

## Guida metodologica per il monitoraggio di infrastrutture soggette a VIA nazionale e potenzialmente in grado di alterare in modo significativo e permanente le condizioni idrologiche e caratteristiche fisiografiche

### Fasi di lavoro

1. Definizione delle soglie a livello nazionale per valutare il livello di significatività dei cambiamenti delle condizioni idrologiche indotte da infrastrutture soggette a VIA nazionale a cura di ISPRA.
2. Modello dell'infrastruttura 3D a cura del proponente.
3. Ricognizione raccolta e armonizzazione di dati di monitoraggio di parametri idrologici e caratteristiche fisiografiche nelle unità fisiografiche afferenti le infrastrutture individuate.
4. Iniziale caratterizzazione dell'*area di indagine* mediante modello a mesoscala calibrato/validato con i dati di monitoraggio di cui al punto 3 nello scenario con e senza infrastruttura in riferimento al periodo 1987-2016. A cura di... (ARPA, CNR, LAM, INGV, CMCC,...).
5. Previsione areale di modifica delle condizioni idrografiche in base ai risultati ottenuti dal modello a mesoscala (punto 4) e alle soglie definite al punto 1. A cura di... (ARPA, CNR, LAM, INGV, CMCC,...).
6. Monitoraggio e simulazione numerica mediante modello numerico di dettaglio su area di indagine individuata al punto 4. A cura del proponente.
7. Stima del *poligono* che presenta cambiamenti significativi e permanenti delle condizioni idrografiche in base alle soglie definite al punto 1 e sui risultati del punto 6. Confronto con l'areale di modifica delle condizioni idrografiche individuata al punto 5. A cura di ISPRA.
8. Al fine di controllare il raggiungimento del GES per il D7, per i casi in cui il modello numerico di dettaglio è calibrato e validato su almeno tre anni di monitoraggio effettuati a seguito della realizzazione dell'infrastruttura, inclusione del *poligono* di cui al punto 7) nel computo complessivo a scala sub-regionale dell'area interessata da cambiamenti significativi e permanenti delle condizioni idrografiche.

## Modellistica numerica

Con riferimento allo schema di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, si prevede una fase modellistica preliminare con modelli a mesoscala opportunamente validati e calibrati con misure in situ, che permettono di stimare in prima approssimazione l'estensione dell'area interessata da alterazioni significative delle condizioni idrografiche. La caratterizzazione dell'area di indagine è ottenuta confrontando i risultati delle simulazioni effettuate con il modello a mesoscala nelle due configurazioni con e senza infrastruttura su un periodo sufficientemente lungo da non associare i cambiamenti idrografici alle variazioni stagionali ma neanche eccessivamente esteso per non considerare gli effetti dovuti ai cambiamenti climatici. La fase successiva prevede l'implementazione della fase modellistica di dettaglio attraverso l'impiego di modelli idrodinamici 3D volta a fornire un'analisi accurata delle alterazioni idrografiche nell'area di indagine. I modelli per la propagazione del moto ondoso possono essere integrati nel modello idrodinamico, nell'ambito di un approccio accoppiato, oppure essere disaccoppiati, utilizzando modelli 2D (ad esempio lo SWAN-Simulating WAVes Nearshore). Qualora la risoluzione della propagazione del moto ondoso sia integrata nel modello idrodinamico, viene descritta la dinamica di ogni singola onda, ottenendo una descrizione dettagliata della sua propagazione spazio-temporale. Al contrario nei modelli disaccoppiati con l'idrodinamica, viene descritta l'evoluzione degli stati di mare, che costituiscono una rappresentazione statistica del moto ondoso presente nell'area, basata su equazioni per la propagazione/conservazione dell'energia associata alle onde.



Figura 1: Pianificazione dell'approccio modellistico per l'individuazione dell'area che presenta alterazioni significative delle condizioni idrografiche

## **Validazione dei modelli**

La validazione è volta alla verifica della accuratezza dei modelli numerici nel risolvere le equazioni che governano il problema. Il modello è detto validato quando è accertato che l'accuratezza e la capacità predittiva rimangono all'interno di prefissati limiti di accettabilità nel periodo di validazione. Per verificare l'affidabilità dell'approccio modellistico scelto ossia se il modello sia in grado di realizzare delle stime accurate rispetto ai valori misurati dovranno essere adottate specifiche metodologie di analisi e sintesi dei risultati.

## **Relazione tra modellistica e monitoraggio ambientale**

Un pre-requisito basilare per il corretto utilizzo dei modelli numerici a supporto della caratterizzazione ambientale in termini di cambiamenti delle condizioni idrologiche è la mutua-interazione con il monitoraggio ambientale. I modelli, infatti, sono di ausilio per la corretta pianificazione di reti di monitoraggio ambientali "sito-specifiche", supportando sia l'individuazione della corretta area da monitorare sia l'ottimizzazione della strategia di monitoraggio in termini di numerosità, posizionamento delle stazioni e frequenze di campionamento (in questo caso, in funzione di valutazioni relative alle alterazioni idrodinamiche e morfologiche indotte dalla infrastruttura). Il monitoraggio, d'altro canto, fornisce dati importanti e necessari all'implementazione, calibrazione e validazione dei modelli numerici.

