

Una metodologia sperimentale per la definizione del rischio da inondazione costiera

Guido Benassai ¹, Francesco Chirico ¹, Stefano Corsini ²

¹Dipartimento di Scienze Applicate, Università di Napoli Parthenope, Centro Direzionale Is. C4, Napoli

²ISPRA, Servizio Difesa delle Coste, Via Curtatone 3, Roma

Riassunto

Il presente lavoro riguarda l'elaborazione di una nuova metodologia per la definizione del rischio costiero, definito come il prodotto della vulnerabilità morfologica per la vulnerabilità socio-economica del tratto costiero in esame.

Il lavoro è stato svolto con approccio sperimentale introducendo un parametro denominato *indice di impatto*, definito sulla base di dati ondamci, batimci, sedimentologici. Tale indice di impatto, funzione della risalita del moto ondoso sulla spiaggia, dell'erosione a breve e lungo termine, dell'efficienza delle opere di difesa costiera, assume valori che consentono di identificare un'*altezza d'onda critica*, ovvero la minima altezza d'onda in grado di produrre un impatto significativo, dal cui periodo di ritorno viene derivata la predetta vulnerabilità morfologica del tratto costiero in esame.

La vulnerabilità socio-economica è definita, invece, come il prodotto del danno potenziale per il valore esposto, dove per danno potenziale si intende la percentuale del valore di un elemento o di un gruppo di elementi che andrà perduto nel caso si verificasse l'evento calamitoso; mentre per valore esposto si intende il valore che è possibile associare agli elementi da difendere, espresso in termini monetari, di vite umane, o in termini storico-culturali e ambientali.

La presente metodologia, rispetto alla vasta letteratura di settore, si caratterizza per un maggiore dettaglio in quanto è verificata la possibilità di un'applicazione puntuale, ovvero su scala comunale (nell'ipotesi di possedere dati adeguati al dettaglio richiesto). Per tale motivo il periodo di ritorno associato all'altezza d'onda critica non dipende solo dall'esposizione al largo ma anche dalle caratteristiche morfologiche della fascia costiera. Ciò comporta una stima del rischio maggiormente realistica, come viene dimostrato nelle applicazioni.

Parole chiave: indice di impatto, altezza d'onda critica, vulnerabilità morfologica, vulnerabilità socio-economica, rischio da inondazione costiera.

Abstract

The aim of the present study is to identify a new method for coastal risk evaluation, which can improve the management of coastal areas.

Risk can be given by the following equation: $R = V \times S$

where V is coastal vulnerability, $S = E \times D$ is socio-economic vulnerability while E is the exposed value and D is potential damage.

The experimental method for coastal risks due to inundation of the inshore land was carried out using a new parameter: impact index, based on wave climate, bathymetry and sediment data. In particular, impact index depends on run up height, seasonal and long term erosion index, and efficiency of coastal structures.

The critical wave height obtained (minimum hazardous wave height capable of jeopardizing the shoreline) was associated to the hazard level through its return period: higher return periods correspond to lower hazard levels.

Socio-economic vulnerability is the exposed value multiplied by potential damage; the latter represents the value of infrastructures that may be damaged by hazard, whereas the former is the percentage of the loss of an element or a group of elements that should occur in case of hazard.

Therefore, in this new method, hazard is evaluated not only by storm severity, but also by physical characteristics of the shoreline.

These results suggest that decision-makers could reduce vulnerability by choosing a type of coastal planning that does shift development away from high-risk areas.

Two applications of the method have been performed: the coastal communities of the Guardia Piemontese and Monasterace in the South of Italy.

Keywords: *impact index, critical wave height, coastal vulnerability, socio-economic vulnerability.*

Introduzione

La valutazione della vulnerabilità di un litorale costituisce tuttora un argomento oggetto di dibattito nel campo dell'ingegneria costiera, avendo definito tale vulnerabilità come " il grado di suscettibilità di un sistema alle forzanti esterne" (IPCC, 2001). A tal proposito si possono distinguere due approcci concettuali. Il primo identifica la vulnerabilità con l'esposizione alle forzanti, definendo la distribuzione delle condizioni di pericolo attraverso la probabilità di accadimento di un evento avverso, e con l'analisi delle caratteristiche e dell'impatto dell'evento considerato (UNDRR, 1977). Il secondo approccio ipotizza che la probabilità del verificarsi dell'evento sia un invariante ed esamina la sensitività (intesa come capacità di risposta del sistema all'impatto) che si compone dell'attitudine del sistema a resistere all'impatto (resistenza) e dell'attitudine del sistema a recuperare le condizioni preesistenti all'impatto (resilienza) (Hewitt, 1997). In tale approccio la sensitività (in un primo tempo limitata agli aspetti geomorfologici e biologici) è stata successivamente estesa agli aspetti socio-economici, includendo la risposta della comunità interessata in termini di capacità di percepire il rischio, affrontarne le conseguenze e recuperare le condizioni precedenti (Cutter, 1996).

Numerose applicazioni dei concetti precedentemente citati hanno quantificato i singoli parametri che influenzano la vulnerabilità di un tratto costiero attraverso un Indice di Vulnerabilità Costiera dato dalla somma (o dalla media, o media quadratica) degli indicatori parziali.

Il primo approccio ha condotto ad un Indice di Vulnerabilità Costiera – CVI (Gornitz et al., 1991, Thieler et al., 2000) che tiene conto della combinazione dei principali param fisici e geomorfologici che influenzano il processo di inondazione costiera (quali ad esempio altezza significativa, livello del mare, pendenza della spiaggia, erosione a lungo termine). Il secondo approccio ha considerato anche gli aspetti socio-economici del sistema mediante un Indice di Vulnerabilità Socio-Economica CoVI (Cutter, 2000). In seguito tale tipo d'approccio ha considerato le variabili socio-economiche della zona costiera attraverso un'analisi delle componenti principali (PCA) per produrre un indice socio-economico di vulnerabilità costiera CSoVI.

I param utilizzati per il calcolo dell'indice di vulnerabilità costiera CVI sono i seguenti:

- Quota della costa;
- Litologia;
- Geomorfologia;
- Variazione del livello terrestre (mm/anno);
- Variazione della linea di costa (m/anno);
- Escursione di marea (m);
- Altezza media annua (m).

A ciascuna di tali variabili è stato assegnato un punteggio dalla cui combinazione è ottenuto l'indice di vulnerabilità costiera CVI; si ottiene in tal modo un indice adimensionale, che classifica la vulnerabilità costiera nelle tradizionali categorie di bassa, media ed alta.

L'indice di vulnerabilità costiera tiene conto dell'impatto del moto ondoso sulla costa e quindi può essere definito sia per la costa alta che per la costa bassa. Al contrario, se si vuole definire un indice di vulnerabilità rispetto all'inondazione costiera, non ha senso considerare altra costa se non quella bassa.

Obiettivo del presente lavoro è quello di individuare una metodologia per la definizione del rischio da inondazione marina ottenuto dalla relazione matriciale:

$$R = V \times S$$

in cui V rappresenta la matrice di vulnerabilità morfologica ed S la matrice di vulnerabilità socio-economica data dal prodotto matriciale del valore esposto E per il danno potenziale D .

L'approccio seguito è quindi concettualmente analogo ai precedenti ma se ne differenzia per i seguenti motivi:

- si applica il metodo soltanto sulla fascia costiera con altitudine inferiore ai 10m;
- l'escursione di marea astronomica lungo le coste italiane dà luogo ad una marea microtidale, pertanto tale parametro non viene considerato;
- la massima altezza d'onda annuale viene sostituita da un'altezza d'onda critica con la metodologia descritta ai punti successivi.

Inoltre, nel calcolo dell'indice di vulnerabilità costiera, denominato in questo lavoro *Indice di impatto*, sono stati aggiunti i seguenti parametri:

- Indice di erosione a breve termine (oltre all'indice di erosione a lungo termine);
- Indice di efficienza delle opere di difesa, considerate parte integrante del sistema costiero;
- Indice di *run up* orizzontale, inteso come distanza associata alla risalita dell'onda.

Rispetto alla vasta letteratura di settore la presente metodologia per la definizione del rischio da inondazione costiera può essere applicata almeno su scala comunale, quindi su di una scala geografica di dettaglio. L'applicazione di tale metodologia è stata effettuata sui tratti costieri della Regione Calabria ricadenti nei Comuni di Guardia Piemontese e di Monasterace Marina.

