

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/295074099>

Progettazione e implementazione di un sistema previsionale di allerta inondazione per le coste del Comune di Napoli

Chapter · January 2015

CITATION

1

READS

376

5 authors, including:



Diana Di Luccio

Parthenope University of Naples

25 PUBLICATIONS 78 CITATIONS

SEE PROFILE



Raffaele Montella

Parthenope University of Naples

69 PUBLICATIONS 576 CITATIONS

SEE PROFILE



Eugenio Pugliese Carratelli

Università degli Studi di Salerno

68 PUBLICATIONS 381 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



wave run-up and rip currents observation on beaches [View project](#)



Marine Spatial Planning [View project](#)

Progettazione e implementazione di un sistema previsionale di allerta inondazione per le coste del Comune di Napoli

Diana Di Luccio

Istituto per l'ambiente Marino Costiero
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Napoli (NA), Italia
diana.diluccio@gmail.com

Giorgio Budillon, Raffaele Montella

Dipartimento di Scienze e Tecnologie
Università degli Studi di Napoli
"Parthenope"
Napoli (NA), Italia
budillon@uniparthenope.it
raffaele.montella@uniparthenope.it

Eugenio Pugliese Carratelli,
Fabio Dentale

Dipartimento Ingegneria Civile
Università degli Studi di Salerno
Fisciano (SA), Italia
epc@unisa.it
fdentale@unisa.it

Sommario— L'ambiente costiero è un sistema con una dinamica complessa, influenzata da fattori naturali e antropici che determinano la sua evoluzione nel tempo e nello spazio a breve e lungo termine. La fascia costiera del Comune di Napoli, è molto antropizzata ed eventi meteo-marini estremi possono provocare ingenti danni in termini paesaggistici, sociali ed economici. L'idea di utilizzare strumenti numerici ed informatici per garantire ed aumentare la sicurezza dei cittadini e delle infrastrutture prospicienti la costa è nata da una collaborazione tra il Dipartimento Ambiente Servizio Tutela del Mare del Comune di Napoli e il Dipartimento di Scienze e Tecnologie (DiST) dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" con la collaborazione del Centro inter-Universitario Grandi Rischi (CUGRi) di Salerno.

Il risultato di questo lavoro è stato l'implementazione di un sistema di previsione e gestione degli allarmi connessi a eventi di mareggiata, da utilizzare come supporto decisionale per gli enti locali e gli stabilimenti balneari della del Comune di Napoli. Le attività sono state svolte utilizzando le risorse modellistiche e computazionali del Centro Campano per il Monitoraggio e la Modellistica Marina ed Atmosferica (CCMMA) dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

Keywords— mareggiata; *run-up*; *overtopping*; modellistica numerica; *shallow water*; *forecasting*.

I. INTRODUZIONE

L'antropizzazione delle coste con strutture abitative e di trasporto è aumentata progressivamente negli ultimi decenni, con forti impatti di tipo ambientale, sociale ed economico. Le fonti ISTAT evidenziano che il 34% del territorio nazionale compreso nella fascia dei 300 m dalla riva, area che la normativa annovera tra i beni da tutelare per il loro valore paesaggistico (D.Lgs. 42/2004 e s.m.i.), è urbanizzata. All'elevata densità di popolazione corrispondono numerosi insediamenti urbani e/o produttivi che, in molte zone, hanno alterato notevolmente le caratteristiche naturali del territorio.

Gli strumenti normativi vigenti in materia di protezione dell'ambiente marino e costiero hanno come denominatore comune lo sviluppo del coordinamento tra i settori economici,

ambientali e amministrativi. A livello nazionale sono state attivate procedure inter-istituzionali finalizzate alla ratifica del Protocollo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere entrato in vigore il 24 marzo 2011. A livello regionale è sempre più evidente e diffuso un approccio integrato nell'elaborazione di strumenti per la gestione dell'area costiera.

La costa campana è densamente interessata da attività antropiche ed eventi meteo-marini estremi non correttamente gestiti possono portare ingenti danni in termini paesaggistici, sociali ed economici. Da questa motivazione è nata l'esigenza, da parte delle autorità locali, di dover fare affidamento ad un sistema di allerta basato su strumenti di previsione e gestione degli allarmi connessi ad eventi di mareggiata da utilizzare come supporto decisionale in caso di emergenze ambientali.

I. STATO DELL'ARTE

La Campania può vantare una lunga storia in materia di studi e di azioni per la sicurezza delle coste. Da tempo, infatti, gli Istituti di ricerca della regione svolgono attività di monitoraggio e analisi del moto ondoso ed hanno sviluppato una vasta esperienza sia nella modellistica oceanografica che nella gestione di boe ondometriche nei Golfi di Napoli e di Salerno [1] [2].

Per quanto riguarda gli aspetti operativi, già nel 1997 il CUGRi redasse per la Provincia di Salerno il piano di Previsione e Prevenzione dei rischi, che includeva un "Settore Mareggiate"; nel 1999-2000, l'Autorità di Bacino Sinistra Sele, prima in Italia, introdusse il "Settore Erosione Costiera" nel Piano Straordinario per la delimitazione delle aree a rischio, anch'esso redatto dal CUGRi. Le metodologie sviluppate furono oggetto di pubblicazioni anche internazionali [3] [4] [5].

