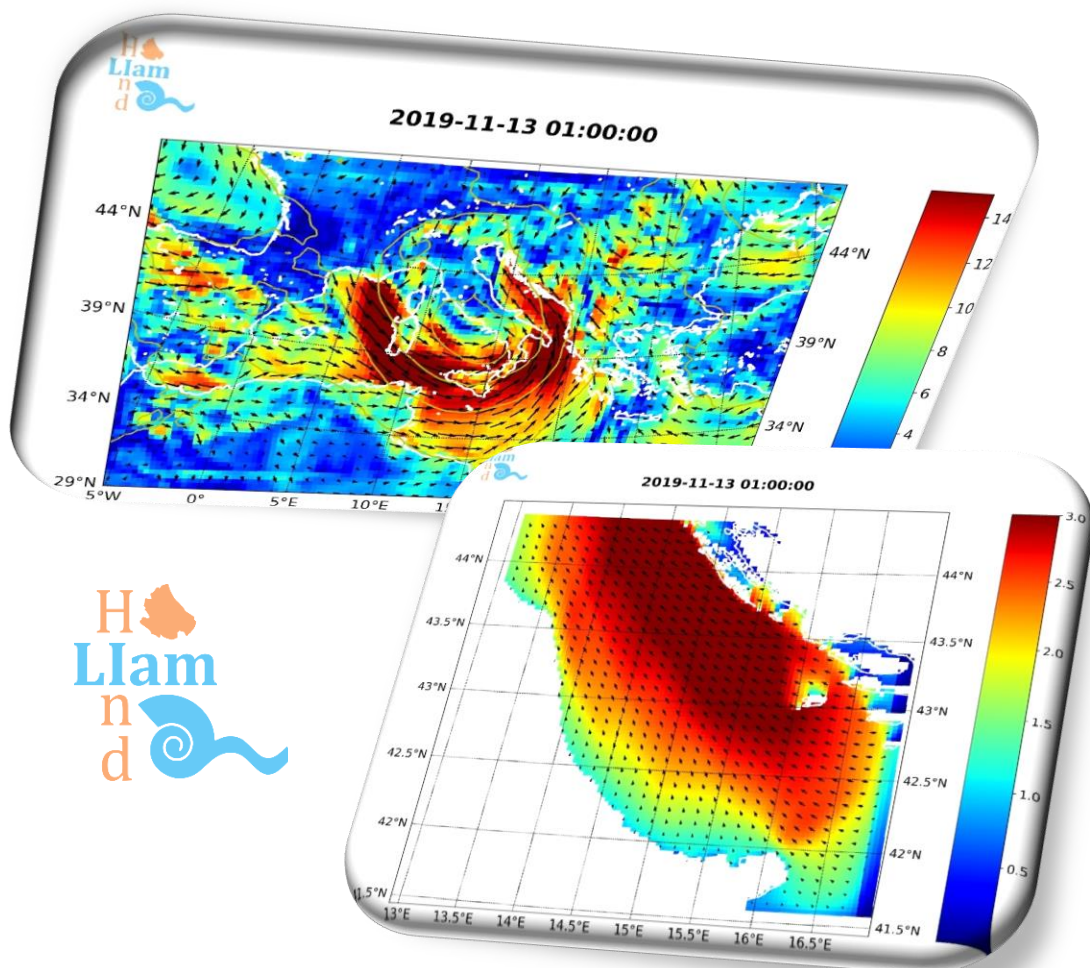


Ricostruzione degli eventi che hanno interessato la costa abruzzese tra il 12 e il 13 novembre 2019

OSSERVAZIONI



Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (Llam)



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e
Ambientale (DICEAA), Università degli Studi dell'Aquila



Regione Abruzzo. Servizio Opere Marittime
e Qualità Acque Marine DPE012



Gruppo di lavoro

Prof. Marcello Di Risio, Ph.D.
Università dell'Aquila, LIAM, DICEAA

Dott. Franco Gerardini
Regione Abruzzo, Servizio Opere Marittime e Acque Marine

Dott. Ing. Luca Iagnemma, Ph.D.
Regione Abruzzo, Servizio Opere Marittime e Acque Marine

Dott. Ing. Davide Pasquali, Ph.D.
Università dell'Aquila, LIAM, DICEAA

Dott. Ing. Daniele Celli, Ph.D.
Università dell'Aquila, LIAM, DICEAA

Dott. Ludovico Cipollone
Università dell'Aquila, LIAM, DICEAA

Dott. Ing. Piera Fischione
Università dell'Aquila, LIAM, DICEAA

REVISIONI DEL DOCUMENTO

| Versione | Data | Contenuti |
|-----------------|------------------|--|
| R01 | 16 novembre 2019 | Versione preliminare della relazione |
| R02 | 27 novembre 2019 | Integrazione della relazione con la caratterizzazione statistica della marea meteorologica e osservazioni sulla gestione emergenziale, osservazioni conclusive |

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Premesse | 4 |
| 2 | Metodi e strumenti | 5 |
| 2.1 | Approccio metodologico | 5 |
| 2.2 | Metodi di analisi | 5 |
| 2.2.1 | Analisi dei livelli di marea misurati | 5 |
| 2.2.2 | Analisi delle condizioni anemometriche misurate | 6 |
| 2.2.3 | Analisi dell'anomalia barica misurata | 7 |
| 2.2.4 | Caratterizzazione statistica | 7 |
| 2.3 | Metodo di ricostruzione numerica degli eventi | 7 |
| 3 | Effetti osservati sulla costa abruzzese..... | 10 |
| 3.1 | Osservazioni preliminari | 10 |
| 3.2 | Danni segnalati dai Comuni Costieri..... | 10 |
| 3.2.1 | Comune di Martinsicuro (TE)..... | 10 |
| 3.2.2 | Comune di Alba Adriatica (TE)..... | 10 |
| 3.2.3 | Comune di Roseto degli Abruzzi (TE)..... | 11 |
| 3.2.4 | Comune di Pineto (TE)..... | 11 |
| 3.2.5 | Comune di Silvi (TE)..... | 11 |
| 3.2.6 | Comune di Francavilla al Mare (CH)..... | 11 |
| 3.2.7 | Comune di Ortona (CH)..... | 11 |
| 3.2.8 | Comune di Fossacesia (CH) | 12 |
| 3.2.9 | Comune di Torino di Sangro (CH)..... | 12 |
| 3.2.10 | Comune di Casalbordino (CH)..... | 12 |
| 3.3 | La gestione emergenziale | 13 |
| 4 | Risultati..... | 15 |
| 4.1 | Fonte dei dati..... | 15 |
| 4.2 | Livelli di marea osservati | 16 |
| 4.3 | Vento osservato..... | 18 |
| 4.4 | Anomalia barica..... | 19 |
| 4.5 | Ricostruzione numerica dell'evento | 20 |
| 5 | Osservazioni conclusive..... | 24 |



| | | |
|-----|--|----|
| 5.1 | Ricostruzione dell'evento..... | 24 |
| 5.2 | Gestione della fascia costiera..... | 25 |
| 5.3 | Ulteriori elaborazioni e strumenti di approfondimento..... | 26 |

1 Premesse

Tra il 12 e il 13 novembre 2019, un'intensa perturbazione ha interessato l'intero territorio nazionale. Il Mar Adriatico, in particolare, è stato interessato da importanti fenomeni, legati principalmente alla dinamica di oscillazione del livello medio marino tipici di questa tipologia di bacini.

I fenomeni legati al verificarsi della perturbazione (principalmente variazione del livello marino, moto ondoso e vento) hanno esercitato una notevole pressione sulla costa dell'intero litorale nazionale, con criticità salite alla ribalta della stampa.

Oltre al ben noto fenomeno dell'Acqua Alta che ha raggiunto notevole intensità a Venezia, le coste di tutte le regioni costiere che si affacciano sul Mar Adriatico hanno subito l'azione degli eventi meteomarini, facendo riscontrare talvolta anche danneggiamenti alle infrastrutture pubbliche e private. A solo titolo di esempio, lungi dal voler fornire una lista esaustiva, si citano oltre al ben noto caso di Venezia, quelli di Grado (Friuli-Venezia Giulia), Jesolo, Caorle, Eraclea, Bibione, Chioggia (Veneto), Ravenna, Rimini, Bellaria-Igea Marina (Emilia-Romagna), Fano, Porto Sant'Elpidio, Marina di Montemarciano, Porto Recanati (Marche).