La vulnerabilità morfologica

La vulnerabilità morfologica è qui definita sia sulla base della probabilità di accadimento dell'evento calamitoso (valutato con il periodo di ritorno della mareggiata) sia in funzione dell'interazione morfodinamica con il fondale e con la spiaggia, valutata attraverso la definizione di un indice di impatto I_i . Quest'ultimo è definito dalla seguente relazione (1):

$$I_i = I_{Ru} + I_R + I_D + E \quad (1)$$

con:

- I_{Ru} indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso;
- I_R indice di arretramento della linea di riva;
- I_D indice di stabilità delle opere di difesa;
- E indice di erosione a lungo termine.

Per il calcolo dell'indice di impatto è necessario effettuare una caratterizzazione della fascia costiera (esposizione dei paraggi alle traversie principali e secondarie) nonché determinarne il clima ondoso attraverso il calcolo dei periodi di ritorno delle altezze d'onda di 3, 4, 5, 6 e 7 m mediante le usuali funzioni di distribuzione a lungo termine di probabilità secondo Gumbel o Weibull.

L'indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso I_{Ru}

Tale indice valuta la distanza orizzontale x_{max} associata alla quota di *run up* R_{max} (che dipende dall'angolo di incidenza, dalla pendenza e permeabilità della spiaggia).

Il calcolo della massima distanza percorsa dal *run up* è stato condotto con metodi analitici e numerici.

Il calcolo analitico è stato effettuato seguendo lo schema di Massel-Pelinovsky (2001) che divide la fascia costiera in tre regioni (Fig. 1): la regione 1 (o regione di largo) in cui la profondità è maggiore di quella di frangimento e non si realizza il *set up*¹, la regione 2 dove si trova la profondità di frangimento e quindi il livello del mare si modifica, ed infine la regione 3 che è quella di maggior interesse per quanto riguarda il *run up* dato che è localizzata in prossimità della battigia.

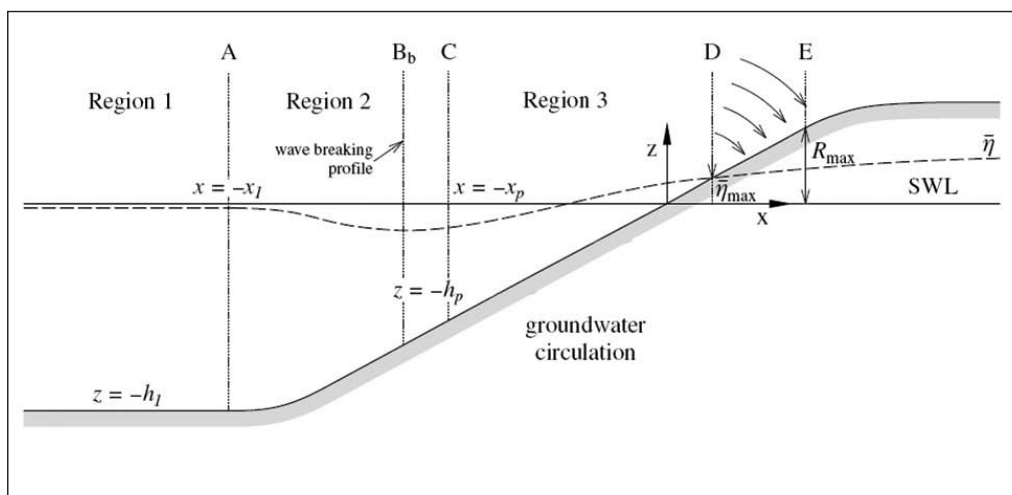


Figura 1 - Suddivisione della spiaggia secondo Massel e Pelinovsky (2001).

Le equazioni di Massel e Pelinovsky per determinare la distanza associata al *run up* (x_{max}) e la massima quota di *run up* (R_{max}) su una spiaggia sono le seguenti:

$$x_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi\omega}{g}} \beta^{-5/4} (g|x_p|)^{1/4} H_p \quad (2)$$

$$\frac{R_{max}}{H_p} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi\omega}{\beta} \sqrt{\frac{h_p}{g}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

essendo:

- $\omega = 1/T$ = frequenza di swash;
- β = pendenza della spiaggia;
- x_p = distanza percorsa dal frangente;
- H_p = altezza significativa al frangimento;
- h_p = profondità di frangimento.

Il massimo livello di *run up* è definito come la distanza verticale tra l'elevazione massima dell'onda sulla spiaggia ed il livello medio mare misurato in assenza di *set up*.

Il calcolo numerico della quota e della distanza associata al *run up* è stato effettuato utilizzando il modulo 1DH

¹Ad es. entrando nelle eq. (2) e (3) con i seguenti valori dei parametri: $\omega=0,0088$; $\beta=19\%$; $x_p=148$ m; $H_p=4$ m si ottiene $x_{max}=17$ m; $R_{max}=2,20$.

del codice BW del MIKE21. I risultati ottenuti sono stati validati dal confronto con quelli analitici di Massel e Pelinovsky.

L'indice I_{Ru} assumerà un valore funzione della percentuale di spiaggia inondata come riportato nella Tabella 1.

Tabella 1 - Intervalli di valutazione del punteggio dell'indice di run up in relazione alla percentuale di spiaggia interessata dalla risalita dell'onda.

	Run up orizzontale (%)				
	$x_{max} < 20$	$20 \leq x_{max} < 40$	$40 \leq x_{max} < 60$	$60 \leq x_{max} < 80$	$x_{max} \geq 80$
Indice di risalita I_{Ru}	0	1	2	3	4

L'indice di erosione a breve termine I_R

Tale indice misura l'erosione a breve termine della linea di riva dovuto ad un attacco ondoso. L'arretramento della linea di riva è stato calcolato seguendo il metodo di convoluzione di Kriebel e Dean (Benassai G.,2006) il quale prevede la risposta del Profilo di equilibrio durante le mareggiate. La soluzione generale può essere espressa da:

$$R(t) = \frac{R_\infty}{T_s} \int_0^t f(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{T_s}} d\tau \tag{4}$$

con

$$R_\infty = S \frac{W_b - \frac{d_b}{m_0}}{B + d_b - \frac{S}{2}} \tag{5}$$

dove:

S = sovrizzo del livello del mare;

B = altezza della berma;

m_0 = pendenza del fondale;

d_b = profondità di frangimento;

W_b = ampiezza della zona di frangimento.

La soluzione di Kriebel e Dean è data da:

$$\frac{R(t)}{R_\infty} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\beta^2}{1+\beta^2} \exp\left(-\frac{2\sigma t}{\beta}\right) - \frac{1}{1+\beta^2} [\cos(2\sigma t) + \beta \sin(2\sigma t)] \right\} \tag{6}$$

in cui β è il rapporto tra la scala temporale dell'erosione e la durata della mareggiata, fornita da $\beta = 2\pi T_s / T_D$, in cui T_s è dato dalla (7) e T_D è la durata della mareggiata. Il valore massimo di R_{max} / R_∞ è il massimo raggiunto dall'equazione (6) per assegnati valori di β e T_D , con :

$$T_s = 320 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(1 + \frac{d_b}{B} + \frac{m_0 W_b}{d_b} \right)^{-1} \tag{7}$$

essendo A il parametro di equilibrio².

²Ad es. entrando nelle eq. (4) e (5) con i seguenti valori dei paramteri:

S=1,30 m; B=1,50m; $m_0=0,039$; $d_b=6,50m$; $W_b=276m$; $H_b=4,06m$ (a partire da $H_s=7,0m$) si ottiene $R_\infty=19,3 m$; $R_{max} / R_\infty=0,76$; $R_{max}=14,6 m$.

L'indice I_R assumerà un punteggio compreso tra 1 e 3 sulla base del valore dell'arretramento della linea riva in relazione alla percentuale di spiaggia emersa (Tab. 2).

Tabella 2 - Intervalli di valutazione dell'indice di erosione a breve termine.