# ALLEGATO A

## Modellistica preliminare a mesoscala

### Caratteristiche dei modelli

---

Il modello idrodinamico da implementare soddisfa le seguenti caratteristiche minimali:

- modello idrodinamico 3D, a superficie libera in coordinate verticali sigma e in approssimazione di Boussinesq;
- risolve sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali in cui sono rappresentate tutte le leggi che sono alla base della dinamica marina, ossia le equazioni di Navier-Stokes per i fluidi geofisici, l'equazione di continuità, l'equazione di stato e le equazioni per la conservazione della temperatura e la salinità.
- è in grado di simulare i seguenti fenomeni fisici:
  - correnti;
  - trasporto di sedimenti;
  - modifiche delle caratteristiche morfologiche.

Il modello ondometrico deve essere un “wave action model” di terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Il modello deve descrivere le onde mediante lo spettro bidimensionale di densità di azione d’onda perché, in presenza di correnti, la densità di azione si conserva mentre la densità di energia non si conserva. Deve avere un’implementazione fisica ed algoritmi di calcolo numerico concepiti per lo studio specifico della propagazione delle onde da vento in acque basse.

## Processi implementabili nei modelli

---

Il modello idrodinamico deve tener conto dei seguenti processi:

- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- gradienti di pressione baroclina;
- densità variabile in funzione di salinità, temperatura e pressione (valutata con equazione di stato UNESCO 1980);
- trasporto di componenti conservativi quali salinità, energia termica e altro;
- Turbolenza: l'effetto della turbolenza (non la turbolenza stessa) è modellato tramite l'introduzione di sforzi interni (il cosiddetto tensore degli sforzi di Reynolds) che possono essere definiti mediante opportune formule di chiusura (es. modelli  $k-\varepsilon$  o  $k-\Omega$ );
- attrito al fondo;
- scambio verticale di quantità di moto dovuto alle onde interne;
- effetto delle onde sullo sforzo di taglio sul fondo;
- radiation stress indotto dalle onde;
- flussi attraverso le strutture idrauliche.

Il modello ondometrico deve tenere conto dei seguenti processi:

- rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente
- shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente
- generazione dovuta al vento
- dissipazione dovuta al whitecapping
- dissipazione dovuta all' attrito al fondo
- frangimento
- redistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari
- trasmissione/riflessione/sbarramento del moto ondoso in presenza di ostacolo
- diffrazione

## **Metodologia applicativa dei modelli**

---

Dovranno essere previste simulazioni numeriche per la ricostruzione delle condizioni idrografiche (correnti, moto ondoso, dinamica litoranea, temperatura, torbidità, ecc.) attraverso l'uso di un modello idrodinamico e di un modello ondometrico, nello scenario con e senza infrastruttura per il periodo 1987-2017.

## **Dominio di calcolo**

---

La griglia di calcolo deve essere scelta in funzione della conformazione e della posizione dell'infrastruttura in esame, inglobando tutta l'estensione dell'unità fisiografica afferente.

Dovrà essere adottata una griglia non strutturata in cui è possibile ottenere un maggior dettaglio nell'area interessata dall'infrastruttura idraulica o più in generale in prossimità di habitat di particolare valore ecosistemico (tab.1) e con risoluzione spaziale compresa nell'intervallo 25-500 metri.

Per il modello idrodinamico dovranno essere definiti un numero di livelli verticali nel sistema di coordinate sigma pari al numero di livelli verticali resi disponibili al bordo del dominio di calcolo dal modello CMEMS utilizzato per le condizioni al contorno.

## **Batimetria**

---

Per i dati batimetrici da implementare nel modello a mesoscala si dovrà far riferimento a: dati topo-batimetrici estratti da carte dell'Istituto Idrografico della Marina Militare (IIMM, in scala 1:25.000/1:50.000/1:100.000).

## **Risoluzione spaziale del modello 3D dell'infrastruttura**

---

Il modello 3D dell'infrastruttura dovrà avere una risoluzione minima di 2 metri.

## Condizioni iniziali/contorno (dati di input, forzanti...)

---

I dati di input nel modello idrodinamico a mesoscala dovranno prevedere i campi di temperatura, salinità e corrente disponibili sul portale CMEMS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>):

- MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004 (Reanalisi Mar Mediterraneo disponibili dal 01/01/1987 al 31/12/2017)  
risoluzione spaziale: 1/16° - 72 z vertical levels  
risoluzione temporale: media giornaliera, media mensile

Queste reanalisi sono state prodotte dal modello idrodinamico MFS (Mediterranean Forecasting System). Il sistema di previsione MFS è un sistema di previsione numerica che produce analisi, reanalisi e previsioni a breve termine per l'intero Mar Mediterraneo. Il modello adotta lo schema di assimilazione dei dati OceanVAR (Oceanographic VARiational data assimilation scheme sviluppato presso INGV/CMCC) per profili verticali di temperatura e salinità.

