

COMUNE DI LIPARI
ISOLA DI STROMBOLI DEL COMUNE DI LIPARI

APPRODO LOCALITA' GINOSTRA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

INDICE

1. PREMESSA	2
2. SOPRALLUOGO ED ANALISI DEI DANNI	2
3. INDAGINI A SUPPORTO DELL'ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE	4
3.1. Risultati delle indagini	4
4. RICOSTRUZIONE DELLE CARATTERISTICHE ONDAMETRICHE DELLA MAREGGIATA DEL 13-14 FEBBRAIO 2007	5
4.1. Misure ondametriche della Protezione Civile alla Sciara del Fuoco	5
4.2. Ricostruzione dell'evento sulla base dei dati dell'ECMWF e dell'APAT	5
4.3. Confronto con le misure della Protezione Civile	7
4.4. Conclusioni e stima del tempo di ritorno dell'evento	7
5. INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA	12
5.1. PREMESSA	12
5.2. CONSOLIDAMENTO DELLA BASE DEI CASSONI	12
5.3. BERMA A PROTEZIONE DEL PIEDE DEI CASSONI	13
5.4. RICOSTRUZIONE E RIFIORIMENTO DELLA MANTELLATA DI PROTEZIONE;	13
6. COMPUTO METRICO
6.1. Analisi delle quantità per la sistemazione della scogliera con berma al piede	
6.2. Analisi delle quantità per il consolidamento dello scanno di imbasamento al piede del cassone
6.3. Computo metrico
7. RIFERIMENTI	17

1. PREMESSA

In data 13 e 14 febbraio 2007, una mareggiata di un notevole intensità, proveniente da ovest, ha interessato il Tirreno meridionale provocando alcuni danni all'approdo di Ginostra (vedi fig. 1) dell'isola di Stromboli.

Il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha incaricato il Prof. Ing. Alberto Noli di ricostruire l'evento meteomarinico in questione e di redigere un progetto di massima degli interventi necessari per il ripristino e l'eventuale miglioramento funzionale della struttura.

Per la redazione del lavoro il Prof. Noli si è avvalso della collaborazione del Prof. Paolo De Girolamo.

2. SOPRALLUOGO ED ANALISI DEI DANNI

In data 3 marzo 2007, il prof. Alberto Noli ed il prof. Paolo De Girolamo, su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, si sono recati a Ginostra per constatare la consistenza e la tipologia dei danni ed accertare la necessità di effettuare indagini di campo per supportare l'attività di progettazione.

Il sopralluogo visivo dell'opera ha consentito di accertare quanto di seguito esposto.

- La mantellata in massi naturali posta a protezione del lato di ponente dell'opera, che risulta essere esposta alle mareggiate di maggiore intensità, ha subito danni consistenti specialmente nell'angolo dove l'opera a gettata si innesta sui cassoni di testata. In tale zona la porzione emersa della scogliera risultava completamente priva di massi, e quindi direttamente esposta all'azione delle onde incidenti. Inoltre alcuni massi posti in prossimità del radicamento a terra dell'opera sono stati spostati dalle onde tracimanti la struttura e depositati sulla strada di collegamento a terra del pontile;
- Ulteriori danni, di minore entità, provocati dalle onde che hanno tracimato la struttura, si sono osservati nella zona dell'opera a gettata esposta a levante;
- Per quanto riguarda i due cassoni di testata, l'ispezione visiva non ha evidenziato loro spostamenti di rilievo. Infatti il coronamento, gettato in opera, non presentava lesioni in corrispondenza del sottostante giunto di collegamento tra i due cassoni; lesioni che si sarebbero dovute osservare qualora si fosse verificato un movimento relativo tra i due cassoni.

Nella fig. 2 sono riportate due fotografie riprese durante la mareggiata del 13-14 febbraio 2007. La fotografia di fig. 3 mostra la zona di innesto tra i cassoni di testata e l'opera a gettata dove il moto ondoso ha asportato completamente i massi della mantellata dell'opera a gettata.



Fig. 1 – Ginostra. Il nuovo molo realizzato dalla Protezione Civile Nazionale.



Fig. 2 – Ginostra. Il molo durante la mareggiata del 13 – 14 febbraio 2007.



Fig. 3 – Ginostra. Danni causati dalla mareggiata del 13 – 14 febbraio 2007. Asportazione dei massi sull'angolo di innesto tra l'opera a gettata ed i cassoni di testata.

3. INDAGINI A SUPPORTO DELL'ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE

Per poter procedere ad una valutazione quantitativa degli interventi necessari per ripristinare la funzionalità e la sicurezza dell'opera, si è richiesto al Dipartimento della Protezione Civile di eseguire le seguenti indagini:

- rilievo batimetrico della porzione sommersa della scogliera;
- rilievo topografico dell'opera ed in particolare della porzione emersa delle scogliere;
- ispezione subacquea dell'opera, con particolare riguardo allo stato della porzione sommersa dei cassoni e del loro appoggio sulla berma in pietrame.

Il Dipartimento della Protezione Civile ha provveduto all'esecuzione di tali indagine incaricando:

- per il rilievo batimetrico il Prof. Chiocci del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza";
- per il rilievo topografico, l'Ing. Francesco La Spada;
- per l'ispezione subacquea il 3° Nucleo Operatori Subacquei della Guardia Costiera di Messina.

I risultati delle indagini sono stati consegnati al Prof. Ing. Alberto Noli.

Si evidenzia che mentre il rilievo batimetrico è stato georeferenziato, la stessa cosa non è stata fatta per quello topografico. Pertanto non è stato possibile "agganciare" con precisione i due rilievi. Tale operazione dovrà essere sicuramente effettuata in fase di progetto esecutivo dell'intervento.

3.1. Risultati delle indagini

I risultati delle indagini, oltre a confermare i danni rilevati durante il sopralluogo, hanno evidenziato che parte della berma in pietrame di imbasamento dei cassoni non è più presente, lasciando in alcune zone i cassoni privi di appoggio. Si ricorda che in un precedente sopralluogo effettuato dal Prof. Noli e dal Prof. De Girolamo nel mese di agosto del 2005, si era osservato lo stesso problema. Inoltre il piede dei cassoni risulta quasi completamente privo della protezione in massi che era stata prevista nel progetto originale.