	Arretramento linea riva (%)		
	$R_{\max} < 15$	$15 \leq R_{\max} < 30$	$R_{\max} \geq 30$
Indice di erosione I_R	1	2	3

L'indice di erosione a lungo termine E

L'indice di erosione a lungo termine E stima la velocità di erosione della spiaggia. Assunto un valore di soglia di velocità di erosione 2 m/anno l'indice E assumerà i valori descritti nella seguente tabella:

Tabella 3 - Indice di erosione a lungo termine.

	Velocità di erosione (m/y)	
	< 2	≥ 2
Indice di erosione E	0	1

L'indice di efficienza delle opere di difesa costiera I_D

Mediante tale indice si valuta la capacità delle opere di difesa costiera di proteggere le strutture e le opere presenti nel retrospiaggia.

La stabilità di un'opera può essere dedotta da numerose formule che tengono conto della tipologia e del peso dei massi della mantellata e del tipo di onda incidente, qui si riportano le formule di Van der Meer (1992) per la stabilità di opere a scogliera in massi naturali:

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{50}} = 6.2 \cdot p^{0.18} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m^{0.5} \quad \text{per frangimento di tipo plunging} \quad (8)$$

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{50}} = 1.0 \cdot p^{0.13} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m^p \cdot \sqrt{\cot \alpha} \quad \text{per frangimento di tipo surging} \quad (9)$$

L'indice viene valutato sulla base della stabilità delle opere di difesa in relazione all'altezza d'onda incidente (Tab. 4):

Tabella 4 - Indice di efficienza delle opere di difesa costiera.

	Danno alle opere di difesa		Nessun'opera presente
	No	Si	
Indice di danno I_D	0	1	1

Si nota che tale indice assume punteggio 1 anche nel caso in cui il tratto di costa non sia protetto da alcuna opera.

L'altezza d'onda di criticità

L'indice di impatto può assumere valori che vanno da 1 ad 9, ciò permette di individuare un'altezza d'onda di criticità H_C definita come la minima altezza d'onda significativa capace di mettere in crisi il litorale, per la quale l'indice di impatto non è trascurabile. Si stabilisce non trascurabile l'indice di impatto $I_i \geq 5$.

La determinazione della vulnerabilità morfologica

Una volta individuata l'altezza d'onda di criticità è possibile attribuire un livello di vulnerabilità morfologica al tratto costiero in esame in relazione al periodo di ritorno correlato all'altezza d'onda di criticità (Tab. 5).
dove:

Tabella 5 - Calcolo della vulnerabilità morfologica in funzione del periodo di ritorno dell'altezza d'onda critica individuata.

		Periodo di ritorno T_R (anni)			
		≤ 2	≤ 10	≤ 25	≤ 50
H_C		V_4	V_3	V_2	V_1

- V_4 : vulnerabilità molto elevata;
- V_3 : vulnerabilità elevata;
- V_2 : vulnerabilità moderata;
- V_1 : vulnerabilità bassa.

La vulnerabilità socio-economica

La *vulnerabilità socio-economica* (S) è definita come l'entità prevista di perdita di vite umane e/o beni, a seguito di un particolare evento (ITC, 2004). Essa dipende dalla predisposizione degli elementi presenti sul territorio a subire un danno (D), quindi dall'uso del suolo, e dal loro valore economico, sociale, ambientale, ovvero dal *valore esposto* (E) degli elementi presenti.

Il danno potenziale

L'analisi del danno potenziale viene effettuata attraverso la valutazione di un indice di danno costiero (IDC), il quale misura il potenziale impatto dell'erosione delle coste e gli effetti dell'antropizzazione dell'area costiera che si intende esaminare. Tale indice di danno costiero IDC è dato dalla relazione:
in cui:

$$IDC = P_{RICE} + U_{RICE} + E_{RICE} + U_{10km} \tag{10}$$

- P_{RICE} rappresenta la popolazione residente all'interno dell'area identificata come RICE (Radium of Influence Coastal Erosion) che sarà definito tra breve;
- U_{RICE} rappresenta la percentuale di area urbanizzata e/o industrializzata in RICE;
- E_{RICE} rappresenta la percentuale di area ad alto valore ecologico in RICE;
- U_{10km} rappresenta la percentuale di incremento di area urbanizzata nella fascia costiera di RICE.

Tale analisi è stata condotta seguendo alcune indicazioni dei progetti EUrosion (2004) e FLOODsite (2005, 2007); l'area costiera identificata come RICE è il luogo geomco dei punti che obbediscono ad una o entrambe le seguenti condizioni:

- distanza non superiore ai 500m dalla costa;
- altezza sul livello del mare non superiore ai 10 m.

Per lo studio della vulnerabilità socio-economica si possono prendere a riferimento le carte di uso del suolo CORINE Land Cover del 1990 e del 2000.

L'indicatore popolazione residente in RICE (P_{RICE}), rappresenta la popolazione comunale residente nell'area del RICE stimata in base alla seguente relazione:

$$P_{RICE} = D_u \cdot A_{URICE} + D_A \cdot A_{ARICE} + D_N \cdot A_{NRICE} \quad (11)$$

in cui:

- A_{URICE} = area urbanizzata (codice 1) comunale contenuta nel RICE;
- A_{ARICE} = area agricola (codice 2) comunale contenuta nel RICE;
- A_{NRICE} = area naturale (codice 3) comunale contenuta nel RICE;
- D_U = densità abitanti in aree urbanizzate = $0.7485 \cdot \text{Pop}/A_U$;
- D_A = densità abitanti in aree agricole = $0.217 \cdot \text{Pop}/A_A$;
- D_N = densità abitanti in aree naturali = $0.035 \cdot \text{Pop}/A_N$;
- A_U = area urbanizzata comunale;
- A_A = area agricola comunale;
- A_N = area naturale comunale;
- Pop = popolazione comunale.

In conformità alle indicazioni del progetto EUrosion sono stati assegnati i seguenti punteggi in funzione della P_{RICE} calcolata per ogni comune costiero:

Tabella 6 - Indicatore popolazione residente nel tratto costiero identificato come RICE.

Indicatore	1punti	2 punto	3 punti
Popolazione in RICE	<5000	5000÷20000	>20000

L'indicatore percentuale di area urbanizzata e/o industrializzata presente in RICE U_{RICE} , rispetto al totale della superficie comunale interna al RICE stesso, presenta i seguenti valori:

Tabella 7- Indicatore percentuale di area urbanizzata o industrializzata presente nel RICE.

Indicatore	0 punti	1punti	2 punto	3 punti
% area urbanizzata o industrializzata in RICE	<10%	10÷20%	20÷40%	>40%

L'indicatore area ad alto potenziale ecologico presente in RICE E_{RICE} , rappresenta la percentuale di area comunale ad alto potenziale ecologico presente nell'area di RICE rispetto al totale della superficie comunale interna al RICE stesso. Esso assumerà i seguenti punteggi:

Tabella 8 - Indicatore percentuale di area ad alto valore ecologico presente nel RICE.

Indicatore	0 punti	1 punto	2 punti	3 punti
% area ad alto potenziale ecologico in RICE	<5%	5÷20%	20÷30%	>30%

L'indicatore U_{10km} Rappresenta l'incremento percentuale di area comunale urbanizzata e/o industrializzata all'interno della fascia costiera di 10 km nel periodo 1990-2000; i punteggi di tale indicatore sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 9 - Indicatore percentuale di incremento dell'area urbanizzata nella fascia costiera di 10 km nel decennio 1990-2000.

Indicatore	0 punti	1 punto	2 punti	3 punti
% incremento area urbanizzata o industrializzata nella fascia costiera di 10km	<5%	5÷10%	10÷15%	>15%

A questo punto è possibile stabilire che l'indice di danno costiero assumerà valori compresi tra 1 e 12 in base ai quali è possibile attribuire dei livelli di danno potenziale come descritto nella seguente tabella:

Tabella 10 - Calcolo del danno potenziale.

Danno Potenziale	Indice di Danno Costiero IDC			
	≤3	4÷6	7÷9	≥10
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄

con:

- D₄ – Danno molto elevato;
- D₃ – Danno elevato;
- D₂ – Danno moderato;
- D₁ – Danno basso.

Il valore esposto

Per valore esposto si intende il valore che è possibile associare agli elementi "da difendere" sul territorio. Pertanto alla determinazione di detto fattore parteciperanno non solo le vite umane ed i beni immobili, ma anche le risorse ambientali e culturali.