Successivamente la Regione Campania svolse, attraverso l'AMRA (Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale) e nel quadro del P.O.R. Campania 2000-2006, un importante lavoro di indagine sui problemi della sicurezza delle coste. Tale lavoro, che tra l'altro prevedeva anche un'ipotesi di

sistema di preallarme [6] mai realizzato, è stato svolto in collaborazione tra l'Università di Napoli Federico II, il CUGRI ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero: esso è alla base delle metodologie impiegate per la parte più strettamente costiera del lavoro qui presentato. Negli anni successivi, varie altre Autorità si sono dotate di strumenti per la difesa delle coste ed in particolare, l'Autorità di Bacino Nord Occidentale (ora incorporata nell'Autorità di Bacino Regionale Campania Centrale) si dotò di un Piano per la difesa delle Coste, che contiene disposizioni normative generali e specifiche linee guida in materia di assetto e gestione della fascia costiera e le cui norme di attuazione prevedono che *“nelle aree a rischio elevato d'inondazione, le strutture stagionali, amovibili e temporanee ad uso turistico e balneare potranno essere utilizzate, subordinatamente all'attuazione di un sistema di monitoraggio e pre-allertamento. Qualora tale sistema non dovesse essere attivo ovvero non risultasse approvato dagli enti competenti, le strutture in questione dovranno essere totalmente rimosse”*.

Per adempiere a queste prescrizioni, il Comune di Napoli ha richiesto al DiST di sviluppare un sistema innovativo per la gestione in tempo reale di soglie di allarme, integrando così la preesistente rete di monitoraggio meteo marino dell'Università degli Studi di Napoli *“Parthenope”*. Il progetto pilota, realizzato con la collaborazione del CUGRI, è stato operativo per tutto il periodo balneare del 2014 su alcune aree della fascia costiera pilota, fornendo un supporto decisionale al Comune di Napoli ed ai gestori di stabilimenti balneari per la pianificazione e l'elaborazione di strategie di emergenza da attivare in caso di eventi meteo-marini estremi che coinvolgono il litorale. Terminata la fase pilota, è ora in corso un fase di ristrutturazione e di implementazione per rendere il sistema pienamente operativo anche per il futuro.

II. IL PARAGGIO PILOTA

Il paraggio studiato in questo lavoro interessa la fascia costiera rientrante nei confini amministrativi del Comune di Napoli. Sulla base dei documenti pubblici disponibili è stata analizzata la cartografia comunale della costa di Napoli, con particolare attenzione all'individuazione delle spiagge e delle opere presenti su di essa. Sono state inoltre individuate le zone a maggiore rischio d'inondazione per la presenza di stabilimenti balneari e/o strade prospicienti la riva, con o senza opere di difesa.

Sono state selezionate 21 sezioni (transetti) rappresentative di ognuno dei tratti di costa da monitorare (Tabella 1). Ciascun transetto è stato spinto verso terra fino a una distanza dalla linea di riva di 50-100 m, oppure fino a raggiungere la prima infrastruttura sita sulla costa e a mare fino ad una profondità compresa tra -30m e -10m in, relazione all'accuratezza del profilo batimetrico disponibile. I transetti individuati ricadono nelle seguenti quattro macro-aree:

- Area Bagnoli/Pozzuoli;
- Area Lungomare;
- Area Posillipo;
- Area San Giovanni.

Ognuno di essi è identificato da una coppia di coordinate riferite al punto di contatto terra-mare, in corrispondenza della

linea di costa. Riguardo alle caratteristiche morfologiche e geometriche del settore di costa considerato, nonché alla presenza/assenza di strutture di protezione sono stati individuati i seguenti scenari:

1. Spiaggia;
2. Parete sub-verticale o barriera di protezione aderente;
3. Spiaggia con barriera di protezione distaccata;
4. Parete sub-verticale e barriera di protezione distaccata.

Questo non è vincolante dal punto di vista di espansione e adattabilità del software poiché, utilizzando le opportune formule empiriche sarà possibile ampliare lo spettro delle casistiche da prendere in esame.

TABELLA I. TRANSETTI MONITORATI

Area ^a	Transetti		
	Nome	Coordinate	Scenario ^a
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Napoli - Dazio	14° 9' 25.531" N 40° 49' 3.331" E	2
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via di Pozzuoli	14° 9' 43.222" N 40° 48' 55.649" E	1
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via di Pozzuoli - Rotonda Belvedere	14° 9' 44.600" N 40° 48' 54.101" E	1
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Coroglio - L'Arenile	14° 9' 55.750" N 40° 48' 44.348" E	1
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Coroglio - Città della Scienza	14° 10' 20.780" N 40° 48' 13.180" E	3
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Coroglio - Italsider	14° 10' 23.588" N 40° 48' 6.469" E	1
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Nuova di Nisida - Arena S. Antonio	14° 10' 29.269" N 40° 47' 55.900" E	1
AreaBagnoli/Pozzuoli	Via Coroglio - Arin	14° 10' 3.461" N 40° 48' 30.370" E	2
Area Lungomare	Via Caracciolo - Stazione Zoologica	14° 14' 12.559" N 40° 49' 54.052" E	2
Area Lungomare	Piazza Vittoria	14° 14' 12.559" N 40° 49' 52.770" E	3
Area Lungomare	Via Parthenope - Castel dell'Ovo	14° 14' 47.641" N 40° 49' 46.430" E	2
Area Posillipo	Via Posillipo - Baia delle Rocce Verdi	14° 11' 55.090" N 40° 47' 50.071" E	2
Area Posillipo	Via Posillipo - Bagno Sirena	14° 12' 49.651" N 40° 49' 9.131" E	3
Area Posillipo	Via Posillipo - Bagno Elena	14° 12' 54.551" N 40° 49' 16.252" E	1
Area Posillipo	Via Posillipo - Bagno Ideal	14° 12' 58.230" N 40° 49' 18.350" E	1
Area Posillipo	Via Marechiaro - Villa Imperiale	14° 11' 25.260" N 40° 47' 38.260" E	2
Area Posillipo	Via Marechiaro - Il Gabbiano	14° 11' 40.610" N 40° 47' 45.110" E	2
Area Posillipo	Via Marechiaro - Lido Marechiaro	14° 11' 31.531" N 40° 47' 39.570" E	4
Area San Giovanni	N1	14° 18' 38.020" N 40° 49' 42.128" E	1
Area San Giovanni	N2	14° 18' 51.430" N 40° 49' 32.239" E	1
Area San Giovanni	N3	14° 19' 1.672" N 40° 49' 27.091" E	1

