


Doc. SIME_AMB_06_308

Interventi di ottimizzazione del Progetto
Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e
Cassiopea





**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines
Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Luglio 2019


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 2 di 115</p>
---	---------------------------------	--	----------------------------

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14


			
	<p>M. Gardoni</p>	<p>A. Cuzzola</p>	<p>P. Pucillo</p>
	<p>Elaborato</p>	<p>Verificato</p>	<p>Approvato</p>

--	--	--	--	--	--
00	Emissione	Amec Foster Wheeler E & I GmbH	ENI	ENI	Luglio 2019
REV.	DESCRIZIONE	PREPARATO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 3 di 115</p>
---	---------------------------------	---	----------------------------


Indice

1	EXECUTIVE SUMMARY	10
2	PREMESSA	13
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	15
4	INDAGINI AMBIENTALI PREGRESSE	18
4.1	CARATTERIZZAZIONE BATIMETRICA	18
4.2	CARATTERIZZAZIONE SEDIMENTOLOGICA	20
4.3	DATI RELATIVI AL MERCURIO ADESO	22
4.4	CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA	23
4.4.1	MODELLO MWM – DATI DI VENTO	25
4.4.2	MODELLO CREST – DATI DI VENTO	28
4.4.3	MODELLO MWM – DATI DI ONDA	30
4.4.4	MODELLO CREST– DATI DI ONDA	33
4.5	CARATTERIZZAZIONE DELLE CORRENTI, DELLA TEMPERATURA E DELLA SALINITÀ	3
4.6	CARATTERIZZAZIONE MAREALE	5
4.7	CARATTERIZZAZIONE ATMOSFERICA	5
4.7.1	PRECIPITAZIONI	6
4.7.2	COPERTURA NUVOLOSA	7
4.7.3	TEMPERATURA DELL’ARIA	8
4.7.4	UMIDITÀ RELATIVA	9
5	CONDIZIONI METEOMARINE E DI CIRCOLAZIONE PRESE A RIFERIMENTO	11
6	MODELLO TRIDIMENSIONALE IDRODINAMICO	13
6.1	DATI BATIMETRICI, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE	14
6.2	RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO	17
7	MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA AL LARGO DEL GOLFO DI GELA	31
7.1	DATI BATIMETRICI, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE	32
7.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	33
7.3	RISULTATI DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA	35
8	MODALITÀ OPERATIVE DI POST-TRENCHING	39
8.1	VOLUMI MOVIMENTATI, RILASCIO IN COLONNA D’ACQUA (SPILL), VELOCITÀ DI SEDIMENTAZIONE	42
9	MODELLO TRIDIMENSIONALE DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI	46
9.1	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI	46
9.2	RISULTATI DELLA SIMULAZIONE 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI	48
10	ANALISI DEL CAMPO DI MOTO INDOTTO DAI MEZZI NAVALI IMPIEGATI	64
11	TORBIDITÀ NATURALE GENERATA DA UNA MAREGGIATA TIPICA	67
12	CONCENTRAZIONI DI MERCURIO IN SOSPENSIONE	70
13	CONCLUSIONI	74
14	BIBLIOGRAFIA	77

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 4 di 115</p>
--	---------------------------------	---	----------------------------

Elenco delle Tabelle

Tabella 4-1: Ubicazione dei punti di campionamento nel sistema di coordinate UTM33, profondità locale, quota di prelievo dei campioni, diametro medio (d50) e percentuali delle componenti tessiturali (argilla, limo e sabbia)	21
Tabella 4-2: Ubicazione dei punti di campionamento (in coordinate Gauss Boaga Fuso Est), profondità locale e quantità di mercurio contenuto nei campioni di sedimento	23
Tabella 4-3: Ubicazione dei tre punti presi a riferimento per l'analisi dei dati di vento e moto ondoso del database MWM	24
Tabella 4-4: Ubicazione dei punti presi a riferimento all'interno dello studio condotto da Saipem con il database CREST per l'analisi delle condizioni meteomarine (coordinate geografiche, ellissoide di riferimento WGS84)	24
Tabella 4-5: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P1	25
Tabella 4-6: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P2	26
Tabella 4-7: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P3	27
Tabella 4-8: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W001	28
Tabella 4-9 Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W002	29
Tabella 4-10: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W003	29
Tabella 4-11: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto P1	30
Tabella 4-12 Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P2	31
Tabella 4-13: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P3	32
Tabella 4-14: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto W001	34
Tabella 4-15: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto W002	35
Tabella 8-1: Indicazione dei diametri delle condotte e dei CWC per i diversi tratti interessati dalle operazioni di post-trenching	40
Tabella 8-2: Durata delle operazioni di post-trenching, velocità di esecuzione della trincea e lunghezza dei singoli tratti	41
Tabella 8-3: Individuazioni delle principali caratteristiche di escavo per ogni tratto del tracciato: lunghezza del tratto, profondità massime e minime dei fondali attraversati, volume movimentato per unità di lunghezza, percentuali tessiturali e tasso di escavo	43
Tabella 8-4: Indicazione delle caratteristiche granulometriche prese a riferimento per il presente studio	45

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 5 di 115</p>
--	---------------------------------	---	----------------------------

Elenco delle Figure

Figura 3-1: Planimetria del sistema di condotta rigida (in nero), ombelicali e flexible flowlines (in rosso)	16
Figura 3-2: Tracciato della condotta in progetto ed ubicazione dei pozzi Cassiopea 1, Cassiopea 2, Cassiopea 3 e Argo 2	17
Figura 4-1: Rappresentazione della cartografia nautica CM-93 [7] di C-MAP [8] per la zona di interesse (scala 1:363.000)	18
Figura 4-2: Dati CM-93 [7] di C-MAP [8] disponibili per la caratterizzazione batimetrica e tracciato delle sealines (in nero)	19
Figura 4-3: Dati batimetrici di dettaglio ricavati dai rilievi resi disponibili da Eni per l’area di interesse; in nero è rappresentato il tracciato della pipeline	19
Figura 4-4: Ubicazione dei punti di campionamento utilizzati nel presente studio per la caratterizzazione granulometrica	20
Figura 4-5: Ubicazione dei punti di campionamento per la caratterizzazione ambientale	22
Figura 4-6: Localizzazione dei punti presi a riferimento per lo studio delle condizioni meteomarine nel database MWM (P1, P2 e P3 in verde) e nel database CREST (W001, W002, W003 in giallo). In rosso il tracciato della pipeline	25
Figura 4-7: Rosa del vento ottenuta per il punto P1. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM	26
Figura 4-8: Rosa del vento ottenuta per il punto P2. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM	27
Figura 4-9: Rosa del vento ottenuta per il punto P3. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM	28
Figura 4-10: Rosa delle onde ottenuta per il punto P1. La calma si riferisce ad un’altezza d’onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM.....	31
Figura 4-11: Rosa delle onde ottenuta per il punto P2. La calma si riferisce ad un’altezza d’onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM.....	32
Figura 4-12: Rosa delle onde ottenuta per il punto P3. La calma si riferisce ad un’altezza d’onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM.....	33
Figura 4-13: Esempio di campo di corrente superficiale dal dataset globale HYCOM nella zona di interesse. Giorno: 01.01.2017. In nero il tracciato delle sealines	4
Figura 4-14: Esempio di campo di temperatura superficiale dal dataset globale HYCOM nella zona di interesse. Giorno: 01.01.2017. In nero il tracciato delle sealines	4
Figura 4-15: Esempio di campo della componente mareale O1 dal modello globale DTU10	5
Figura 4-16: Esempio di campo di temperatura dell’aria a 2 m su tutto il dominio di calcolo del sistema Climate Forecast System (CFS).....	6
Figura 4-17: Andamento dell’intensità di precipitazione (su 1h, ma in mm/giorno) nella zona di interesse durante l’anno 2017 preso a riferimento	7
Figura 4-18: Esempio di andamento della copertura nuvolosa (in %) nella zona di interesse durante il mese di aprile dell’anno 2017 preso a riferimento	8


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 6 di 115</p>
--	---------------------------------	---	----------------------------

Figura 4-19: Andamento della temperatura dell'aria a quota 2 m (in °C) nella zona di interesse durante l'anno 2017 preso a riferimento	9
Figura 4-20: Andamento dell'umidità relativa (in %) nella zona di interesse durante l'anno 2017 preso a riferimento.....	10
Figura 6-1: Esempi di mesh di calcolo di MIKE 3 FM	13
Figura 6-2: Batimetria del dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD, con individuazione delle isolinee di profondità, del tracciato della pipeline e degli ombelicali (in rosso).....	15
Figura 6-3: Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo	15
Figura 6-4: Dettaglio del dominio di calcolo: discretizzazione spaziale nell'intorno del tracciato della pipeline	16
Figura 6-5: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo.....	16
Figura 6-6: Dettaglio della discretizzazione verticale del dominio.....	17
Figura 6-7: Individuazione dei tre punti presi come riferimento per l'analisi di corrente, temperatura e salinità	18
Figura 6-8: Esempio di campo di velocità di corrente in superficie nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali.....	18
Figura 6-9: Esempio di campo di velocità di corrente a profondità intermedia nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali.....	19
Figura 6-10: Esempio di campo di velocità di corrente al fondo nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali. 19	
Figura 6-11: Esempio di campo di velocità di corrente in superficie nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali.....	20
Figura 6-12: Esempio di campo di velocità di corrente a profondità intermedia nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali.....	20
Figura 6-13: Esempio di campo di velocità di corrente al fondo nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali	21
Figura 6-14: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	22
Figura 6-15: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 alla profondità intermedia (circa 8 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s	22
Figura 6-16: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 al fondo (circa 15 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	23


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 7 di 115</p>
--	---------------------------------	---	----------------------------

Figura 6-17: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	23
Figura 6-18: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 alla profondità intermedia (circa 25 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s	24
Figura 6-19: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 al fondo (circa 50 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	24
Figura 6-20: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	25
Figura 6-21: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 alla profondità intermedia (circa 353 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s	25
Figura 6-22: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 al fondo (circa 705 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s.....	26
Figura 6-23: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-8 m - linea verde) e al fondo (15 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P1	27
Figura 6-24: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-25 m - linea verde) e al fondo (-50 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P2	27
Figura 6-25: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-353 m - linea verde) e al fondo (-705 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P3.....	28
Figura 6-26: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-8 m - linea verde) e al fondo (-15 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P1	29
Figura 6-27: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-25 m - linea verde) e al fondo (-50 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P2	29
Figura 6-28: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-353 m - linea verde) e al fondo (-705 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P3.....	30
Figura 7-1: Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo	32
Figura 7-2: Batimetria del dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW, con individuazione delle isolinee di profondità e del tracciato della pipeline e degli ombelicali (in rosso)	33
Figura 7-3: Individuazione dei contorni aperti (linee verdi) per il dominio di MIKE 21 SW e del punto di estrazione della serie delle onde per il 2017 (punto blu). In rosso il tracciato della pipeline e degli ombelicali	34
Figura 7-4: Rosa delle onde ottenuta per l'anno 2017 in un punto lungo il contorno aperto offshore del dominio di calcolo di MIKE 21 SW. La calma si riferisce ad un'altezza d'onda significativa (Hs) inferiore a 0.5 m. Fonte: database MWM.....	34
Figura 7-5: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal II Quadrante (Hs= 4.0 m, Tp= 8.8 s, MWD= 137°N)	35