I dataset meteo-marini ERA5 del ECMWF (Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine) devono essere utilizzati come condizioni al contorno per il modello ondometrico. ERA5 fornisce rianalisi orarie di un gran numero di variabili climatiche (atmosferiche, terrestri e oceaniche) dal 1979 fino a 3 mesi dal tempo attuale. Le rianalisi sfruttano il sistema di assimilazione EDA (Ensemble of data assimilations) basato sulla tecnica di assimilazione variazionale 4D-Var. I dataset sono forniti con un passo di circa 31 km.

La forzante atmosferica dovrà essere implementata, sia nel modello idrodinamico che ondometrico, con i campi di vento provenienti dalle analisi fornite dal Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine (ECMWF). In particolare si dovrà far riferimento al prodotto ERA5.

## Calibrazione

---

La calibrazione è volta alla taratura dei valori dei coefficienti presenti nelle equazioni finalizzata all'ottimizzazione dei risultati del modello rispetto a dati misurati. I data sets da utilizzare sono quelli di cui al punto 3. delle fasi di lavoro.

---

## Intervallo temporale scenario con e senza infrastruttura

---

Il periodo dell'intera simulazione numerica, per ciascuna delle configurazioni considerate (con e senza l'infrastruttura), è riferito al periodo dal 01/01/1987 al 31/12/2017

## Risoluzione spazio-temporale di output

---

In output dovranno essere forniti, sul grigliato di riferimento, il campo vettoriale delle correnti, del moto ondoso, del trasporto solido calcolato, i tassi di sedimentazione/erosione del fondo e le variazioni morfologiche del fondale. L'intervallo temporale previsto per i campi in uscita del modello dovrà essere orario.

## Validazione

---

Per verificare l'affidabilità dell'approccio modellistico scelto ossia se il modello sia in grado di realizzare delle stime accurate rispetto ai valori misurati dovranno essere adottate specifiche metodologie di analisi e sintesi dei risultati. Nello specifico, la validazione del modello dovrà essere effettuata attraverso la stima di diversi parametri statistici e la verifica che tali parametri rientrino in range prestabiliti. Tale stima è relativa al confronto tra i dataset disponibili nel dominio di calcolo per il periodo in esame e i risultati delle simulazioni numeriche. In linea con la procedura di validazione del prodotto MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004 del CMEMS si riportano di seguito i parametri statistici che dovranno essere considerati per la validazione del modello numerico impiegato:

- $BIAS = \frac{\frac{1}{n} \sum_i x_{mi}}{\frac{1}{n} \sum_i x_{bi}}$
- $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (x_{mi} - x_{bi})^2}$  (Root Mean Square Error)

Avendo indicato con  $x_{mi}$  i valori previsti e con  $x_{bi}$  i valori osservati.

Il modello numerico risulterà validato se i parametri statistici sopra citati rientrano nel range descritto in Tabella 2 (In linea con la procedura di validazione del prodotto MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004 del CMEMS).

TEMPERATURA [°C]	BIAS	RMSE
(L1) 0-30m	0±0.29	0.65±0.36
(L2) 30-150m	0.04±0.14	0.46±0.18
(L3) 150-300m	-0.04±0.08	0.22±0.08
(L4) 300-600m	-0.06±0.06	0.16±0.06
(L5) 600-1000 m	-0.07±0.07	0.12±0.05
Total	-0.02±0	0.33±0.02

SALINITA' [PSU]	BIAS	RMSE
(L1) 0-30m	0.02±0.08	0.2±0.1
(L2) 30-150m	-0.03±0.05	0.12±0.05
(L3) 150-300m	-0.01±0.02	0.06±0.02
(L4) 300-600m	0±0.02	0.04±0.02
(L5) 600-1000 m	0.03±0.03	0.05±0.02
Total	0±0.03	0.09±0.01

ANOMALIA LIVELLO MARINO [cm]	BIAS	RMSE
Calcolata su media giornaliera	0.08±0.13	3.55±0.59

TEMPERATURA SUPERFICIALE [°C]	BIAS	RMSE
Calcolata su media giornaliera	0.18±0.25	0.56±0.13

Tabella 1: Range per la validazione del modello

## Analisi statistica per determinazione del livello di significatività dell'alterazione

---

Una volta simulate con il modello a mesoscala le due possibili configurazioni, con e senza infrastruttura, deve essere adottata una procedura statistica per individuare l'*area di indagine* che sarà oggetto della modellistica di dettaglio e l'*areale di modifica previsionale*, ossia l'area che presenta alterazioni significative delle condizioni idrografiche per i parametri di temperatura, salinità, torbidità, corrente e moto ondoso. Indicando il generico parametro idrografico da valutare con  $f$  (es. l'altezza d'onda significativa, la salinità etc..), la variazione lungo le coordinate spaziali con  $i$  e la variabilità temporale con  $j$ , i parametri idrografici nei due scenari possono essere sinteticamente indicati come:

- $f_{i,j}^b$  (senza infrastruttura)
- $f_{i,j}^a$  (con infrastruttura)

Facendo riferimento alla durata della simulazione (1987-2017), fissata una risoluzione temporale oraria,  $j$  varia da 1 a circa 30 (anni) x 365 (giorni) x 24 (ore) = 262.800.

