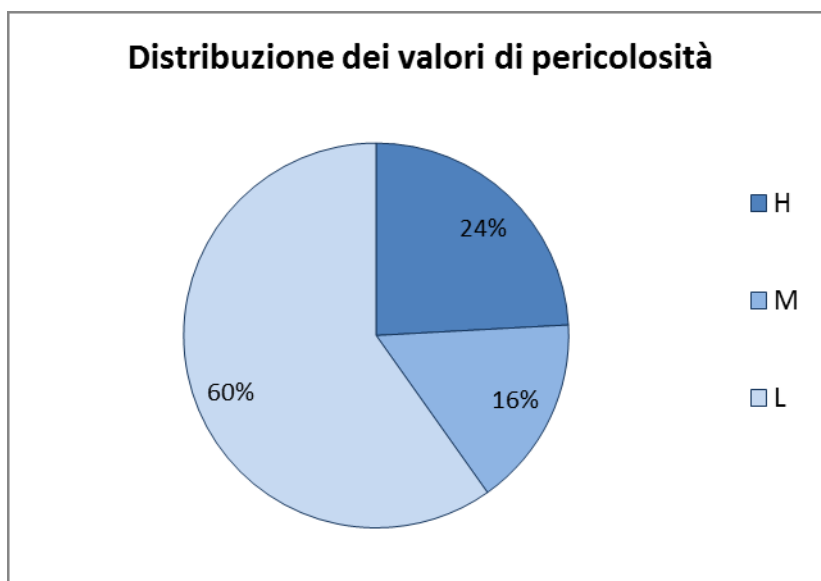


Figura 9 – Distribuzione delle superfici interessate dai diversi livelli di pericolosità

In tabella 6 viene riportata la superficie complessiva interessata da ciascun livello di pericolosità, suddivise in base ai confini delle tre Autorità di Bacino competenti; a differenza della tabella precedente, le superfici indicate in questo caso sono comprensive anche delle eventuali aree con livello di pericolosità maggiore.

Scenario	Adb Reno Superficie (ha)	Adb Fiumi Romagnoli Superficie (ha)	Adb Marecchia-Conca Superficie (ha)
P1 - L	439	3.225	747
P2 - M	177	1.117	479
P3 -H	115	642	307

Tabella 6 – Superfici coinvolte con i diversi livelli di pericolosità per ognuna delle Autorità di Bacino competenti lungo la costa della Regione Emilia-Romagna compresa nel Distretto Settentrionale

Al fine dell'analisi può essere utile inoltre confrontare i dati di pericolosità a livello di Comune costiero come indicato in tabella 7.

Comune	Superficie (ha)			
	P1	P2	P3	Totale
BELLARIA-IGEA MARINA	118	44	43	205
CATTOLICA	7	6	23	36
CERVIA	265	129	101	495
CESENATICO	100	102	118	320
GATTEO	17	12	13	42
MISANO ADRIATICO	18	15	16	49
RAVENNA	1969	287	562	2818
RICCIONE	5	37	33	75
RIMINI	120	71	146	337
SAN MAURO PASCOLI	15	3	4	22
SAVIGNANO SUL RUBICONE	4	3	5	12

Tabella 7 – Superfici coinvolte da diversi livelli di pericolosità per i comuni costieri della Regione Emilia-Romagna compresi nel Distretto Settentrionale

Per lo scenario Frequente P3, è stata inoltre effettuata una sintesi delle superfici corrispondenti ad alcuni usi del suolo ritenuti strategici nelle aree costiere (tabella 8).

Comune	Tessuto urbanizzato	Spiaggia, dune, sabbia	Stabilimenti balneari	Camping e strutture ricreative	Altro
BELLARIA-IGEA MARINA	1	37	4	0	1
CATTOLICA	0	16	0	0	7
CERVIA	4	65	23	0	9
CESENATICO	45	47	16	0	10
GATTEO	5	5	1	0	2
MISANO ADRIATICO	2	12	1	0	1
RAVENNA	78	149	9	14	312
RICCIONE	0	32	0	0	1
RIMINI	1	131	13	0	1
SAN MAURO PASCOLI	1	3	0	0	0
SAVIGNANO SUL RUBICONE	1	1	0	2	2

Tabella 8 – Superfici coinvolte (ha) dal livello di pericolosità P3 per i comuni costieri della Regione Emilia-Romagna compresi nel Distretto Settentrionale relative a usi del suolo strategici

### 5.3 – Elaborati di consegna

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

I dati sono stati consegnati suddivisi in base all’Autorità di Bacino competente.