a. Tipologia di scenario a cui appartiene ciascun transetto

b. Area geografica di interesse in cui il transetto ricade

III. LA CATENA MODELLISTICA OPERATIVA

Gli obiettivi precedentemente illustrati sono stati raggiunti attraverso l'implementazione di un sistema di previsione meteo-marina a scala regionale, ad alta risoluzione spaziale nella Regione Campania, con dominio innestato sul Golfo di Napoli. Gli strumenti di previsione utilizzati sono stati opportunamente configurati utilizzando un sistema di calcolo ad alte prestazioni per gestire ed eseguire una catena modellistica basata sugli algoritmi implementati nei modelli numerici open-source WRF (*Weather Research and Forecasting*) e WW3 (*Wavewatch III*). La catena modellistica, regolata da una struttura di tipo *workflow* (Fig. 1), ha come strumento principale il modello numerico WRF per la previsione dei forzanti atmosferici necessari ad alimentare il modello WW3 per la stima del moto ondoso *offshore*, che costituisce le condizioni iniziali e al contorno per la modellizzazione delle onde in *shallow water*. L'azione del moto ondoso sul litorale non dipende solo dal clima meteo-marino al largo e dall'esposizione del paraggio, ma anche dagli effetti che piccole variazioni della batimetria o presenza di ostacoli inducono nella propagazione delle onde verso costa (rifrazione, *shoaling*). Un risolutore di equazioni matematiche che regolano il trasporto fisico delle onde da largo a costa consente di ottenere i parametri del moto ondoso in prossimità di ciascun transetto monitorato. Tali condizioni sono utilizzate per valutare l'entità dell'inondazione in termini di *run up* e/o *overtopping*, tenendo conto del modello di decadimento dell'onda frangente. A ciò è associato un sistema in grado di gestire soglie di allarme secondo la durata e l'intensità dell'evento di mareggiata previsto dai modelli. Questo risultato è ottenuto tenendo conto della geomorfologia dell'area d'interesse e della presenza/assenza di opere di difesa. Il sistema di *alert* invia un messaggio tramite e-mail qualora siano superati i livelli soglia definiti per ciascun transetto.

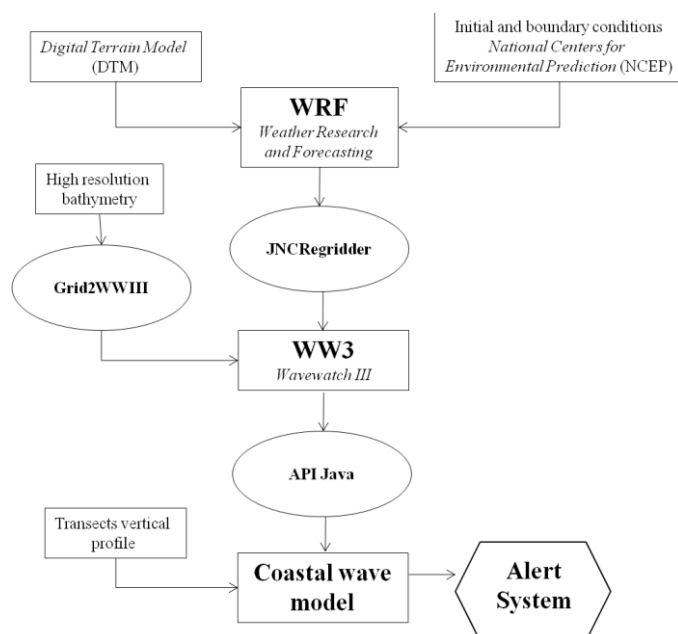


Fig. 1. Workflow della catena modellistica operativa e moduli software di interfaccia tra i modelli numerici.

L'accesso ai dati è possibile attraverso il portale *meteo.uniparthenope.it*; a tale scopo è stata sviluppata un'interfaccia utente semplice ed efficace come web application, basata sul *Content Management System* (CMS) *Drupal*.

L'accoppiamento (*coupling*) fra i modelli numerici è di tipo *offline*, cioè gli *output* di un modello sono utilizzati come *input* per un altro. Questo tipo di *coupling* richiede fasi di pre-processing e post-processing per adattare i dati affinché l'interfacciamento funzioni correttamente.