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 8 di 115</p>
--	---------------------------------	---	----------------------------

Figura 7-6: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal II Quadrante (Hs= 2.1 m, Tp= 6.1 s, MWD= 139°N)	36
Figura 7-7: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal III Quadrante (Hs= 3.6 m, Tp= 8.5 s, MWD= 224°N)	36
Figura 7-8: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal III Quadrante (Hs= 2.0 m, Tp= 6.6 s, MWD= 222°N)	37
Figura 7-9: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal IV Quadrante (Hs= 3.8 m, Tp= 9.6 s, MWD= 299°N).....	37
Figura 7-10: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal IV Quadrante (Hs= 2.1 m, Tp= 8.0 s, MWD= 316°N)	38
Figura 8-1: Esempio di trenching jetting machine.....	40
Figura 8-2: Individuazione degli estremi di ciascun tratto omogeneo per il calcolo del volume di sedimento movimentato per unità di lunghezza	44
Figura 9-1: Rappresentazione schematica dei processi simulati in MIKE 3 MT	46
Figura 9-2: Esempio di concentrazione massima di sedimento sospeso lungo la verticale lungo il tracciato della condotta.....	50
Figura 9-3: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P1 sottocosta (E 433203 m, N 4095240 m), lungo la condotta, per il mese di settembre.....	51
Figura 9-4: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P2 (E 416361 m, N 4096911 m) nella zona intermedia, lungo la condotta, per il mese di settembre.....	51
Figura 9-5: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P3 (E 388582 m, N 4084619 m) al largo, lungo la condotta, per il mese di settembre.....	52
Figura 9-6: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	53
Figura 9-7: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	54
Figura 9-8: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN.....	54
Figura 9-9: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN..	55
Figura 9-10: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	55
Figura 9-11: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN..	56
Figura 9-12: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	56
Figura 9-13: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	57
Figura 9-14: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	57
Figura 9-15: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	58



 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 9 di 115</p>
--	---------------------------------	--	----------------------------

Figura 9-16: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	58
Figura 9-17: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN....	59
Figura 9-18: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	59
Figura 9-19: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	60
Figura 9-20: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	60
Figura 9-21: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	61
Figura 9-22: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	61
Figura 9-23: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	62
Figura 9-24: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	62
Figura 9-25: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	63
Figura 10-1: Esempio dell'elevazione non dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (Cp) sulla superficie della carena (Prora a sinistra)	65
Figura 11-1: Rappresentazione delle altezze d'onda significative al largo e sottocosta durante la mareggiata studiata. Periodo: 05.03.2017-10.03.207	67
Figura 11-2: Andamento della tensione tangenziale al fondo durante lo sviluppo della mareggiata in studio (Figura 11-1). La rappresentazione è relativa a 5 diverse profondità lungo il tracciato della condotta: 5 m, 11 m, 15 m, 20 m, 30 m	68
Figura 11-3: Mappa delle concentrazioni di sedimento sospeso al fondo al picco della mareggiata. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	69
Figura 12-1: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN.....	71
Figura 12-2 Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	71
Figura 12-3: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	72
Figura 12-4: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	72
Figura 12-5: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN	73

Elenco degli Allegati

Allegato 1	MWM - Mediterranean Wind Wave Model
Allegato 2	MIKE 3 HD – Hydrodynamics e MIKE 3 MT – Mud Transport
Allegato 3	MIKE 21 SW – Spectral Waves

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 10 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

1 EXECUTIVE SUMMARY

Il presente studio è stato redatto con lo scopo di ottemperare alle disposizioni di cui alla prescrizione A.11 riportata nell'Allegato 1 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito Dec. VIA/AIA 149/14) rilasciato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014 per il Progetto "Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea", ubicato nel Canale di Sicilia – Zona G1 e successivo Decreto di esclusione dalla VIA n. 55 del 07 Febbraio 2018 inerente gli Interventi di Ottimizzazione del "Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea" (di seguito Integrazioni), che ha recepito integralmente tale prescrizione.


Tale progetto prevede lo sviluppo integrato dei Campi Gas Argo e Cassiopea, e l'esecuzione di due Pozzi esplorativi denominati "Centaurio 1" e "Gemini 1" con l'obiettivo principale di sfruttare le risorse in modo efficiente e senza impatti negativi sull'ambiente, per un periodo indicativo di 20 anni. All'interno del progetto è prevista la posa di una condotta rigida, di ombelicali e di flexible flowlines, che rendono necessarie le operazioni di post-trenching per un tracciato lungo rispettivamente circa 60,6 km, 44,8 km e 11 km.

In particolare, la suddetta prescrizione del Ministero (le cui parole testuali sono riportate nel seguito in corsivo) richiede *l'applicazione di modelli tridimensionali certificati al fine di studiare la dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di scavo ed affossamento delle sealines.*

Nello specifico, con lo scopo di rappresentare le dinamiche che caratterizzano il sistema, in termini di flussi di corrente e relativi livelli e velocità, è stato implementato il modello numerico tridimensionale MIKE 3 HD – Hydrodynamics. Questo modello idrodinamico è stato applicato su tutta la zona oggetto degli interventi, quindi in un'area compresa tra la costa e profondità superiori a 700 m, e per un intero anno reale permettendo, come evidenziato anche nelle linee guida ISPRA [1], di tenere in considerazione le variazioni infra-annuali delle fenomenologie fisiche che maggiormente intervengono nella movimentazione del pennacchio di torbida una volta che il sedimento è stato rilasciato nella colonna d'acqua. Il modello è stato creato innestandolo al modello di circolazione di larga scala HYCOM [2], che fornisce i dati, in termini di condizioni al contorno e iniziali, delle intensità e direzioni delle correnti di circolazione di larga scala (in questo caso il Canale di Sicilia), nonché di temperatura e salinità. Mediate l'utilizzo dei modelli DTU10 [3] e CFSR [4] sono stati inoltre considerati rispettivamente le oscillazioni mareali ed il flusso di calore tra l'atmosfera e la superficie del mare.

Tra le varie fenomenologie che possono influenzare la dispersione ed il trasporto del pennacchio di torbida, il ruolo più rilevante nel caso di studio è senz'altro da attribuire alle correnti di circolazione generale del Canale di Sicilia ma, negli ultimi chilometri prima dell'approdo, il tracciato si sviluppa su profondità basse, fino a circa 4 m, dove l'effetto del moto ondoso sulla dispersione dei sedimenti risulta non trascurabile. Infatti, nella loro propagazione verso costa, le onde trasferiscono energia che, su profondità limitate, si traduce in tensioni tangenziali al fondo. Queste tensioni comportano non solo il mantenimento in sospensione dei sedimenti movimentati, ma anche la messa in sospensione dei sedimenti eventualmente depositati al termine delle operazioni di post-trenching. Per lo stesso anno preso a riferimento per il modello idrodinamico, è stato pertanto implementato anche un

¹ La zona G – Canale di Sicilia è una delle sette aree marine in cui è possibile presentare nuove istanze così come individuate dalla carta dei Titoli Minerari Vigenti aggiornata ad Aprile 2018 e pubblicata sul sito del Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 11 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

modello d'onda mediante l'applicazione del modulo bidimensionale MIKE 21 SW – Spectral Waves. Per le condizioni al contorno di tale modello si è fatto riferimento al dataset MWM [5].

Questi due modelli (MIKE 3 HD e MIKE 21 SW) hanno rappresentato le forzanti del modello tridimensionale MIKE 3 MT – Mud Transport, per lo studio della dispersione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti messi in sospensione in seguito alle operazioni di post-trenching. Come richiesto dal Ministero, questo modello consente di tenere conto:

- *dei parametri fisici, ecologici e geotecnici dei sedimenti;*
- *delle effettive velocità di ricaduta sul fondo marino ("fall velocity Susp. Current");*
- *del campo idrodinamico di base dovuto al regime delle correnti e delle onde nel periodo previsto per l'esecuzione dei lavori.*

Riguardo a quest'ultimo punto, non essendo noto il periodo di esecuzione delle operazioni, è stato seguito un approccio a "finestre mobili" [1]: per ogni mese di simulazione idrodinamica ha girato il modulo di trasporto di sedimento ad essa accoppiato, ipotizzando che le operazioni abbiano inizio il giorno 1 e il giorno 15 di ogni mese, in modalità separata, cosicché una simulazione non interferisca con la precedente e con la successiva.

Si evidenzia che, per quanto riguarda le modalità operative di post-trenching (in termini di velocità di avanzamento, tipologie di macchinari impiegati, volumi dragati) sono state effettuate assunzioni sulla base delle informazioni a disposizione. Non essendo tutti i dati ancora definitivi, si è proceduto con l'adozione di un approccio a favore di sicurezza.

Come esplicitamente richiesto dalla prescrizione, questo studio ha permesso di:


fornire ed analizzare in ogni punto selezionato le concentrazioni areali dei sedimenti posti in sospensione a diversi livelli d'acqua misurati a partire dal fondale marino con i relativi tempi di risospensione.

In particolare, questi risultati sono mostrati nel presente report come mappe di distribuzione spaziale, annuali e stagionali, della concentrazione massima di sedimento sospeso al fondo, a mezza colonna ed in superficie e dell'accumulo massimo del sedimento sul fondo.

Questi risultati hanno messo in evidenza che il materiale messo in sospensione durante le operazioni rimane confinato negli strati più profondi, con concentrazioni progressivamente più basse procedendo verso la superficie. Facendo riferimento al valore di 2 mg/l, diffusamente considerata la soglia al di sotto della quale l'acqua è da considerarsi "limpida", offrendo quindi garanzia per la salute di qualsiasi specie naturale, il pennacchio di sedimenti raggiunge la superficie solo a basse profondità, comprese tra la costa e circa 12 m, seppur con valori molto bassi, mai superiori a 15 mg/l. A queste profondità risulta rilevante l'effetto dell'onda nel mantenimento in sospensione dei sedimenti fino o nella messa in sospensione degli stessi.

Al fondo il pennacchio di torbida interessa una fascia larga alcuni km (generalmente tra 5 e 10 km, se si fa riferimento alla soglia di 2 mg/l, tra 1 e 4 km, se si fa riferimento alla soglia di 10 mg/l, valore oltre il quale l'acqua viene considerata torbida) centrata sul tracciato delle sealines. Le concentrazioni maggiori, dell'ordine dei 1000 mg/l, si presentano esclusivamente sul fondo e in prossimità del tracciato, inoltre le stesse tendono ad esaurirsi, raggiungendo valori al di sotto della soglia di 2 mg/l, dopo un periodo di tempo variabile a seconda della particolare idrodinamica locale, ma comunque compreso tra 12 e 48 ore.