Complessivamente sono stati forniti tre livelli informativi per ciascuna Autorità di Bacino, ciascuno corrispondente alla superficie interessata da un determinato livello di pericolosità. In tabella 7 sono riportati i nomi dei dati geografici associati a ciascun livello e alla relativa Autorità di bacino. Il nome 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	Adb Reno Nome shapefile	Adb Fiumi Romagnoli Nome shapefile	Adb Marecchia-Conca Nome shapefile
P1 - L	ITI021FHMLACMRER20131222	ITR081FHMLACMRER20131222	ITI019FHMLACMRER20131222
P2 - M	ITI021FHMMACMRER20131222	ITR081FHMMACMRER20131222	ITI019FHMMACMRER20131222
P3 -H	ITI021FHMHACMRER20131222	ITR081FHMHACMRER20131222	ITI019FHMHACMRER20131222

Tabella 9 – 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 di dettaglio degli elementi 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, per l'ambito costiero, tiene conto del diverso tipo di impatto legato alla presenza di acque salate

In tabella 10 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 10 – Classi di uso del suolo con corrispondente classe di danno

In figura 10 è riportata, a titolo di esempio, l'interpretazione dell'uso del suolo in funzione del danno potenziale per l'area di Cesenatico.

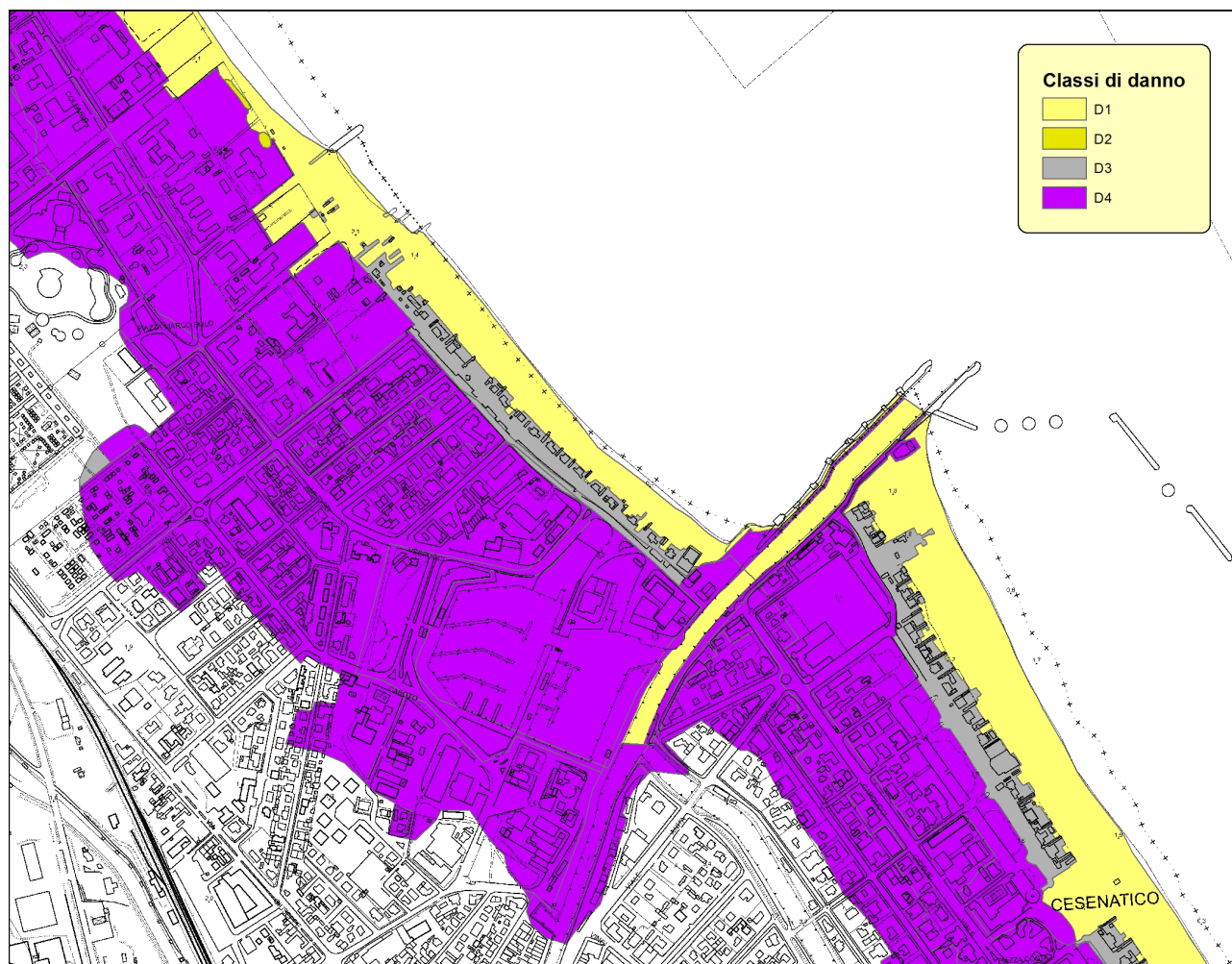


Figura 10 – Esempio di classificazione dell'uso del suolo in funzione del danno potenziale

## 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 per la 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 11 sono riportati i valori complessivi di popolazione che per ciascuno scenario potrebbero essere coinvolti.



Comune	Scenari		