In linea generale potremmo definire i seguenti criteri per la determinazione del *valore esposto*:

- a) quando gli elementi presenti sul territorio sono beni monetizzabili, il loro valore esposto è rappresentato dal valore monetario; quando gli elementi presenti sul territorio sono vite umane, il loro valore esposto è rappresentato dal valore numerico;
 - b) quando gli elementi presenti sul territorio sono risorse e beni ambientali e culturali, ecc., unici e di così grande rilevanza da costituire un patrimonio irrinunciabile per la collettività, il loro valore esposto è rappresentato dal bene stesso.
- Risulta particolarmente utile distinguere quattro livelli di valore esposto:

- E₄ = valore esposto altissimo;
- E₃ = valore esposto alto;
- E₂ = valore esposto medio;
- E₁ = valore esposto basso o nullo.

Il valore esposto altissimo comprende: i centri urbani, le zone di completamento e di espansione, i nuclei di edificazione diffusa non presenti nel PRG, le spiagge i laghi e le aree di riserva integrale e generale delle aree protette.

Il valore esposto alto comprende: le aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, edificato produttivo di tipo industriale, le aree archeologiche, i SIC e le aree di riserva controllata delle aree protette.

In queste aree si possono avere problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico.

Il valore esposto medio comprende: le aree extraurbane, poco abitate, sede di edificazione sparsa, di infrastrutture secondarie, destinante sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico, edificato produttivo.

Il valore esposto basso comprende: aree libere da insediamenti a prevalente destinazione agricola, incolte o protette.

Determinazione della vulnerabilità socio-economica

La vulnerabilità socio-economica (S) è determinata dal prodotto matriciale del danno potenziale (D) per il valore esposto (E):

$$S = D \times E \quad (12)$$

Si distinguono quindi quattro differenti livelli di vulnerabilità determinati dall'incrocio dei valori calcolati per il danno potenziale e per il valore esposto come mostrato nella seguente tabella:

Tabella 11 - Calcolo della vulnerabilità socio-economica come prodotto tra valore esposto e danno potenziale.

	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁
E ₄	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
E ₃	S ₃	S ₂	S ₁	
E ₂	S ₂	S ₁		
E ₁	S ₁			

S₄ = vulnerabilità molto elevata - in queste aree un evento di particolare severità può provocare la perdita di vite umane, di ingenti beni economici e di valori ambientali e culturali inestimabili.

S₃ = vulnerabilità elevata - in queste aree si possono avere problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico.

S₂ = vulnerabilità moderata - in tali aree sono improbabili problemi per l'incolumità delle persone e sono limitati gli effetti sul tessuto socio economico.

S₁ = vulnerabilità bassa - in tali aree non esistono problemi per l'incolumità delle persone e sono limitati gli effetti sul tessuto socio economico.

Il rischio costiero

La definizione del rischio utilizzata è quella precisata nella Guida della Comunità Europea (ISO/EC, 2004) in base alla quale il rischio è il risultato del prodotto di tre fattori:

- pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso;
- valore degli elementi di rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale);
- vulnerabilità degli elementi a rischio (che dipende dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento).

Il rischio (R) è definito come l'entità del danno atteso in una data area ed in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento ed è dato dalla relazione matriciale:

$$R = V \times S \quad (13)$$

in cui V rappresenta la matrice di *vulnerabilità morfologica* ed S rappresenta la matrice di *vulnerabilità socio-economica*.

Le diverse condizioni di rischio sono dunque ottenute mediante l'incrocio dei valori trovati per la vulnerabilità costiera, correlata alla pericolosità dell'evento, con la vulnerabilità socio-economica, considerando l'impatto dell'evento sul tessuto sociale ed economico del tratto costiero (Tab. 12):

Tabella 12 - Determinazione del rischio.

RISCHIO	Vulnerabilità socio-economica				
		S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
Vulnerabilità Morfologica	V ₄	R ₄	R ₃	R ₂	R ₁
	V ₃	R ₃	R ₂	R ₁	
	V ₂	R ₂	R ₁		
	V ₁	R ₁			

Si definiscono quattro livelli di rischio:

- R₁ rischio moderato, area di attenzione: per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.
- R₂ rischio medio, area di alta attenzione: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività socio economiche.
- R₃ rischio elevato, area di rischio: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione della funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
- R₄ rischio molto elevato, area di alto rischio: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

Applicazione 1: Guardia Piemontese

Il Comune di Guardia Piemontese è situato in provincia di Cosenza, Regione Calabria, sul versante tirrenico. Il tratto costiero su cui è stata applicata la metodologia elaborata in questo studio è compreso tra Punta Intavolata a Nord ed il confine del centro abitato di Marina di Guardia Piemontese a Sud. Il litorale si sviluppa in direzione Nord Ovest - Sud Est per una lunghezza complessiva di circa 3.5 Km, interessando i Comuni di Acquappesa e Guardia Piemontese.

Analisi meteo-marina

Il paraggio del litorale di Guardia Piemontese presenta un settore di traversia principale compreso tra le direzioni di 230° N e 290° N.

I dati utilizzati per l'analisi meteo-marina sono quelli della boa di Cetraro della rete Ondamca Nazionale durante il periodo di esercizio 1999-2003. Per una rappresentazione sintetica in Figura 2 è stata riportata la frequenza di apparizione delle altezze significative. Si nota che le onde più alte provengono dal settore 230°-280° N.

Sulla base di tali dati ondamci stati calcolati i periodi di ritorno delle altezze d'onda significative per le mareggiate che interessano il litorale in esame, considerando altezze che si presentano con una frequenza non trascurabile nei mari italiani (Tab. 13).

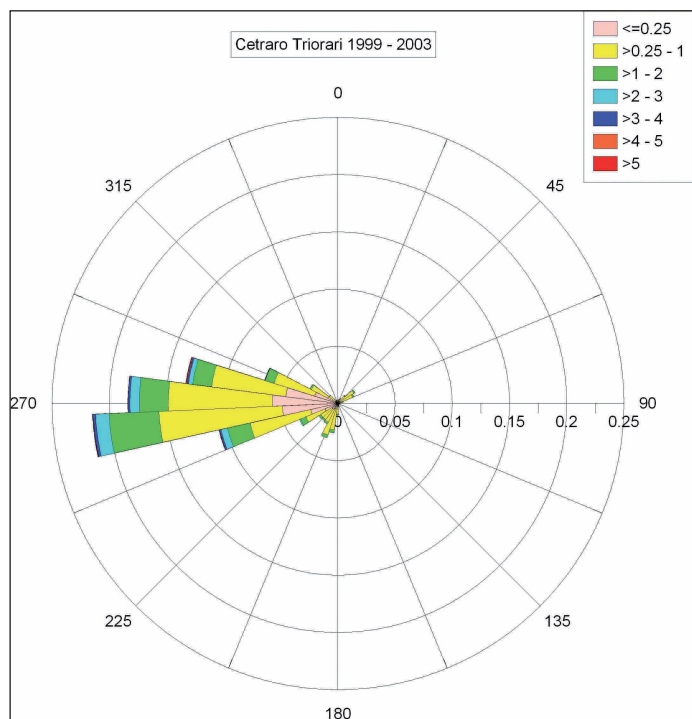


Figura 2 - Moto ondoso al largo di Guardia Piemontese.

Tabella 13 - Periodo di ritorno delle altezze significative al largo del paraggio di Guardia Piemontese.

	Periodo di Ritorno T_R
Hs=3 m	< 2 anni
Hs=4 m	< 2 anni
Hs=5 m	2 anni
Hs=6 m	< 5 anni
Hs=7 m	10 anni

Caratteristiche del litorale

Il litorale di Guardia Piemontese è caratterizzato da una larghezza di spiaggia crescente da Nord a Sud. In Figura 3 è riportato il tratto di litorale con i tre profili caratteristici, di cui si allega documentazione fotografica nelle Figure 4, 5 e 6. Tutti i profili sono caratterizzati da sabbia grossolana con granuloma decrescente verso il largo. Il Profilo 1 presenta una larghezza di spiaggia di circa 21 m, è limitato verso terra dalla falesia su cui insiste il rilevato ferroviario; alla base di tale falesia sono visibili dei massi artificiali (in parte affondati nella sabbia) posti a protezione della ferrovia. Il Profilo 2, posto a Nord della Fiumara dei Bagni, è caratteristico di un tratto di spiaggia delimitato a Nord dal promontorio del Palmentello ed a Sud da una scogliera distaccata che si è saldata al litorale retrostante; la spiaggia presenta una larghezza media di circa 40 m. Il Profilo 3, rappresentativo della zona di Guardia Piemontese Lido, è compreso tra due scogliere in massi naturali ormai raggiunte dalla spiaggia. In Tabella 14 sono riportati i principali parametri geomorfologici dei tre profili.