Come indicato dalla prescrizione, separatamente, sono stati anche:

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 12 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

definiti ed analizzati il campo di corrente e le onde anomale ("Bernoulli Wake"-generate dai mezzi navali impiegati durante l'esecuzione dei lavori) che si propagano anche verso il basso fondale dando luogo a "stress" ed alla conseguente risospensione dei sedimenti. Quanto sopra è stato valutato a mezzo di opportuni software tridimensionali - "Shipflow" - che tengono conto delle reali caratteristiche delle navi e dei mezzi.

L'approfondimento ha evidenziato che, in virtù delle limitate velocità attese dei mezzi navali a supporto, le tensioni tangenziali al fondo determinate dalle *Bernoulli Wakes* sono trascurabili per più dell'80% del tracciato, ossia dove le profondità sono superiori ai 30 m. Per profondità più basse, le velocità al fondo potrebbero determinare la potenziale messa in sospensione del sedimento, seppur in quantità modesta, creando concentrazioni di sedimento sospeso tuttavia ben al di sotto del pennacchio di torbida generato da una mareggiata in condizioni naturali.

A tale proposito è opportuno evidenziare che nella fascia litoranea più vicina a costa, indicativamente fino ad una profondità di circa 10 m, i valori massimi di concentrazione di sedimenti messi in sospensione naturalmente durante una mareggiata nello strato di fondo sono paragonabili (ossia superiori a 500 mg/l) ai valori massimi di concentrazione al fondo che si verificano lungo il tracciato durante le operazioni.

Infine, la suddetta prescrizione ministeriale richiede la valutazione:

delle quantità di mercurio contenute nei sedimenti messi in sospensione in seguito alle operazioni di dragaggio.


In merito a tale problematica è stata condotta un'analisi preliminare seguendo un approccio semplificato cautelativo; le concentrazioni di mercurio sono state calcolate ipotizzandole proporzionali alle concentrazioni di sedimento presente lungo la colonna d'acqua a seguito delle operazioni di dragaggio

Per la quantificazione del mercurio adeso ai sedimenti costituenti il fondale marino si è fatto riferimento alle risultanze del rilievo ambientale [9] realizzato a Luglio 2009 dalla Società GAS - Geological Assistance & Services, con lo scopo di acquisire informazioni sulle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche dei sedimenti in corrispondenza dell'allora tracciato in progetto della pipeline.

. I risultati hanno messo in evidenza che le concentrazioni di mercurio in sospensione sono mediamente pari a 0,018 µg/l in una fascia larga approssimativamente 500-800 m a cavallo della *sealine*. Nel resto del dominio le concentrazioni sono ovunque inferiori a 0,005 µg/l.

La Direttiva 2008/105/CE [6], relativa a standard di qualità ambientale (SQA) nel settore della politica delle acque, indica come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) per il mercurio un valore pari a 0,07 µg/l, valore mai superato lungo la *sealine*.

Si evidenzia fin da ora che le concentrazioni di mercurio, valutate con l'approccio semplificato sopra riportato, saranno comunque oggetto di indagine; così come richiesto nell'Allegato 1 prescrizioni A9 e A10 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito Dec. VIA/AIA 149/14) rilasciato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 13 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

2 PREMESSA

Il presente studio è stato redatto con lo scopo di ottemperare alle disposizioni di cui alla prescrizione A.11 riportata nell'Allegato 1 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito Dec. VIA/AIA 149/14) rilasciato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014 per il Progetto "Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea" (di seguito Progetto), ubicato nel Canale di Sicilia – Zona G1 e successivo Decreto di esclusione dalla VIA n. 55 del 07 Febbraio 2018 inerente gli Interventi di Ottimizzazione del "Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea" (di seguito Integrazioni), che ha recepito integralmente tale prescrizione.

La suddetta prescrizione prevede che:


"In relazione al nuovo tracciato ed alle nuove caratteristiche delle sealines, in fase di progettazione esecutiva il proponente dovrà effettuare una simulazione numerica complessiva della dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di scavo ed affossamento delle sealines mediante l'utilizzo di opportuni modelli tridimensionali certificati che tengano conto:

1. delle caratteristiche dei mezzi navali e delle attrezzature effettivamente impiegate in termini di *dimensioni, potenza, caratteristiche degli scafi e delle eliche, ecc.;*
2. *dei parametri fisici, ecologici e geotecnici dei sedimenti e delle quantità di mercurio negli stessi contenute;*
3. *delle effettive velocità di ricaduta sul fondo marino ("fall velocity Susp. Current");*
4. *del campo idrodinamico di base dovuto al regime delle correnti e delle onde nel periodo previsto per l'esecuzione dei lavori.*

Le suddette simulazioni dovranno essere eseguite lungo le porzioni di tracciato delle sealines (corridoi) interessate dalle attività di scavo e affossamento, con scansione adeguata. In ogni punto selezionato dovranno essere fornite ed analizzate come minimo le concentrazioni areali dei sedimenti posti in sospensione a diversi livelli d'acqua misurati a partire dal fondale marino con i relativi tempi di risospensione. Dovranno inoltre essere definiti ed analizzati il campo di corrente e le onde anomale ("Bernoulli Wake"- generate dai mezzi navali impiegati durante l'esecuzione dei lavori) che si propagano anche verso il basso fondale dando luogo a "stress" ed alla conseguente risospensione dei sedimenti. Quanto sopra dovrà essere valutato a mezzo di opportuni software tridimensionali (i.e. "Shipflow" o equivalenti) che tengano conto delle reali caratteristiche delle navi e dei mezzi.


Il presente documento costituisce dunque la risposta a tali prescrizioni, ed è articolato secondo i seguenti capitoli:

- raccolta e processamento dei dati meteorologici, batimetrici e sedimentologici disponibili per il sito in studio (capitolo 4);
- individuazione delle condizioni meteomarine e di circolazione prese a riferimento quali forzanti del modello di dispersione dei sedimenti (capitolo 5);
- studio della circolazione nel tratto di mare al largo di Gela mediante l'applicazione del modello tridimensionale MIKE 3 HD – Hydrodynamics sviluppato da DHI (capitolo 6);
- studio dei campi di onda nel tratto di mare al largo di Gela mediante l'applicazione del modello bidimensionale MIKE 21 SW – Spectral Waves sviluppato da DHI (capitolo 7);
- analisi delle modalità ipotizzate per le operazioni di movimentazione dei sedimenti ("post-trenching"), con particolare riferimento alla tipologia di mezzi impiegati, alla loro velocità di spostamento, alla durata prevista per le operazioni e alla stima di

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 14 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

rilascio di sedimento in colonna d’acqua rispetto alla quantità totale di sedimento movimentata (“spill”) (capitolo 8);

- studio della dispersione di sedimenti messi in sospensione durante le operazioni di post-trenching mediante l’applicazione del modello tridimensione MIKE 3 MT – Mud Transport sviluppato da DHI (capitolo 9);
- valutazioni sul campo di moto associato al passaggio dei mezzi navali impiegati nelle operazioni di posa delle *sealines* (per effetto della scia non viscosa, *Bernoulli Wakes*), con particolare riferimento alle tensioni indotte al fondo (*bed shear stress*) potenzialmente responsabili della messa in sospensione dei sedimenti costituenti il fondale (capitolo 10);
- valutazione della torbidità generata naturalmente per effetto di una mareggiata tipica per il sito in studio (capitolo 11).
- studio della quantità di mercurio messo in sospensione durante le operazioni di post-trenching. Tale studio è condotto, in via preliminare, sotto l’ipotesi che la concentrazione di mercurio sia proporzionale a quella dei sedimenti risospesi, senza pertanto considerare fenomeni di eventuale desorbimento ed adsorbimento tra sedimento e matrice liquida (capitolo 12).

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 15 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto prevede lo sviluppo integrato dei Campi Gas Argo e Cassiopea, e l'esecuzione di due Pozzi esplorativi denominati "Centaurio 1" e "Gemini 1" (Figura 3-1 e Figura 3-2).

Obiettivo principale del progetto "Offshore Ibleo" è lo sfruttamento delle risorse in modo efficiente e senza impatti negativi sull'ambiente, per un periodo indicativo di 20 anni; il progetto complessivamente prevede:

- attività di coltivazione: sviluppo integrato dei Campi Gas Argo e Cassiopea, situati a circa 30 km in direzione Sud da Licata (AG), ubicati all'interno della Istanza di Concessione di Coltivazione "d3G.C-.AG", che occupa una superficie di 145,6 km² (rispettivamente Permessi di Ricerca "G.R13.AG" e "G.R14.AG");
- attività di esplorazione: esecuzione di due Pozzi esplorativi denominati "Centaurio 1" e "Gemini 1" all'interno dell'Istanza di Concessione di Coltivazione "d3G.C-.AG", nell'ambito del Permesso di Ricerca "G.R13.AG", rispettivamente a circa 25 km e 28 km di distanza dalla costa italiana;
- attività di trattamento e produzione: sviluppo di una centrale trattamento gas e annessi impianti su terra ferma all'interno della Raffineria di Gela.

I giacimenti offshore si trovano a circa 30 km dalla costa della Sicilia a profondità comprese tra 550 m e 620 m.

In particolare, il presente studio fa riferimento alle operazioni di post-trenching necessarie per la posa di:

- condotta rigida che collega il Manifold del campo "Cassiopea" con l'approdo onshore. Questa condotta si sviluppa per una lunghezza totale di circa 60,6 km e attraversa profondità variabili tra circa 670 m e 4 m. La trincea per il posizionamento della condotta verrà realizzata in due fasi: si effettuerà un prima passata atta a scavare l'intera trincea ed una seconda passata di perfezionamento e pulizia da eventuali sedimenti depositati nella trincea a seguito delle operazioni appena terminate.
- ombelicali che collegano:
 - i 3 pozzi sottomarini produttori per il Giacimento di "Cassiopea" (1, 2 e 3) con il Manifold sottomarino di raccolta della produzione del campo "Cassiopea";
 - il pozzo sottomarino produttore per il Giacimento "Argo" (Argo 2) con il Manifold sottomarino di raccolta della produzione del campo "Argo" (SDU);
 - il Manifold sottomarino di raccolta della produzione del campo "Cassiopea" con la Piattaforma Prezioso seguendo la traccia della condotta rigida.

Complessivamente gli ombelicali si sviluppano per una lunghezza di 44,8 km e attraversano profondità comprese tra 660 m, in corrispondenza del Manifold Cassiopea, e 40 m, in corrispondenza della Piattaforma Prezioso.

- *flexible flowlines* che collegano:
 - i 3 pozzi sottomarini produttori per il Giacimento di "Cassiopea" (1, 2 e 3) con il Manifold sottomarino di raccolta della produzione del campo "Cassiopea";
 - il pozzo sottomarino produttore per il Giacimento "Argo" (Argo 2) con il Manifold sottomarino di raccolta della produzione del campo "Argo" (SDU).