La differenza normalizzata  $\Delta_{i,j}$  tra i due scenari in ciascun punto  $i$  e in ciascuno istante  $j$  è espressa in percentuale come:

$$\Delta_{i,j} = \frac{(f_{i,j}^a - f_{i,j}^b)}{f_{i,j}^b} \cdot 100$$

La valutazione dell'alterazione delle condizioni idrografiche va fatta in funzione della entità di tale differenza e della durata con cui questa si presenta rispetto alla durata totale della simulazione ( $t_T = \sum_1^{262800} j$ ), applicando alcuni *livelli di soglia*. In particolare, avendo indicato con  $\Delta_{i,media}$  la media statistica delle differenze del parametro idrografico nello scenario con e senza infrastruttura, definita come:

$$\Delta_{i,media} = f_{i,j}^a - f_{i,j}^b$$

dovranno essere considerati due livelli:

1. Livello di soglia di primo livello per la caratterizzazione dell'*area di indagine*, così definito, il punto  $i$  appartiene all'area di indagine se:

$$\Delta_{i,j} > 5\% \text{ per } \sum j > 10\% t_T$$

Ossia si considerano le alterazioni del parametro idrografico tra i due scenari superiori al 5% che permangono per oltre il 10% del tempo totale della simulazione.

2. Livello di soglia di secondo livello per la caratterizzazione dell'*areale di modifica previsionale*, così definito:

$$\Delta_{i,j} > 20\% \text{ per } \sum_j > 10\% t_T$$

Ossia l'alterazione del parametro idrografico viene considerata significativa se la differenza tra i due scenari è superiore al 20% per oltre il 10% del tempo totale della simulazione:

Una volta individuati i punti per i quali si verificano tali condizioni, è possibile evidenziare per mezzo di un poligono sia *l'area di indagine* alla quale si dovrà fare riferimento per la modellistica di dettaglio e *l'areale di modifica previsionale*.

## **Dataset di riferimento**

---

Per l'implementazione dei modelli numerici, il soggetto proponente dovrà far riferimento ai seguenti datasets (Tabella 1), per le forzanti e le condizioni al contorno:

- servizio CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), realizzato nell'ambito del Programma Copernicus della UE, che distribuisce liberamente campi relativi ai principali processi fisici connessi con la circolazione generale di larga scala, su tutti i mari italiani. I dati a disposizione attraverso questo servizio sono inclusivi dei valori di corrente, temperatura dell'acqua, salinità e moto ondoso, sia da modello che da misure in situ. I campi di corrente, temperatura dell'acqua e salinità per il periodo 01/01/1987 al 31/12/2017 sono forniti nella regione mediterranea con risoluzione spaziale di 1/16 di grado (sia per la latitudine che per la longitudine) che corrisponde a maglie di circa 6/7 km e su 72 livelli verticali in coordinate z.

- ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) è un'organizzazione europea non governativa che produce previsioni meteorologiche a medio termine. Il prodotto ERA 5 contiene dati da modello per onde e vento a partire dal 1979 con risoluzione spaziale di circa 31 km.
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) fornisce la distribuzione degli habitat e delle specie di interesse conservazionistico prodotta ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE).

FORNITORE	PARAMETRO	PRODOTTO	TIPOLOGIA	RISOLUZIONE	INTERVALLO TEMPORALE	LINK
ECMWF	VENTO -ONDE	ERA5	Analisi orarie	31Km	dal 1979 fino a 3 mesi dal tempo attuale	<a href="http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets">http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets</a>
CMEMS	TEMPERATURA, SALINITÀ E CORRENTE	MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004	Reanalisi – media giornaliera/mensile	1/16° -72 livelli	dal 01/01/1987 al 31/12/2017	<a href="http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/">http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/</a>
MATTM	HABITAT	Localizzazione degli habitat e delle specie di interesse conservazionistico prodotto ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE)	Distribuzione habitat e specie	10Km x 10Km		<a href="https://cdr.eionet.europa.eu/it/eu/art17/">https://cdr.eionet.europa.eu/it/eu/art17/</a>

Tabella 1: Schema di sintesi delle fonti di dati topo-batimetrici e meteo-marini di libero accesso disponibili

# ALLEGATO B

## Modellistica numerica di dettaglio

### Caratteristiche del modello

---

Il modello idrodinamico da implementare soddisfa le seguenti caratteristiche minimali:

- modello idrodinamico 3D, a superficie libera in coordinate verticali sigma e in approssimazione di Boussinesq;
- risolve sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali in cui sono rappresentate tutte le leggi che sono alla base della dinamica marina, ossia le equazioni di Navier-Stokes per i fluidi geofisici, l'equazione di continuità, l'equazione di stato e le equazioni per la conservazione della temperatura e la salinità.
- è in grado di simulare i seguenti fenomeni fisici:
  - correnti;
  - trasporto di sedimenti;
  - modifiche delle caratteristiche morfologiche.

Il modello ondametrico deve essere un “wave action model” di terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Il modello deve descrivere le onde mediante lo spettro bidimensionale di densità di azione d’onda perché, in presenza di correnti, la densità di azione si conserva mentre la densità di energia non si conserva. Deve avere un’implementazione fisica ed algoritmi di calcolo numerico concepiti per lo studio specifico della propagazione delle onde da vento in acque basse.

