



Settore Programmazione Interventi di Protezione Civile sul territorio

P.O.R. Campania 2000 ÷ 2006

Misura 1.6 – Centro di documentazione, controllo e monitoraggio

per la conoscenza, la prevenzione e la gestione del rischio idrogeologico

Azione A – Studi ed indagini sui rischi e ricognizione dei sistemi di monitoraggio.

Attività a.6 –Gli scenari di rischio di erosione delle coste e relativi modelli

(D.G.R.C. n. 166 del 06 febbraio 2004)

**Protocollo integrativo di attuazione dell'attività A 6  
(Art. 3 della Convenzione quadro stipulata in data 24 febbraio 2002  
e repertoriata al n. 11)**

## **RELAZIONE SINTETICA SULLE ATTIVITA' SVOLTE**

del responsabile scientifico per l'attività A.6 per conto dell'AMRA nominato  
con nota n. 041207/365 del 07/12/2004 Prof. **\_Mario Calabrese**

## **1 Premessa**

La linea di costa campana ha una estensione di poco meno di 500 km e si sviluppa dalla foce del fiume Garigliano, al confine settentrionale con il Lazio, a Sapri, al confine meridionale con la Basilicata. Di questi circa 300 km sono rappresentati da costa alta e 200 km da costa bassa.

I litorali campani, come quasi tutti quelli italiani, negli ultimi cinquanta anni, a causa, principalmente, degli interventi antropici nei bacini idrografici confluenti lungo il territorio costiero - legati all'uso del suolo e alla difesa idrogeologica del territorio - e sulla fascia litoranea - con la costruzione di infrastrutture viarie e ferroviarie e di insediamenti abitativi con la conseguente distruzione dei cordoni dunari e con la realizzazione di opere di protezione costiera e di strutture portuali spesso realizzate senza una precisa conoscenza dei fenomeni morfodinamici in atto - sono interessati da vistosi fenomeni di arretramento.

Si consideri, a tal proposito, che in Campania i tratti di costa in arretramento o in frana, rappresentano, approssimativamente, più del 35% dell'intera linea di costa.

L'insistenza di cronici fenomeni erosivi in ambiti costieri storicamente sede di intense attività umane, sia insediative che produttive, ha generato un forte impatto economico ed ambientale.

Oltre a ciò, data la limitata larghezza di molte spiagge, e' sufficiente una mareggiata un po' più intensa, un arretramento di pochi metri o una oscillazione stagionale della linea di riva, per creare allarmi e una costante preoccupazione per coloro che vivono o lavorano nelle immediate adiacenze della costa a causa del rischio, o del "rischio percepito", di danni ingenti alle proprietà ed ai valori economici esposti.

Al di là delle cause che hanno determinato condizioni di pericolosità sulle coste campane, è chiaro che, per governare e affrontare le emergenze di un'area in continuo cambiamento e, oramai, fortemente irrigidita da trasformazioni urbanistiche connotate da elevati valori aggiunti economici, è necessario procedere, sulla base delle proiezioni future dei dati disponibili, alla valutazione, a scala regionale, dei livelli attesi di danno prodotti da agenti marini, che consentano, tenendo conto sia degli aspetti morfologici che socio-economici, di elaborare scenari per la pianificazione dell'emergenza e di individuare le aree costiere campane a maggior rischio verso cui indirizzare in via prioritaria le azioni di prevenzione, protezione e mitigazione.

Al fine di raggiungere questo obiettivo basilare, è stato impostato il presente studio che ha permesso di fornire una prima mappatura regionale informatizzata del rischio costiero indotto dalle forzanti meteo marine.

Nello studio le attività necessarie al conseguimento dell'obiettivo sopra esposto sono state articolate in cinque macrofasi, integrate tra loro, ognuna delle quali ha avuto lo scopo di perseguire i seguenti scopi specifici:

Fase 1: acquisire ed analizzare i dati fisici, economici, cartografici, cartografici CARG regione e APAT, progettuali e di rilievo in possesso dei diversi Enti territoriali, necessari per descrivere e valutare i fenomeni in atto, e fornire una prima base conoscitiva dello stato attuale dell'intera fascia litoranea campana.

Fase 2: fornire le specifiche per l'attività di raccolta dati e la loro informatizzazione; progettare e realizzare un sistema informatico georeferenziato (GIS) per l'archiviazione e la gestione dei dati e la elaborazione di scenari per la pianificazione dell'emergenza.

Fase 3: valutare la pericolosità da azione marina e la vulnerabilità morfologica del territorio costiero.