Complessivamente le *flexible flowline* si sviluppano per circa 11 km e attraversano profondità comprese tra 660 m, in corrispondenza del Manifold Cassiopea, e 550 m, in corrispondenza del pozzo Argo 2.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
16 di
115

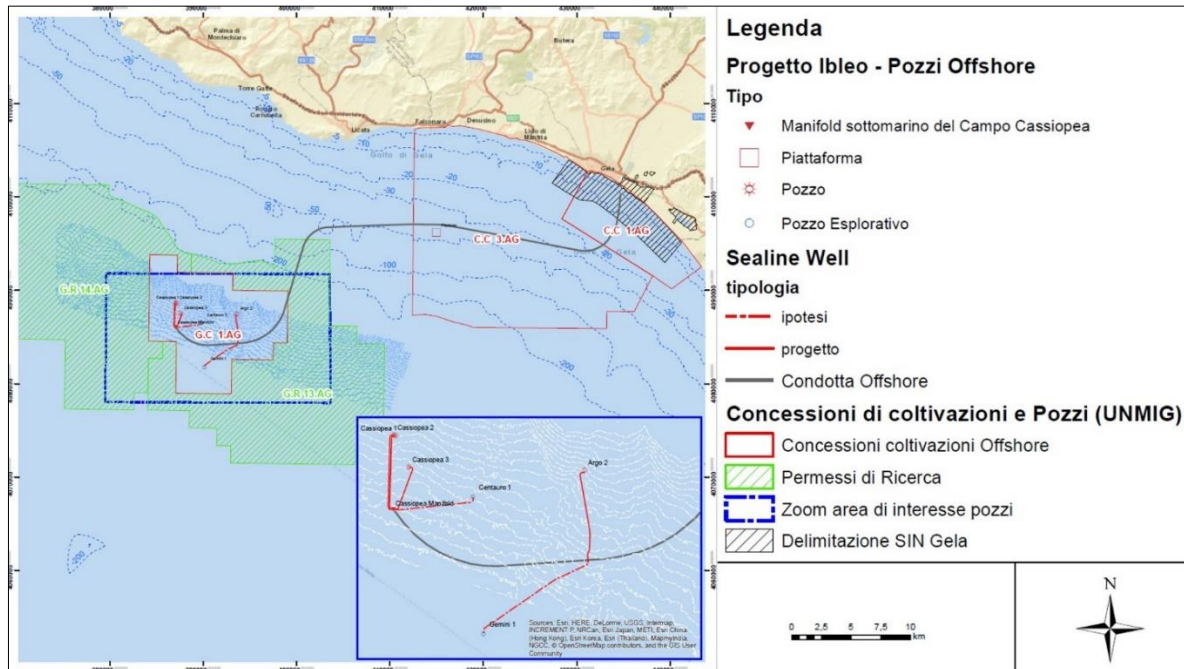



Figura 3-1: Planimetria del sistema di condotta rigida (in nero), ombelicali e flexible flowlines (in rosso)

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 17 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

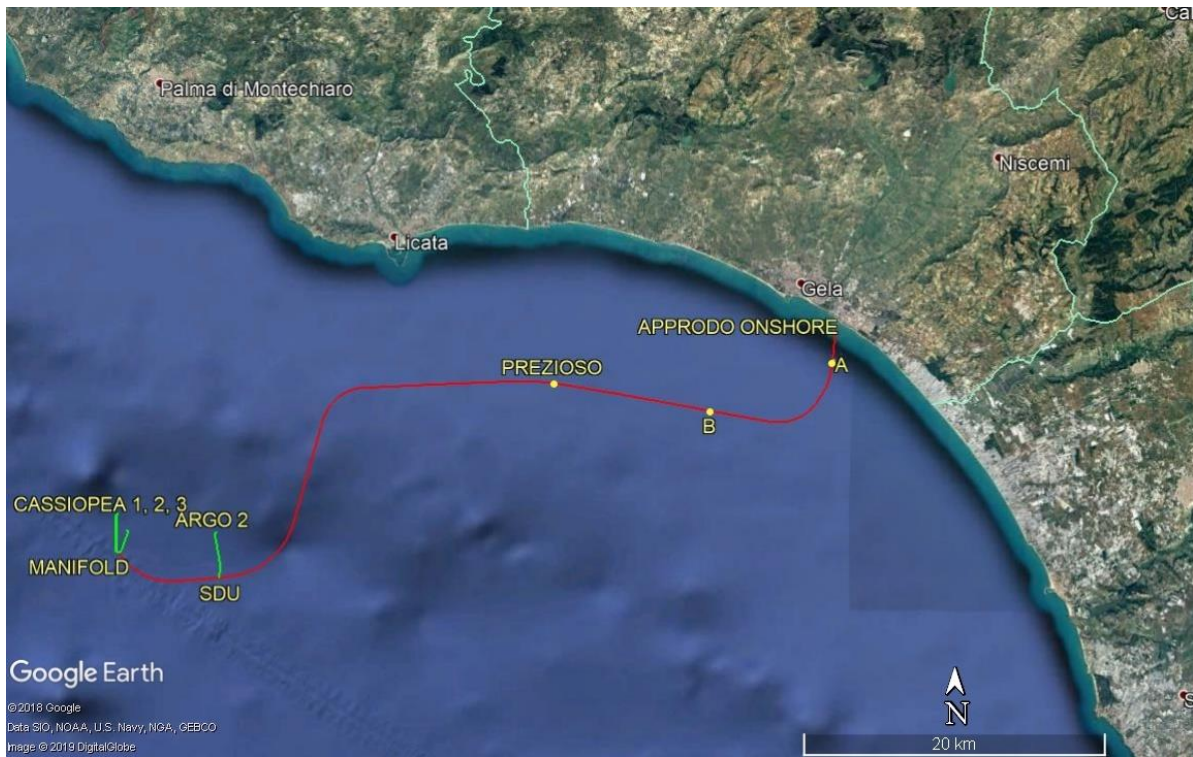



Figura 3-2: Tracciato della condotta in progetto ed ubicazione dei pozzi Cassiopea 1, Cassiopea 2, Cassiopea 3 e Argo 2

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 18 di 115</p>
--	---------------------------------	---	---------------------------------

4 INDAGINI AMBIENTALI PREGRESSE

Nel presente capitolo vengono descritti sia i dati disponibili per la zona oggetto di studio in riferimento all'andamento batimetrico (sezione 4.1) e alla caratterizzazione sedimentologica (sezione 4.2), sia i database utilizzati per la caratterizzazione del sito dal punto di vista meteomarinico (onda e vento – sezione 4.3), oceanografico (correnti, temperatura e salinità – sezione 4.5), mareale (sezione 4.6) ed atmosferico (precipitazioni, copertura nuvolosa, temperatura dell'aria, umidità relativa – sezione 4.7).

4.1 CARATTERIZZAZIONE BATIMETRICA

Per quanto riguarda la caratterizzazione batimetrica, si è fatto riferimento ai dati estratti da cartografia nautica digitale, con particolare riferimento al database CM-93 [7] di C-MAP [8]. I dati forniti da questo database possono essere direttamente importati nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo MIKE, consentendo quindi un'adeguata caratterizzazione batimetrica dell'area.

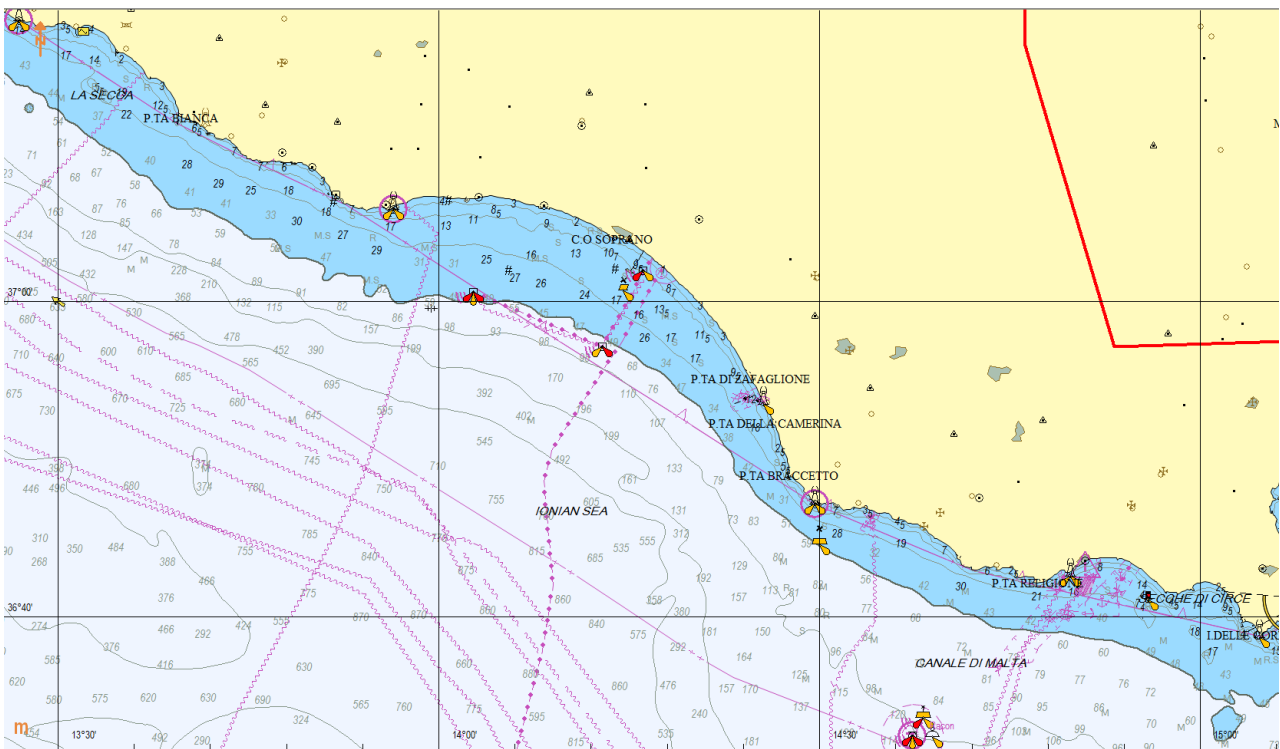


Figura 4-1: Rappresentazione della cartografia nautica CM-93 [7] di C-MAP [8] per la zona di interesse (scala 1:363.000)

In Figura 4-2 si riporta la distribuzione spaziale dei dati disponibili e si evidenzia in nero il tracciato della condotta e degli ombelicali oggetto del presente studio.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
19 di
115