	n. di abitanti potenzialmente coinvolti		
	P1	P2	P3
BELLARIA-IGEA MARINA	4.394	1.659	157
CATTOLICA	80	67	60
CERVIA	4.745	1.418	622
CESENATICO	2997	1335	383
GATTEO	1035	610	284
MISANO ADRIATICO	129	102	36
RAVENNA	10.683	3.565	1.176
RICCIONE	219	153	92
RIMINI	4.876	604	165
SAN MAURO PASCOLI	382	129	72
SAVIGNANO SUL RUBICONE	249	91	55

*Tabella 11 – Comuni costieri della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Settentrionale 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 12) ed elementi lineari (tabella 13).

Tipo di elemento	Adb Reno Nr	Adb Fiumi Romagnoli Nr	Adb Marecchia- Conca Nr	Totale
Beni storico-culturali	0	6	11	17
Impianti potenzialmente pericolosi	0	1	0	1
Ospedali e servizi sanitari	0	54	23	77
Scuole di ogni ordine e grado	2	26	6	34

*Tabella 12 – Tipi di elementi puntuali e numero di essi potenzialmente coinvolti*

Tipo di elemento	Adb Reno Lunghezza (m)	Adb Fiumi Romagnoli Lunghezza (m)	Adb Marecchia- Conca Lunghezza (m)	Totale Lunghezza (m)
Rete stradale	12.802	248.956	66.874	328.632
Rete ferroviaria	0	126	1.537	1.663
Reti elettriche	7.528	158.639	42.006	208.173
Reti gas	1.877	19.362	51.843	73.082
Acquedotti	3.378	89.815	19.564	112.757

*Tabella 13 – Tipi di elementi lineari e lunghezza dei tratti potenzialmente coinvolti*

## 7 – La valutazione del rischio

Le linee guida proposte dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (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.