Fase 4: quantificare il valore socio economico dei tratti costieri.

Fase 5: classificare la costa in funzione dei differenti valori di rischio e individuare le priorità di intervento.

Nel seguito viene riportata una breve sintesi del lavoro svolto. A causa, però, della complessità del lavoro svolto, il presente documento non può, evidentemente, sostituire gli elaborati di progetto, ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

## **2 Acquisizione ed analisi dati di base (Fase 1)**

In questa fase del lavoro sono stati raccolti, individuati, descritti e catalogati tutti i dati necessari per le opportune analisi, sia quelli di base su cui è stato successivamente costruito il progetto (cartografie, sezioni , etc.) sia quelli di sintesi dei risultati di analisi o studi precedenti ottenuti con l'elaborazione di opportuni modelli di previsione e/o numerici.

## **3 Informatizzazione, archiviazione e gestione dei dati (Fase 2)**

In questa fase sono state in primo luogo individuate le caratteristiche che un database di gestione delle coste deve possedere. Sono state quindi delineate le linee guida per la realizzazione del database conforme agli scenari di rischio che si vogliono gestire.

Sono state altresì indicate le modalità di raccolta e di aggiornamento di tali dati per una gestione efficace degli scenari di rischio da erosione costiera.

## **4 Analisi meteomarine e studi di morfodinamica. Valutazione degli ambiti di pericolosità (Fase 3)**

Nell'analisi è stata , in primo luogo necessaria l'identificazione tipologica dei fenomeni naturali "scenari di evento" potenzialmente pericolosi rispetto ai quali valutare gli scenari di danno.

In linea di principio tali fenomeni variano in funzione della scelta delle scale temporali e spaziali prese a riferimento dal momento che su scale diverse si sviluppano processi completamente diversi.

Nei riguardi delle forzanti meteo-marine i litorali che caratterizzano le coste del Mediterraneo presentano delle caratteristiche comuni:

- presenza di escursioni di marea astronomica contenute e generalmente non in grado di condizionare l'evoluzione morfodinamica dei litorali;
- movimento dei sedimenti dovuto essenzialmente alle correnti indotte dal moto ondoso frangente;
- probabilità estremamente bassa di accadimento di eventi estremi particolari quali ad esempio onde di maremoto, uragani, ecc.

Tenuto conto della frequenza degli eventi e dell'ampiezza dell'area costiera interessata da ciascuno di essi, nello studio si è ritenuto che gli eventi di tempesta (mareggiate) fossero i fenomeni naturali di maggiore rilevanza di cui tener conto nella analisi di rischio.

Ad entrambi i suddetti fenomeni, infatti, sono connesse le maggiori conseguenze dirette e/o indirette sui beni che insistono nella fascia litoranea.

Si è proceduto pertanto a valutare e a perimetrare gli ambiti di pericolosità connessi all'erosione a breve termine (short term erosion hazard) e all'inondazione delle aree costiera (coastal flooding hazard) dovuti agli eventi di tempesta

Inoltre, poiché l'erosione costiera cronica (di lungo termine) può determinare riduzioni dell'ampiezza di spiaggia tali da aumentare il rischio in relazione a possibili eventi di mareggiata nello studio sono stati anche indicati i tratti costieri soggetti ad erosione cronica.

In particolare, la procedura di perimetrazione degli ambiti di pericolosità è stata articolata nelle seguenti fasi:

- divisione del territorio Regionale in unità fisiografiche;
- ricostruzione in ciascuna unità fisiografica del clima ondoso di largo e determinazione degli eventi estremi caratterizzati da differenti tempi di ritorno;
- trasferimento sottocosta degli eventi meteomarini estremi selezionati e valutazione dell'arretramento della spiaggia e della risalita del moto ondoso mediante l'impiego di modelli numerici.
- valutazione dei trend evolutivi (evoluzione morfologica a lungo termine);
- delimitazione delle aree pericolose mediante il confronto dei risultati delle simulazioni numeriche con la cartografia di riferimento.

A tal fine, nella prima parte di questa attività è stato analizzato il clima ondoso caratteristico delle coste della Campania.

Per una migliore comprensione delle dinamiche in atto sulle coste campane, la successiva attività di questa fase ha permesso di individuare le tendenze evolutive dei litorali.

Si è proceduto, quindi, ad analizzare la cartografia di base disponibile per tutta la costa campana, con particolare attenzione all'individuazione delle spiagge ed alle opere presenti su di esse.