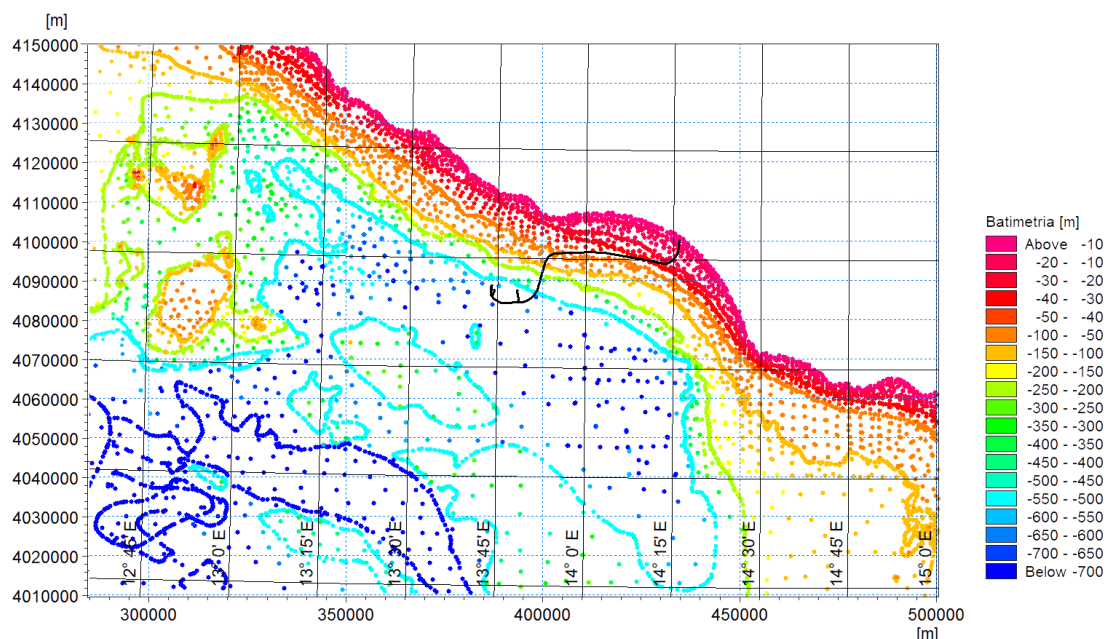


Figura 4-2: Dati CM-93 [7] di C-MAP [8] disponibili per la caratterizzazione batimetrica e tracciato delle sealines (in nero)

Al fine di ottenere una rappresentazione più accurata della batimetria nella zona lungo l'intero tracciato della condotta e degli ombelicali, i dati batimetrici provenienti dalle carte nautiche sono stati integrati con rilievi di dettaglio. In particolare, i dati batimetrici utilizzati nel presente studio, e rappresentati in formato MIKE in Figura 4-3, sono stati desunti dalla tavola "offshore pipeline and flexible flowlines system – General layout" fornita dal Committente in formato AutoCAD ("082100BSDN71027_CDFE08_13") e redatta da Eni con ultima revisione nel 2018. Questi dati sono rappresentati in termini di punti e isolinee quotate ogni 5 m di quota, per profondità comprese tra 0,5 m e 740 m nell'intorno della traccia della condotta.

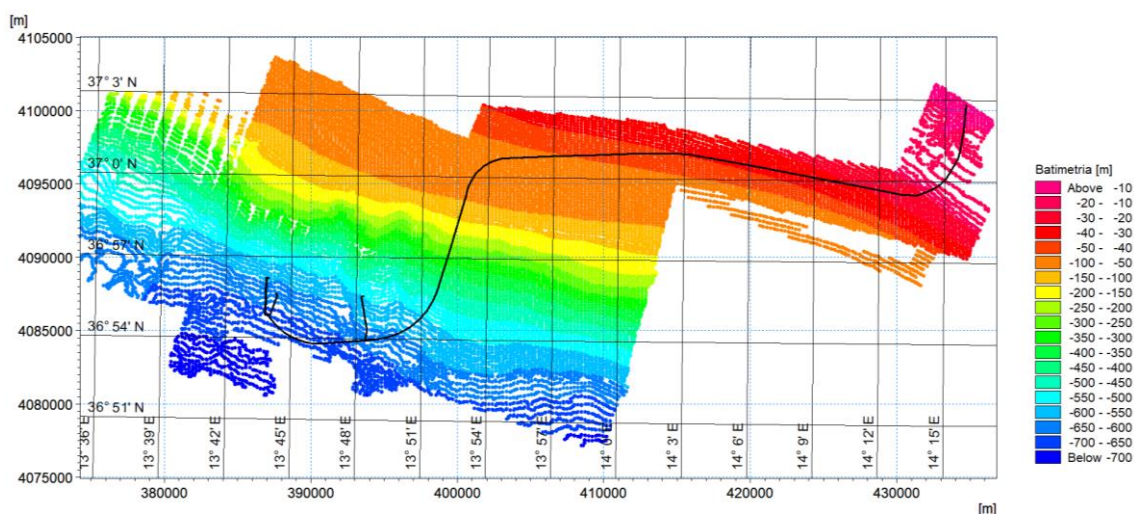



Figura 4-3: Dati batimetrici di dettaglio ricavati dai rilievi resi disponibili da Eni per l'area di interesse; in nero è rappresentato il tracciato della pipeline

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 20 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

4.2 CARATTERIZZAZIONE SEDIMENTOLOGICA

Per la caratterizzazione dei sedimenti costituenti il fondale marino si è fatto riferimento alle risultanze delle indagini geotecniche effettuate nella zona al largo del Golfo di Gela e riportate all'interno di "ARGO Cluster Final Report" redatto da Eni E&P a Maggio 2011. Le analisi granulometriche dei campioni sono state effettuate dalla società Ismgeo a Marzo 2011 ed i risultati si compongono di grafici e tabelle riportanti:

- i valori in percentuale di sedimento trattenuto vs. diametro delle particelle (curve granulometriche);
- i risultati dei test di setacciatura e di sedimentazione;
- la composizione tessiturale in percentuale per tre classi di riferimento: sabbia (diametro compreso tra 4.750 e 74 μm), limo (diametro compreso tra 74 e 5 μm) e argilla (diametro inferiore a 5 μm);
- diametri d50 e d60, ossia rispettivamente il 50% ed il 60% delle particelle sono caratterizzate da diametri inferiori a tali diametri d.

Nel presente studio, i campioni a cui si è fatto riferimento per la caratterizzazione granulometrica sono 27, distribuiti lungo tutto il tracciato della condotta (Figura 4-4). In particolare, sono state utilizzate le analisi effettuate per le carote più superficiali, comprese nello strato di fondale che sarà interessato dalle operazioni di movimentazione dei sedimenti, indicativamente pari a 1,5 m.

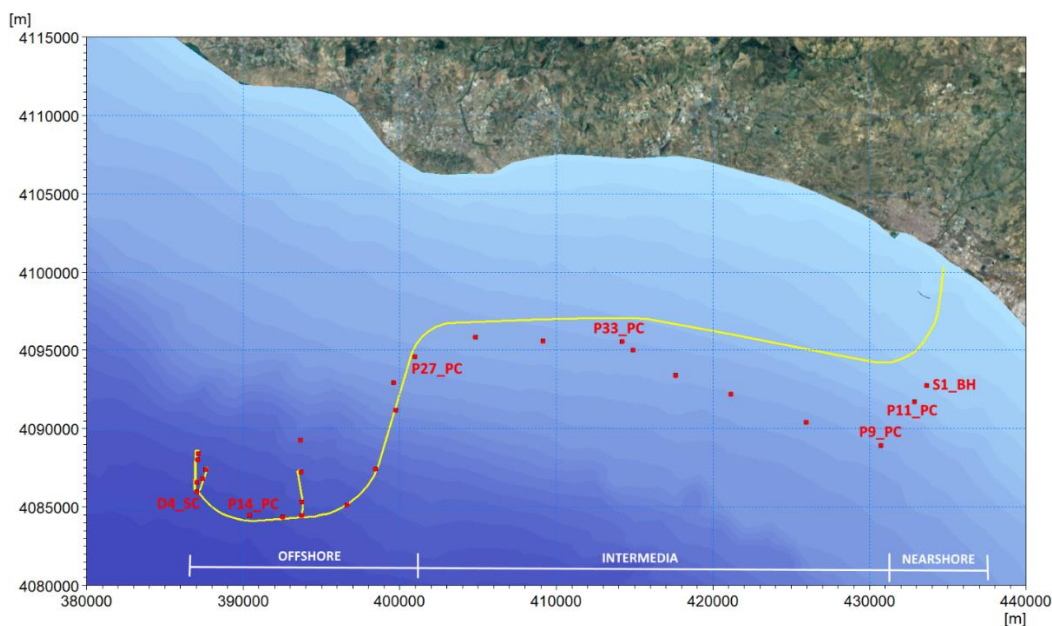



Figura 4-4: Ubicazione dei punti di campionamento utilizzati nel presente studio per la caratterizzazione granulometrica

In Tabella 4-1 sono riportati i dati principali desunti dal suddetto elaborato per i 27 campioni di interesse. In particolare, sono riportate le coordinate Est e Nord, nel sistema UTM33, le profondità locali dei punti di campionamento, la quota al di sotto del fondale marino a cui è stato prelevato il campione, il diametro medio dei sedimenti (d_{50}) e le percentuali delle componenti tessiturali (argilla, limo e sabbia).


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 21 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

Per una più agevole comprensione della distribuzione granulometrica da largo verso costa, in tabella i campioni sono stati elencati seguendo un ordine crescente della coordinata Est. In particolare, si osserva che l'area di interesse può essere suddivisa in tre zone dal punto di vista granulometrico (Figura 4-4):

- zona offshore, caratterizzata da profondità comprese tra 664 m (campione P14_PC) e 85 m (campione P27_PC), che si estende fino alla coordinata Est UTM33 400973 m. A questa zona è stata associata una composizione tessiturale data dalla media delle composizioni dei relativi campioni, ossia per circa il 78% da argilla e per circa il 22% da limo;
- zona intermedia, caratterizzata da profondità comprese tra 85 m (campione P27_PC) e 51 m (campione P33_PC), che si estende fino alla coordinata Est UTM33 430720 m (campione P9_PC). A questa zona è stata associata una composizione tessiturale data dalla media delle composizioni dei relativi campioni, ossia per circa il 66% da argilla e per il 34% da limo;
- zona nearshore, caratterizzata da profondità inferiori a 51 m (campioni P11_PC e S1_BH), che si estende fino a costa. A questa zona è stata associata una composizione tessiturale data dalla media delle composizioni dei relativi campioni, ossia per circa il 21% da argilla, per il 42% da limo e per il 37% da sabbia.