In particolare la zona maggiormente soggetta a queste problematiche è costituita dallo spigolo sud-est del cassone di testata posto a levante, al di sotto del quale è presente uno "sgrottamento" di dimensioni rilevanti (diversi metri) tale da poter pregiudicare la stabilità dello stesso cassone.

Una ulteriore zona dove sono presenti "sgrottamenti" di un certo rilievo è quella che ricade in prossimità del congiungimento tra il cassone di testata posto a levante ed i cassoncini che delimitano, sempre a levante, l'opera a gettata.

Sono stati inoltre rilevati danneggiamenti della parete del cassone di testata posto a ponente. La zona danneggiata ricade sul lato nord del cassone, in prossimità del congiungimento con l'opera a gettata.

4. RICOSTRUZIONE DELLE CARATTERISTICHE ONDAMETRICHE DELLA MAREGGIATA DEL 13-14 FEBBRAIO 2007

Per definire le caratteristiche ondamiche della mareggiata del 13 e 14 febbraio 2007 si sono acquisiti i dati registrati dalla Protezione Civile mediante una cella di pressione localizzata in prossimità della Sciara del Fuoco su un fondale di circa -12 m sul l.m.m.. Tuttavia lo strumento, a causa di problemi tecnici, non è riuscito a misurare le caratteristiche ondamiche durante l'intero evento meteomarinico. Pertanto, allo scopo di verificare se lo strumento sia stato in grado di rilevare le caratteristiche ondamiche al colmo dell'evento, è risultato necessario ricostruire la mareggiata utilizzando un metodo alternativo. Tale metodo si è basato sull'acquisizione dei seguenti dati ondamiche:

- dati calcolati in analisi dall'ECMWF (Centro Meteorologico Europeo) sul Mediterraneo durante l'evento in questione;
- dati registrati dall'APAT mediante le boe ondamiche direzionali di Palermo e Cetraro, ambedue localizzate nel Tirreno meridionale.

Nei prossimi paragrafi si descrivono i due metodi utilizzati ed i risultati ottenuti.

4.1. Misure ondamiche della Protezione Civile alla Sciara del Fuoco

Nella fig. 4 è riportato l'andamento dell'altezza d'onda significativa spettrale, H_{m0} , registrata dallo strumento della Protezione Civile su un fondale di circa -12 m sul l.m.m. posto in prossimità della Sciara del Fuoco localizzata sul versante nord-ovest dell'isola. Come si evince dalla figura lo strumento ha registrato il valore massimo di H_{m0} , pari a 6,0 m, alle ore 10,0 del 13/02/2007. Lo strumento ha smesso di funzionare circa alle ore 12,0 dello stesso giorno.

4.2. Ricostruzione dell'evento sulla base dei dati dell'ECMWF e dell'APAT

4.2.1. *Metodologia di lavoro*

Nella fig. 5 è riportata la localizzazione geografica di Ginostra e la posizione dei due ondometri di Cetraro e di Palermo facenti parte della Rete Ondamica Nazionale (RON) gestita dall'APAT.

Per ricostruire la mareggiata in questione in modo indipendente rispetto alle misure della Protezione Civile, si è deciso di operare nel seguente modo:

1. acquisire dall' ECMWF i dati ondametrici calcolati con il WAM utilizzando i dati meteorologici in analisi;
2. acquisire i dati ondametrici misurati dai due ondametri APAT della RON localizzati nel Tirreno meridionale (boa ondametrica di Cetraro e di Palermo);
3. Effettuare un confronto tra i dati ondametrici misurati dall'APAT ed i dati ondametrici calcolati dall'ECMWF;
4. derivare dai dati ECMWF l'andamento della mareggiata a largo di Stromboli.

4.2.2. Descrizione dell'evento e dei dati

La mareggiata, proveniente da ovest, è grossomodo iniziata alla mezzanotte del 12 febbraio 2007, ha raggiunto velocemente il suo apice, grossomodo alle ore 12 del 13 febbraio, e si è conclusa la sera del 14 febbraio.

Con riferimento ai dati dell'ECMWF, nella fig. 6 è riportato il campo di moto ondoso nel Mediterraneo e nel Tirreno meridionale alle ore 12 del 13 febbraio 2007. Nella figura, dove sono evidenziate le posizioni geografiche di Palermo, Ginostra e Cetraro, è evidente che la mareggiata, proveniente da ovest, raggiunge la sua massima intensità nel Tirreno meridionale a causa dei maggiori fetches interessati dal campo di vento.

Nelle figure 7 e 8 sono riportati, per Cetraro e Palermo, gli andamenti delle altezze d'onda significative spettrali H_{m0} e delle direzioni di provenienza delle onde registrati dagli ondametri direzionali della RON. Come evidenziato dalla figura 8, l'ondametro di Palermo, per problemi tecnici, non ha registrato la fase interessante dell'evento meteomarinico che invece è stata registrata dall'ondametro di Cetraro posto sottovento rispetto a Ginostra.

Con riferimento ai dati dell'ECMFW, nella figura 9 sono messi a confronto gli andamenti delle altezze d'onda significative spettrali per Palermo, Ginostra e Cetraro. La figura evidenzia che spostandosi da ovest verso est, come logico, le altezze d'onda tendono ad aumentare a ragione dell'aumento di fetch geografici. Al largo di Ginostra il valore massimo dell' H_{m0} , fornito dai dati in analisi dell'ECMWF, è risultato pari a 4,5 m.

Infine nella figura 10 sono messi a confronto i dati, relativi a Cetraro, della RON e dell'ECMWF. Il confronto risulta soddisfacente, sia in relazione ai valori delle altezze d'onda significative al culmine della mareggiata, sia in relazione al tempo di raggiungimento di tali condizioni.