A valle di queste analisi è stato possibile individuare sulla cartografia di base, quei tratti in cui risultano evidenti, su macroscala, fenomeni di arretramento e di avanzamento della linea di riva.

La fase successiva del lavoro ha riguardato la analisi della risposta morfodinamica della spiaggia ed il calcolo della inondazione costiera in presenza di eventi meteomarini estremi.

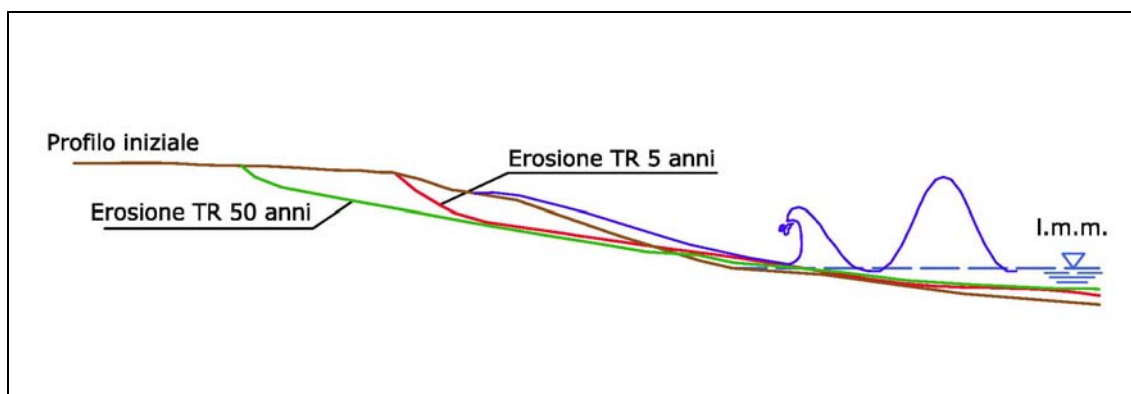
A tal fine, si è operata in primo luogo una caratterizzazione della fascia costiera da un punto di vista granulometrico, geometrico e tipologico (tipo di strutture presenti, presenza opere di difesa, etc.), selezionando una serie di sezioni (transetti) rappresentativi di ognuno dei tratti di costa analizzato. Ciascun transetto è stato spinto verso terra sino ad una distanza dalla linea di riva tra 50 e 100m ovvero fino a raggiungere la prima opera sita sulla costa e a mare sino ad una profondità compresa tra -30 e -10m.

Si ciascuna sezione è stata, poi, simulata l'azione delle onde estreme.

Lo studio della risposta morfodinamica del profilo di spiaggia è stato condotto a mezzo de modello numerico SBEACH (Storm-induced BEAch CHange) presente nel pacchetto CEDAS (Coastal Engineering Design & Analysis System) distribuito dalla Veritech e sviluppato da US Army Corps Of Engineers nell'ambito del Coastal Engineering research Program.

Sono state simulate le condizioni meteomarine con periodo di ritorno di 5 e 50 anni.

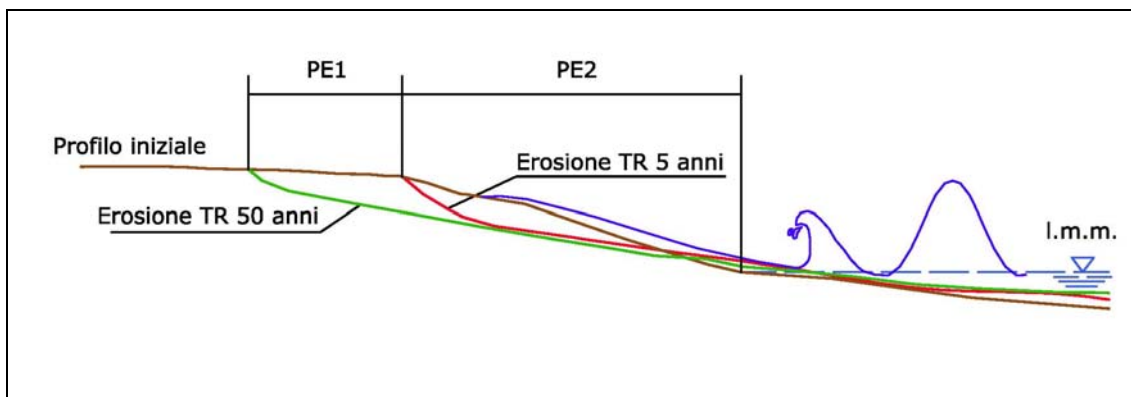
Così facendo è stato possibile riportare sulla cartografia di base le fasce di erosione con periodo di ritorno di 5 e 50 anni.