In Abruzzo, anche in questo caso senza pretesa di completezza, stante tuttora le attività di verifica e interventi d'urgenza, si sono registrati eventi di nota a Martinsicuro, Alba Adriatica, Roseto degli Abruzzi, Pineto, Francavilla al Mare e Casalbordino. Al capitolo 3.2 viene fornita un'indicazione specifica anche in rapporto alle conseguenze dell'evento sulle strutture.

Questo documento ha l'obiettivo di sintetizzare i risultati dell'analisi preliminare dell'evento. Le caratteristiche salienti delle azioni meteomarine che hanno sollecitato i litorali regionali sono state desunte dalle misure disponibili e dall'utilizzo di un sistema numerico di ricostruzione di eventi meteomarini e riposta morfodinamica dei litorali (denominato *LIAMHInd*) attualmente in fase di sviluppo dal gruppo di ricerca autore di questo documento.

2 Metodi e strumenti

2.1 Approccio metodologico

I risultati dell'analisi preliminare riportati nel seguente Capitolo 4 sono stati ottenuti tramite le seguenti analisi:

- analisi dei dati di livello di marea osservati;
- analisi dei dati di vento misurati;
- analisi della pressione atmosferica misurata;
- ricostruzione numerica della perturbazione atmosferica;
- ricostruzione numerica della mareggiata;
- caratterizzazione statistica dell'evento.

2.2 Metodi di analisi

2.2.1 Analisi dei livelli di marea misurati

Il livello di marea registrato dai mareografi è il risultato di due componenti: la marea astronomica e quella meteorologica (residuo o sovrizzo di tempesta).

La prima, di natura deterministica, può essere calcolata in qualsiasi punto del globo (e con un elevato grado di precisione) e dipende dall'azione (forza di attrazione gravitazionale) esercitata dal Sole e dalla Luna, sulla crosta terrestre e quindi sulle masse d'acqua che la compongono (per più del 70%); la seconda è legata all'interazione dei bacini con le perturbazioni atmosferiche. Nel periodo di rivoluzione Lunare ($\cong 28$ giorni) esistono due fasi di massima escursione tra alta e bassa marea, nei periodi di sizigia (cioè in luna nuova e luna

piena) e due maree di quadratura, meno intense di quelle di sizigia, che si verificano nei periodi di quadratura della luna (Sole, Terra e Luna formano un angolo di 90 gradi).

Per quanto concerne il sovrizzo di tempesta, invece, questo è dovuto fondamentalmente all'azione tangenziale del vento sulla superficie marina ed al gradiente barico inverso. I gradienti del campo di pressione atmosferica possono dar luogo a sovrizzi approssimativamente dell'ordine di ± 1 cm per ogni millibar di deviazione (rispettivamente aumento o diminuzione) della pressione atmosferica rispetto al suo valore medio ($\cong 1013$ hPa). L'azione tangenziale del vento, invece, provoca un innalzamento del livello medio mare spingendo l'acqua verso il limite fisico offerto dalla costa. L'accoppiamento del sovrizzo barico inverso e dell'azione del vento sono i principali responsabili della marea meteorologica. A questo si aggiunge il contributo legato ad eventuali oscillazioni dei bacini (denominate oscillazioni di sessa) che, talvolta, possono avere un contributo notevole. Il bacino del Mar Adriatico ricade tra i casi per i quali il contributo delle sesse è notevole.

L'obiettivo principale dell'analisi dei livelli è quello di isolare la componente dovuta al contributo meteorologico depurando il livello misurato dalla componente armonica. Tale operazione può essere effettuata utilizzando la tecnica standard dell'analisi armonica (Pawlowicz et al 2002¹, Codiga, 2011²).

Tale analisi prevede che il contributo astronomico possa essere considerato come la somma di componenti sinusoidali dotate di ampiezza, frequenza e sfasamento note (possono essere valutate in funzione della conoscenza della posizione assunta nel tempo tra la Terra il Sole e la Luna). L'estensione della serie temporale definisce univocamente il numero di componenti che possono essere risolte dall'analisi e quindi la sua precisione.

Nel seguente capitolo 4 sono sintetizzati i risultati dell'analisi effettuata sulle serie temporali misurate dai mareografi di San Benedetto del Tronto e di Ortona.

2.2.2 Analisi delle condizioni anemometriche misurate

Le condizioni anemometriche misurate sono state analizzate con la semplice restituzione grafica delle serie temporali osservate.

¹ Pawlowicz, R.; Beardsley, B.; Lentz, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*, 2002, 28.8: 929-937.

² Codiga, D. L. *Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions*. Narragansett, RI: Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, 2011.

2.2.3 Analisi dell'anomalia barica misurata

L'anomalia barica è stata analizzata con la semplice restituzione grafica delle serie temporali osservate.

2.2.4 Caratterizzazione statistica

L'entità della marea meteorologica, così come già sottolineato, è l'espressione (realizzazione) di un fenomeno aleatorio (variabile stocastica) che, pertanto, può essere associato al tempo di ritorno (intervallo temporale che, mediamente, intercorre tra due raggiungimenti o superamenti di un certo livello).

Il sovrizzo meteorologico ricostruito tramite l'analisi delle serie mareografiche permette la caratterizzazione statistica di quanto osservato durante l'evento oggetto di questa relazione. In sintesi, è possibile associare un tempo di ritorno all'evento.

Per quanto riguarda il sito di Ortona, la caratterizzazione statistica è stata effettuata utilizzando i risultati dello "Studio Meteomarino" redatto dalla Regione Abruzzo³. Per quanto riguarda il sito di San Benedetto del Tronto, la caratterizzazione statistica è stata effettuata sulla base dei risultati dell'analisi estemale appositamente condotta sulla serie mareografica (intervallo temporale 1/1/2010 – 31/12/2018).

2.3 Metodo di ricostruzione numerica degli eventi

Alle osservazioni acquisite durante l'evento, è possibile associare i risultati di una simulazione numerica finalizzata alla stima delle condizioni di moto ondoso. Infatti, in assenza di boe ondometriche (situazione attuale della Regione Abruzzo e di molte altre Regioni italiane dopo lo smantellamento della Rete Ondometrica Nazionale), l'unica soluzione è quella di riferirsi a sistemi di previsione/ricostruzione del moto ondoso.

Esistono molti sistemi di questa tipologia che, tuttavia, hanno l'obiettivo di fornire informazioni a grande scala. Seppur l'evoluzione tecnologica abbia permesso un notevole incremento nella discretizzazione spaziale e temporale, la previsione/ricostruzione richiede di solito l'implementazione di un sistema a scala regionale, cioè locale.

³ Regione Abruzzo, Servizio Opere Marittime e qualità delle Acque Marine, Studio Meteomarino redatto nell'ambito del progetto "Gestione integrata dell'area costiera della regione abruzzo piano organico per il rischio delle aree vulnerabili e per la definizione di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale" (DGR. N. 964 del 13 novembre 2002)

Con queste premesse, gli scriventi hanno iniziato l'implementazione di un sistema di previsione/ricostruzione, attualmente in fase di sviluppo, denominato *LiamHInd* (*LIAM hydrodynamic and morfodynamic HIIndacasting numerical system*) e dedicato al litorale della Regione Abruzzo.

Il sistema ha l'obiettivo di fornire i valori dei livelli del mare e delle caratteristiche sintetiche degli stati di mare lungo il litorale regionale abruzzese e del conseguente impatto morfodinamico sulle coste, sia in situazione attuale, sia in relazione a diverse configurazioni di possibile intervento (di difesa costiera).

Con questo intento, è necessario:

1. prevedere/ricostruire le condizioni atmosferiche (in particolare in termini di vento ed anomalie bariche) a grande scala;
2. prevedere/ricostruire le caratteristiche sintetiche degli stati di mare al largo;
3. prevedere/ricostruire le caratteristiche sintetiche degli stati di mare in corrispondenza di una serie di punti localizzati sottocosta;
4. prevedere/ricostruire le variazioni meteorologiche ed astronomiche del livello marino;
5. prevedere/ricostruire l'idrodinamica costiera indotta dall'evento in una serie di aree di interesse a piccola scala, sia in configurazione attuale, sia in relazione a diversi scenari di intervento;
6. prevedere/ricostruire la morfodinamica costiera in una serie di aree di interesse a piccola scala, sia in configurazione attuale, sia in relazione a diversi scenari di intervento.