4.3. Confronto con le misure della Protezione Civile

Nella fig. 11 è riportato il confronto tra i valori dell'Hmo registrati dalla Protezione Civile a Stromboli ed i valori calcolati dall'ECMWF.

La figura mostra chiaramente che i dati misurati forniscono un valore decisamente superiore rispetto a quelli calcolati (6,0 m contro 4,5 m). Per quanto riguarda l'ora in cui si è verificato il culmine dell'evento, i dati ECMWF confermano che grossomodo il culmine si è raggiunto intorno alle ore 12,0. A tal riguardo si evidenzia che mentre i dati ECMWF sono forniti con una cadenza di 6 ore, quelli misurati dalla Protezione Civile presentano una cadenza oraria e quindi sono in grado di seguire con una affidabilità maggiore l'evoluzione dell'evento specialmente nell'intorno del culmine.

Si evidenzia infine che attualmente la comunità scientifica ritiene che i modelli metereologici tendano a sottostimare l'intensità del vento sul mare durante gli eventi estremi e di conseguenza anche i relativi valori di altezza d'onda. Ciò fornisce una ulteriore giustificazione alle differenze registrate a Ginostra tra i valori misurati e quelli calcolati.

4.4. Conclusioni e stima del tempo di ritorno dell'evento

In conclusione si ritiene che lo strumento della Protezione Civile abbia misurato il culmine dell'evento meteomarinico e pertanto si può ritenere che il valore di altezza d'onda raggiunto al culmine della mareggiata espresso in termini di Hmo sia risultato pari a circa 6,0 m.

Tuttavia si evidenzia che la profondità di 12,0 m a cui è localizzato lo strumento è troppo modesta per registrare stati di mare di elevata entità in quanto le onde massime risentono sicuramente del fondale e per valori di Hmo uguali o superiori a circa 6,0 m le onde massime dello stato di mare possono frangere e di conseguenza inficiare la stima delle caratteristiche statistiche dello stesso stato di mare. Qualora tecnicamente possibile anche in relazione alle altre finalità di Protezione Civile per le quali è stato installato lo strumento, si suggerisce di spostare la cella di pressione su fondali maggiori dell'ordine dei 20 m.

Con riferimento al documento "Definizione delle caratteristiche del moto ondoso al largo di Stromboli" (giugno 2003) redatto per conto del Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo, il tempo di ritorno dell'evento risulta essere di circa 2 anni. Allo stato attuale si considera tale stima plausibile con quanto osservato a Ginostra dopo la realizzazione del molo (avvenuta tra il 2004 ed il 2005) in quanto si può affermare con certezza che l'evento del febbraio 2007 costituisce l'evento massimo verificatosi dopo l'ultimazione dei lavori.

Si ricorda infine che nello stesso documento il Prof. De Girolamo suggeriva di dimensionare la struttura con un tempo di ritorno di 100 anni al quale corrisponde al largo del sito in questione una altezza d'onda significativa di circa 12,0 m ed un periodo di picco di circa 12,0 s. Allo stato attuale non vi sono ragioni per modificare le caratteristiche ondamiche di progetto dell'opera.

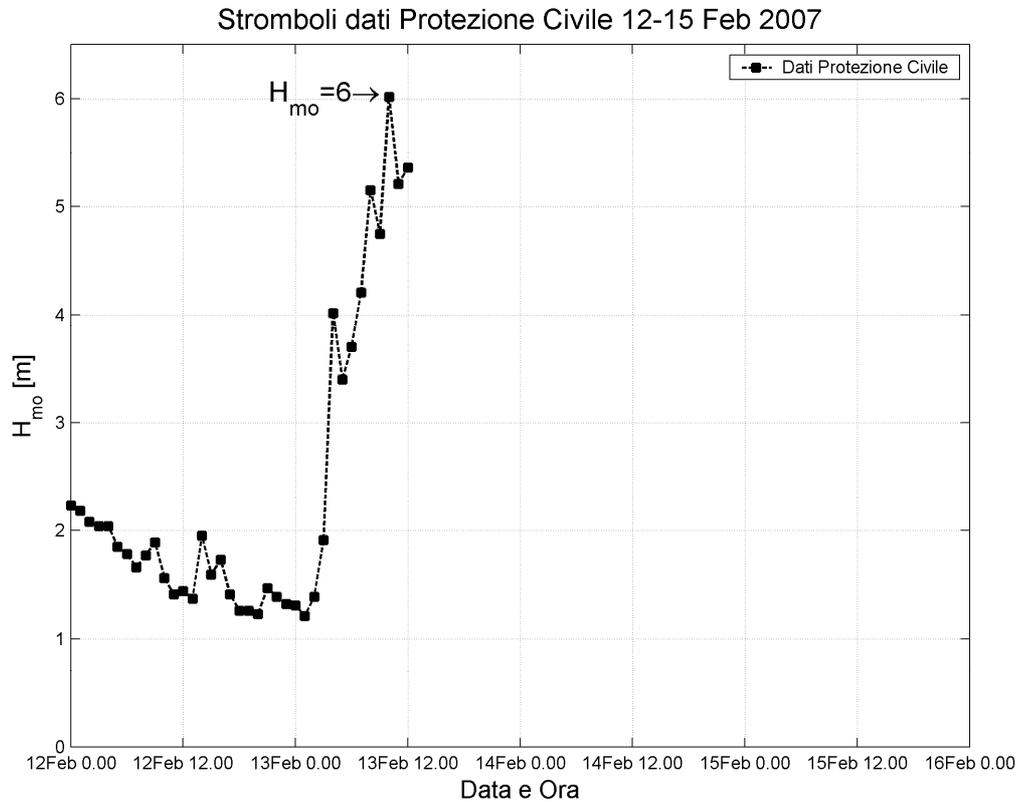


Fig. 4 – Andamento dell' H_{mo} registrata dalla Protezione Civile in prossimità della Sciara del fuoco.