In questo modo è stato possibile individuare tra tutte le strutture presenti nei pressi della linea di riva, quelle che ricadono in entrambe le fasce (le più prossime alla riva) e quelle invece che ricadono nella sola area caratterizzata da erosione per mareggiate cinquantennali.

Le prime risultano localizzate in una posizione ad alta criticità, nei riguardi del fenomeno erosivo, mentre le seconde sono localizzate in aree a criticità minore.

Per questi motivi a tutta la fascia caratterizzata da erosione per eventi con  $TR = 5$  anni è stata associato un livello di pericolosità PE2 (Aree ad alta pericolosità da erosione), mentre all'area compresa tra il limite verso terra della fascia sopradetta ed il limite ultimo della fascia con erosione per eventi con  $TR = 50$  anni, è stata associato un livello di pericolosità PE1 (Aree a medio-bassa pericolosità da erosione). (Prodotto 3.5 – Prodotto 3.7)



Per quanto riguarda il calcolo delle fasce di inondazione è stato considerato l'effetto dei sovralti dovuti alle oscillazioni di lungo periodo, ovvero marea astronomica e meteorologica, e del sovralto dovuto al moto ondoso frangente e cioè set-up e run-up.

L'innalzamento dovuto alle oscillazioni di lungo periodo è stata stimato pari a 0.4m.

La quota massima di run-up è stata valutata con le formulazioni di Nielsen :

$$R_s^T = 0.02257 \cdot g^{0.5} \cdot H_{s0}^{0.5} \cdot T + 0.17 \cdot H_{s0} \quad \text{per } \tan\beta < 0.1$$

$$R_s^T = 0.447 \cdot g^{0.5} \cdot (\tan\beta) \cdot H_{s0}^{0.5} \cdot T \quad \text{per } \tan\beta > 0.1$$

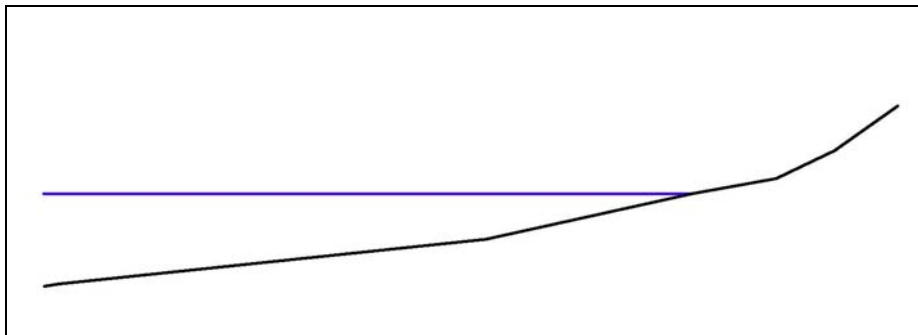
In tali formulazioni  $R_s^T$  rappresenta il run-up significativo totale, ovvero comprensivo anche della quota di set-up, mentre  $H_{s0}$  rappresenta l'altezza d'onda di largo.

La quota  $R_{max}$  di risalita del moto ondoso è stata determinata, poi, come somma della risalita da marea astronomica e meteorologica e run-up totale.

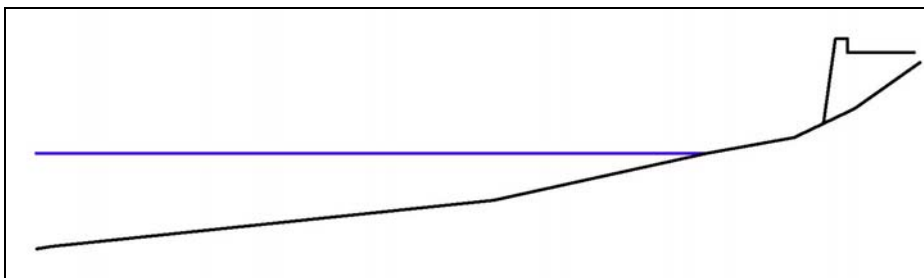
Nel calcolo sono state considerate le onde con periodo di ritorno le caratteristiche ondose individuate per lo studio della risposta morfodinamica, con l'aggiunta delle condizioni ondose con periodo di ritorno di 5, 50 e 100 anni.