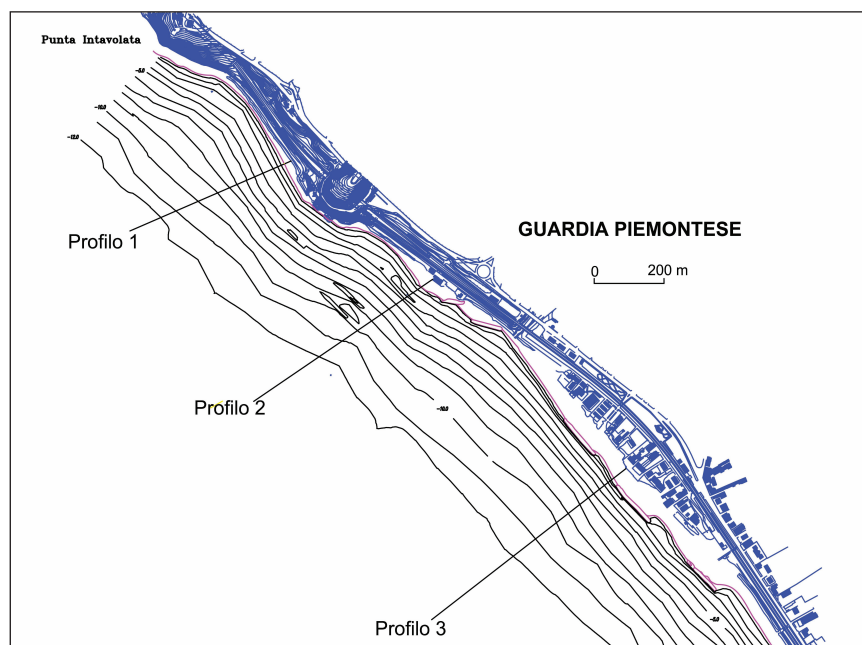


Figura 3 - Suddivisione del tratto costiero di Guardia Piemontese.



Figura 4 - Guardia Piemontese, spiaggia in corrispondenza del Profilo 1; Figura 5 - Veduta verso Nord del tratto di spiaggia identificato con il Profilo 2; Figura 6 - La spiaggia del Profilo 3.

La vulnerabilità morfologica

Seguendo l'Equazione (1) per ciascuno dei tre profili sono stati calcolati i valori degli indicatori che concorrono a determinare l'indice di impatto. Nelle Tabelle 15 e 16 sono riportati rispettivamente, per ciascun Profilo, i risultati del calcolo dell'indice di impatto ed il valore della vulnerabilità morfologica.

Tabella 14 - Caratteristiche morfologiche della spiaggia di Guardia Piemontese.

	Larghezza spiaggia	Pendenza spiaggia	D ₅₀ (mm)
Profilo 1	21 m	14.0 %	0.50
Profilo 2	45 m	8.3 %	0.45
Profilo 3	43 m	9.9 %	0.47

A proposito dei valori dell'indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso I_{Ru} , il valore ottenuto con riferimento al Profilo 2 è massimo (per altezze d'onda significative di 6 m) a causa della ridotta pendenza della spiaggia; i valori relativi ai Profili 1 e 3 sono equivalenti in quanto la minore pendenza viene compensata dalla maggiore larghezza. Per quanto riguarda i valori dell'indice di arretramento I_R riportati in Tabella 15 si osservano, a parità di altezza d'onda di riferimento, valori decrescenti passando dal primo al terzo Profilo, sostanzialmente a causa della maggior larghezza della spiaggia nei Profili 2 e 3.

Per quanto riguarda i valori dell'indice di efficienza delle opere di difesa I_D , è stato assegnato il valore 1 (assenza o inefficienza di opere) al Profilo 1, ed il valore 0 (efficienza) ai Profili 2 e 3.

Infine, all'indice di erosione a lungo termine E è stato assegnato valore 0 in tutti i profili dal momento che la velocità di erosione in ogni caso è risultata inferiore a 2 m/anno. Quest'ultimo risultato è dovuto alla realizzazione delle opere di difesa che hanno stabilizzato il litorale.

La somma degli indici citati (Tab. 15) va a costituire l'indice di impatto, a partire dal quale si ricava l'altezza d'onda di criticità (definita come l'altezza d'onda per cui l'indice di impatto assume valori $I_i \geq 5$).

Tabella 15 - Calcolo dell'indice di impatto per ciascuno dei tre profili (con Pr si indica il Profilo).

	I_{Ru}			I_R			I_D			E			I_i		
	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3
Hs=3m	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	2	2
Hs =4m	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	5	3	3
Hs=5m	3	3	2	3	2	1	1	0	0	0	0	0	7	5	3
Hs=6m	3	4	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	7	6	5
Hs=7m	3	4	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	7	7	5

Dall'esame dei valori dell'indice di impatto si nota che tale altezza d'onda critica assume valori crescenti passando dal Profilo 1 al Profilo 3, parallelamente la vulnerabilità morfologica decresce. In particolare (Tab. 16) per il Profilo 1, l'altezza d'onda di criticità è pari a 4 m con il periodo di ritorno di 2 anni, pertanto la vulnerabilità morfologica è molto elevata; lo stesso vale per il Profilo 2 la cui altezza d'onda critica è pari a 5 m con il periodo di ritorno di 2 anni. Per il Profilo 3, invece, l'altezza d'onda di criticità è pari a 6 m, con periodo di ritorno inferiore ai 5 anni, pertanto la vulnerabilità morfologica è inferiore a quella in corrispondenza dei Profili 1 e 2.

Tabella 16 - Livello di vulnerabilità morfologica per ciascun Profilo.

	Hc (metri)	T _R (anni)	Vulnerabilità
Profilo 1	4	< 2	V ₄
Profilo 2	5	2	V ₄
Profilo 3	6	< 5	V ₃

La vulnerabilità socio-economica

La vulnerabilità socio-economica è data dal prodotto del danno potenziale per il valore esposto. La stima del danno potenziale è stata effettuata attraverso il calcolo dell'indice di danno costiero, definito dall'equazione (10). I risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 17, mentre in Figura 7 è possibile osservare la distribuzione dell'uso del suolo, definita dalle immagini satellitari Corinne Land Cover volo ITC 2000. A proposito dei valori assegnati all'indicatore P_{RICE} , questi ultimi non differiscono tra i tre profili in quanto il valore della popolazione si riferisce all'intero Comune; diversamente accade per U_{RICE} i cui valori dipendono dalla percentuale di area urbanizzata desunta dalle carte di uso del suolo. Infine, per quanto riguarda E_{RICE} ed U_{10km} , essi sono stati assunti entrambi pari a zero in assenza di aree di elevato valore ecologico e di incremento di urbanizzazione nel periodo 1990-2000. Di conseguenza i valori dell'indice di danno costiero si incrementano dal Profilo 1 al Profilo 3 seguendo l'incremento di U_{RICE} .

Tabella 17 - Stima del danno potenziale per il litorale di Guardia Piemontese.