Il sistema, come già sottolineato, è in fase di sviluppo. Attualmente i moduli di cui ai punti 1, 2 e 4 sono stati sviluppati e in fase di validazione (ricostruzione degli eventi atmosferici, degli stati di mare generati e delle variazioni di livello indotti). Il modulo 4 è stato già applicato con successo al caso di Venezia (Pasquali et al., 2015⁴) e al caso di Manfredonia (Pasquali et al., 2019⁵). Sono in fase di sviluppo i moduli 3 (propagazione sottocosta), 5 (idrodinamica) e 6 (morfodinamica).

⁴ Pasquali, D., Di Risio, M., & De Girolamo, P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 61-69.

⁵ Pasquali, D., Bruno, M. F., Celli, D., Damiani, L., & Di Risio, M. (2019). A simplified hindcast method for the estimation of extreme storm surge events in semi-enclosed basins. *Applied Ocean Research*, 85, 45-52.

Il sistema, opportunamente validato, potrà avere molteplici finalità nell'ambito della gestione integrata della fascia costiera (così come più diffusamente descritto nel paragrafo 5.3):

- permetterà la previsione a breve termine di problematiche relative all'utilizzo della fascia costiera (es. mareggiate);
- permetterà la ricostruzione di eventi intensi;
- permetterà di ottimizzare le configurazioni di intervento.

Nel Capitolo 3 si mostrano i risultati dell'applicazione della configurazione preliminare del sistema *LiamHnd* all'evento in epigrafe.

3 Effetti osservati sulla costa abruzzese

3.1 Osservazioni preliminari

Di seguito si elencano i danni segnalati dai Comuni costieri alla Regione Abruzzo (al 18.11.2019) che evidenziano danneggiamenti alle infrastrutture pubbliche e alle attrezzature private.

La stima economica complessiva dei danni a tali strutture è in fase di contabilizzazione, per una eventuale richiesta al Governo, ai sensi di legge, dello stato di calamità naturale per la costa abruzzese.

Le Amministrazioni comunali hanno poi attuato interventi di somma urgenza, ai sensi dell'art.163 del D.Lgs. 50/2016 e s.m.i., finalizzati alla salvaguardia della pubblica e privata incolumità e a difesa delle infrastrutture pubbliche e di abitati costieri.

3.2 Danni segnalati dai Comuni Costieri

3.2.1 Comune di Martinsicuro (TE)

Erosione del tratto di costa “Martinsicuro centro - verso nord” (con danni a n. 1 stabilimento balneare) e tratto di costa “Villa rosa sud” (con danni a n. 2 “radenti” e n. 4 stabilimenti balneari)

3.2.2 Comune di Alba Adriatica (TE)

Erosione ulteriore del tratto di costa a sud della “Bambinopoli” per circa 900 m. Danni ingenti con crolli parziali di circa 8 stabilimenti balneari (in fase di rilevamento definitiva da parte del Comune). Non si rilevano danni ad infrastrutture pubbliche (la

“Bambinopoli” è stata recentemente messa in sicurezza con risorse regionali e non ha subito danni durante l’evento).

3.2.3 Comune di Roseto degli Abruzzi (TE)

Criticità nel tratto di Cologna Spiaggia dove sono già presenti opere di difesa della costa (scogliere) ed in cui è necessario eseguire opere di “rifioritura” delle stesse per un tratto di circa 1.000 m, anche per la protezione del tratto stradale parzialmente interessato da fenomeni erosivi.

3.2.4 Comune di Pineto (TE)

Erosione ulteriore del tratto di costa “*Pineta Catucci*” ed a Nord della stessa. Danni ingenti alla pista ciclabile e al verde pubblico che sono a ridosso di abitazioni private. Danni a 5 stabilimenti balneari (*in fase di rilevamento definitivo da parte del Comune*). La Figura 1 mostra due immagini relative ai danni osservati.

3.2.5 Comune di Silvi (TE)

Erosione del tratto di costa zona “*Villaggio del Fanciullo*” - verso Nord - per un’estensione lineare di circa 800 m. Danni ai canali di scolo esistenti (*le testate sono state divelte*) e danni ad alcuni stabilimenti balneari (*in fase di rilevamento definitivo da parte del Comune*).

3.2.6 Comune di Francavilla al Mare (CH)

Fenomeni erosivi nel tratto di costa centrale e danni ad alcuni stabilimenti balneari (*in fase di rilevamento definitivo da parte del Comune*); non sono stati segnalati danni a strutture pubbliche.

3.2.7 Comune di Ortona (CH)

Erosione del tratto di costa “*Zona Riccio - Fiume Foro*”. Danni ad alcuni tratti della pista ciclabile (*depositi di ghiaie e detriti*) e ulteriori fenomeni di insabbiamento specchio acqueo portuale (*in fase di rilevamento definitivo da parte del Comune*).

3.2.8 Comune di Fossacesia (CH)

Registrato fenomeni erosivi su spiagge con danni a canali di scolo otturati da cumuli di ghiaia movimentate dalla mareggiata e danni a strutture balneari (*in fase di rilevamento definitivo da parte del Comune*).

3.2.9 Comune di Torino di Sangro (CH)

Danni alle barriere frangiflutti (infrastrutture pubbliche) nel tratto di costa denominato: “*Borgata Marina*”. Al momento non si segnalano danni a stabilimenti balneari.

3.2.10 Comune di Casalbordino (CH)

Erosione ulteriore del tratto di costa nel tratto “*Lungomare Alessandrini*” (circa 600 m – *danni viabilità pubblica*) e parte del tratto “*Lungomare Bachelet*” (*con danni a 2 stabilimenti balneari*).

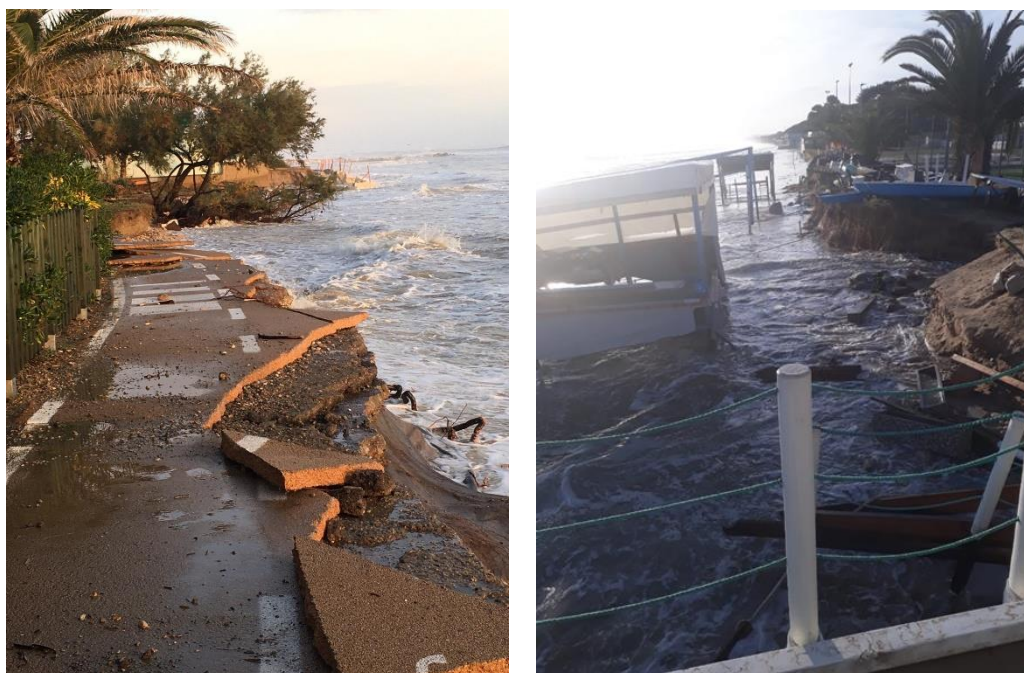


Figura 1 – Danni registrati lungo il litorale di Pineto.

3.3 La gestione emergenziale

La gestione della fase emergenziale ha coinvolto le istituzioni e gli enti competenti unitamente alle iniziative che hanno attuato i proprietari delle strutture adiacenti alla linea di costa o i concessionari di proprietà demaniale.