Tabella 4-1: Ubicazione dei punti di campionamento nel sistema di coordinate UTM33, profondità locale, quota di prelievo dei campioni, diametro medio (d50) e percentuali delle componenti tessitureali (argilla, limo e sabbia)

Campione	Est (m)	Nord (m)	Profondità (m)	Quota campione (m)	d50 (µm)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)
P43_PC	387039	4086589	647,8	1,2-1,3	1,1	78	22	-
D4_SC	387056	4085976	659,3	0,5-0,6	0,66	80	20	-
P40_PC	387080	4088001	605,8	1,3-1,4	1,0	78	22	-
D2_SC	387121	4088407	589,8	0,3-0,4	0,66	82	18	-
P38_PC	387393	4086809	643,1	1,2-1,3	0,93	79	21	-
D3_SC	387576	4087398	628,1	1,0-1,1	0,91	80	20	-
P14_PC	390409	4084447	663,6	1,2-1,3	1,20	77	23	-
P16_PC	392515	4084369	629,4	1,1-1,2	1,30	79	21	-
G6_SC	393633	4089278	431,3	0,4-0,5	1,40	76	24	-
D5_SC	393692	4087249	541,5	0,6-0,7	0,96	80	20	-
P36_PC	393713	4085308	593,7	1,2-1,3	1,30	74	26	-
D6_SC	393718	4084446	616,8	0,3-0,5	0,83	76	24	-
P21_PC	396608	4085138	577,7	1,1-1,2	1,00	78	22	-
P23_PC	398476	4087417	472,2	1,1-1,2	1,40	74	26	-
G7_SC	399584	4092939	136,3	0,8-0,9	1,10	77	23	-
P25_PC	399755	4091203	217,1	1,2-1,3	0,96	75	25	-
P27_PC	400973	4094583	85	1,2-1,3	0,92	78	22	-
P29_PC	404813	4095856	62,2	1,2-1,3	1,80	67	33	-
P31_PC	409119	4095605	58,1	1,2-1,3	2,00	64	36	-

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 22 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

P33_PC	414170	4095581	51,1	1,4-1,5	2,20	58	42	-
P1_PC	414889	4095017	55,4	1,2-1,3	1,40	69	31	-
P3_PC	417624	4093395	70,9	1,2-1,3	1,00	70	30	-
P5_PC	421122	4092197	78,1	1,2-1,3	1,40	68	32	-
P7_PC	425946	4090395	85,6	1,2-1,3	1,70	69	31	-
P9_PC	430720	4088928	76,2	1,2-1,4	2,00	62	38	-
P11_PC	432862	4091723	30,4	1,2-1,3	1,60	32	68	-
S1_BH	433667	4092729	20,5	1,0 - 1,2	100	10	16	74

4.3 DATI RELATIVI AL MERCURIO ADESO

Per la quantificazione del mercurio adeso ai sedimenti costituenti il fondale marino si è fatto riferimento alle risultanze del rilievo ambientale [9] realizzato a Luglio 2009 dalla Società GAS - Geological Assistance & Services, con lo scopo di acquisire informazioni sulle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche dei sedimenti in corrispondenza dell’allora tracciato in progetto della pipeline. Tali analisi sono state effettuate presso il Laboratorio Centro Studi Ambientali CSA (Rimini), mentre le elaborazioni successive dei dati sono state realizzate dalla società TETIDE.

Si evidenzia che nel presente studio si fa riferimento al solo mercurio in quanto, specificatamente richiesto dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (vedere capitolo 1).

I punti di campionamento a cui si è fatto riferimento per la caratterizzazione ambientale sono dieci, distanziati tra loro circa 10 km. L’ubicazione dei punti di campionamento è mostrata in Figura 4-5.

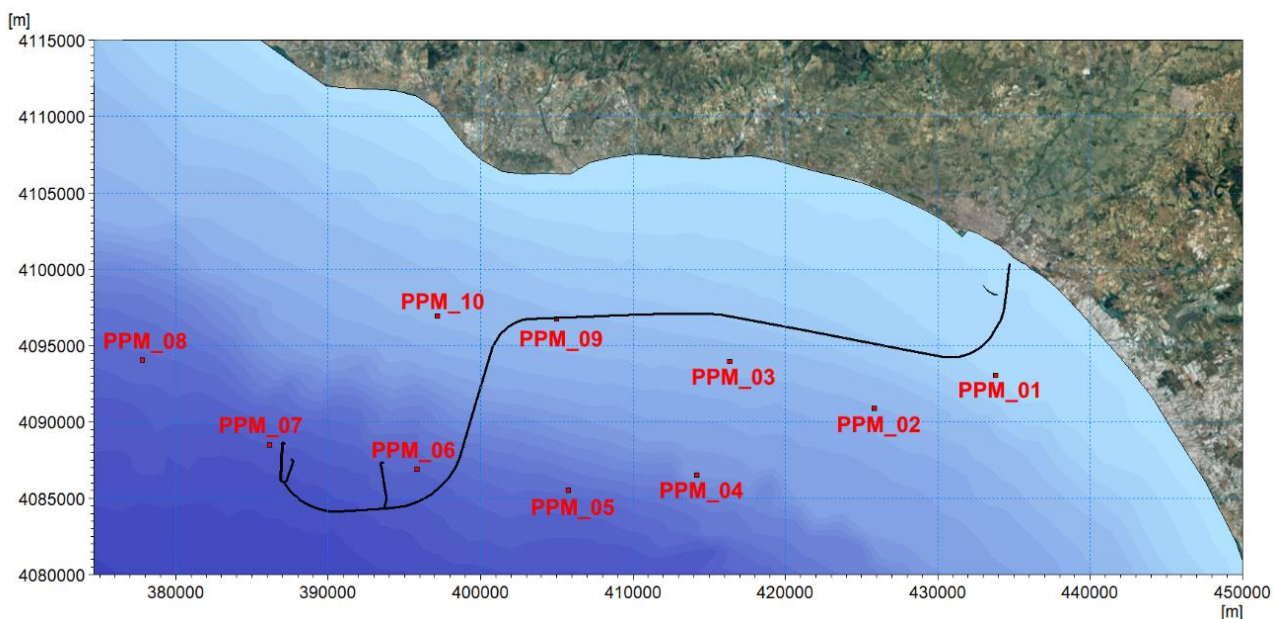



Figura 4-5: Ubicazione dei punti di campionamento per la caratterizzazione ambientale

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 23 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

Le analisi chimiche eseguite sui sedimenti hanno riscontrato la presenza di mercurio adsorbito alle particelle di sedimenti nelle quantità (in mg/kg s.s.) indicate per ogni campione di sedimento in Tabella 4-2.

Da questa analisi si evince che i valori di mercurio oscillano tra 0.0115 mg/kg s.s. (campione PPM_04) e 0.0907 mg/kg s.s. (campione PPM_02). Il PPM_04 risulta essere il campione più povero di metalli pesanti in quanto, probabilmente la sua localizzazione in fondali medio-alti (profondità di circa 300 m) in ambiente di scarpata, ostacolerebbe un accumulo nel tempo delle sostanze chimiche.

Tabella 4-2: Ubicazione dei punti di campionamento (in coordinate Gauss Boaga Fuso Est), profondità locale e quantità di mercurio contenuto nei campioni di sedimento

Campione	Nord (m)	Est (m)	Profondità (m)	Quantità di Mercurio (mg/Kg s.s.)
PPM_01	4093182	2453821	18,6	0,0523
PPM_02	4091025	2445847	79,2	0,0907
PPM_03	4094090	2436336	64,7	0,0769
PPM_04	4086680	2434189	360,6	0,0115
PPM_05	4085663	2425748	470,0	0,0309
PPM_06	4087082	2415844	536,9	0,0567
PPM_07	4088659	2406137	595,0	0,0507
PPM_08	4094197	2397813	500,2	0,0682
PPM_09	4096884	2424998	53,9	0,0581
PPM_10	4097094	2417176	69,3	0,0555


4.4 CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA

Nel presente studio, per la caratterizzazione dal punto di vista di vento e di onda, si è fatto riferimento al database Mediterranean Wind Wave Model (MWM), un complesso dataset ad elevata risoluzione, disponibile sull'intero bacino del Mar Mediterraneo, prodotto da DHI in collaborazione con HyMOLab (Hydrodynamics and Met-Ocean Laboratory), struttura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Trieste. Il database MWM deriva dall'implementazione di una catena modellistica che beneficia di due modelli che rappresentano lo stato dell'arte rispettivamente nell'ambito della modellazione atmosferica (WRF-ARW) e della modellazione del moto ondoso (MIKE 21 SW).

Per la descrizione dettagliata del database MWM si rimanda allo specifico Allegato 1.

L'accesso al database MWM garantisce la disponibilità di serie temporali orarie dei principali parametri di vento (intensità e direzione) e di moto ondoso (altezza d'onda, periodo, direzione) in tutto il Mar Mediterraneo. Tali serie temporali, che per il presente studio sono disponibili per un periodo di 40 anni (1979-2018), costituiscono una ricostruzione storica delle condizioni meteomarine attraverso modello numerico (approccio hindcast).

Le serie temporali (o eventualmente direttamente gli spettri di energia, nel caso dell'onda) possono essere utilizzate sia per una caratterizzazione diretta delle condizioni meteomarine al largo (ad esempio a supporto della progettazione di opere offshore), sia come condizioni al

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 24 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

contorno di modelli di maggiore dettaglio e risoluzione, adeguati a simulare correttamente le trasformazioni che l'onda subisce dal largo verso riva.

Per l'inquadramento dell'area in studio, dal punto di vista delle condizioni meteomarine medie, si è fatto riferimento a tre punti localizzati lungo il tracciato della pipeline, caratterizzati da tre diverse profondità: bassa (circa 15 m, punto P1), media (circa 50 m, punto P2) ed alta (circa 705 m, punto P3). L'ubicazione di questi punti, in coordinate geografiche e con ellissoide di riferimento WGS84, è indicata in Tabella 4-3 e rappresentata in Figura 4-6.

Tabella 4-3: Ubicazione dei tre punti presi a riferimento per l'analisi dei dati di vento e moto ondoso del database MWM

Punti	Longitudine (E)	Latitudine (N)	Profondità (m)
P1	14.25	37.00	15
P2	14.06	37.00	50
P3	13.75	36.88	705

Dal database MWM sono stati pertanto estratti i dati caratteristici di vento ed onda nei tre punti sopra indicati.

Inoltre, le condizioni anemometriche ed ondamiche medie riscontrate mediante l'utilizzo del dataset MWM sono state confrontate con i risultati ottenuti all'interno dello studio condotto da Saipem Energy International nel giugno 2010 [10] nell'ambito della progettazione di base delle *sealines*.

In tale studio i dati *hindcast* di vento ed onda sono stati ottenuti dal modello Eta_C di CREST [11] per un periodo di 20 anni (1989-2009) in tre punti presi a riferimento per lo studio. I dati di vento si riferiscono alla media oraria delle velocità di vento alla quota di 10 m. I modelli d'onda a cui si è fatto riferimento sono il WW3 per le acque profonde e lo SWAN per le acque basse. La griglia più fine da cui sono stati estratti i risultati CREST è di 0,01° (circa 1 km).