	P_{RICE}	U_{RICE}	E_{RICE}	U_{10km}	I_{DC}	Danno potenziale
Profilo 1	1	1	0	0	2	D_1
Profilo 2	1	2	0	0	3	D_1
Profilo 3	1	3	0	0	4	D_2

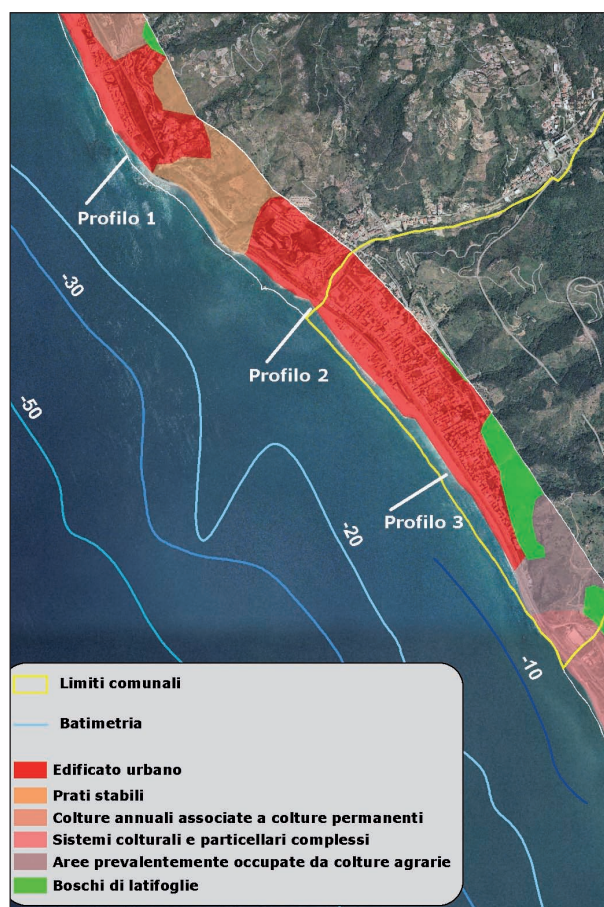


Figura 7 - Uso del suolo del litorale di Guardia Piemontese, fonte CLC2000.

Analogamente sono stati assegnati i livelli di valore esposto ai beni presenti su ciascuno dei tre profili analizzati, considerando nei Profili 1 e 2 la presenza di infrastrutture (strada, ferrovia) sul retrospiaggia, cui corrisponde un valore esposto E_3 (elevato), ed a tergo del Profilo 3 la presenza del centro abitato cui corrisponde un valore esposto E_4 (molto elevato).

Incrociando i risultati ottenuti per il danno potenziale e per il valore esposto, sono stati calcolati i livelli di vulnerabilità socio-economica riportati nella Tabella 18.

Tabella 18 - La vulnerabilità socio-economica.

	Danno potenziale	Valore Esposto	Vulnerabilità socio-economica
Profilo 1	D_1	E_3	S_0
Profilo 2	D_1	E_3	S_0
Profilo 3	D_2	E_4	S_2

A partire dai risultati precedenti sul danno costiero e sul valore esposto, risulta congruente un livello trascurabile di vulnerabilità socio-economica per i Profili 1 e 2, mentre per il Profilo 3 si ottiene una vulnerabilità moderata.

Il rischio costiero

Il rischio da inondazione costiera è infine ottenuto incrociando i valori ottenuti per la vulnerabilità morfologica con quelli ottenuti per la vulnerabilità socio-economica, come illustrato in Tabella 19:

Tabella 19 - Determinazione del rischio da inondazione costiera per il litorale di Guardia Piemontese.

	Vulnerabilità morfologica	Vulnerabilità socio-economica	Rischio
Profilo1	V_4	S_0	R_0
Profilo2	V_4	S_0	R_0
Profilo3	V_3	S_2	R_1

Dall'applicazione al litorale di Guardia Piemontese della metodologia descritta, si ottengono i seguenti risultati sui livelli di rischio da inondazione costiera. Il tratto di costa che va da Punta Intavolata alla foce della Fiumara dei Bagni, ricadente nei Comuni di Acquappesa e Guardia Piemontese, identificato con i Profili 1 e 2, presenta un rischio trascurabile: si tratta infatti di un'area scarsamente abitata, caratterizzata nel retrospiaggia da infrastrutture (strada, ferrovia) ad una quota sufficientemente elevata. Il tratto di costa che va dalla Fiumara dei Bagni al termine dell'abitato di Guardia Piemontese, identificato con il Profilo 3 presenta un rischio moderato: si tratta infatti di un'area di attenzione per la quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali ma non trascurabili.

Applicazione 2: Monasterace Marina

L'area campione di Monasterace è compresa tra Punta Stilo (alla foce della Fiumara Assi) a Nord e la foce della Fiumara Stilaro a Sud. Il litorale, che si sviluppa in direzione Nord-Sud per una lunghezza complessiva di circa 3,6 km, è costituito da una spiaggia che si presenta ampia in prossimità delle foci delle fiumare e stretta nella sua parte centrale a ridosso del lungomare, con un tratto di circa 600 m occupato in tutta la sua larghezza da una scogliera radente in massi naturali.

Analisi ondametrica

Il paraggio del litorale di Monasterace Marina risulta limitato a Nord-Est dalla direzione che si appoggia a Capo Rizzuto (40° N), ed a Sud-Ovest dalla direzione che si appoggia a capo Spartivento (220° N).

I dati utilizzati per l'analisi ondametrica sono quelli della boa di Roccella Jonica, della rete Ondamca Calabrese, durante il periodo di esercizio 2003-2006. In Figura 8 sono sinteticamente riportate le frequenze di apparizione delle altezze significative. Si nota che le onde più alte provengono dal settore 50° - 200° N.

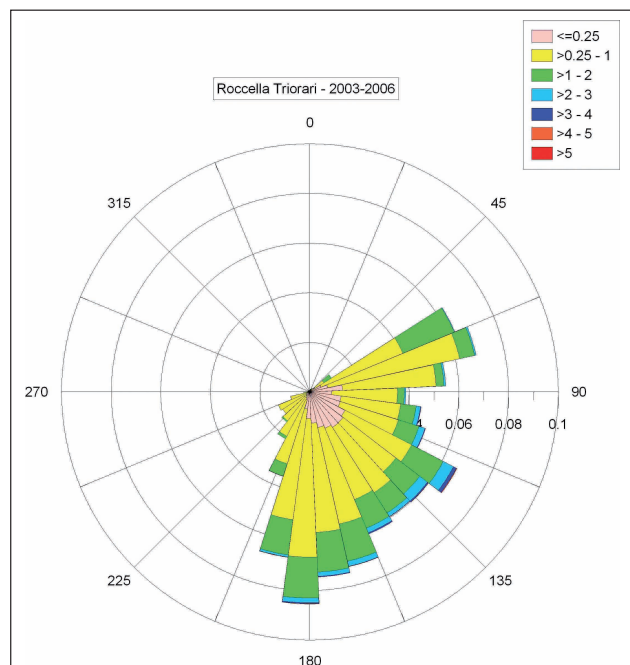


Figura 8 - Moto ondoso al largo di Monasterace Marina.

Sulla base di tali dati sono stati calcolati i periodi di ritorno delle altezze d'onda significative per le mareggiate che interessano il litorale in esame, considerando altezze che si presentano con una frequenza non trascurabile nei mari italiani (Tab. 20).

Tabella 20 - Periodo di ritorno delle altezze significative al largo del paraggio di Monasterace Marina.

	Periodo di Ritorno T_R
Hs=3 m	< 2 anni
Hs=4 m	2 anni
Hs=5 m	5 anni
Hs=6 m	10 anni
Hs=7 m	20 anni

Caratteristiche del litorale

Anche per il litorale di Monasterace Marina sono stati considerati tre profili (Fig. 9) di cui si allega documentazione fotografica nelle Figure 10, 11 e 12. Le caratteristiche geomorfologiche, sintetizzate in tabella 21, evidenziano un Profilo di spiaggia con elevata pendenza e sabbia grossolana.