Sono state considerate tre diverse tipologie di profili di spiaggia caratterizzati :

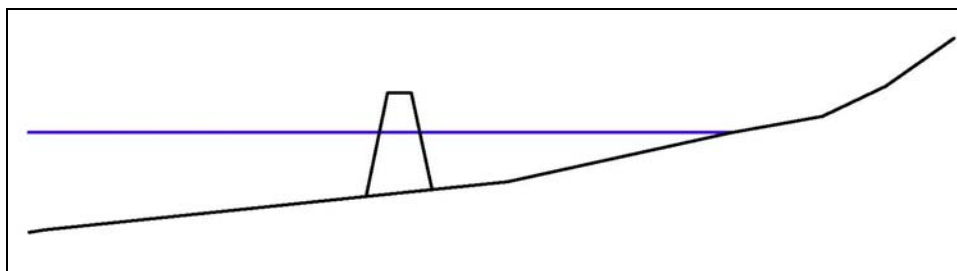
- dall'assenza di opere di difesa o di infrastrutture nella fascia costiera analizzata (**tipo 1**)



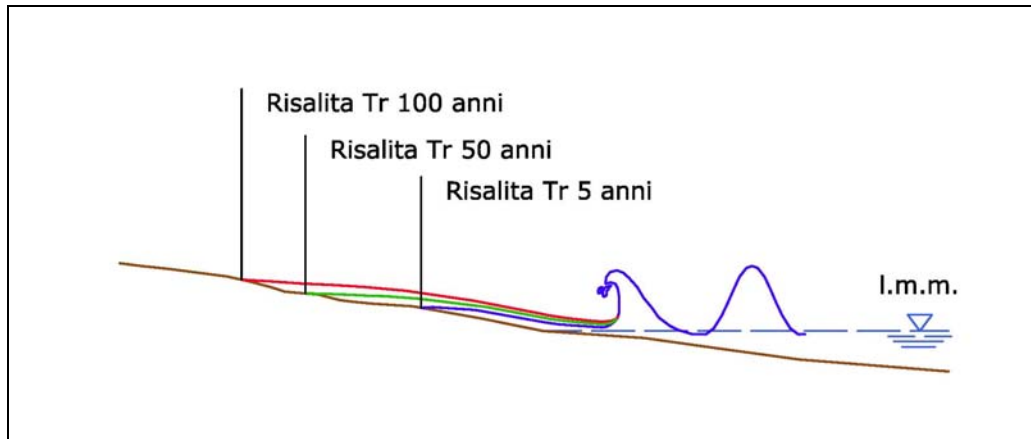
- dalla presenza infrastrutture in prossimità della linea di riva (**tipo 2**)



- dalla presenza opere di difesa distaccate (**tipo 3**)



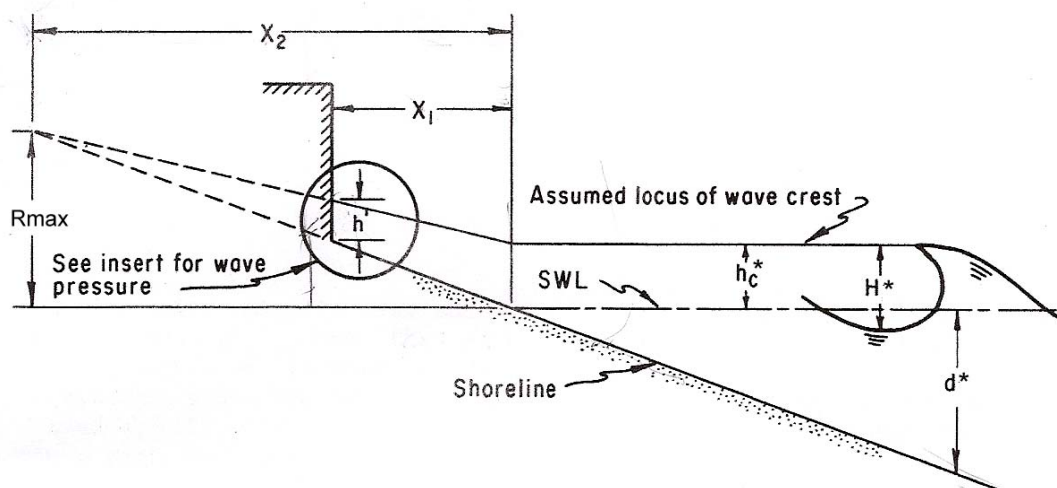
Nel caso delle sezioni di tipo 1, ovvero senza infrastrutture sulla spiaggia, la quota  $R_{max}$  è stata riportata sulla spiaggia al di sopra del livello idrico di riposo (SWL) individuando, in tal modo, l'estensione dell'area di allagamento.