Successivamente alle comunicazioni delle Amministrazioni, di avvenuto avvio della procedura di Somma Urgenza, la Regione Abruzzo ha autorizzato, secondo le disponibilità di bilancio, la copertura finanziaria per procedere alla messa in sicurezza dei tratti di costa interessati degli eventi calamitosi, ai sensi dell'art.3 della LR 17 / 1974, per la tutela di infrastrutture pubbliche danneggiate. La Regione Abruzzo ha previsto inoltre, per la parte priva di copertura finanziaria, il necessario ricorso a risorse da reperirsi entro 30 giorni, tramite le procedure ai sensi del vigente Codice Appalti dal competente Servizio Bilancio. In caso di mancanza di tale copertura sarà attivata necessariamente la procedura per il riconoscimento del debito fuori bilancio.

I titolari delle strutture private autorizzate sul demanio marittimo (stabilimenti balneari, casotti, cabine ecc.), in risposta all'emergenza, hanno posizionato opere a difesa, come previsto dall'art. 7 comma 8 dell'Ordinanza Balneare 2019 emanata dalla Regione Abruzzo e dalla Circolare n.2/2019 del DPE012.

L'istanza va inviata al Comune territorialmente competente che, in qualità di gestore del Demanio Marittimo come previsto dall'art. 7, comma 12 del vigente Piano Demaniale Marittimo Regionale approvato con DCR n.20/4 del 24/2/2015, provvede al rilascio dell'autorizzazione per la realizzazione delle opere temporanee di difesa dello specifico stabilimento balneare e a verificarne la conformità alle suddette prescrizioni e condizioni.

Si fa osservare che l'Amministrazione Comunale ha la possibilità di avvalersi del supporto tecnico del Servizio Opere Marittime e Qualità delle Acque Marine per quanto riguarda:

- le dinamiche morfologiche e sedimentologiche;
- la difesa e il ripascimento degli arenili;
- il monitoraggio delle acque marine ai fini della balneazione;
- i pareri per le opere che eventualmente interferiscono con l'idrodinamica costiera.

Le opere di difesa (massi naturali o prefabbricato in CLS), posizionate il più possibile in adiacenza ai manufatti da proteggere, vanno depositate e assemblate a secco, al fine di garantire una facile rimozione. Infatti, essendo posizionamenti temporanei (da autunno a primavera), devono essere rimosse prima dell'inizio delle nuove stagioni balneare.

Solo nel caso in cui lo stato erosivo e il rischio di danneggiamento da parte del mare permanesse anche durante il periodo della stagione balneare, le opere di difesa possono essere conservate segnalando e richiedendo al Comune territorialmente interessato una verifica di persistenza del fenomeno.

Le opere che risultino troppo prossime o incidenti sulla linea di riva vanno integrate con opere correttive e di mitigazione al fine di evitare significativi fenomeni erosivi ai bordi e nelle aree adiacenti, a segnalando le situazioni di criticità al Comune e alla Regione Abruzzo.

4 Risultati

4.1 Fonte dei dati

Le misure di livello, pressione atmosferica e vento, vengono fornite (ogni 10 minuti) dalle stazioni mareografiche appartenenti alla Rete Mareografica Nazionale (RMN) e gestite dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Ogni stazione è dotata di un trasduttore di livello radar (TLR) con accuratezza ± 1 mm, un sensore barometrico (SIAP+MICROS PA9880), con precisione ± 0.3 hPa ed un trasduttore di direzione del vento (T007 TDV) con accuratezza ($\pm 0.5\%$).

Il livello fornito è da riferirsi ad una staffa mareografica la cui quota è determinata riferendosi al più vicino caposaldo della rete dell'Istituto Geografico Militare (IGM) le cui quote sono da riferirsi al geoide individuato dal livello medio marino (livello zero) calcolato in relazione al mareografo di Genova per la penisola italiana e per quelli di Catania e Cagliari per le isole (Beltrami, 2011)⁶.

I mareografi presi in considerazione per l'analisi di marea sono quella di Ortona ($42^\circ 21' 21.24''$, $14^\circ 24' 53.50''$), che ricade nel territorio della regione Abruzzo, e quella di San Benedetto del Tronto ($42^\circ 57' 18.44''$, $13^\circ 53' 23.13''$) nella regione Marche. Il mareografo di Ortona è ubicato all'interno del porto, presso il molo Martello mentre quella extraregionale è ubicato presso il Circolo Nautico Sanbenedettese. Entrambe le stazioni, come già

⁶ Beltrami, G. M. Marea Astronomica E Meteorologica In Italia: Analisi propedeutiche ad applicazioni di ingegneria marittima e costiera e allo sfruttamento delle sue potenzialità energetiche. Studi Di Aggiornamento Sull'ingegneria Off-Shore E Marina, Sede Operativa AIOM di Lecce, Università del Salento, Monastero degli Olivetani, 30 giugno e 1 luglio 2011

evidenziato precedentemente, sono dotate di caposaldo altimetrico riferito al livello medio mare del mareografo di Genova.

4.2 Livelli di marea osservati

La Figura 2 mostra i risultati dell'analisi effettuata sulla serie temporale dei livelli di marea acquisita tramite la stazione di San Benedetto del Tronto. Analogamente, la Figura 3 mostra i risultati ottenuti considerando la serie temporale acquisiti tramite la stazione di Ortona. Il primo può ritenersi rappresentativo dei livelli verificatisi nel litorale settentrionale della Regione Abruzzo, il secondo di quelli del litorale meridionale.

I livelli sono riferiti alla quota rispetto al geoido che differisce in maniera trascurabile (circa 3 cm) rispetto al livello medio locale dei due punti di misura.

A **San Benedetto del Tronto**, il livello totale ha raggiunto il valore massimo pari a **+0.95 m** nella notte tra il 12 e il 13 novembre (approssimativamente alle ore 01:00UTC, ore locali 00:00). Un massimo relativo si è verificato precedentemente nella giornata del 12 novembre (approssimativamente attorno alle ore 14:00UTC, 13:00 ora locale), raggiungendo una quota pari a circa +0.86 m. Entrambi i massimi si sono verificati in corrispondenza dell'ora di alta marea. Si osserva che l'oscillazione di marea è di sizigia, essendo stato il 12 novembre giorno di luna piena. Il contributo della componente meteorologica, tuttavia, è stato stimato quale quello più importante, raggiungendo il valore di +0.69 m nella notte tra il 12 e il 13 novembre e di +0.68 m nel pomeriggio del 12 novembre. Si osserva, inoltre, che il sovrizzo meteorologico si è attestato attorno a +0.20 m sin dal 4 novembre. L'analisi estrema della serie storica dei livelli residui a San Benedetto del Tronto permette di associare all'evento un tempo di ritorno pari a circa **30 anni**.

A solo titolo comparativo, durante l'evento del febbraio 2019 (anch'esso avvenuto in sizigia) si è registrato un livello massimo pari a circa +0.78 m.

A **Ortona**, il livello totale ha raggiunto il valore massimo pari a **+0.87 m** nella notte tra il 12 e il 13 novembre (approssimativamente alle ore 02:00UTC, ore locali 01:00). Un massimo relativo si è verificato precedentemente nella giornata del 12 novembre (approssimativamente attorno alle ore 12:00UTC, 11:00 ora locale), raggiungendo una quota pari a circa +0.75 m. Entrambi i massimi si sono verificati in corrispondenza dell'ora di alta

marea. Si osserva ancora che l'oscillazione di marea è di sizigia, essendo stato il 12 novembre giorno di luna piena. Il contributo della componente meteorologica, tuttavia, è stato stimato quale quello più importante, raggiungendo il valore di +0.61 m nella notte tra il 12 e il 13 novembre e di +0.57 m nella mattina del 12 novembre. L'analisi estremale della serie storica dei livelli residui a Ortona, desunta dai risultati dello Studio Meteomarinò della Regione Abruzzo, permette di associare all'evento un tempo di ritorno pari a circa **30 anni**. Anche in questo caso, si osserva che il sovrizzo meteorologico si è attestato attorno a +0.20 m sin dal 4 novembre.