Le operazioni più comuni sono il ri-campionamento su differenti griglie spaziali e/o su diversi riferimenti temporali e le conversioni di formato file più o meno complesse. Per soddisfare questa esigenza, sono stati sviluppati moduli software *ad hoc* sfruttando le potenzialità dei linguaggi di programmazione *Java* e *Python*.

Nel diagramma a blocchi (Fig. 1) sono evidenziati i differenti moduli funzionali sviluppati e le relative connessioni, intese come percorso dei dati da un modulo all'altro.

Gli *output* dei modelli previsionali utilizzati sono in formato NetCDF (*Network Common Data Form*), rispondenti alle richieste della comunità scientifica per la distribuzione e condivisione di dati multidimensionali.

Per accedere e manipolare file NetCDF con standard CDL (*network Common data form Description Language*) è stata utilizzata l'interfaccia di programmazione Java-NetCDF che ha fornito un valido supporto per lo sviluppo dell'applicazione di accoppiamento tra i modelli WRF e WW3. A tale scopo è stato implementato il software JNCRegridder (*Java NetCDF Regridder*). Una serie di API (*Application Programming Interface*) sono state realizzate per l'accesso diretto ai dati prodotti dal modello WW3.

Il sistema di *alert* implementato sfrutta le potenzialità del linguaggio di programmazione *Python*, supportato dalle librerie necessarie all'interfacciamento con archivi di dati NetCDF.

Numerosi *shell script* sono stati preparati per ottimizzare gli automatismi necessari a rendere operativa la catena modellistica, realizzando un flusso di lavoro indipendente dal continuo intervento di operatori dedicati.

L'analisi e la visualizzazione dei risultati ottenuti dai modelli sono effettuate con il software GrADS (*Grid Analysis and Display System*), un sistema interattivo usato per accedere e visualizzare dati penta-dimensionali (5D) localizzati su griglie spaziali regolari.

Un sistema di previsione basato sulla realizzazione di una catena modellistica ambientale come quella descritta, implica di risolvere numericamente, anche più volte al giorno e con risoluzioni crescenti, sistemi analitici costituiti da centinaia di equazioni. Le risorse computazionali necessarie richiedono la realizzazione di un'infrastruttura informatica *hardware* e *software* specializzata; per questo lavoro è stato utilizzato il *cluster Blackjeans*, messo a disposizione dall'Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

A. WeatherResearch and Forecasting (WRF)

Il WRF (*Weather Research and Forecast*) è un modello numerico di simulazione atmosferica *open-source* e in continuo sviluppo (<http://www.wrf-model.org>).

La previsione atmosferica per questo lavoro è stata ottenuta utilizzando i dati a scala globale prodotti dal modello meteorologico *Global Forecast System* (GFS) dell'NCEP, che costituiscono, insieme a un Modello Digitale del Terreno (DTM) di alta risoluzione, i parametri di *input* necessari al modello meteorologico WRF.

L'uso operativo del WRF prevede due distinte fasi, quella di preparazione e quella di esecuzione vera e propria del modello. La prima è svolta da un sottosistema *software* denominato WPS (*WRF Preprocessing System*) che comprende i moduli GEOGRID, METGRID e UNGRIB (Fig. 2). Il modulo GEOGRID effettua un *subsetting* del DTM e restituisce in *output* il file dell'area che sarà interessata dalla simulazione in formato NetCDF.

Il modulo UNGRIB effettua una conversione/estrazione dei dati relativi alle condizioni iniziali ed al contorno, prodotti dal modello GFS, dal formato Grib2 a quello NetCDF.

Il modulo METGRID riceve in *input*, oltre alla definizione dei domini, anche i dati prodotti dai moduli GEOGRID e UNGRIB. Il risultato è costituito da file NetCDF che contengono le condizioni iniziali e quelle al contorno interpolate sui domini della simulazione per l'intervallo temporale considerato. Questo modulo termina la preparazione dei dati. Il modulo REAL prepara i dati da usare per un caso reale e non idealizzato. In particolare, sono creati i file per l'inizializzazione e per le condizioni al contorno di ciascun dominio, che saranno usati dal modulo solutore.

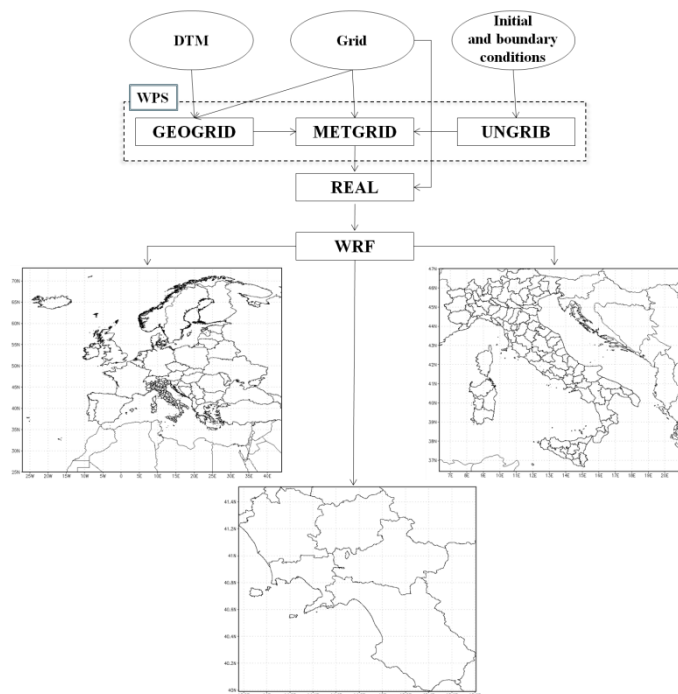


Fig. 2. Configurazione del modello WRF operativo presso il CCMMMA dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

Il tempo di calcolo necessario a ciascuna simulazione è proporzionale alle dimensioni del dominio di calcolo in termini di celle. Per aumentare la risoluzione localmente è stata utilizzata la tecnica del *nesting two way* che consente la massima accuratezza della simulazione. Il CCMMMA produce previsioni meteorologiche per un massimo di 144 ore (6 giorni di previsione) ed i dati prodotti sono disponibili sul portale meteo.uniparthenope.it con cadenza oraria.