Per tutte le altre tipologie di sezioni la quota  $R_{max}$  è stata confrontata con la quota massima della prima infrastruttura presente sulla spiaggia e con la quota del piede della struttura stessa.

Nel caso delle sezioni di tipo 3 è stato valutato l'effetto della presenza dell'opera di difesa sul fenomeno di run-up attraverso la stima del coefficiente di trasmissione dell'opera.

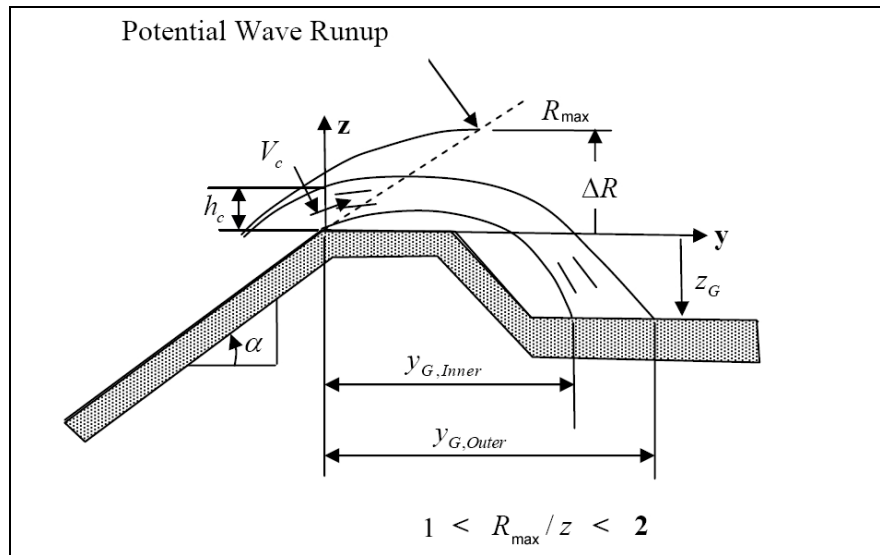
Nel caso in cui la quota  $R_{max}$  è risultata minore della quota massima della struttura allora si è provveduto a valutare il tirante idrico e la velocità alla base della struttura mediante la relazione di Camfield riportata nello "Shore Protection Manual" del 1984, che assume una decrescita lineare del run-up oltre la distanza  $X_1$ .



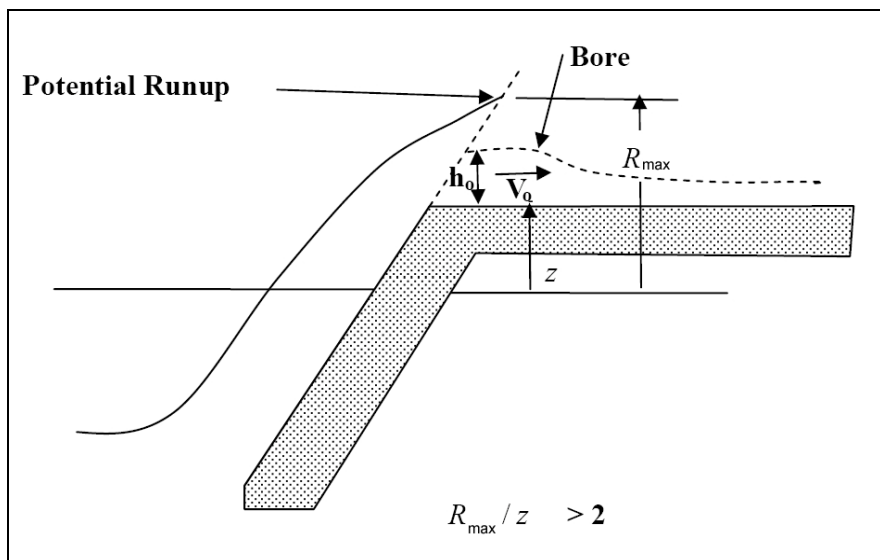
Nel caso in cui, invece, si è riscontrato un valore di  $R_{max}$  maggiore della quota massima della struttura allora si è provveduto a valutare l'overtopping sulla struttura così come il tirante idrico e la velocità residui a tergo dell'opera oltre che la distanza del limite della fascia di allagamento,

utilizzando un procedimento riportato nelle “Guidelines and specifications for flood hazard mapping” pubblicato dalla americana “Federal Emergency Management Agency” (F.E.M.A)

Tale procedimento identifica due tipologie di overtopping in funzione del rapporto tra  $R_{\max}$  e la quota  $z$  dell'opera al di sopra del livello marino comprensivo dei sovrizzo dovuto alle oscillazioni di lungo periodo.