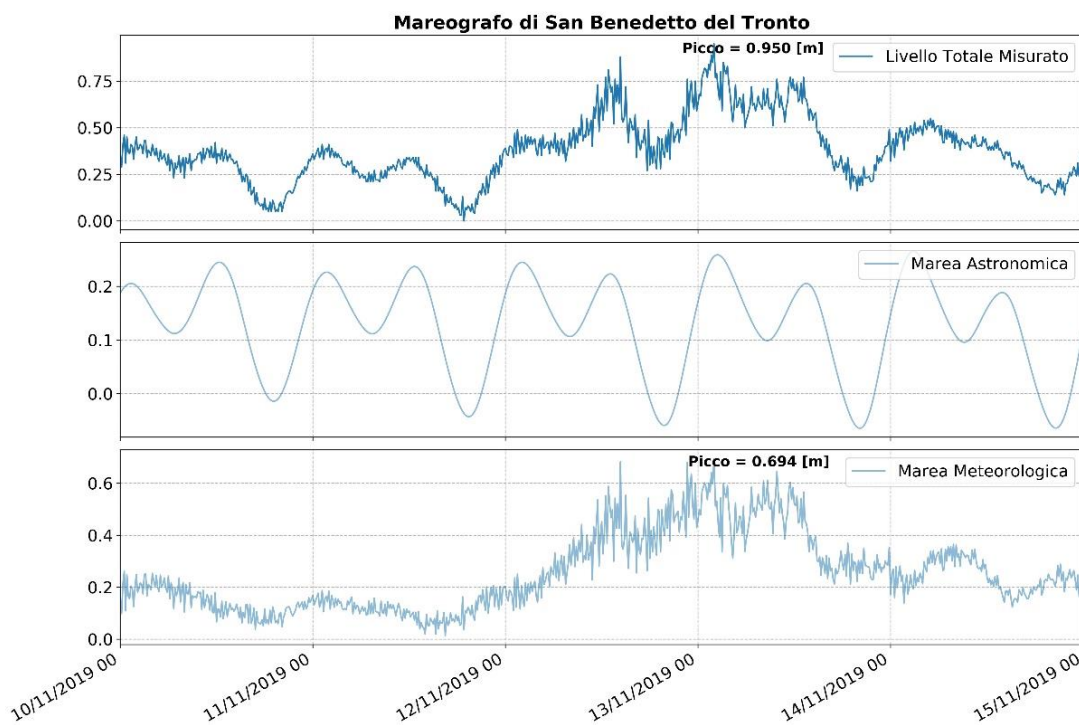


Figura 2 – Livelli di marea (m lmm) misurati a San Benedetto del Tronto (grafico in alto), componente astronomica (grafico al centro), componente meteorologica stimata (grafico in basso).

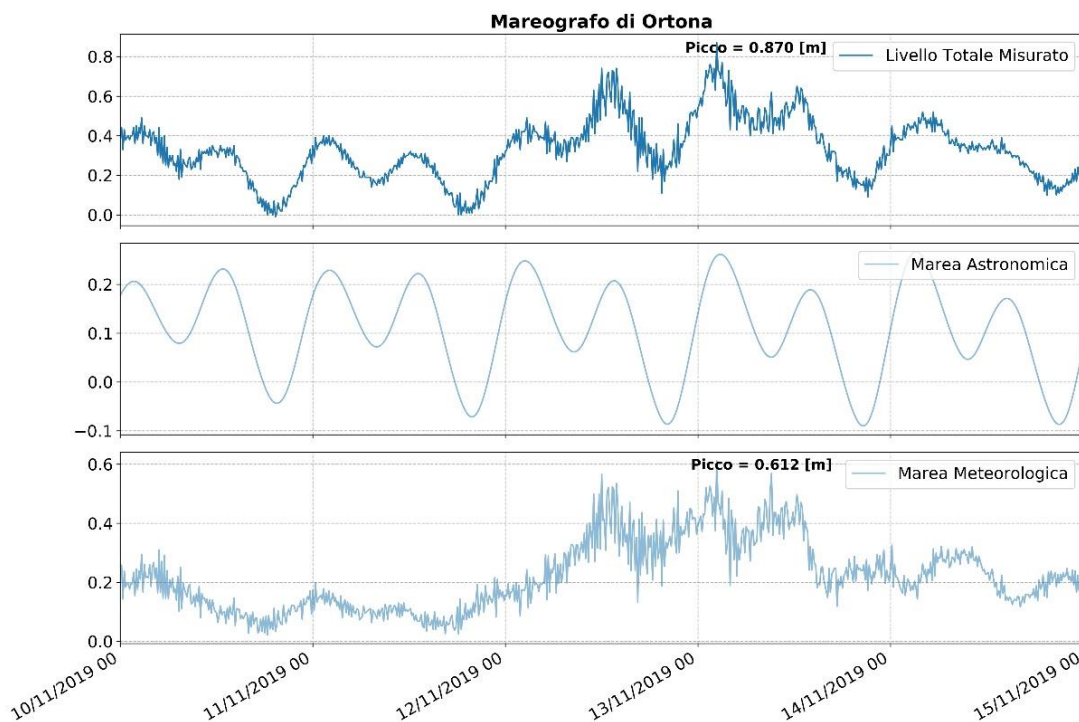


Figura 3 – Livelli di marea (m lmm) misurati a Ortona (grafico in alto), componente astronomica (grafico al centro), componente meteorologica stimata (grafico in basso).

4.3 Vento osservato

La Figura 4 mostra l'andamento delle condizioni anemometriche misurate tramite la stazione di San Benedetto del Tronto. Analogamente, la Figura 5 mostra quello relativo ai dati acquisiti tramite la stazione di Ortona.

È da sottolineare che le condizioni anemometriche sono fortemente influenzate dalla topografia e, quindi, non sono da ritenersi rappresentative di quanto è accaduto al largo.

A **San Benedetto del Tronto**, il vento ha di poco superato i **6.0 m/s** (circa pari a 12 nodi), con valori massimi avvenuti proprio in corrispondenza temporale con i livelli massimi di marea.

Analogamente, a **Ortona** (ove il ruolo della topografia può giocare un ruolo ancora più importante a causa della presenza della falesia caratteristica dell'area posta in

corrispondenza del Porto ove la stazione è installata), durante l'evento il vento ha raggiunto circa i **6.0 m/s**.

4.4 Anomalia barica

La Figura 6 mostra l'andamento della pressione atmosferica misurata tramite la stazione di San Benedetto del Tronto. Analogamente, la Figura 7 mostra quello relativo ai dati acquisiti tramite la stazione di Ortona.

Sia a **San Benedetto del Tronto**, sia a **Ortona**, si osserva un valore minimo della pressione atmosferica pari a circa **992 hPa**, che si è verificato in concomitanza con il picco del livello totale. La semplice della stima del sovrizzo indotto dall'effetto barico inverso (per cui, in prima approssimazione, ad ogni hPa di differenza rispetto alla pressione di 1013 hPa corrisponde un aumento del livello pari a 1 cm) porta ad un valore pari a **+0.21 m**.

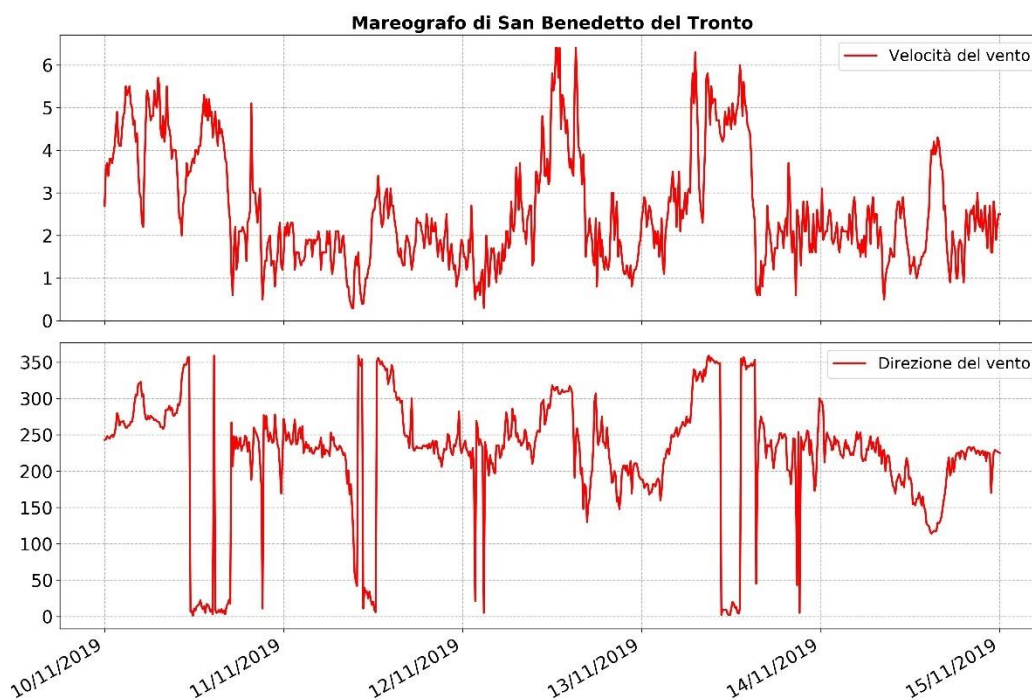


Figura 4 – Condizioni anemometriche misurate a San Benedetto del Tronto: intensità (m/s, grafico in alto) e direzione di provenienza (°N, grafico in basso).