## Processi implementabili nel modello

---

Il modello idrodinamico deve tener conto dei seguenti processi:

- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- gradienti di pressione baroclina;
- densità variabile in funzione di salinità, temperatura e pressione (valutata con equazione di stato UNESCO 1980);
- trasporto di componenti conservativi quali salinità, energia termica e altro;
- Turbolenza: l'effetto della turbolenza (non la turbolenza stessa) è modellato tramite l'introduzione di sforzi interni (il cosiddetto tensore degli sforzi di Reynolds) che possono essere definiti mediante opportune formule di chiusura (es. modelli  $k-\varepsilon$  o  $k-\Omega$ );
- attrito al fondo;
- scambio verticale di quantità di moto dovuto alle onde interne;
- effetto delle onde sullo sforzo di taglio sul fondo;
- radiation stress indotto dalle onde;
- flussi attraverso le strutture idrauliche.

Il modello ondametrico deve tenere conto dei seguenti processi:

- rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente
  - shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente
  - generazione dovuta al vento
  - dissipazione dovuta al whitecapping
  - dissipazione dovuta all' attrito al fondo
  - frangimento
  - redistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari
  - trasmissione/riflessione/sbarramento del moto ondoso in presenza di ostacolo
  - diffrazione
-

## Metodologia applicativa del modello

---

Sono previste due fasi:

1. Una fase preliminare per la preparazione del modello che dovrà essere calibrato e validato sulla base dei parametri monitorati secondo quanto previsto dalle prescrizioni 1b e 1c e secondo le modalità descritte nei successivi paragrafi “Calibrazione” e Validazione.
2. La simulazione numerica nelle due configurazioni con e senza infrastruttura sul periodo 1987-2019.

## Dominio di calcolo

---

La griglia di calcolo deve essere scelta in modo da includere l'area che presenta potenziali variazioni permanenti e significative delle condizioni idrografiche. Tale area è determinata considerando il dominio di punti per i quali il modello alla mesoscala nelle due configurazioni con e senza infrastruttura rileva potenziali variazioni significative, definita *area di indagine* (definita nella prescrizione 1.a e descritta nell'allegato A). È necessario disporre della conformazione e della posizione dell'infrastruttura in esame per poter essere inserita all'interno del dominio computazionale. Dovrà essere adottata una griglia non strutturata in cui è possibile ottenere un maggior dettaglio nell'area interessata dall'infrastruttura idraulica o più in generale in prossimità di habitat di particolare valore ecosistemico. La risoluzione spaziale orizzontale dovrà essere compresa nell'intervallo 25-150 metri. Su scala verticale dovranno essere definiti un numero di livelli verticali nel sistema di coordinate sigma pari al numero di livelli verticali resi disponibili al bordo del dominio di calcolo dal modello CMEMS utilizzato per le condizioni al contorno.

## Batimetria

---

La batimetria implementata nel modello dovrà essere realizzata sulla base del rilievo morfo-batimetrico con risoluzione sufficientemente rappresentativa rispetto alla variabilità del fondale (prescrizione 1.d). Qualora il fondale marino in una certa area, ad esempio di largo, abbia un limitato gradiente spaziale sono sufficienti dati batimetrici a risoluzione idonea a rappresentare la variabilità naturale dei fondali, a prescindere dalla risoluzione della griglia utilizzata. Gli strumenti utilizzabili per la ricostruzione di batimetrie sono ecoscandagli Multibeam e dati da laser scanner tipo LiDAR.

## Risoluzione spaziale del modello 3D dell'infrastruttura

---

Il modello 3D dell'infrastruttura dovrà avere una risoluzione minima di 2 metri.

## Condizioni iniziali/contorno (dati di input, forzanti...)

---

Nella fase di calibrazione del modello idrodinamico, dovranno essere utilizzati come dati di ingresso i campi di temperatura, salinità e corrente disponibili sul portale CMEMS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>):

- MEDSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_006\_013 (Analisi e previsioni Mar Mediterraneo disponibili dal 01/01/2017)  
risoluzione spaziale: 0.042° x 0.042° - 141 livelli verticali nel sistema di coordinate z  
risoluzione temporale: media oraria, media giornaliera, media mensile

Per la simulazione vera e propria nei due scenari considerati (con e senza infrastruttura), ossia in riferimento al periodo 1987-2017, il modello idrodinamico dovrà essere inizializzato con i dati forniti dal seguente prodotto CMEMS:

- MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004 (Reanalisi Mar Mediterraneo disponibili dal 01/01/1987 al 31/12/2017)  
risoluzione spaziale: 1/16° - 72 livelli verticali nel sistema di coordinate z  
risoluzione temporale: media giornaliera, media mensile

I dataset meteo-marini ERA5 del ECMWF (Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine) devono essere utilizzati come condizioni al contorno per il modello ondometrico di dettaglio. ERA5 fornisce rianalisi orarie di un gran numero di variabili climatiche (atmosferiche, terrestri e oceaniche) dal 1979 fino a 3 mesi dal tempo attuale. Le rianalisi sfruttano il sistema di assimilazione EDA (Ensemble of data assimilations) basato sulla tecnica di assimilazione variazionale 4D-Var. I dataset sono forniti con un passo di circa 31 km.