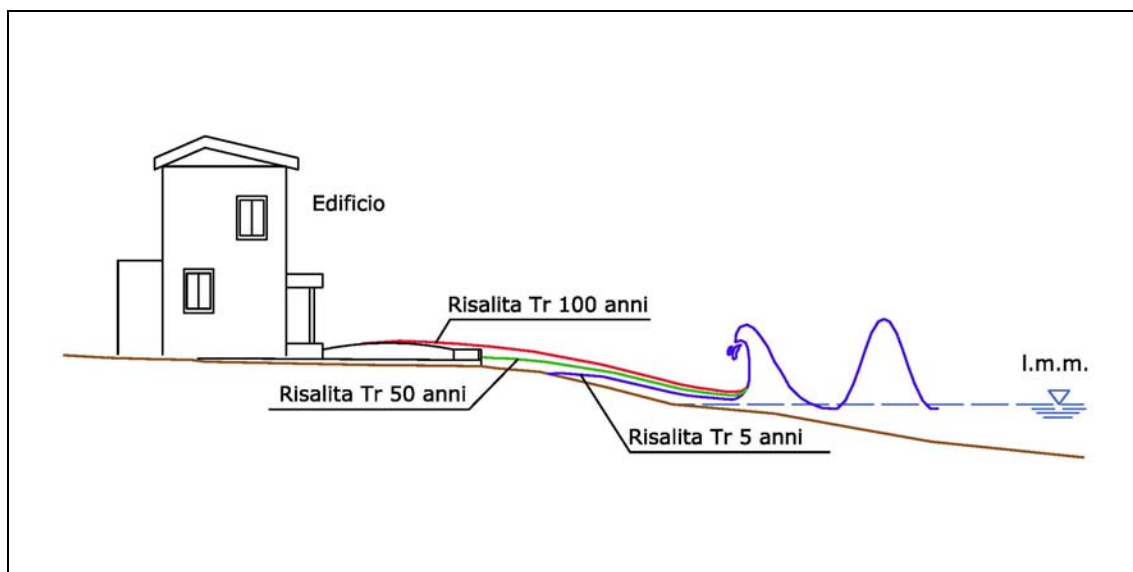
*“splash” overtopping*



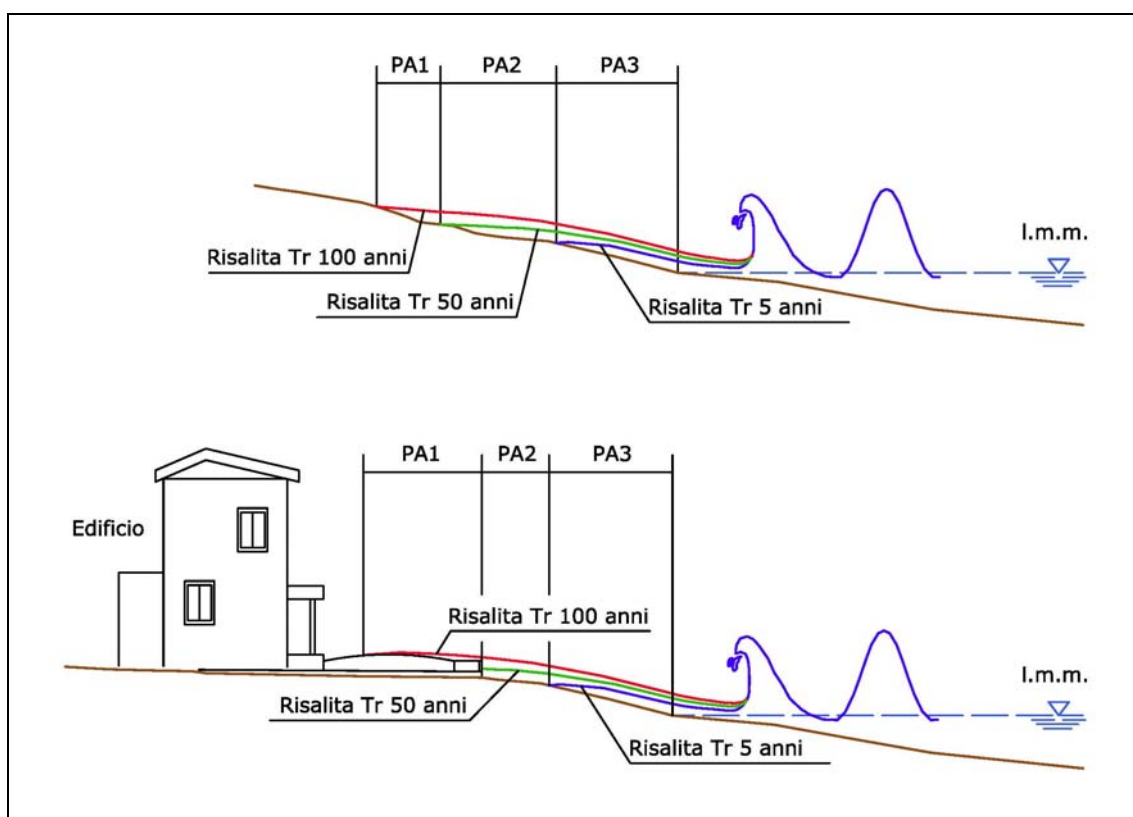
*“bore” overtopping*

Le simulazioni ed i calcoli effettuati hanno, quindi, permesso di perimetrare sulla cartografia di base le fasce di allagamento per risalite dovute ad onde con TR = 5, 50 e 100 anni, per tutto il litorale della Campania.





Alla fascia costiera interessata dall'inondazione per effetto di eventi ondosi con  $TR = 5$  anni è stata associato un livello di pericolosità PA3 (Aree ad alta pericolosità da allagamento), mentre all'area compresa tra il limite verso terra della fascia sopradetta ed il limite dell'area di allagamento associata ad eventi con  $TR = 50$  anni, è stata associato un livello di pericolosità PE2 (Aree a media pericolosità da allagamento), ed infine alla fascia compresa tra questo limite e il limite della fascia di allagamento con  $TR = 100$  anni è stata associata una pericolosità PA1 (Aree a bassa pericolosità da allagamento). (Prodotto3.5 – Prodotto 3.7)



Parallelamente agli studi condotti per la costa bassa della Regione Campania sono stati condotti degli studi per poter risalire ad perimetrazione delle aree di pericolosità (suscettibilità) per la costa alta.

## **5 Quantificazione del valore socio-economico dei tratti costieri (Fase 4)**

A partire dalla valutazione degli ambiti di pericolosità si è potuto effettuare una stima del danno atteso nella porzione di territorio costiero interessato dal limite delle fasce di allagamento e di erosione; in sintesi si è operato come segue:

- si è predisposto l'inventario dei beni presenti in queste fasce con l'ausilio di dati raccolti sul campo (in 6 Comuni campione) e di dati desunti dal censimento ISTAT, questi ultimi sono stati "corretti" statisticamente utilizzando i dati raccolti nei Comuni campione;