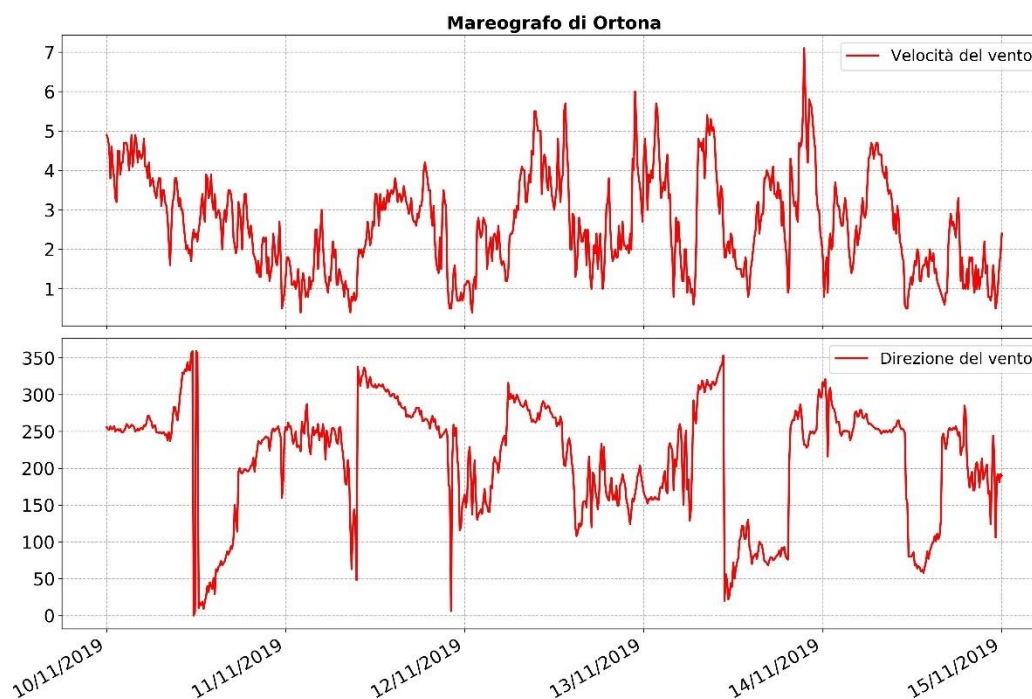


Figura 5 – Condizioni anemometriche misurate a Ortona: intensità (m/s, grafico in alto) e direzione di provenienza (°N, grafico in basso).

4.5 Ricostruzione numerica dell'evento

L'evento si riconduce al verificarsi di un ciclone Mediterraneo che ha indotto un evento di Scirocco che ha eccitato le oscillazioni del Mar Adriatico (sesse). L'altezza d'onda significativa stimata al largo del litorale abruzzese si attesta attorno ai 2.0 m. Tale valore non elevato (ricordando comunque che il modello utilizzato è stato soltanto parzialmente validato) è da ricondursi all'esposizione del paraggio caratterizzato dall'azione di schermo agli eventi di Scirocco offerto dal Promontorio del Gargano.

A solo titolo di esempio, le Figure 6 e 7 mostrano l'intensità (scala dei colori) e la direzione (campo vettoriale) del vento in un istante significativo della perturbazione. La Figura mostra i risultati di una delle simulazioni effettuate, sia per l'intero bacino del Mediterraneo

(risoluzione spaziale pari a 30 km, Figura 6), sia per la simulazione (innestata) ad alta risoluzione (risoluzione spaziale pari a 3.3 km, Figura 7) relativa al bacino dell'Adriatico. La Figura 8 mostra, analogamente, il campo d'onda risultante.

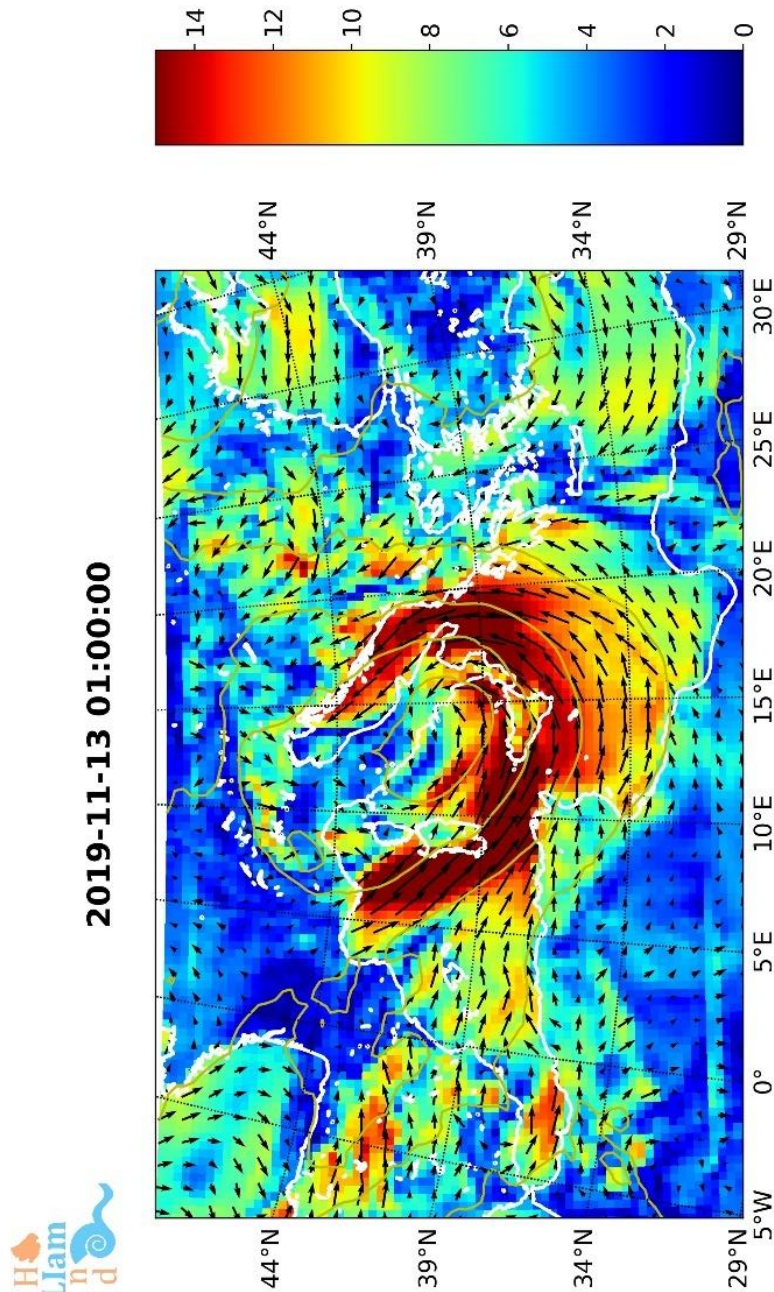


Figura 6 - Campo vettoriale del vento (la scala dei colori si riferisce all'intensità del vento (m/s), i vettori alla direzione) calcolato per il bacino del Mediterraneo (risoluzione spaziale pari a 30 km). Il grafico mostra anche le linee isobare relative alla pressione atmosferica al livello del mare.