La forzante atmosferica dovrà essere implementata, sia nel modello idrodinamico che ondometrico, con i campi di vento provenienti dalle analisi fornite dal Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine (ECMWF). In particolare si dovrà far riferimento al prodotto ERA5.

## Calibrazione

---

La calibrazione è volta alla taratura dei valori dei coefficienti presenti nelle equazioni finalizzata all'ottimizzazione dei risultati del modello rispetto a dati misurati. Il modello numerico dovrà essere calibrato sulla base dei parametri monitorati secondo quanto previsto dalle prescrizioni 1.b e 1.c. Il monitoraggio dei parametri è previsto su cicli di 6 anni in linea con la realizzazione delle attività di monitoraggio previste dall'art.11 del D.Lgs. 190 del 13/10/2010 in recepimento della Direttiva quadro 2008/56/CE (es. Il ciclo MSFD: dal 2021 al 2026). Trascorso tale periodo potrebbero configurarsi tre possibili scenari:

- a) L'infrastruttura non è stata realizzata, quindi TUTTO il monitoraggio si riferisce alla fase ANTE-OPERAM;
- b) L'infrastruttura è stata realizzata prima del 2021, quindi TUTTO il monitoraggio si riferisce alla fase POST OPERAM;
- c) L'infrastruttura è realizzata tra il 2021 e il 2026, quindi PARTE del monitoraggio si riferisce alla fase ANTE-OPERAM, PARTE alla fase POST OPERAM.

Di conseguenza la calibrazione dovrà avvenire in coerenza con i tre scenari precedentemente descritti, rispettivamente:

- a) sulla base del monitoraggio ANTE-OPERAM;
- b) sulla base del monitoraggio POST-OPERAM;
- c) sulla base del monitoraggio di durata maggiore tra le fasi ANTE-OPERAM e POST-OPERAM.

## Validazione

---

Per verificare l'affidabilità dell'approccio modellistico scelto ossia se il modello sia in grado di realizzare delle stime accurate rispetto ai valori misurati dovranno essere adottate specifiche metodologie di analisi e sintesi dei risultati. Nello specifico, la validazione del modello dovrà essere effettuata attraverso la stima di diversi parametri statistici e la verifica che tali parametri rientrino in range prestabiliti, in riferimento allo stesso periodo di tempo definito nella fase di calibrazione. Tale stima è relativa al confronto tra i parametri monitorati, secondo quanto previsto dalle prescrizioni 1.b e 1.c e in riferimento a quanto descritto nella procedura di calibrazione relativamente ai possibili scenari di monitoraggio, e i risultati delle simulazioni numeriche. Si riportano di seguito i parametri statistici che dovranno essere considerati per la validazione del modello numerico impiegato:

- $BIAS = \frac{\frac{1}{n} \sum_i x_{mi}}{\frac{1}{n} \sum_i x_{bi}}$

- $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (x_{mi} - x_{bi})^2}$  (Root Mean Square Error)

Avendo indicato con  $x_{mi}$  i valori previsti e con  $x_{bi}$  i valori osservati.

In riferimento all'intervallo temporale stabilito in fase di calibrazione, in funzione dei tre possibili scenari valutati, il modello numerico risulterà validato se i parametri statistici sopra citati rientrano nel range descritto in Tabella 2 (In linea con la procedura di validazione del prodotto MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004 del CMEMS).

TEMPERATURA [°C]	BIAS	RMSE
(L1) 0-30m	0±0.29	0.65±0.36
(L2) 30-150m	0.04±0.14	0.46±0.18
(L3) 150-300m	-0.04±0.08	0.22±0.08
(L4) 300-600m	-0.06±0.06	0.16±0.06
(L5) 600-1000 m	-0.07±0.07	0.12±0.05
Total	-0.02±0	0.33±0.02

SALINITA' [PSU]	BIAS	RMSE
(L1) 0-30m	0.02±0.08	0.2±0.1
(L2) 30-150m	-0.03±0.05	0.12±0.05
(L3) 150-300m	-0.01±0.02	0.06±0.02
(L4) 300-600m	0±0.02	0.04±0.02
(L5) 600-1000 m	0.03±0.03	0.05±0.02
Total	0±0.03	0.09±0.01

ANOMALIA LIVELLO MARINO [cm]	BIAS	RMSE
Calcolata su media giornaliera	0.08±0.13	3.55±0.59

TEMPERATURA SUPERFICIALE [°C]	BIAS	RMSE
Calcolata su media giornaliera	0.18±0.25	0.56±0.13

Tabella 2: Range per la validazione del modello

## Intervallo temporale scenario con e senza infrastruttura

---

Per determinare l'estensione dell'alterazione idrografica significativa all'interno dell'area di indagine la simulazione, nelle due configurazioni con e senza infrastruttura, dovrà avere come riferimento temporale il periodo 1987-2017.

## Risoluzione spazio-temporale di output

---

In output dovranno essere forniti, sul grigliato di riferimento, il campo vettoriale delle correnti, del moto ondoso, del trasporto solido calcolato, i tassi di sedimentazione/erosione del fondo e le variazioni morfologiche del fondale. L'intervallo temporale previsto per i campi in uscita del modello dovrà essere orario.