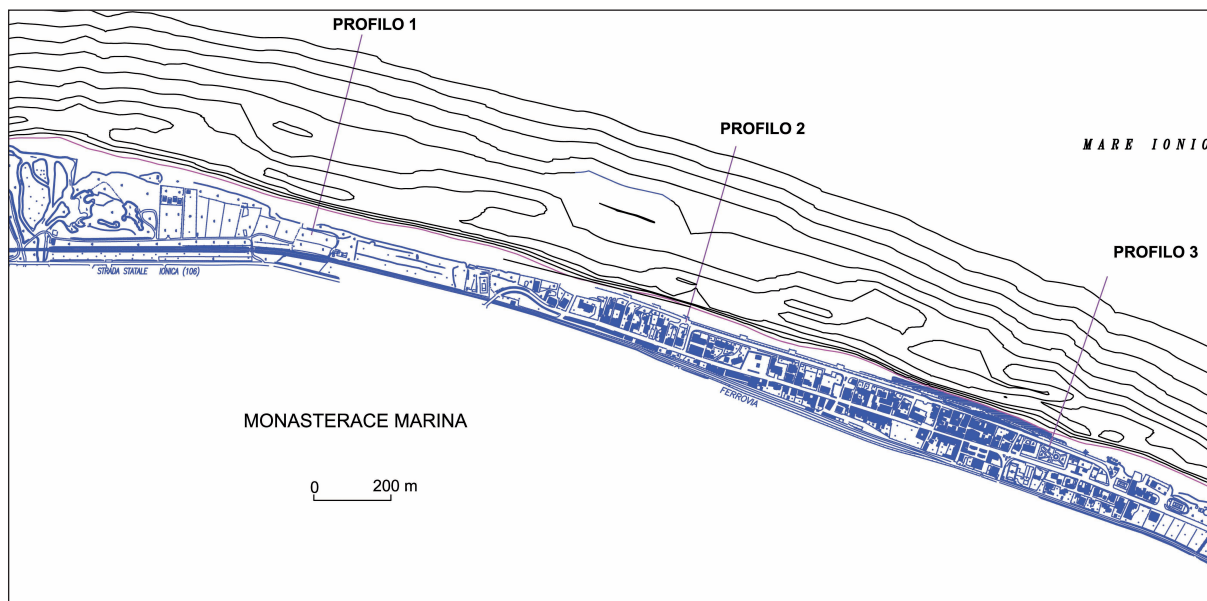


Figura 9 - Profili caratteristici per il litorale di Monasterace Marina.



Figura 10 - Litorale di Monasterace in prossimità del Profilo 1 (spiaggia di notevole larghezza).



Figura 11 - Veduta verso Nord del tratto di spiaggia in corrispondenza del Profilo 2 (inizio lungomare).



Figura 12 - Veduta verso Nord del Profilo 3 (fine lungomare, spiaggia ristretta).

Tabella 21 - Caratteristiche morfologiche della spiaggia di Monasterace Marina.

	Larghezza spiaggia	Pendenza spiaggia	D ₅₀ (mm)
Profilo 1	57 m	15%	0.70
Profilo 2	27,5 m	19%	0.64
Profilo 3	10 m	23%	0.65

Il Profilo 1, alla foce della fiumara Assi, presenta una larghezza di spiaggia di circa 57 m ed una pendenza media del 15%; in questo tratto la spiaggia si mantiene ampia ed in buone condizioni, con una struttura dunale che appare in grado di proteggere adeguatamente il territorio retrostante. Nel Profilo 2 la spiaggia presenta un'ampiezza mediamente inferiore a 30m ed è soggetta ad una significativa erosione; si caratterizza per la presenza del lungomare a tergo dell'arenile il cui muro di sostegno risulta in più punti scalzato al piede dal processo erosivo. Il Profilo 3, delimitato a Sud dalla foce della Fiumara Stilaro, è caratterizzato da un'opera radente in pietrame realizzata per contrastare l'erosione. In questo tratto l'ampiezza media della spiaggia è intorno ai 10 m.

La vulnerabilità morfologica

Seguendo l'equazione (1) per ciascuno dei tre profili sono stati calcolati i valori degli indicatori che concorrono a determinare l'indice di impatto. Nelle Tabelle 22 e 23 sono riportati rispettivamente, per ciascun Profilo, i risultati del calcolo dell'indice di impatto ed il valore della vulnerabilità morfologica.

A proposito dei valori dell'indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso I_{Ru} (Tab. 22) si osservano, a parità di altezza d'onda di riferimento, valori crescenti passando dal primo al terzo profilo, sostanzialmente a causa della minore larghezza della spiaggia nel Profilo 3. Allo stesso modo, per i valori dell'indice di erosione a breve termine I_R , si osservano valori crescenti passando dal Profilo 1 al Profilo 3 in accordo con la diminuzione dell'ampiezza della spiaggia. Per quanto riguarda i valori dell'indice di efficienza delle opere di difesa I_D , è stato assegnato il valore 1 (assenza o inefficienza di opere) in ogni Profilo, infine i valori dell'indice di erosione a lungo termine E sono stati assunti pari a 0 dal momento che la velocità di erosione in ogni caso è risultata inferiore a 2 m/anno.

Tabella 22 - Calcolo dell'indice di impatto per ciascuno dei tre profili (con Pr si indica il profilo).

	I_{Ru}			I_R			I_D			E			I_i		
	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3	Pr1	Pr2	Pr3
Hs=3m	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	3	3
Hs =4m	1	1	2	1	1	2	1	1	1	0	0	0	3	3	5
Hs=5m	1	1	4	1	1	3	1	1	1	0	0	0	3	3	8
Hs=6m	1	2	4	1	2	3	1	1	1	0	0	0	3	5	8
Hs=7m	2	2	4	1	2	3	1	1	1	0	0	0	4	5	8

Tabella 23 - Livello di vulnerabilità morfologica per ciascun profilo.

	H _C (metri)	T _R (anni)	Vulnerabilità
Profilo 1	7	20	V ₂
Profilo 2	6	10	V ₃
Profilo 3	4	2	V ₄

Dall'esame dei valori dell'indice di impatto si nota che l'altezza d'onda critica assume valori decrescenti passando dal Profilo 1 al Profilo 3, parallelamente la vulnerabilità morfologica cresce. In particolare (Tab. 23) per il Profilo 1, l'altezza d'onda di criticità è pari a 7 m con il periodo di ritorno di 20 anni, pertanto la vulnerabilità morfologica del tratto di costa è moderata; per il Profilo 2 l'altezza d'onda critica è pari a 6 m con il periodo di ritorno di 10 anni, la vulnerabilità morfologica del tratto di costa è conseguentemente elevata. Infine per il Profilo 3 si ricava che l'altezza d'onda di criticità è pari a 4 m con il periodo di ritorno di 2 anni, pertanto la vulnerabilità morfologica è molto elevata.

La vulnerabilità socio-economica

Analogamente a quanto fatto per Guardia Piemontese, si è proceduto al calcolo dell'indice di danno costiero definito dall'equazione (10) per ciascuno dei tre profili in cui è stato suddiviso il litorale di Monasterace. In Tabella 24 sono riassunti i risultati ottenuti, mentre dalla Figura 13 è possibile osservare l'uso del suolo.

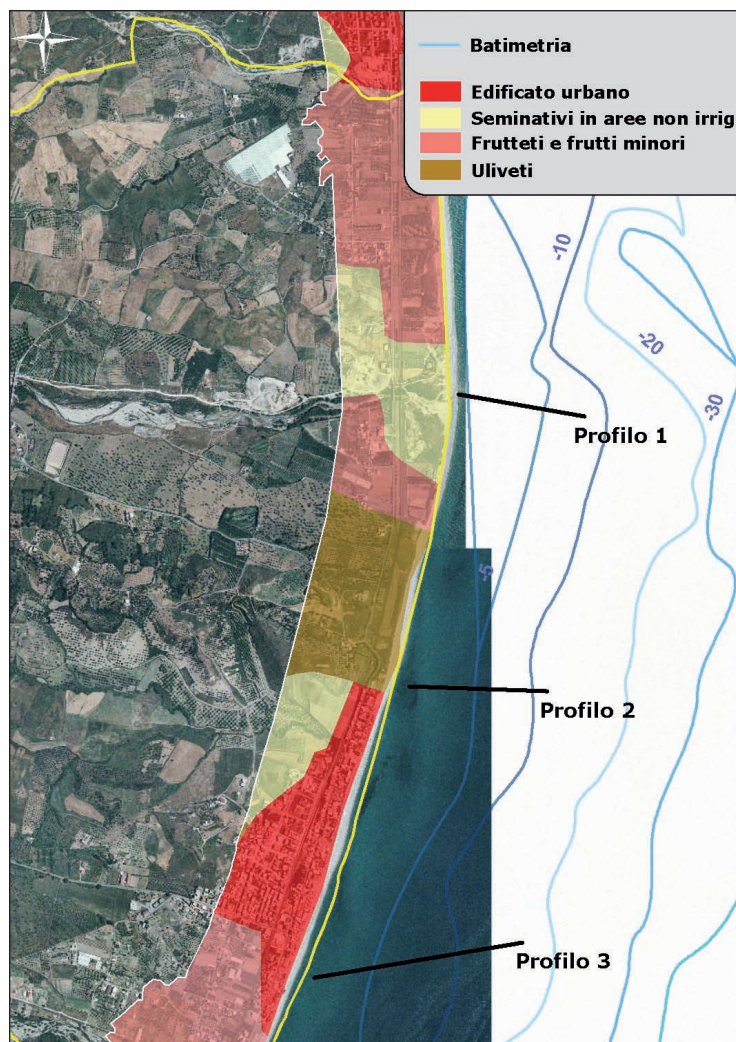


Figura 13 - Distribuzione dell'uso del suolo per il litorale di Monasterace, fonte CLC2000.