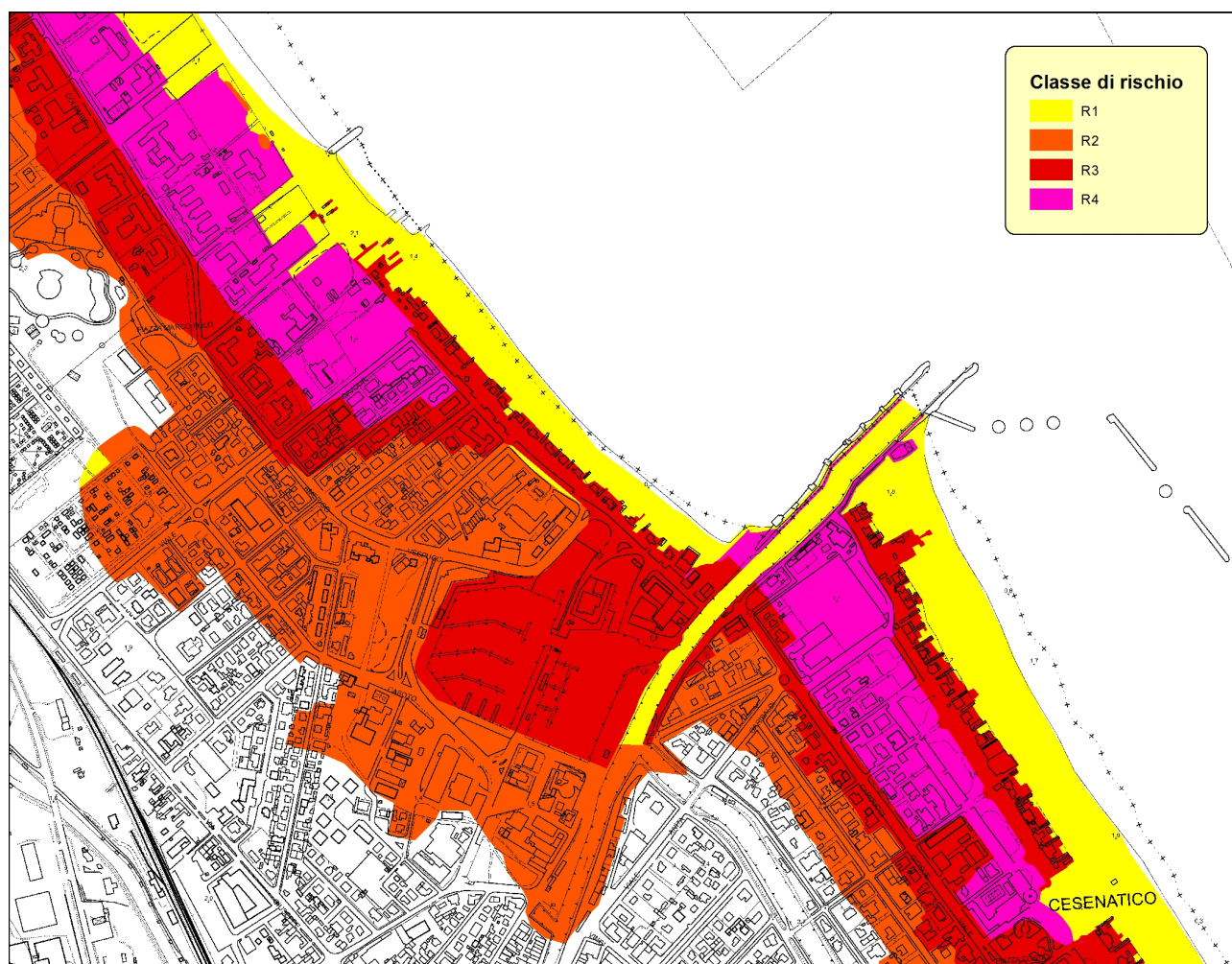


Figura 12 – Esempio di mappa del rischio

Complessivamente, nella porzione costiera della Regione Emilia-Romagna ricadente nel Distretto Settentrionale, le aree a rischio predominanti sono le R1; in tabella 14 sono riportate le superfici complessive ricadenti in ciascuna classe, per ciascuna delle Autorità di Bacino comprese nel Distretto.

Classe di rischio	Adb Reno Superficie (ha)	Adb Fiumi Romagnoli Superficie (ha)	Adb Marecchia-Conca Superficie (ha)	Totale Superficie (ha)
R1	245	1806	370	2421
R2	127	753	202	1082
R3	27	413	151	591
R4	40	253	24	317

Tabella 14 – Superfici interessate dai diversi livelli di rischio

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 15 vengono riportate le superfici urbanizzate interessate da rischio di inondazione per i comuni ricadenti nel Distretto Settentrionale.

Comune	R2	R3	R4	TOTALE
BELLARIA-IGEA MARINA	65	30	1	96
CATTOLICA	1	0	0	1
CERVIA	208	85	4	297
CESENATICO	68	75	45	188
GATTEO	15	12	5	32
MISANO ADRIATICO	1	4	2	7
RAVENNA	259	107	78	444
RICCIONE	2	5	0	7
RIMINI	84	18	1	103
SAN MAURO PASCOLI	12	2	1	15
SAVIGNANO SUL RUBICONE	0	0	0	0

Tabella 15 – Superfici urbanizzate(ha) interessate da condizioni di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Settentrionale

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 16 vengono riportate le superfici corrispondenti a stabilimenti balneari interessate da rischio di inondazione per i comuni ricadenti nel Distretto Settentrionale.

Comune	R1 Superficie (ha)	R3 Superficie (ha)	Totale Superficie (ha)
BELLARIA-IGEA MARINA	0,29	7,92	8,21
CATTOLICA	2,24	3,66	5,90
CERVIA	1,90	33,77	35,67
CESENATICO	0,44	18,01	18,45
MISANO ADRIATICO	0,03	4,18	4,21

RAVENNA	10,47	29,15	39,63
RICCIONE	0,17	17,73	17,90
RIMINI	1,38	42,75	44,13

*Tabella 16 – Superfici occupate da stabilimenti balneari interessate da condizioni di rischio nei comuni della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel Distretto Settentrionale*

## 8 - Considerazioni finali

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

L'osservazione speditiva evidenzia che la maggior estensione delle aree ad elevata pericolosità P3, sono circoscritte alla spiaggia libera e a quella occupata da infrastrutture balneari, come è naturale che sia visto che queste aree rappresentano lo spazio di smorzamento delle onde, paragonabile alle aree golenali dei corsi d'acqua.