## Analisi statistica per determinazione del livello di significatività dell'alterazione

---

Una volta simulate con il modello di dettaglio le due possibili configurazioni, con e senza infrastruttura, deve essere adottata una procedura statistica per valutare se le variazioni delle condizioni idrografiche (temperatura, salinità, torbidità, corrente e moto ondoso) esistenti tra i due scenari possano considerarsi significative. Indicando il generico parametro idrografico da valutare con  $f$  (es. l'altezza d'onda significativa, la salinità etc..), la variazione lungo le coordinate spaziali con  $i$  e la variabilità temporale con  $j$ , i parametri idrografici nei due scenari possono essere sinteticamente indicati come:

- $f_{i,j}^b$  (condizioni di background)
- $f_{i,j}^a$  (con infrastruttura)

Facendo riferimento alla durata della simulazione (1987-2017), fissata una risoluzione temporale oraria,  $j$  varia da 1 a circa 30 (anni) x 365 (giorni) x 24 (ore) = 262.800.

La differenza normalizzata  $\Delta_{i,j}$  tra i due scenari in ciascun punto  $i$  e in ciascuno istante  $j$  è espressa in percentuale come:

$$\Delta_{i,j} = \frac{(f_{i,j}^a - f_{i,j}^b)}{f_{i,j}^b} \cdot 100$$

La valutazione dell'alterazione delle condizioni idrografiche va fatta in funzione della entità di tale differenza e della durata con cui questa si presenta rispetto alla durata totale della simulazione ( $t_T = \sum_1^{262800} j$ ), applicando alcuni *livelli di soglia*. In particolare, avendo indicato con  $\Delta_{i,media}$  la media statistica delle differenze del parametro idrografico nello scenario con e senza infrastruttura, definita come:

$$\Delta_{i,media} = f_{i,j}^a - f_{i,j}^b$$

In particolare l'alterazione deve essere considerata significativa se la differenza del parametro idrografico tra i due scenari considerati rimane superiore al 20% per oltre il 10% del tempo totale della simulazione:

$$\Delta_{i,j} > 20\% \text{ per } \sum j > 10\% t_T$$

Una volta individuati i punti per i quali si verifica tale condizione, è possibile evidenziare l'area interessata da un'alterazione idrografica significativa e permanente, disegnando il loro involucro per mezzo di un poligono. Tale area dovrà essere confrontata con l'*areale di modifica previsionale* individuata con il modello a mesoscala.

## **Dataset di riferimento**

---

Per l'implementazione dei modelli numerici, il soggetto proponente dovrà far riferimento ai seguenti datasets (Tabella 1), per le forzanti e le condizioni al contorno:

- servizio CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), realizzato nell'ambito del Programma Copernicus della UE, che distribuisce liberamente campi relativi ai principali processi fisici connessi con la circolazione generale di larga scala, su tutti i mari italiani. I dati a disposizione attraverso questo servizio sono inclusivi dei valori di corrente, temperatura dell'acqua, salinità e moto ondoso, sia da modello che da misure in situ. I campi di corrente, temperatura dell'acqua e salinità per il periodo 01/01/1987 al 31/12/2017 sono forniti nella regione mediterranea con risoluzione spaziale di 1/16 di grado (sia per la latitudine che per la longitudine) che corrisponde a maglie di circa 6/7 km e su 72 livelli verticali in coordinate z. Per gli stesi parametri, a partire dal 01/01/2017, è disponibile un prodotto in cui la risoluzione nella regione mediterranea è di 1/24 di grado sull'orizzontale e sono previsti 141 livelli in coordinate z sulla verticale.

- ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) è un'organizzazione europea non governativa che produce previsioni meteorologiche a medio termine. Il prodotto ERA 5 contiene dati da modello per onde e vento a partire dal 1979 con risoluzione spaziale di circa 31 km.

FORNITORE	PARAMETRO	PRODOTTO	TIPOLOGIA	RISOLUZIONE	INTERVALLO TEMPORALE	LINK
ECMWF	VENTO - ONDE	ERA5	Analisi orarie	31Km	dal 1979 fino a 3 mesi dal tempo attuale	<a href="http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets">http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets</a>
CMEMS	TEMPERATURA, SALINITÀ E CORRENTE	MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_006_013	Analisi e previsioni – media giornaliera/mensile/oraria	1/24° -141 livelli	dal 01/01/2017 al tempo attuale	<a href="http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/">http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/</a>
		MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004	Reanalisi – media giornaliera/mensile	1/16° -72 livelli	dal 01/01/1987 al 31/12/2017	
MATTM	HABITAT	Localizzazione degli habitat e delle specie di interesse conservazionistico prodotto ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE)	Distribuzione habitat e specie	10Km x 10Km		<a href="https://cdr.eionet.europa.eu/it/eu/art17/">https://cdr.eionet.europa.eu/it/eu/art17/</a>

Tabella 1: Schema di sintesi delle fonti di dati topo-batimetrici e meteo-marini di libero accesso disponibili

## PRESCRIZIONI

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM, POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	Monitoraggio delle condizioni idrografiche e habitat
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA, CNR