B. Wavewatch III (WW3)

Il WW3 (*WaveWatch III*) è un modello di propagazione di onde marine di terza generazione, sviluppato presso il NOAA/NCEP. Per l'implementazione del WW3 e la relativa inclusione nella catena modellistica è stata sviluppata una suite di software accessori per la configurazione automatica dei domini innestati, per la preparazione degli *input* in maniera coerente e per l'accoppiamento con il modello meteorologico WRF.

Per la costruzione del modello batimetrico di riferimento, è stato utilizzato ETOPO1, un modello globale della Terra che integra la topografia delle terre emerse e la batimetria dei fondali ad una risoluzione orizzontale di 1/60 di grado (1 arc-minute). Per l'accoppiamento *one-way* tra i modelli WW3 e WRF è stato sviluppato il *software JNCRegridder*, sfruttando le potenzialità del linguaggio di programmazione ad oggetti *Java* e la libreria *JAVA-NetCDF*. Questo software ricampiona dati di vento con interpolazione lineare bidimensionale per passare dalla griglia Aracawa-C del WRF a una griglia regolare adoperata dal WW3.

Il sistema produce previsioni del moto ondoso per i domini mostrati in Fig. 3 con cadenza oraria per un totale di 144 ore di simulazione (6 giorni).

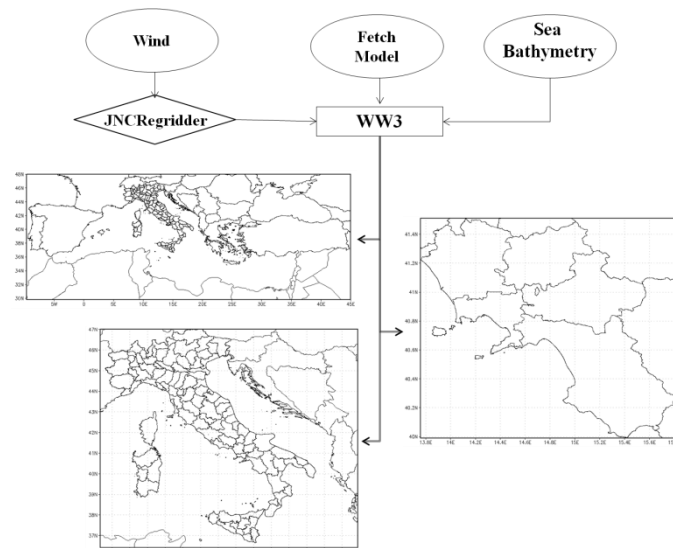


Fig. 3. Configurazione del modello WW3 operativo presso il CCMMMA dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope".

IV. TRASFERIMENTO ONDE COSTA-LARGO

I punti più vicini alla costa del dominio a più alta risoluzione del modello WW3 sono stati utilizzati come “ondametri virtuali” (OV).

Per ciascun OV la catena modellistica implementata fornisce ogni giorno le previsioni del moto ondoso con cadenza oraria. Un software, interamente sviluppato in linguaggio *Java*, consente, sfruttando le opportune relazioni fisico-matematiche, di risolvere le problematiche relative alla propagazione delle onde in acque basse, in cui la morfologia della costa e la presenza di un fondale a bassa profondità influenzano notevolmente la dinamica, tanto da modificare le caratteristiche delle onde fino al frangimento delle stesse.

Secondo la tipologia di scenario sono state applicate differenti formulazioni empiriche che hanno portato alla stima dei parametri di *run up* e/o *overtopping*, alla base degli studi sul livello di pericolosità associato a ciascun transetto.

A. Spiaggia

La massima quota che la superficie libera raggiunge rispetto al livello medio del mare è definita dal *run up* (R). Questo parametro, che assume importanza notevole nel dimensionamento delle opere marittime e nella sicurezza dei litorali, dipende dalla ripidità dell'onda incidente e dalle caratteristiche geometriche del fondale e della sponda.

Per il calcolo di R è stata utilizzata la formulazione empirica proposta da Mase [7] per determinare il valore del *run up* rispetto al livello medio del mare, da cui si può ricavare la distanza di inondazione dalla linea di costa (Fig. 4):

$$R = 0.88 \left(\frac{\tan \phi}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \right)^{0.69} H_0 \quad (1)$$

in cui:

H_0 = altezza d'onda significativa *off-shore*;

ϕ = angolo d'inclinazione della spiaggia;

L_0 = lunghezza d'onda *off-shore*.