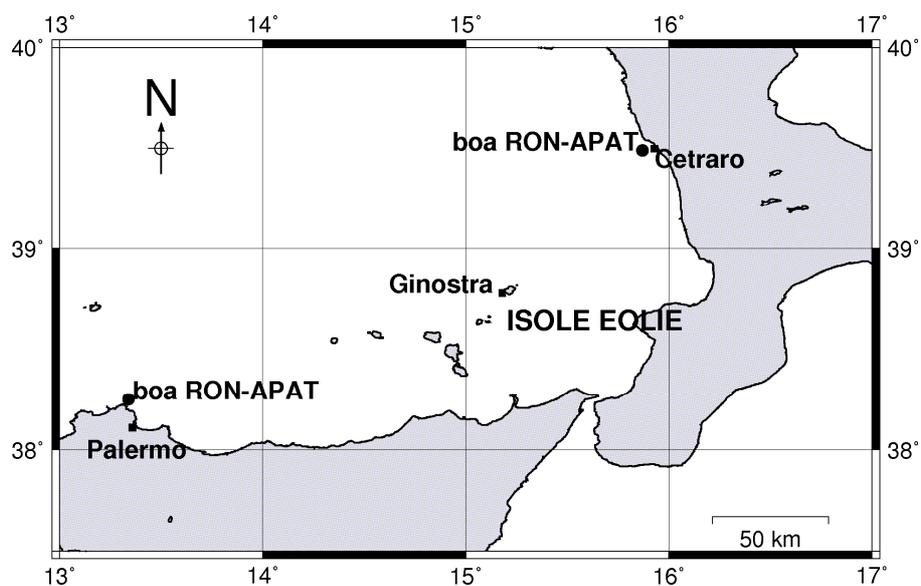


Fig. 5 – Localizzazione geografica di Ginostra e boe ondamiche APAT disponibili nell'area.

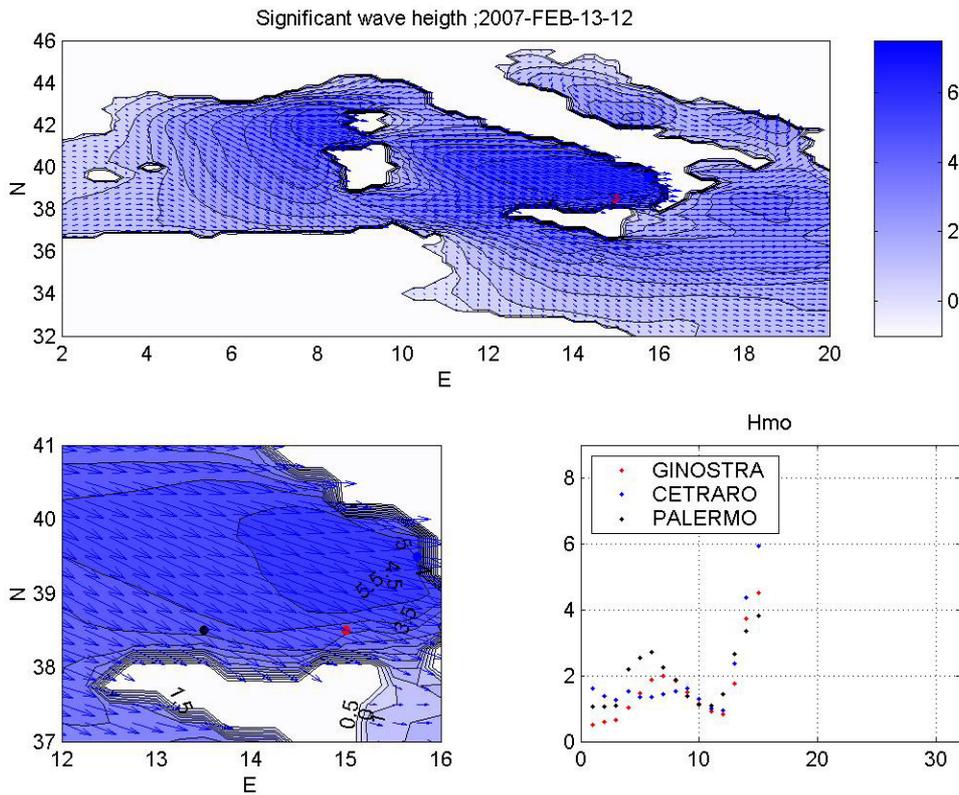


Fig. 6 – Dati ECMWF. Campo di moto ondoso nel Mediterraneo e nel Tirreno meridionale alle ore 12 del 13 febbraio 2007.

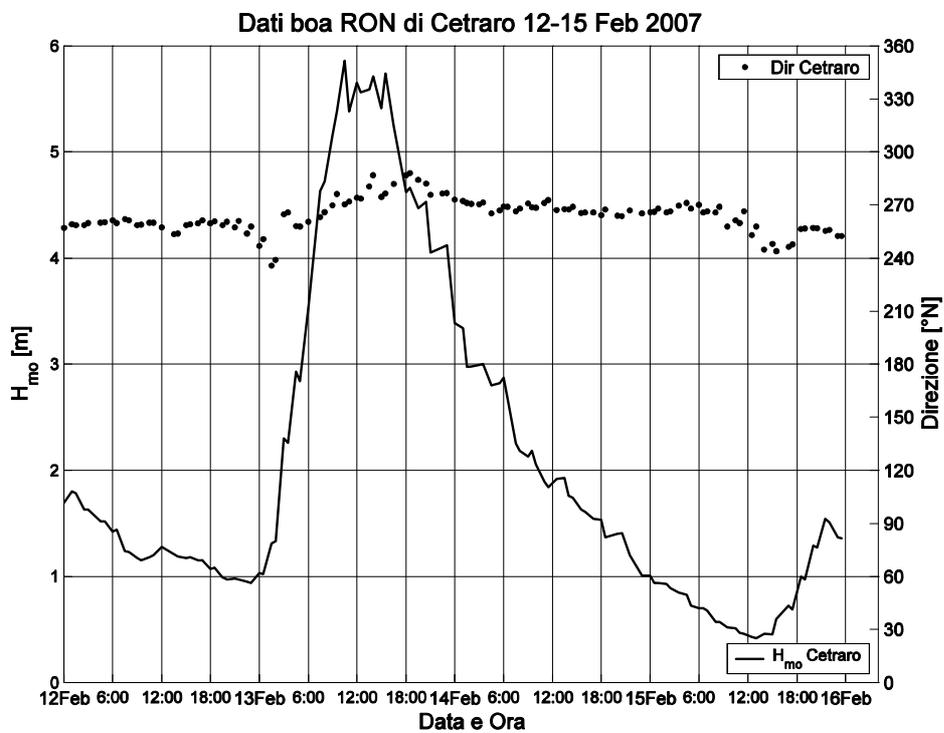


Fig. 7 – Boa RON di Cetraro. Andamento dell’altezza d’onda significativa spettrale e della direzione di provenienza delle onde tra il 12 e il 15 febbraio 2007.