In Tabella 4-4 sono indicate le coordinate geografiche, con ellissoide di riferimento WGS84, dei tre punti nominati W001, W002 e W003 a cui lo studio condotto da Saipem ha fatto riferimento per il modello CREST. Come osservabile in Figura 4-6, tali punti sono distribuiti lungo il tracciato previsto per la pipeline in progetto. I punti P1 e P2 del database MWM risultano molto prossimi ai rispettivi punti W001 e W002 del database CREST. L'ubicazione del punto P3 del database MWM è invece posta ad una profondità più elevata rispetto al punto W003.

Tabella 4-4: Ubicazione dei punti presi a riferimento all'interno dello studio condotto da Saipem con il database CREST per l'analisi delle condizioni meteomarine (coordinate geografiche, ellissoide di riferimento WGS84)

Punti	Longitudine (E)	Latitudine (N)	Profondità (m)
W001	14.26	36.99	20
W002	14.04	37.01	55
W003	13.84	36.93	500


	Eni S.p.A. Distretto Meridionale	Data Luglio 2019	Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14	Pagina 25 di 115
---	---	------------------------	--	------------------------



Figura 4-6: Localizzazione dei punti presi a riferimento per lo studio delle condizioni meteomarine nel database MWM (P1, P2 e P3 in verde) e nel database CREST (W001, W002, W003 in giallo). In rosso il tracciato della pipeline

4.4.1 MODELLO MWM – DATI DI VENTO

A seguire sono riportati i dati di vento estratti dal database MWM per ognuno dei tre punti selezionati P1, P2 e P3 (periodo 1979-2018), rispettivamente sotto forma di tabelle di frequenza annua associata alle singole classi di intensità e direzione (modalità comunemente chiamata "scatter table") e sotto forma di tradizionali "rose", nelle quali la lunghezza dei settori direzionali è proporzionale alla frequenza.

L'analisi dei dati di vento, in termini di velocità e direzione, mostra che i venti più frequenti provengono da due ampi settori direzionali, il primo compreso tra 30°N e 120°N ed il secondo compreso tra 240°N e 330°N. Quest'ultimo rappresenta anche il settore per il quale si registrano le maggiori intensità; in particolare si osserva che la velocità massima raggiunta è dell'ordine di 22 m/s per il punto P3 (posto più al largo), 20 m/s per il punto P2 e 18 m/s per il punto P1 (posto più sottocosta).

In generale la condizione di calma, qui definita per venti con velocità inferiori a 2 m/s, presenta una frequenza pari a circa il 12%, (44 giorni all'anno in media).

Tabella 4-5: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P1

vel / dir	<2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	1,76	3,63	1,30	0,33	0,10	0,03	0,01	-	-	-	-	-	7,16
30	2,46	7,42	3,27	0,72	0,19	0,06	0,02	0,01	-	-	-	-	14,14
60	2,00	5,70	3,36	1,14	0,34	0,10	0,03	0,01	-	-	-	-	12,69
90	1,29	2,22	1,53	0,74	0,29	0,10	0,03	-	-	-	-	-	6,19

120	0,95	1,46	1,33	0,94	0,31	0,09	0,04	0,01	-	-	-	-	5,14
150	0,94	1,70	1,43	0,49	0,12	0,03	0,01	-	-	-	-	-	4,73
180	0,99	2,19	0,95	0,29	0,14	0,05	0,01	-	-	-	-	-	4,62
210	1,19	2,89	1,14	0,38	0,25	0,14	0,05	0,01	-	-	-	-	6,07
240	1,26	3,33	3,33	1,84	0,83	0,34	0,16	0,05	0,01	-	-	-	11,16
270	1,13	2,15	2,54	2,91	2,56	1,45	0,45	0,10	0,03	0,01	-	-	13,32
300	1,08	2,15	2,46	1,65	0,76	0,29	0,10	0,02	-	-	-	-	8,50
330	1,26	2,56	1,50	0,62	0,23	0,08	0,03	-	-	-	-	-	6,28
Tot	16,31	37,39	24,14	12,05	6,11	2,77	0,93	0,23	0,05	0,01	-	-	100

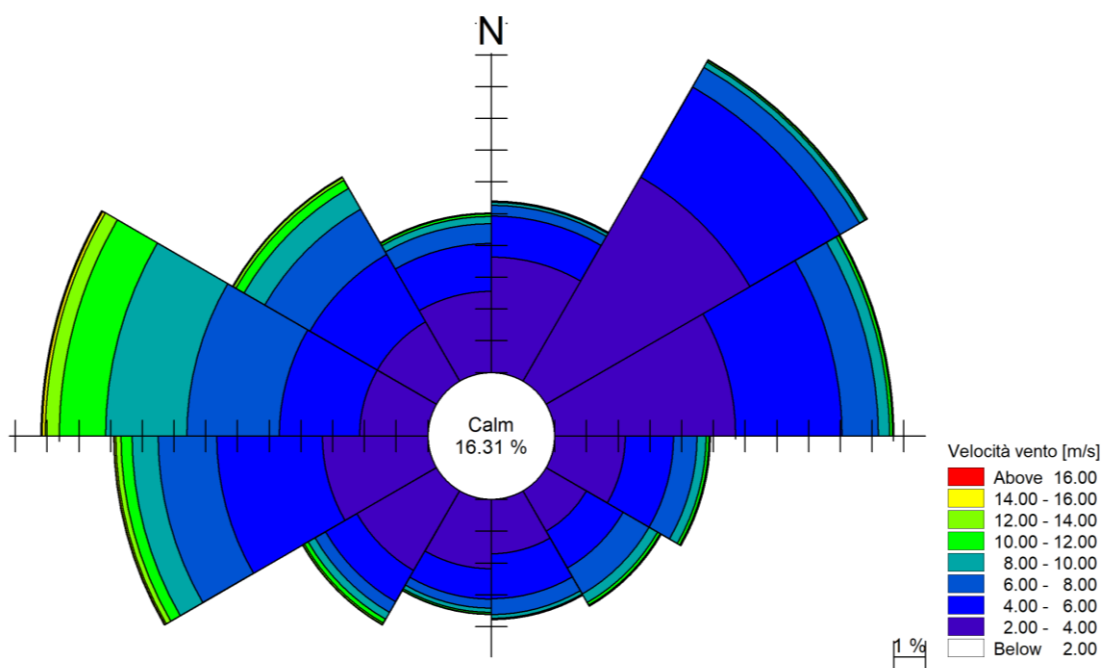


Figura 4-7: Rosa del vento ottenuta per il punto P1. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM

Tabella 4-6: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P2

vel / dir	<2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	0,94	3,05	2,70	1,25	0,39	0,09	0,03	0,01	-	-	-	-	8,46
30	1,20	4,28	3,15	0,97	0,30	0,10	0,03	0,01	-	-	-	-	10,04
60	1,19	3,88	4,20	2,69	1,43	0,43	0,13	0,04	0,01	-	-	-	14,00
90	1,04	1,97	1,61	1,09	0,65	0,25	0,10	0,03	-	-	-	-	6,73
120	0,90	1,59	1,48	1,14	0,57	0,19	0,06	0,03	-	-	-	-	5,96
150	0,87	1,52	0,94	0,38	0,15	0,06	0,02	0,01	-	-	-	-	3,94
180	0,88	1,57	0,64	0,33	0,19	0,07	0,03	0,00	-	-	-	-	3,72

210	0,93	2,01	0,93	0,40	0,31	0,17	0,09	0,03	-	-	-	-	4,88
240	0,89	2,60	3,11	1,89	0,82	0,42	0,24	0,11	0,03	0,01	-	-	10,13
270	0,76	1,81	2,69	3,45	3,34	2,11	0,95	0,30	0,07	0,02	0,01	-	15,49
300	0,69	1,65	2,55	2,34	1,38	0,67	0,27	0,09	0,02	-	-	-	9,67
330	0,73	2,09	2,29	1,19	0,45	0,17	0,06	0,02	-	-	-	-	7,00
Tot	11,02	28,01	26,27	17,13	9,95	4,72	2,01	0,67	0,17	0,04	0,01	-	100

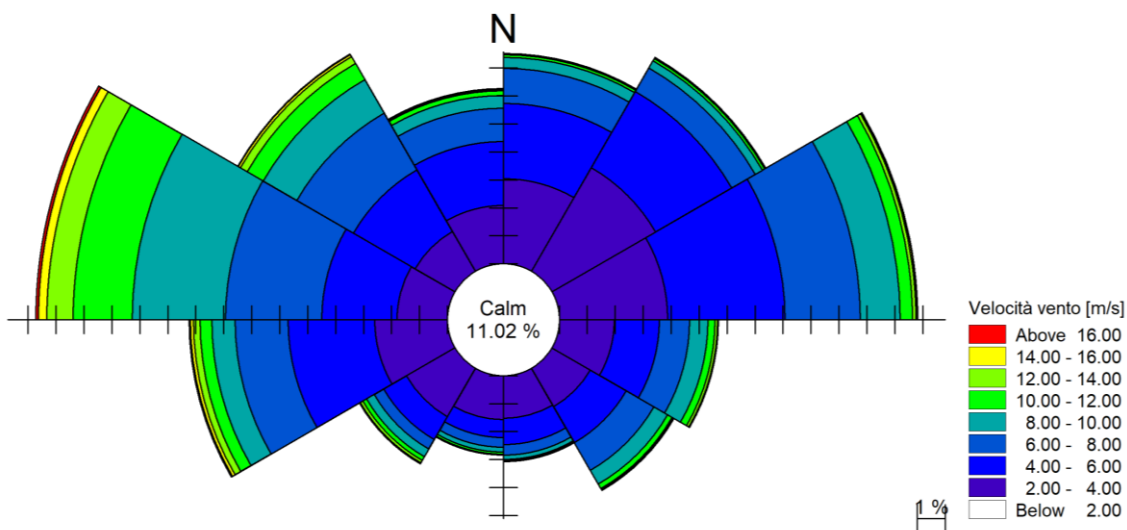


Figura 4-8: Rosa del vento ottenuta per il punto P2. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM

Tabella 4-7: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P3

vel /dir	<2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	0,87	1,67	1,30	0,76	0,39	0,12	0,04	0,01	-	-	-	-	5,17
30	0,98	2,42	1,78	0,83	0,29	0,10	0,03	0,01	-	-	-	-	6,45
60	1,04	2,86	2,76	1,60	1,04	0,57	0,22	0,08	0,03	0,01	-	-	10,20
90	1,01	2,56	2,62	1,96	1,50	0,94	0,43	0,17	0,04	0,01	-	-	11,24
120	0,88	2,13	2,05	1,39	0,79	0,35	0,12	0,04	0,01	-	-	-	7,76
150	0,82	1,65	1,05	0,53	0,25	0,08	0,03	0,01	-	-	-	-	4,43
180	0,81	1,41	0,77	0,46	0,29	0,10	0,04	0,01	-	-	-	-	3,89
210	0,82	1,42	0,75	0,49	0,38	0,20	0,12	0,03	0,01	-	-	-	4,21
240	0,87	2,10	1,59	0,86	0,66	0,47	0,26	0,12	0,04	0,01	-	-	6,97
270	0,91	2,69	3,76	3,61	2,86	1,97	0,98	0,38	0,13	0,03	0,02	0,01	17,32
300	0,90	2,26	3,01	3,17	2,77	1,77	0,87	0,35	0,12	0,03	-	-	15,26
330	0,87	1,80	1,94	1,30	0,63	0,32	0,16	0,06	0,01	-	-	-	7,10
Tot	10,77	24,96	23,36	16,96	11,85	7,01	3,29	1,26	0,41	0,10	0,02	0,01	100