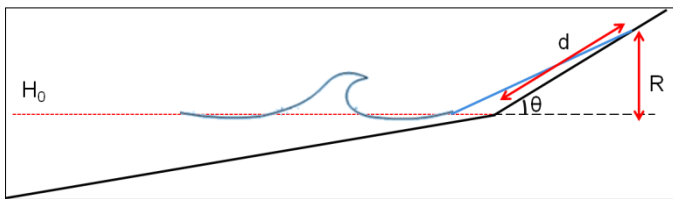


Fig. 4. Procedura per il calcolo del run-up nel caso di spiagge. Parametri: d=distanza d'inondazione; R=*run up*; θ =angolo d'inclinazione della spiaggia; H_0 = altezza d'onda significativa *off-shore*.

B. Parete sub-verticale o barriera di protezione aderente

In presenza di barriere di protezione aderenti (Fig. 5), le portate tracimanti (*overtopping*) dipendono dal tipo di interazione onda-struttura. L'approccio seguito in questo lavoro segue le linee generali proposte nel citato studio AMRA per la Regione Campania, con alcune modifiche alle formulazioni impiegate a causa della limitatezza dei dati batimetrici e topografici disponibili.

In particolare è stato seguito l'approccio di Allsop et al [8].

Si distinguono quindi tre casi, a seconda del valore di profondità alla rottura dell'onda h_* : impulsivo (3), non impulsivo (4) ed intermedio.

La profondità dell'onda alla rottura (2) è calcolata come:

$$h_* = 1.3 \frac{\text{depthP}}{H_{m0}} \frac{2\pi(\text{depthP})}{gT^2} \quad (2)$$

In cui:

H_{m0} = altezza d'onda significativa al piede della struttura

T = periodo medio dell'onda

depthP = profondità al piede della struttura

- se $\text{depthP} \leq 0$ la barriera è totalmente emersa e l'*overtopping* si manifesta sotto forma di lamina d'acqua che scorre al di sopra della struttura (*green water*). I danni associati sono relativamente moderati;
- se $\text{depthP} > 0$ le onde possono frangere violentemente contro la barriera dando luogo ad *overtopping* caratterizzato da forti getti verticali (*uprushing jet*).

La portata di *overtopping* Q è calcolata come:

- Caso non impulsivo ($h_* > 0.3$)

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}^3} \right) \quad (3)$$

- Caso impulsivo ($h_* < 0.2$)

$$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{gh_s^3}} = 1.5 \times 10^{-4} \left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3.1} \quad (4)$$

- Caso intermedio ($0.2 < h_* < 0.3$)

La portata di *overtopping* è calcolata sia per il caso impulsivo che per quello non impulsivo ed assume valori molto grandi.

Come è possibile notare dalle formule precedentemente descritte, l'entità dell'*overtopping* dipende, oltre che dall'altezza d'onda significativa h_s a largo e dalla profondità del fondale al piede della struttura H_{m0} , anche dal dimensionamento della struttura ed in particolare dalla quota di coronamento della barriera e/o parete verticale R_c .

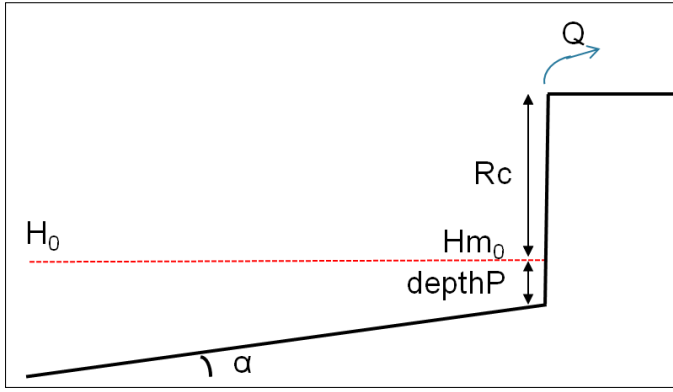


Fig. 5. Procedura per il calcolo del *run-up* nel caso di parete sub-verticale o barriera di protezione aderente. Parametri: Q =portata di *overtopping*, R_c =altezza della porzione emersa della barriera e/o parete sub-verticale; $depthP$ =profondità al piede della struttura; H_{m0} =altezza d'onda al piede della struttura; H_0 =altezza d'onda significativa *off-shore*; α =angolo d'inclinazione del fondale al piede della barriera.

C. Spiaggia con barriera di protezione distaccata

È il caso della spiaggia protetta da una struttura (Fig. 6). Il *run up* dell'onda sulla spiaggia è calcolato utilizzando la formula (5) proposta da Hunt [9] e riscritta da Battjes [10]:

$$R = \frac{tg\phi}{\sqrt{\frac{h_{sr}}{L}}} h_{sr} \quad (5)$$

In cui h_{sr} (6) è l'altezza d'onda ridotta calcolata tenendo conto della presenza della barriera e quindi dei fenomeni di trasmissione, riflessione e *shoaling*:

$$h_{sr} = h_{st} k_s k_r \quad (6)$$

In cui:

- h_{st} è l'altezza d'onda trasmessa
- k_s è il coefficiente di *shoaling*
- k_r è il coefficiente di rifrazione

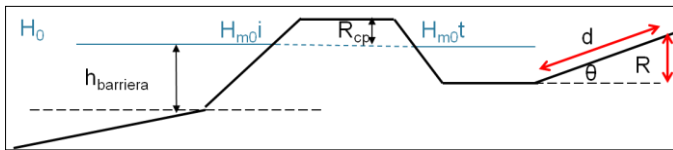


Fig. 6. Caso di spiaggia protetta da barriera. Parametri: d =distanza di allagamento; R =*run-up*; θ =angolo d'inclinazione della spiaggia; H_0 =altezza d'onda significativa *off-shore*; H_{m0i} =altezza d'onda significativa incidente; H_{m0t} =altezza d'onda significativa trasmessa; $h_{barriera}$ =profondità al piede della barriera; R_{cp} =altezza della porzione di barriera emersa.