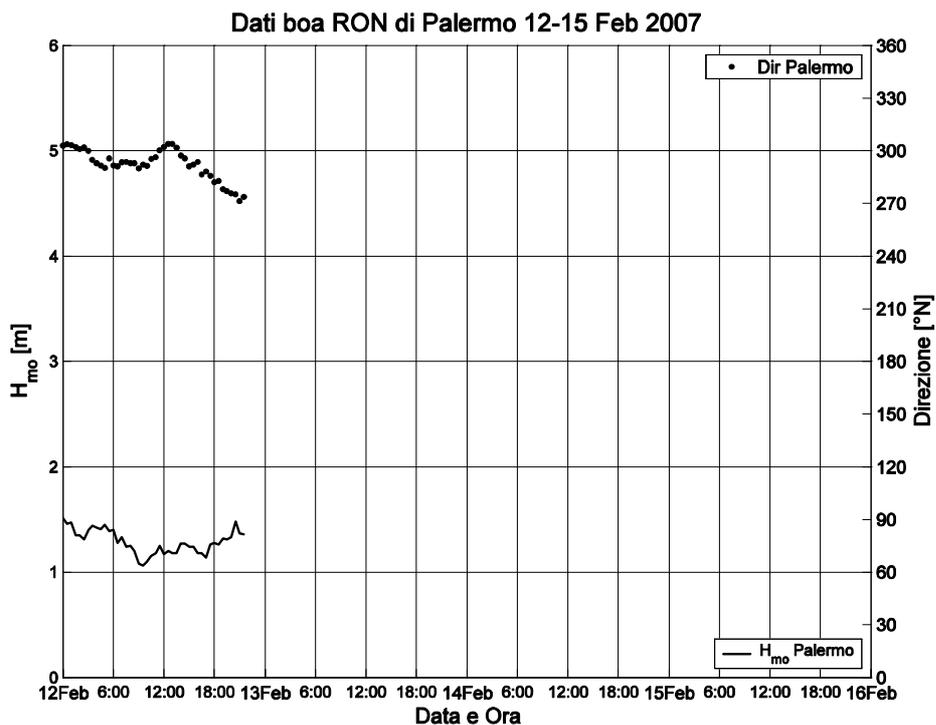


Fig. 8 – Boa RON di Palermo. Andamento dell’altezza d’onda significativa spettrale e della direzione di provenienza delle onde tra il 12 e il 15 febbraio 2007.

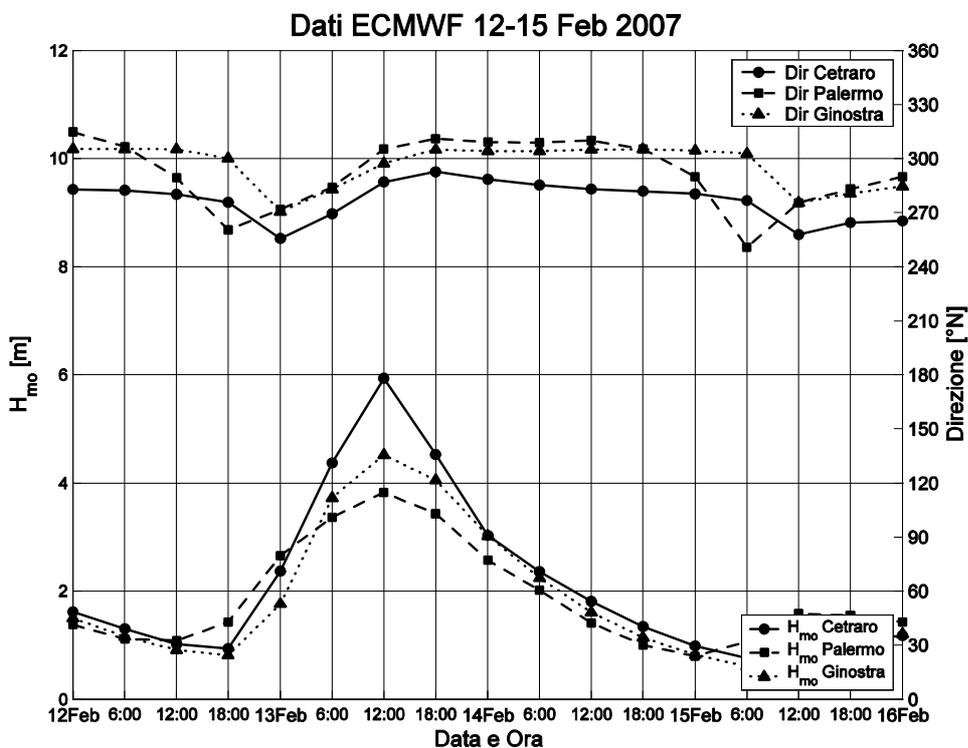


Fig. 9 – Dati ECMWF. Andamento dell’altezza d’onda significativa spettrale e della direzione di provenienza delle onde tra il 12 e il 15 febbraio 2007 per Palermo, Ginostra e Cetraro.