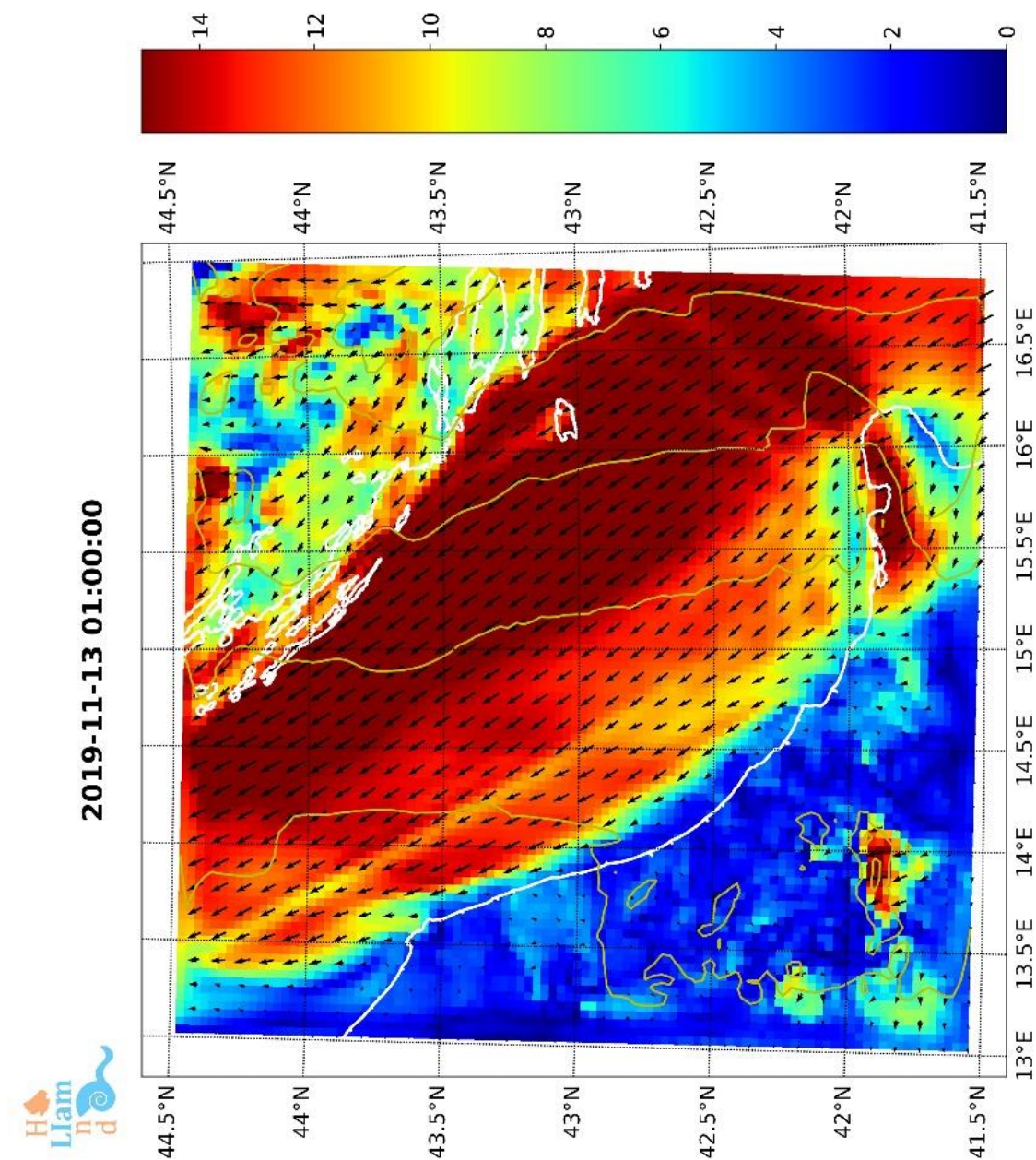


Figura 7 - Campo vettoriale del vento (la scala dei colori si riferisce all'intensità del vento (m/s), i vettori alla direzione) calcolato per il bacino del Mar Adriatico (risoluzione spaziale pari a 3.3 km). Il grafico mostra anche le linee isobare relative alla pressione atmosferica al livello del mare.

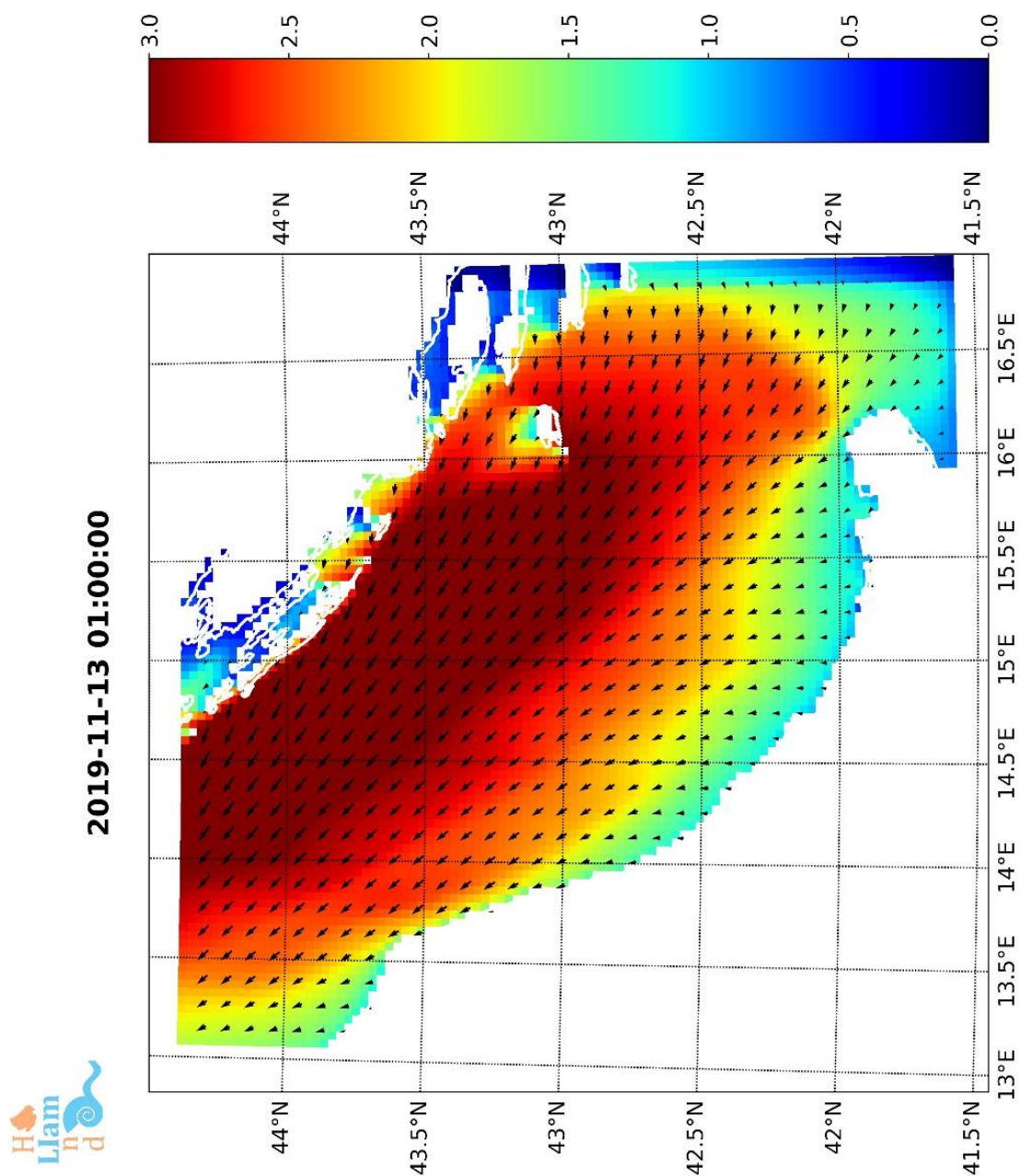


Figura 8 – Campo di moto ondoso (la scala dei colori si riferisce all'altezza d'onda significativa, i vettori alla direzione di propagazione) calcolato per il bacino del Mar Adriatico (risoluzione spaziale pari a 3.3 km).