Il valore di P_{RICE} è equivalente in ogni Profilo in quanto riferito all'intero Comune. Per quanto riguarda l'indicatore U_{RICE} , presenta valori più elevati nel Profilo 3 in corrispondenza di una maggiore urbanizzazione del tratto costiero; nei Profili 2 e 3 il processo di urbanizzazione costiera non si è interrotto negli ultimi decenni, come testimoniato dal valore elevato dall'indicatore U_{10km} . Infine, non essendovi aree di elevato pregio ambientale, il valore di E_{RICE} è ovunque pari a zero.

Tabella 24 - Stima del danno potenziale per il litorale di Monasterace.

	P _{RICE}	U _{RICE}	E _{RICE}	U _{10km}	I _{DC}	Danno potenziale
Profilo 1	1	2	0	2	5	D ₂
Profilo 2	1	2	0	3	6	D ₂
Profilo 3	1	3	0	3	7	D ₃

Per quanto riguarda i livelli di valore esposto che sono stati assegnati ai beni presenti su ciascuno dei tre profili, si è considerato per il Profilo 1 la presenza di aree destinate per lo più ad uso agricolo (pertanto scarsamente abitate) cui corrisponde un valore esposto E₂ (moderato); per i Profili 2 e 3 la presenza nel retrospiaggia del centro abitato, cui corrisponde un valore esposto E₄ (molto elevato).

Incrociando i risultati ottenuti per il danno potenziale e per il valore esposto sono stati calcolati i livelli di vulnerabilità socio-economica riportati in Tabella 25.

Tabella 25 - La vulnerabilità socio-economica.

	Danno potenziale	Valore Esposto	Vulnerabilità socio-economica
Profilo 1	D ₂	E ₃	S ₁
Profilo 2	D ₂	E ₄	S ₂
Profilo 3	D ₃	E ₄	S ₃

A partire dai risultati ottenuti sul danno costiero e sul valore esposto, consegue un livello di vulnerabilità socio-economica crescente passando dal Profilo 1 al Profilo 3: si passa da limitati effetti sul tessuto socio-economico (Profilo 1), a probabili problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico (Profilo3), qualora fosse verificato un evento di particolare intensità.

Il rischio costiero

Il rischio da inondazione costiera è infine ottenuto incrociando i valori ottenuti per la vulnerabilità morfologica con quelli ottenuti per la vulnerabilità socio-economica, come illustrato nella Tabella 26.

Tabella 26 - Calcolo dei livelli di rischio da inondazione costiera per il litorale di Monasterace Marina.

	Vulnerabilità morfologica	Vulnerabilità socio-economica	Rischio
Profilo1	V ₂	S ₁	R ₀
Profilo2	V ₃	S ₂	R ₁
Profilo3	V ₄	S ₃	R ₃

Dall'applicazione al litorale di Monasterace della metodologia descritta, si ottengono i seguenti risultati sui livelli di rischio da inondazione costiera: il tratto di costa posto a Nord del centro abitato di Monasterace, che va da Punta Stilo fino a circa 1500m dalla fiamara Assi, identificato dal Profilo 1, presenta un rischio trascurabile; il tratto centrale del litorale di Monasterace identificato dal Profilo 2 e caratterizzato dalla presenza del lungomare presenta un rischio basso; infine il tratto di costa identificato dal Profilo 3, che interessa la zona più a Sud del litorale, presenta un rischio elevato (R₃).

Conclusioni

La presente metodologia per lo studio del rischio da inondazione costiera, che si caratterizza per applicazioni su scala territoriale di dettaglio, può rappresentare un utile strumento di riferimento per le Amministrazioni Pubbliche nella pianificazione e nella gestione integrata della fascia costiera. L'applicazione della metodologia ai comuni costieri di Guardia Piemontese e di Monasterace Marina ha evidenziato dei risultati apprezzabili alla

scala comunale, dimostrando la sua efficacia nel calcolare il rischio in maniera realistica. Infatti, nel caso di Guardia Piemontese il tratto costiero a maggior rischio non comprende la fascia in cui la spiaggia è più sottile, ma al contrario quello in cui essa presenta maggiore larghezza (in corrispondenza del centro abitato), nel caso di Monasterace Marina, invece, i risultati dell'analisi di rischio seguono l'andamento della minore larghezza della spiaggia.

Bibliografia

- APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e Servizi Tecnici, Presidenza del Consiglio dei Ministri) (2004) - *Atlante delle onde nei mari Italiani*. APAT, Roma.
- APAT (2005) - *Progetto Atlante Costiero*. APAT, Roma.
- Australian Government Greenhouse Office, 2006. *International assessments of the vulnerability of the coastal zone to climate change*. pp 1-30.
- Benassai E. (2006) - *Le dighe marittime*. Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, pp. 355.
- Benassai G., De Maio, Sansone E. (1994) - *Previsione delle onde estreme e persistenza delle mareggiate nel Golfo di Napoli*. Annali dell'Università di Napoli Parthenope, pp. 47-60.
- Benassai G. (2006) - *Introduction to Coastal Dynamics and Shoreline Protection*. Wit Press, pp. 332.
- Cutter S. L. (1996) - *Vulnerability to environmental hazards*. *Progress in Human Geography* 20(4): 529-539.
- Cutter S. L., Mitchell J.T., Scott M.S. (2000) - *Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina*. *Ann Assoc Am Geogr.*, 90: 713-737.
- De Waal J. P. e Van der Meer J. W. (1992) - *Wave runoff and overtopping on coastal structures*. Proceedings of the 23rd International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 2: 1758-1771.
- EUrosion project (2004): <http://www.euroSION.org>
- FLOODsite project (2005): *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, Language of Risk*. Report: T32-04-01
- FLOODsite project (2007)- *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and method*.
- Gornitz V.M., White T.W. e Cushman R.M. (1991) - *Vulnerability of the US to future sea level rise, Coastal Zone '91, Proceedings of the 7th Symposium on Coastal and Ocean Management*, American Society of Civil Engineers, pp. 1345-1359.
- Hewitt K. (1997) - *Region of risk: a geographical introduction to disasters*. Longman, Harlow.
- Hughes S. A. (2004). "Estimation of wave run up on smooth, impermeable slopes using the wave momentum flux parameter," *Coastal Engineering*. Elsevier, 51(11): 1085-1104.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) - *Summary for policymakers: climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Changes*; available at www.ipcc.ch
- ISO/IEC Guide 73 (2002) - *Risk Management - Guidelines for use in standards*.
- ITC 2004 International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation: <http://www.itc.nl>
- Massel, Pelinovsky (2001) - *Run up of dispersive and breaking waves on beaches*. *Oceanologia*, 43(1), 2001: 61-97.
- Mathiesen M., Goda Y., Mansard E., Martin M.J., Peltier E., Thompson E., Van Veddler G. (1994) - *Recommended practice for extreme wave analysis*, *Journal of Hydraulic Research*, vol. 32 n. 6.
- Messner F., Meyer V. (2005) - *Flood Risk Management-Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. Nato Sciences Series, Springer Publisher.
- Thieler E. R. (2000) - *National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-level Rise*. USGS 076-00.
- UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) (1977) - *Disaster prevention and mitigation: a compendium of current knowledge-land use aspects*, Vol 5. UNDRO, New York.
- Van der Meer J. W. e Stam C. M. (1992) - *Wave runoff on smooth and rough slopes of coastal structures*. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, 118(5): 534-550.

Ricevuto il 04/09/2009, accettato il 03/11/2009.