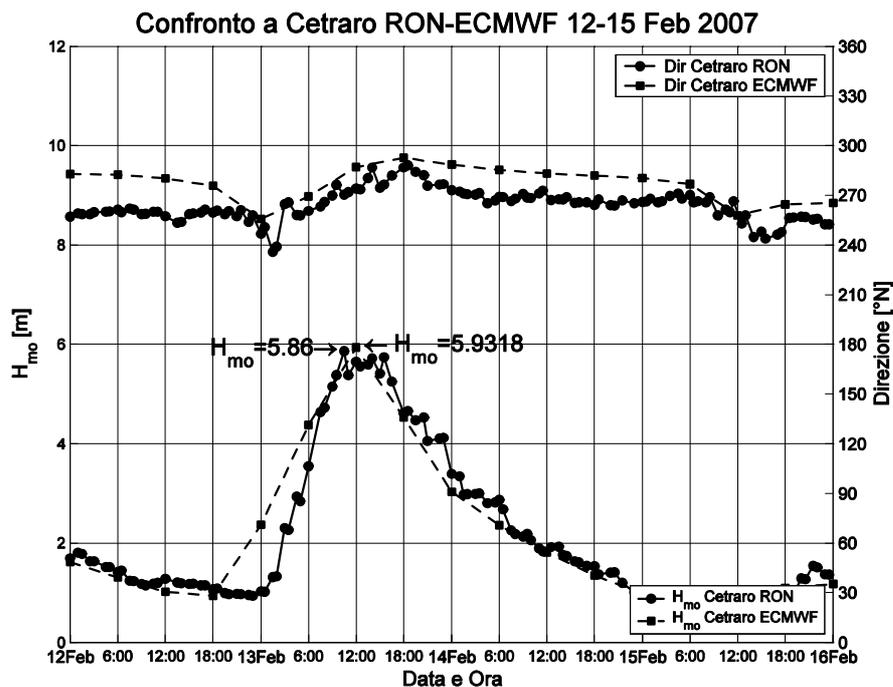


Fig. 10 – Confronto a Cetraro tra i dati RONE quelli ECMWF per l’evento del 12 - 15 febbraio 2007.

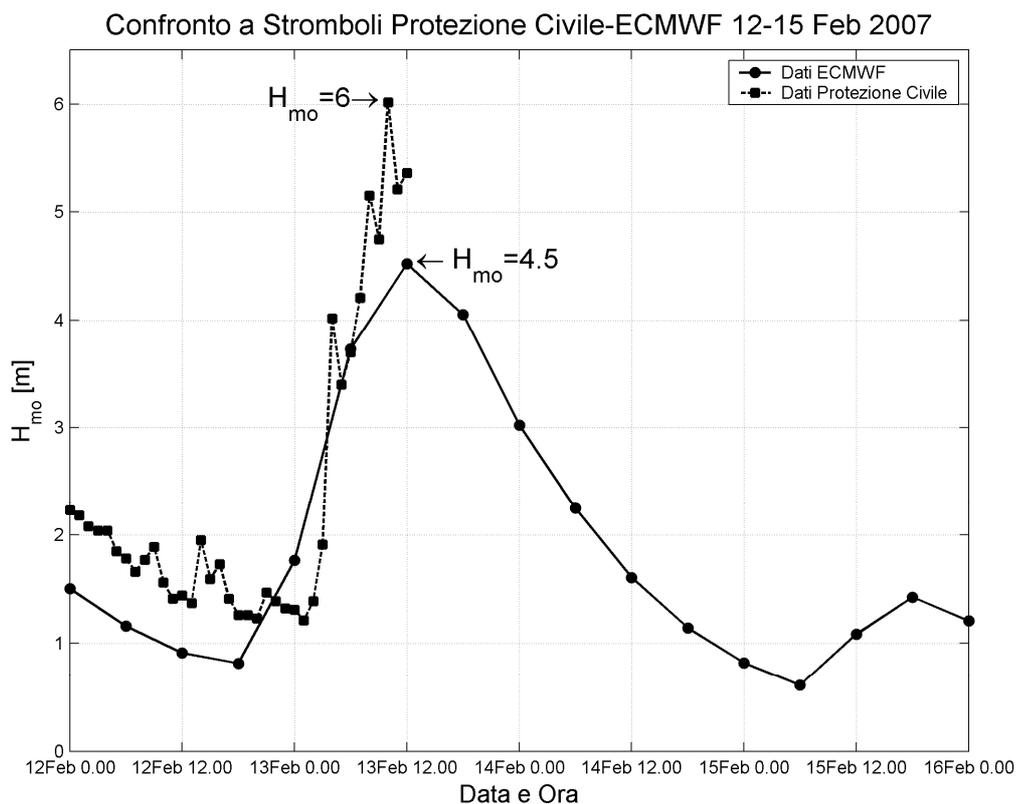


Fig. 11 – Confronto a Stromboli tra i dati della Protezione Civile e quelli ECMWF per l’evento del 12 - 15 febbraio 2007.

5. INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

5.1. PREMESSA

Sulla base delle indagini di campo eseguite dalla Protezione Civile, è stato redatto il presente progetto dell' intervento di manutenzione straordinaria, necessario a ripristinare la funzionalità e la sicurezza del molo di Ginostra, compromessi dall'evento meteomarinico del mese di febbraio 2007.

L'intervento prevede :

1. il consolidamento, ove necessario, dello scanno di imbasamento dei cassoni;
2. la realizzazione di una nuova berma posta a protezione del piede dei cassoni e del piede della mantellata dell'opera a gettata situata sul lato ovest del molo;
3. la ricostruzione ed il rifiorimento della mantellata di protezione dell'opera a gettata posta sul lato ovest molo.

Oltre agli interventi previsti nel presente progetto, sarà necessario intervenire localmente anche sul lato est del molo, dove le onde che hanno trascinata la struttura durante l'evento del mese di febbraio 2007, hanno causato alcuni danni della scogliera posta a levante.

5.2. CONSOLIDAMENTO DELLA BASE DEI CASSONI

Lo scanno di imbasamento dei cassoni nel lato interno del molo presenta in alcune zone delle pronunciate escavazioni che pregiudicano la stabilità del cassone.