5 Osservazioni conclusive

5.1 Ricostruzione dell'evento

Sulla base dei risultati ottenuti, si può osservare quanto segue:

- Il livello del mare ha raggiunto +0.95 m nella zona Nord del litorale regionale e +0.87 m nella zona Sud.
- In termini di variazione del livello del mare di origine meteorologica, sulla base dell'analisi statistica estrema della serie storica dei livelli a San Benedetto del Tronto e Ortona, l'evento è associato ad un tempo di ritorno di circa **30 anni**.
- La sola componente meteorologica ha raggiunto +0.69 m a Nord e +0.61 m a Sud.
- La componente dovuta al solo effetto barico inverso è stata stimata in circa +0.21 m.
- L'evento è avvenuto in condizioni di sизigia.
- L'effetto dovuto all'oscillazione del bacino Adriatico (responsabile del fenomeno dell'Acqua Alta a Venezia) ha avuto un ruolo importante nel raggiungimento del livello totale.
- Il moto ondoso è caratterizzato da intensità non eccezionale con altezza d'onda significativa stimata circa pari a 2.0 m (al largo).
- Il contributo del moto ondoso al sovrizzo è stimato, in assenza di opere, in circa 0.5 m.
- Ne risulta che il livello totale in assenza di opere, ha raggiunto verosimilmente un valore pari a circa **+1.45 m**.
- Considerando le pendenze tipiche delle spiagge emerse protette da opere longitudinali, e quindi trascurando totalmente il contributo del moto ondoso, si ottiene in prima approssimazione un'ampiezza della spiaggia emersa allagata durante l'evento pari a circa 60-70 m.

- Considerando le pendenze tipiche delle spiagge emerse non protette da opere longitudinali, e quindi considerando il contributo del moto ondoso, si ottiene in prima approssimazione un'ampiezza della spiaggia emersa allagata durante l'evento pari a circa 70-80 m.

5.2 Gestione della fascia costiera

L'evento del 12-13 novembre 2019, così come confermato dalla ricostruzione e dalle osservazioni di campo, evidenzia l'importanza di una corretta gestione della fascia costiera che non può fermarsi alla definizione degli interventi di difesa costiera, ma deve esplicitarsi anche in una corretta gestione dell'utilizzo della fascia costiera.

Le analisi disciplinari e funzionali alla pianificazione degli usi e delle trasformazioni della fascia costiera hanno come indirizzo di riferimento gli eventi e le conseguenze territoriali dei cambiamenti climatici in atto.

In tale scenario di mitigazione e adattamento e con specifici strumenti conosciuti e propositivi vanno integrati gli apparati programmatori e pianificatori per la gestione della fascia costiera.

Le considerazioni e le soluzioni tecniche di mitigazione del rischio vanno rapidamente inserite negli strumenti di pianificazione demaniale regionali e comunali al fine di rendere efficaci le prescrizioni e le attuazioni previste negli stessi.

Si fa osservare, infatti, che le opere di difesa costiera non sono efficaci quando gli eventi si esplicano con una grande variazione del livello medio, quale sovrapposizione della marea meteorologica e della marea astronomica, con mareggiate di lieve-media intensità.

D'altra parte, l'efficacia delle opere di difesa costiera ha un effetto diretto sull'ampiezza di spiaggia che, almeno parzialmente, tendono a rendere meno vulnerabili le aree retrostanti ai fenomeni di allagamento costiero indotto dalle onde.

L'evento rende evidente l'importanza delle quote di installazione delle strutture pubbliche e private e l'influenza della presenza di strutture rigide sull'evoluzione dell'inondazione costiera. D'altra parte, il Piano Demaniale Regionale già prevede che "è vietata la realizzazione di opere fisse riflettenti il moto ondoso che abbiano finalità diverse da quelle di difesa della costa" (Art. 12, Comma 4) e che "I manufatti, al fine di consentire l'espansione dell'onda massima di tempesta, devono essere staccati dal piano dell'arenile di almeno un metro" (Art. 5, Comma 11).

5.3 Ulteriori elaborazioni e strumenti di approfondimento

A seguito dell'approfondimento scientifico effettuato si può considerare l'utilità di sviluppare uno strumento di un modello operativo finalizzato alla gestione specifica del litorale abruzzese e correlato intimamente alla carta del rischio della fascia costiera (**LRMM** Level Risk Management Model).

L'implementazione di siffatto modello (schema in Figura 9) che restituisca il livello di allagamento dei litorali (elevazione, durata, entità), e costituito dal modello di ricostruzione/previsione denominato *LiamHInd* per quanto riguarda la parte fisica, permetterebbe:

- di definire l'apparato analitico di base per i piani di adattamento ai cambiamenti climatici e di mitigazione del rischio agli eventi connessi;
- l'allerta specifica ai fini dell'installazione di opere provvisorie di contenimento dei danni alle strutture;
- la conoscenza preventiva delle fasce di litorale e delle strutture che andrebbero fuori servizio e i costi attesi;
- la pianificazione e verifica di opere idrauliche di contenimento degli allagamenti e dei livelli elevati;
- di definire il supporto conoscitivo agli strumenti di gestione demaniale sia regionali che comunali;
- la caratterizzazione statistica degli eventi previsti/ricostruiti sia in termini di livello marino, sia in termini di moto ondoso;
- l'analisi dell'efficacia delle previsioni progettuali anche in termini di evoluzione morfodinamica a breve termine (cioè alla scala del singolo evento).

Level Risk Management Model

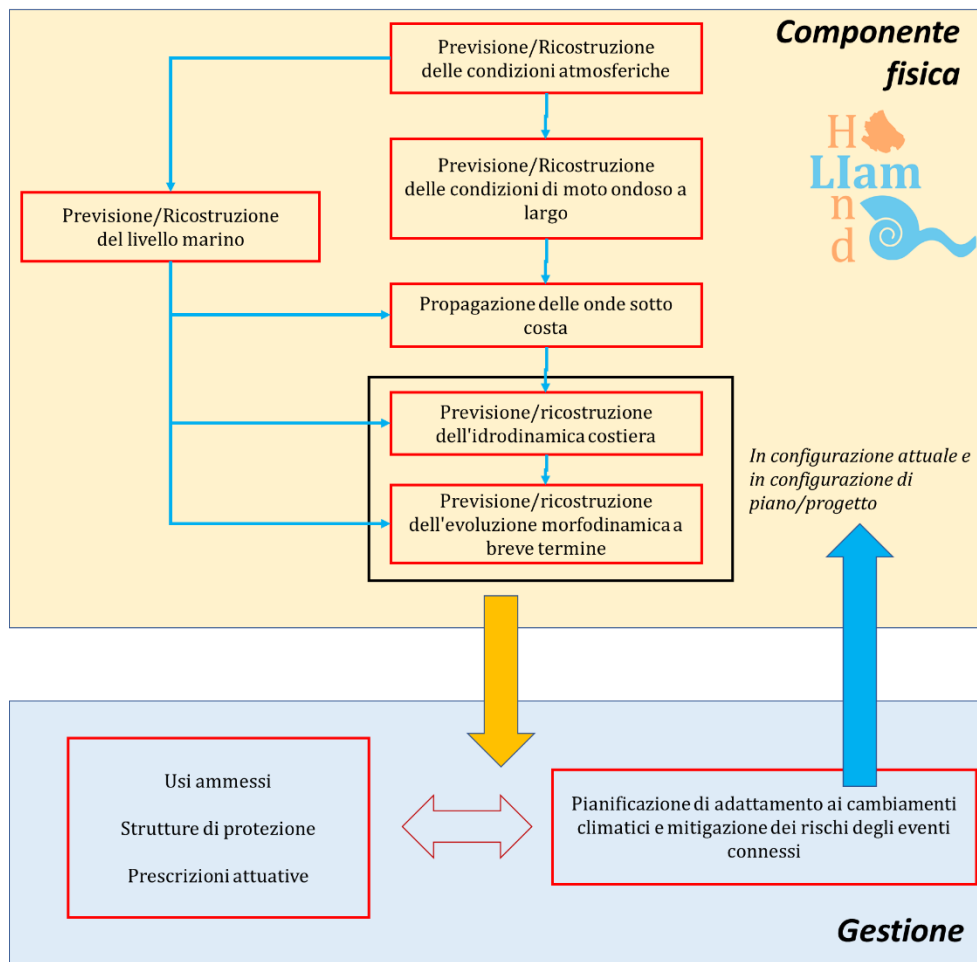


Figura 9 – Schema del modello LRMM di gestione del rischio della fascia costiera.