I tratti dove le aree P3 sono più estese spesso corrispondono alle foci fluviali, dove le quote sono basse e le dune naturali e/o artificiali non sono presenti.

Le aree urbane, interessate dallo stesso scenario P3 sono quelle storicamente note per essere vulnerabili a fenomeni di ingressione marina in occasione di mareggiate, tra questi i più rilevanti sono: l'area portuale di Marina di Ravenna, alcune zone di Lido Adriano, Lido di Dante, Lido di Savio, e alcune aree comprese tra Cesenatico e Gatteo a Mare . In tutti i casi siamo in presenza di territori altimetricamente depressi, privi di difese naturali (dune) e con un'elevata urbanizzazione del fronte mare.

Si è constatato che le opere di difesa a mare, quali scogliere e pennelli, non hanno alcuna effetto di mitigazione del fenomeno mentre, nella pratica, si sono dimostrate molto efficaci le opere temporanee di difesa che vengono erette nel periodo invernale quali le 'dune invernali' e le paratie a difesa degli abitanti.

Come indicato nella parte metodologica, di questi elementi non si è tenuto conto nella mappatura delle aree potenzialmente allagabili.

## Bibliografia

- 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 Anthropoc 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., Gambolati 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.

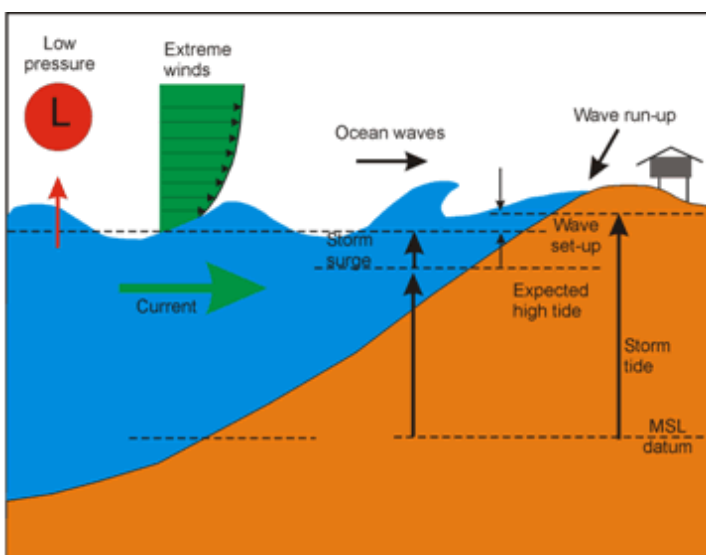
**Danno:** si tratta di un'interpretazione delle classi di uso del suolo in funzione della perdita di funzionalità potenziale conseguente ad eventi di mareggiata; tale valutazione tiene conto anche delle conseguenze specifiche in occasione di inondazioni di acqua salata.

**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.

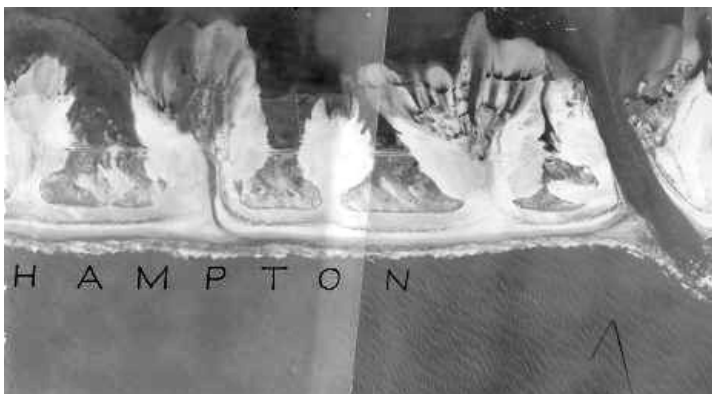
**Run-up:** risalita dell'onda sulla spiaggia e/o su un argine. La misura di questo parametro è determinata dalla quota, in verticale, della massima risalita dell'onda rispetto alla superficie ferma del mare.

**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.