L'intervento si propone di ricostituire lo scanno attraverso un'opera di consolidamento articolata con le seguenti modalità:

- posizionamento di sacchetti di iuta contenenti malta cementizia allo stato plastico, esternamente alla zona erosa da porsi ove necessario anche tra masso e masso in modo tale da creare una cassaforma a perdere;
- perforazioni verticali complete di ogni cassone interessato dalle escavazioni, dalla quota della banchina fino ad includere il solettone di base dello stesso cassone;
- utilizzando i fori ottenuti con le perforazioni, esecuzione di iniezioni di calcestruzzo a bassa pressione con $R_{ck} > 400 \text{ kg/cm}^2$;
- verifica della completa compenetrazione del calcestruzzo nelle cavità ed accertamento dell'assenza di sacche di aria tra la base del cassone e le iniezioni di calcestruzzo.

5.3. BERMA A PROTEZIONE DEL PIEDE DEI CASSONI

Per evitare il riproporsi dell'erosione al piede dei cassoni, è indispensabile realizzare una berma di protezione dall'azione del moto ondoso con massi artificiali ACCROPODI (6.3 m³, peso P= 15 t) in cls prefabbricati fuori opera e ivi trasportati; la quota sommitale di tale berma è posta a quota -5.6 m s.l.m. al fine di consentire l'ormeggio dei traghetti e dei mezzi di emergenza su almeno due lati del pontile (quello sud e quello est).

La scelta degli ACCROPODI da 6.3 m³ in luogo dei più comuni tetrapodi è stata operata proprio per rispettare il vincolo di quota sopra indicato, in quanto gli accropodi possono essere posati su unico strato.

Al di sotto dei massi è indispensabile la costituzione di uno strato filtro con massi naturali del peso di 1-3 t.

5.4. RICOSTRUZIONE E RIFIORIMENTO DELLA MANTELLATA DI PROTEZIONE:

Come evidenziato in precedenza, la mantellata di protezione dell'opera a gettata ha subito danni rilevanti e pertanto richiede un intervento di ricostruzione e rifiorimento. A causa delle rilevanti condizioni ondometriche a cui l'opera è sottoposta, si è pervenuti alla conclusione di sostituire la mantellata originale in massi naturali, con una mantellata in tetrapodi del peso di 30 t.

Il piede della mantellata sarà realizzato con accropodi da 6.3 m³, del peso P= 15 t. Per contenere l'impatto visivo dei tetrapodi nella porzione emersa dell'opera, si suggerisce di inserire nel calcestruzzo, durante i getti, del colorante per rendere i tetrapodi simili dal punto di vista cromatico alla roccia vulcanica presente nella zona. L'utilizzo dei tetrapodi in luogo dei massi naturali consentirà di ridurre la frequenza degli interventi di manutenzione, aumentando la sicurezza complessiva della struttura. Si rammenta a tal proposito che dalla data di ultimazione dell'opera ad oggi (circa due anni), si è già reso necessario, oltre a quello oggetto del presente progetto, un'altro intervento di manutenzione dell'opera a gettata. Tale frequenza di interventi risulta non accettabile, in quanto sarebbe sufficiente che si verificassero due eventi di moto ondoso di un certo rilievo intervallati da un lasso di tempo non sufficiente per predisporre un intervento di manutenzione, per pregiudicata la sicurezza dell'opera.

Per l'esecuzione di detta fase è necessario eseguire le seguenti lavorazioni:

1. ricostruzione della berma al piede dell'opera a gettata con quota sommitale posta a - 5.60 m s.l.m., da realizzarsi con massi artificiali tipo ACROPODI da 6.3 m³ (P = 15 t) con pendenza lato mare pari a 4/3. Tale berma deve essere collegata alla berma di protezione dei cassoni;

2. rifiorimento ed adeguamento della sagoma della attuale scogliera ad una pendenza di 1/2.5, utilizzando ove possibile i massi già presenti in modo da costituire lo strato filtro;
3. costruzione della nuova mantellata, posizionando i massi artificiale tipo TETRAPODI da 30 t con pendenza 1/2.5 sopra la scogliera (filtro) rifiorita ed adeguata secondo quanto indicato al punto precedente. Il piede della nuova mantellata si dovrà appoggiare alla berma in accropodi.

E' necessario prestare la massima attenzione al posizionamento dei massi artificiali nella sezione terminale in modo che venga creata la testata pseudo-circolare che si deve appoggiare al cassone esistente.

5.4.1. VERIFICA DI STABILITA' DELL'OPERA DI DIFESA

5.4.1.1. Determinazione dell'onda di progetto la largo

Il moto ondoso di progetto al largo di Ginostra, determinato nello studio redatto dal prof. Paolo De Girolamo [1], ha i seguenti parametri caratteristici:

- l'altezza d'onda significativa è pari ad $H_s = 12$ m;
- il periodo di picco è di $T_p = 12$ s, ricavato utilizzando le note relazioni empiriche per fetch limitati;
- la direzione di provenienza del moto ondoso è compresa tra 250° ed i 310° N.

In corrispondenza della testata della opera, è stata studiata la propagazione del moto ondoso da largo verso riva attraverso la metodologia della propagazione inversa spettrale. Da detta analisi emerge che la direzione di provenienza del moto ondoso in corrispondenza della testata (θ_r) è compresa tra 240° e 260° N.