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM o POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1.a
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	Caratterizzazione dell' <i>area di indagine</i> mediante modello a mesoscala nello scenario con e senza infrastruttura. Dovranno essere previste simulazioni numeriche per la ricostruzione delle condizioni idrografiche (correnti, moto ondoso, livello medio marino, temperatura, torbidità, salinità) in riferimento al periodo 1987-2017 nelle due configurazioni con e senza infrastruttura, attraverso l'uso di modelli numerici le cui caratteristiche sono descritte nell'allegato A. Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche nei due scenari e sulla base di soglie adottate a livello nazionale per la definizione dei livelli di significatività (descritte nell'allegato A) viene valutata l'estensione dell'area che presenta variazioni permanenti e significative delle condizioni idrografiche, ossia l' <i>areale di modifica previsionale</i> .
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA, CNR

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM, POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1.b
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	<p>Monitoraggio in situ dei seguenti parametri idrografici: temperatura, salinità, torbidità. Per il campionamento di temperatura e salinità dovrà essere impiegata strumentazione CTD (Conductivity, Temperature and Depth) avente le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) trasduttore di pressione ad alta precisione (0,01% FS);</li> <li>b) sensore di temperatura con termometro a resistenza al platino;</li> <li>c) cella di conducibilità al quarzo con sette anelli in platino ad alta precisione.</li> </ul> <p>La torbidità dovrà essere monitorata con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) trappole sedimentarie;</li> <li>b) turbidimetro: in particolare potranno essere impiegate sonde basate su tecnologie di tipo ottico (es. OBS - Optical Backscatter Signal), acustico (es. ADCP- Acoustic Doppler Current Profiler) o laser (es. LISST- Laser in Situ Scatte-ring and Transmissometry).</li> </ul> <p>Deve essere previsto il controllo di qualità dei dati campionati attraverso analisi statistica.</p> <p>La risoluzione spaziale dei monitoraggi in situ dovrà e la frequenza di campionamento dovrà essere tale da consentire una ottimale calibrazione del modello e un adeguato livello di accuratezza adeguato.</p> <p>L'estensione dell'area oggetto di monitoraggio è riferita all'<i>area di indagine</i> così come definita al punto 1.a.</p> <p>La durata minima del monitoraggio dei parametri descritti deve coprire cicli di 6 anni in linea con realizzazione delle attività di monitoraggio previste dall'art.11 del D.Lgs. 190 del 13/10/2010 in recepimento della Direttiva quadro 2008/56/CE (es. Il ciclo MSFD: dal 2021 al 2026).</p>
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM, POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1.c
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	<p>Monitoraggio delle correnti con profilatori ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) aventi le seguenti caratteristiche:</p> <p>d) velocità-accuratezza: <math>\pm 0.3\text{cm/s}</math></p> <p>e) velocità-risoluzione: <math>0.1\text{cm/s}</math></p> <p>f) velocità-range: <math>\pm 5\text{m/s}</math></p> <p>g) frequenza campionamento strumento: <math>2\text{Hz}</math></p> <p>Monitoraggio del moto ondoso attraverso profilatori ADCP, sensori di pressione e boe ondametriche tenendo anche conto dei dati prodotti dalla RON - Rete Ondametrica Nazionale.</p> <p>I profilatori ADCP dovranno essere installati a differenti quote (sub-superficiale, media profondità, al fondo). Deve essere previsto il controllo di qualità dei dati campionati attraverso analisi statistica e calcolati i dati medi orari delle grandezze registrate.</p> <p>L'estensione dell'area oggetto di monitoraggio è riferita all'<i>area di indagine</i> così come definita al punto 1.a. La durata minima del monitoraggio dei parametri descritti deve coprire cicli di 6 anni in linea con realizzazione delle attività di monitoraggio previste dall'art.11 del D.Lgs. 190 del 13/10/2010 in recepimento della Direttiva quadro 2008/56/CE (es. Il ciclo MSFD: dal 2021 al 2026).</p>
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM, POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1.d
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	Rilievo morfo-batimetrico e habitat bentonico con risoluzione 2m. L'estensione dell'area oggetto di monitoraggio comprende l' <i>area di indagine</i> .
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA

N.	Contenuto	Prescrizione
1	Macrofase	ANTE-OPERAM, POST-OPERAM
2	Fase	tutte le Fasi
3	Numero Prescrizione	1.e
4	Ambito di applicazione	monitoraggio ambientale
5	Oggetto della prescrizione	Dovranno essere previste simulazioni numeriche di dettaglio per la ricostruzione delle condizioni idrografiche (correnti, moto ondoso, temperatura, torbidità, salinità) in riferimento al periodo 1987-2017 nelle due configurazioni con e senza infrastruttura, attraverso l'uso di un modello idrodinamico e di un modello ondometrico le cui caratteristiche sono descritte nell'Allegato B. L'estensione dell'area oggetto di monitoraggio è riferita all' <i>area di indagine</i> così come definita al punto 1.a.
6	Termine per l'avvio della Verifica di Ottemperanza	ANTE-OPERAM - Fase precedente la cantierizzazione.
7	Ente vigilante	MATTM
8	Enti coinvolti	SNPA