D. Parete sub-verticale e barriera di protezione distaccata

Questo scenario è la combinazione degli scenari B e C (Fig. 7). Si tratta del caso in cui alle spalle di una barriera di protezione non aderente è presente una parete verticale.

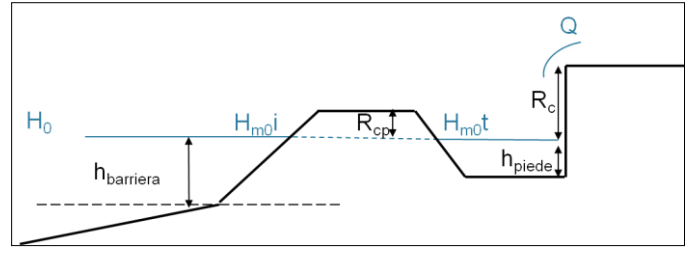


Fig. 7. Caso di parete sub-verticale protetta da barriera. Parametri: H_0 =altezza d'onda significativa a largo; H_{m0i} =altezza d'onda significativa incidente; H_{m0t} =altezza d'onda significativa trasmessa; $h_{barriera}$ =altezza della porzione di barriera sommersa; R_{cp} =altezza della porzione di barriera emersa; R_c =altezza della porzione di parete emersa; h_{piede} =profondità al piede della parete.

V. SISTEMA PER LA GENERAZIONE DELL'ALLARME

Il sistema di allerta consente, attraverso un servizio di messaggi automatizzati, di controllare costantemente, o secondo i tempi stabiliti dall'utente, lo stato del mare per ciascun punto identificato, segnalando prontamente i rilevamenti fuori soglia. L'idea principale è stata la creazione di un sistema personalizzabile per ciascun utente. Il sistema è stato implementato in *Python* e sfrutta *Java API*. Per rendere più user friendly la creazione di regole è stato sviluppato un *front-end web* come modulo *Drupal*.

La regola controlla il parametro relativo al livello di pericolosità per ciascun transetto e se il valore del parametro è superiore di una predeterminata soglia viene in automatico inviata un messaggio dal sistema ad una lista di utenti specifica, che riporta il luogo a rischio di mareggiata e la data e l'ora per cui è previsto l'evento con il relativo livello di pericolosità a cui saranno potenzialmente esposti i cittadini e le infrastrutture.

La notifica di allarme può avvenire su uno o più media (es. e-mail, sms, facebook, twitter, ecc.) decisi dall'utente in fase d'impostazione del sistema. Dai dati grezzi sono state create tabelle di rischio per ciascun punto da monitorare (Fig. 8). Una volta individuati gli elementi di interesse (status, altezza d'onda significativa e periodo), le procedure connesse alla visualizzazione dei dati sono riassumibili in due punti principali: un opzionale pretrattamento dei dati (*pre-processing*) e il *rendering* vero e proprio.

Il sistema di visualizzazione è stato sviluppato in linguaggio *Php* ed integrato in *Drupal* come modulo personalizzato, in conformità alla struttura del portale meteo del CCMMMA dal quale avviene l'accesso ai dati.

Il sistema fornisce previsioni del rischio d'inondazione marina legato a fenomeni di mareggiata per tre giorni (72 h) con cadenza oraria e si aggiorna ogni qualvolta sono disponibili nuove serie temporali dei dati prodotti dal modello WW3, aumentando così l'accuratezza della previsione e fornendo uno strumento affidabile e valido per la sicurezza in zone costiere.

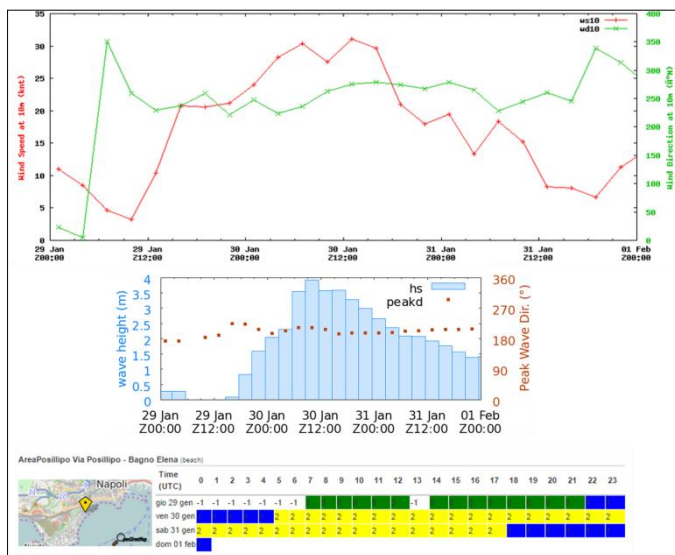


Fig. 8. Interfaccia web di visualizzazione dei risultati. La scala cromatica corrisponde ai seguenti livelli di rischio a cui è esposto il transetto: nullo (verde), basso (blu), medio (giallo), alto (rosso). I dati sono riferiti alla simulazione del 29 Gennaio 2015 alle 00.00 UTC per la località Via Posillipo - Bagno Elena. In corrispondenza del paraggio in esame si è avuta un'altezza d'onda massima di circa 4 m.