5.4.1.2. Moto ondoso incidente al piede della scogliera

L'altezza d'onda significativa al frangimento al piede dell'opera può essere stimata secondo la metodologia proposta da Goda [2]:

$$H_{\max} = \begin{cases} K_s \times H_0' & : h/L_0 \geq 0.2 \\ \min[(\beta_0 \times H_0' + \beta_1 \times h), \beta_{\max} \times H_0', K_s \times H_0'] & : h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

dove:

$$H_0' = H_{s0} \times k_r$$

Altezza d'onda equivalente in acqua profonda;

$$h = 12 \text{ m}$$

Profondità del fondale al piede della scogliera

$$k_s = 1.04$$

Coefficiente di shoaling

$$\beta_0 = 0.028 \times \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.38} \times \exp(20 \times i^{1.5})$$

$$\beta_1 = 0.52 \times \exp(4.2 \times i)$$

$$\beta_{\max} = \max \left[0.92, 0.32 \times \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{-0.29} \times \exp(2.4 \times i) \right]$$

da cui si ottiene a seconda dell'attacco del moto ondoso (vedasi studio meteomarinò):

per $\theta_L = 250^\circ\text{N}$	$\theta_R = 239^\circ\text{N}$	$k_r = 0.97$	$H_s = 8.5 \text{ m}$	$\beta = 294-239 = 55^\circ$
per $\theta_L = 270^\circ\text{N}$	$\theta_R = 248^\circ\text{N}$	$k_r = 0.91$	$H_s = 8.5 \text{ m}$	$\beta = 294-248 = 46^\circ$
per $\theta_L = 290^\circ\text{N}$	$\theta_R = 254^\circ\text{N}$	$k_r = 0.78$	$H_s = 8.3 \text{ m}$	$\beta = 294-254 = 40^\circ$
per $\theta_L = 310^\circ\text{N}$	$\theta_R = 259^\circ\text{N}$	$k_r = 0.59$	$H_s = 6.5 \text{ m}$	$\beta = 294-259 = 35^\circ$

5.4.1.3. Mantellata

La mantellata, posta a protezione del molo, è costituita da massi artificiali “tipo TETRAPODI” in calcestruzzo che assicurano una struttura robusta ed una buona dissipazione dell'energia del moto ondoso.

La messa in opera dei massi dovrà essere effettuata secondo un preciso piano di posa da definire in sede di progetto costruttivo, ma tale da garantire comunque una porosità di circa il 50%. Il peso specifico è assunto pari 2350 kg/m^3 .

Per la verifica dei massi artificiali si è utilizzata la collaudata formula di Hudson:

$$P = \frac{\gamma_m \times H_s^3}{\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \times k_d \times \cot g \alpha}$$

dove :

H_s = altezza d'onda significativa (in m).

P = peso teorico del singolo masso (t)

γ_m = il peso specifico di volume dei massi, assunto pari a $2,35 \text{ t/m}^3$

γ_w = peso specifico dell'acqua marina, pari a $1,03 \text{ t/m}^3$

k_d = coefficiente di stabilità dipendente da numerosi parametri quali il tipo di masso, la pendenza, il tipo di onda, il numero di strati, la percentuale di danneggiamento assunta $< 5\%$; per le sezioni correnti e con massi tipo “TETRAPODI” disposti in doppio strato il k_d è uguale a 8.0 per onde non frangenti e 7.0 per onde frangenti .

α = pendenza della scarpata sull'orizzontale,

Si osserva che la forte obliquità dell'onda consente un addolcimento della pendenza della scogliera.

Dalle elaborazioni sopradette emerge che, assumendo una pendenza della scarpata di 1/2.5, si ottiene un peso dei tetrapodi (P) di :

per $\theta_L = 250^\circ\text{N}$	$H_s = 8.5 \text{ m}$	$\beta = 55^\circ$	$\text{ctg}\alpha = 4.3$	$P = 23 \text{ t}$
per $\theta_L = 270^\circ\text{N}$	$H_s = 8.5 \text{ m}$	$\beta = 46^\circ$	$\text{ctg}\alpha = 3.5$	$P = 30 \text{ t}$
per $\theta_L = 290^\circ\text{N}$	$H_s = 8.3 \text{ m}$	$\beta = 40^\circ$	$\text{ctg}\alpha = 3.2$	$P = 29 \text{ t}$
per $\theta_L = 310^\circ\text{N}$	$H_s = 6.5 \text{ m}$	$\beta = 35^\circ$	$\text{ctg}\alpha = 3.0$	$P = 15 \text{ t}$

Ne deriva che i tetrapodi con un peso da 30 t sono in grado di sopportare eventi aventi un tempo di ritorno di 100 anni.

5.4.1.4. *Piede della mantellata*

L'unghia al piede della mantellata ha la funzione di sostenerla e di proteggere il filtro ed il terreno sottostante dall'azione diretta del moto ondoso. Il dimensionamento dei massi al piede è determinato principalmente dalla profondità dell'acqua sopra la cresta in rapporto all'altezza d'onda incidente. All'aumentare della profondità si riduce l'azione idrodinamica e di conseguenza il peso dei massi necessario.

Come regola generale il peso dei massi è dell'ordine di P/10 rispetto al peso P dei massi di mantellata e la profondità della sommità del doppio strato è di almeno 1.0 H_s sotto il livello marino per non subire gli effetti della ridiscesa dell'onda in corrispondenza del cavo ed evitare il frangimento diretto.

La verifica di stabilità del piede può essere effettuata con la moderna formula di Gerding (1993) valida per soli massi naturali con peso specifico di 2.68 t/m³ e generalizzata da Burcharth (1995) per qualsiasi peso specifico dei massi naturali e per elementi parallelepipedi in cls:

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n.50}} = \left(0.4 \frac{h_t}{\Delta \cdot D_{n.50}} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15}$$

dove:

h_t = profondità cresta

N_{od} = è il numero di danneggiamento (≤ 0.5 nessun danno, $0.5 \leq N_{od} \leq 2$ leggero spianamento, $N_{od} \geq 4$ completo spianamento).

Nel presente caso sono stati utilizzati ACCROPODI , che offrono una ottima efficienza all'azione del moto ondoso. Nella letteratura specializzata mancano delle formulazioni per berme in accropodi, comunque, applicando la formula di Hudson con $K_d = 15$ con un coefficiente riduttivo di 1.25 al diametro del masso (Van der Meer), valido per mantellate con sormonto, si ottiene un peso di circa 15 t (6.3 m³).

6.

RIFERIMENTI

[1] “Definizione delle caratteristiche del moto ondoso al largo di Stromboli” (giugno 2003) redatto per conto del Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo;

[2] “Random Seas and Design of Maritime Structures” – Y.Goda