- sulla scorta dei dati raccolti si è determinata l'entità dei beni esposti, sia in termini "fisici" (caratteristiche tipologico-costruttive) che in termini economici (tipologia e dimensione delle attività produttive presenti);
- si è determinata, mediante una accurata analisi cartografica in ambiente GIS, l'esatta posizione dei beni esposti, determinante per stabilire la forza dell'impatto del flusso meteo marino;
- si è determinato in base alle caratteristiche tipologico-costruttive delle diverse tipologie dei beni esposti, il grado di "vulnerabilità", ossia la propensione a subire danno per l'impatto con il flusso meteo marino;
- si è costruito un modello che assume come parametri rappresentativi della sollecitazione l'altezza del tirante e la pressione dinamica di impatto e che, per ogni livello di sollecitazione, fornisce la stima del danno "fisico" atteso, in funzione della "vulnerabilità" dei beni esposti. Il modello è basato sulla costruzione di "matrici di probabilità di danno" ;
- applicando il modello a ciascun transetto costiero si è effettuata la stima del danno "fisico" atteso sull'intero territorio oggetto di studio;
- successivamente, per poter stimare correttamente il danno economico, si è analizzato il tessuto socio-economico delle aree ricadenti nelle fasce di pericolosità. Si sono individuate le principali attività produttive presenti e le loro caratteristiche in termini di dimensione e livello di qualità (ad esempio si sono individuati gli alberghi per categoria e numero di stanze da cui è possibile risalire alla produttività media e stagionale etc.);

- ## 6 Carta del rischio e sistema informatico georeferenziato GIS (Fase 5)