Una scala cromatica (verde, blu, giallo, rosso) è stata assegnata a ciascun livello di rischio per rendere il sistema facilmente utilizzabile anche ad utenti non esperti in materia (Fig. 8) ma, attraverso il portale è possibile accedere anche ai valori numerici relativi ai parametri che governano lo stato del mare e dell'atmosfera sfruttando il protocollo OpenDAP.

VI. CONCLUSIONI

Le metodologie descritte in questo lavoro hanno fornito una base per lo studio del rischio legato all'inondazione costiera con strumenti di oceanografia operativa. Esso fornisce un valido supporto gestionale alle amministrazioni locali e agli stabilimenti balneari, che potranno pianificare le attività inter-annuali garantendo la massima sicurezza ai cittadini e alle infrastrutture prospicienti la fascia costiera.

La corretta previsione degli episodi di mareggiata è importante per le grandi ricadute che gli eventi meteo-marini estremi hanno in campo economico, di protezione civile ed ambientale. Alla sempre migliore affidabilità degli strumenti numerici di previsione si arriva mediante la costante verifica dei risultati e dei metodi di impiego dei modelli.

Il sistema implementato sarà, quindi, sottoposto ad un'accurata fase di calibrazione e validazione modellistica per poter migliorare ulteriormente l'efficacia delle metodologie proposte, fornendo così uno strumento versatile e facilmente adattabile a differenti tipologie di litorale.

È evidente, in ogni caso, che la qualità dei risultati forniti dipende dai parametri introdotti nei vari modelli e sotto-modelli; tali parametri richiedono una conoscenza dettagliata della batimetria, geomorfologia e topografia dei luoghi e

devono comunque essere calibrati attraverso un lungo lavoro di monitoraggio, sia estivo sia invernale.

In questo contesto, una delle attività da esplicare nell'ambito del progetto di ricerca qui esposto è l'integrazione delle misure effettuate *in situ* con i dati di boe meteo-oceanografiche, in particolare con la boa del Comune di Napoli. Come sviluppo a medio termine è prevista l'evoluzione del modello di allerta e la sua implementazione verso la copertura completa della costa campana. A tale scopo, il sistema di allerta comprende già attualmente alcune sezioni sul litorale salernitano; in prospettiva si potrà estendere la verifica anche a litorali con diverse caratteristiche geomorfologiche e marine.

II. RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato supportato nell'ambito del Programma Operativo Nazionale "Ricerca e Competitività" 2007-2013, Progetto "Sviluppo di Tecnologie per la *"Situational Sea Awareness"* – TESSA. Il CUGRI ha contribuito con il suo software ed i suoi dati d'archivio. Il DiST ha curato l'implementazione dell'intero sistema e ne ha consentito l'operatività mettendo a disposizione l'architettura hardware necessaria e gli strumenti modellistici.

III. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Ferrante V., Budillon F., Iorio M., Lubritto C., Monaco M., Pugliese Carratelli E., Vicinanza D., "Tracing Possible Offshore Sand Movement During Extreme Sea Storm Events: an example from the Salerno Bay (Southern Tyrrhenian Sea)", Chapter Risks, Marine Research at CNR, Dipartimento Terra e Ambiente, ISSN 2239-5172, Volume DTA/06-2011 pp. 1720-1733, 2011.
- [2] Pugliese Carratelli E., Budillon G., Dentale F., Reale F., Napoli F., Spulsi G., "An Experience in Monitoring and Integrating Wind and Wave Data in the Campania Region", OGS Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, ISSN: 0006-6729 Vol 48, No.3, 2007.
- [3] Giarrusso C.C., Pugliese Carratelli E. and Spulsi G., "Assessment Methods for Sea-Related Hazards in Coastal Areas", Journal of Natural Hazard, Kluwer Academic Publishers, pp. 295-309, 1999.
- [4] Giarrusso C.C., Pugliese Carratelli E., Spulsi G., "Large Scale Coastal Storm Hazard Mapping", ASCE Conference Solutions to Coastal Disasters '02, San Diego (CA), 2002.
- [5] Cocco E., Giarrusso C.C., Iuliano S., Mangiolfi A., Pugliese Carratelli E., Spulsi G., "Assessment of Erosion and Wave Risk over Coastal Areas", Proceedings of Coastal Engineering, Rhodes (Greece), 2001.
- [6] Pugliese Carratelli E., "Erosion and Storm Hazard Mapping and Real Time Monitoring: the Role of Remote Sensing and Real Time Systems", 1st Regional Conference on Geoinformatics, Disaster Management and Early Warning Systems November 24-26, KISR, State of Kuwait, 2008.
- [7] Mase H., "Random wave run-up height on gentle slope", J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng., 115 (5), pp. 649-661, 1989.
- [8] Allsop W., Bruce T., Pullen T.A. and Van der Meer J., "Direct hazards from wave overtopping - the forgotten aspect of coastal flood risk assessment", 43rd Defra Flood and Coastal Management Conference, Manchester University, 2008.
- [9] Hunt, I. A., "Design of Seawalls and Breakwaters" J. Waterways and Harbors Div., ASCE, Vol. 85, No. WW3, 1959.
- [10] Battjes, J.A., "Surf Similarity", 14th Intl. Conf. Coastal Engr., pp. 466-480, 1974.