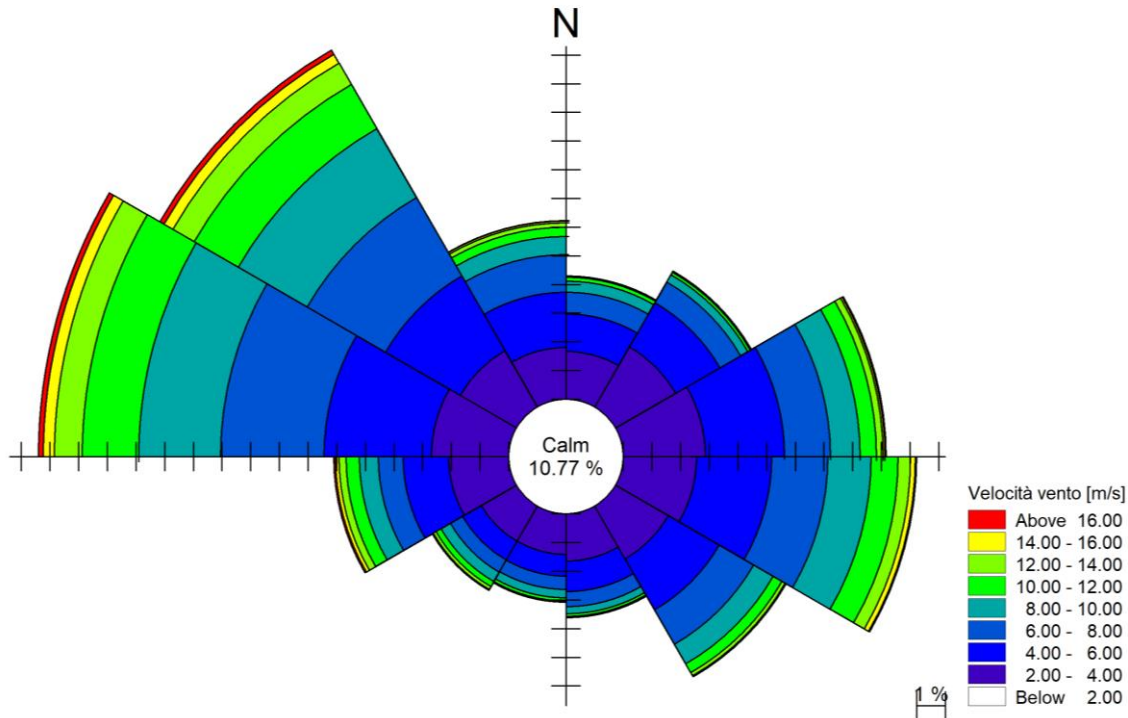


Figura 4-9: Rosa del vento ottenuta per il punto P3. La calma si riferisce ad una velocità del vento inferiore a 2 m/s. Fonte: modello MWM

4.4.2 MODELLO CREST – DATI DI VENTO

Nelle tabelle a seguire sono riportate le frequenze annue associate alle singole classi di intensità e direzione del vento per i tre punti presi a riferimento (W001, W002, W003). Tali tabelle sono state dedotte direttamente dal suddetto studio condotto da Saipem Energy International [10], a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti relativamente al clima anemometrico della zona.

L'analisi dei dati di vento, in termini di velocità e direzione, mostra risultati del tutto analoghi a quelli riscontrati a partire dai dati del modello MWM.

Tabella 4-8: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W001

vel / dir	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	2,39	1,62	0,62	0,10	-	-	-	-	-	-	-	4,73
30	2,17	0,89	0,23	0,02	-	-	-	-	-	-	-	3,32
60	2,12	1,12	0,42	0,10	0,02	0,01	-	-	-	-	-	3,79
90	1,96	1,00	0,48	0,09	0,01	-	-	-	-	-	-	3,54
120	2,37	1,30	0,73	0,20	0,03	-	-	-	-	-	-	4,65
150	3,07	2,22	1,14	0,39	0,09	0,03	-	-	-	-	-	6,94



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
29 di
115


vel / dir	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
180	4,10	2,45	0,64	0,15	0,06	0,02	-	-	-	-	-	7,42
210	6,10	3,15	0,33	0,14	0,07	0,01	-	-	-	-	-	9,81
240	6,75	5,64	1,72	0,37	0,07	0,04	0,03	0,01	-	-	-	14,65
270	6,09	4,05	3,45	2,95	1,91	1,04	0,32	0,09	0,01	0,01	-	19,92
300	4,27	2,89	2,54	1,76	0,93	0,32	0,05	0,01	0,01	-	-	12,77
330	3,01	2,96	1,87	0,54	0,09	0,01	-	-	-	-	-	8,47
Tot	44,40	29,30	14,16	6,81	3,29	1,48	0,42	0,11	0,02	0,01	0,00	100

Tabella 4-9 Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W002

vel / dir	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	1,19	1,56	0,60	0,08	-	-	-	-	-	-	-	3,43
30	1,02	0,83	0,33	0,06	-	-	-	-	-	-	-	2,24
60	1,20	0,95	0,57	0,20	0,05	0,01	0,01	-	-	-	-	2,99
90	2,51	2,03	1,00	0,51	0,21	0,05	0,01	-	-	-	-	6,31
120	3,25	3,47	2,11	1,16	0,57	0,13	0,03	0,01	-	-	-	10,73
150	2,24	2,08	1,15	0,54	0,14	0,06	0,01	-	-	-	-	6,22
180	1,82	0,88	0,27	0,09	0,05	0,02	-	-	-	-	-	3,12
210	2,10	0,88	0,21	0,12	0,08	0,02	-	-	-	-	-	3,41
240	3,04	3,96	1,46	0,27	0,09	0,04	0,03	0,01	-	-	-	8,92
270	4,87	6,55	5,58	5,07	3,80	2,42	1,17	0,33	0,09	0,02	-	29,90
300	3,27	3,83	3,44	2,55	1,52	0,77	0,26	0,04	0,01	-	-	15,69
330	1,68	2,77	1,91	0,58	0,09	0,01	-	-	-	-	-	7,03
Tot	28,19	29,79	18,63	11,23	6,60	3,53	1,52	0,39	0,10	0,02	-	100

Tabella 4-10: Caratterizzazione del vento – tabella di frequenza in termini di velocità (m/s) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto W003

vel / dir	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
0	0,84	1,31	1,09	0,45	0,10	0,01	-	-	-	-	-	3,80
30	0,71	0,79	0,43	0,16	0,02	0,01	-	-	-	-	-	2,12
60	0,90	0,88	0,61	0,33	0,12	0,05	0,02	0,01	-	-	-	2,92
90	1,51	2,15	1,50	1,04	0,57	0,31	0,13	0,03	0,01	-	-	7,25
120	1,84	2,79	2,41	2,11	1,38	0,73	0,27	0,06	0,01	-	-	11,60
150	1,53	1,68	1,06	0,63	0,23	0,07	0,01	-	-	-	-	5,21
180	1,36	0,93	0,31	0,20	0,07	0,04	0,01	-	-	-	-	2,92
210	1,44	0,84	0,24	0,16	0,12	0,04	0,01	-	-	-	-	2,85
240	1,86	1,91	0,46	0,18	0,10	0,05	0,04	0,02	0,01	-	-	4,63

 Eni S.p.A. Distretto Meridionale	Data Luglio 2019	Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea	Pagina 30 di 115
		Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines	
		Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14	

vel / dir	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	Tot
270	2,41	4,98	3,96	2,84	1,43	0,85	0,51	0,19	0,10	0,04	0,01	17,32
300	1,98	4,27	4,44	5,82	5,54	4,43	2,66	1,19	0,37	0,05	0,01	30,76
330	1,07	2,18	2,40	1,78	0,83	0,27	0,08	0,01	-	-	-	8,62
Tot	17,45	24,71	18,91	15,70	10,51	6,86	3,74	1,51	0,50	0,09	0,02	100

4.4.3 MODELLO MWM – DATI DI ONDA

A seguire sono riportati i dati di onda estratti dal database MWM per ognuno dei tre punti selezionati P1, P2 e P3 (periodo 1979-2018), rispettivamente sotto forma di tabelle di frequenza annua associata alle singole classi di altezza d'onda e direzione (modalità comunemente chiamata "scatter table") e sotto forma di tradizionali "rose", nelle quali la lunghezza dei settori direzionali è proporzionale alla frequenza.

L'analisi dei dati di onda, in termini di altezza e direzione di provenienza, mostra che per il punto posto più al largo (P3) le onde più alte (fino a 6,0 m) provengono dal settore Ovest-Nord-Ovest, con direzioni comprese tra 270°N e 300°N. Avvicinandosi progressivamente alla costa siciliana, queste onde si attenuano in termini di altezze, raggiungendo valori massimi di circa 4,5 m e 4,0 m, rispettivamente per il punto P2 e P3, e tendono a disporsi perpendicolarmente a costa, per effetto del fenomeno della rifrazione. Per i punti P2 e P3, infatti, il settore associato delle onde più alte è ruotato di circa 30° rispetto a punto P3 (direzioni comprese tra 240°N e 270°N).

L'effetto della rifrazione si nota anche per il secondo quadrante: le frequenze sono circa equidistribuite per tutto il quadrante nel punto P3, in P2 tale settore si restringe di circa 30° (le onde provenienti dal settore 90-120°N hanno frequenze assai modeste) e diminuisce di ulteriori 30° (le onde provenienti dal settore 90-150°N hanno frequenze assai modeste) nel punto P1. Inoltre, per questo quadrante, le onde nel punto P3 raggiungono altezze massime di 4,5 m, che si riducono a 3,5 m nel punto P2 e 3,0 nel punto P1.

Tabella 4-11: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (N). Punto P1

Hs / dir	<0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	Tot
0	0,07	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08
30	0,04	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
60	0,08	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10
90	0,15	0,11	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27
120	1,44	1,13	0,16	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,74
150	8,57	7,11	2,41	0,61	0,14	0,04	-	-	-	-	-	-	-	18,89
180	6,50	3,74	1,05	0,33	0,07	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	11,73
210	6,41	3,25	1,38	0,61	0,26	0,13	0,05	0,01	-	-	-	-	-	12,11
240	15,77	12,78	6,01	2,98	1,13	0,38	0,09	0,02	0,01	-	-	-	-	39,16
270	9,32	3,81	1,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,34
300	0,27	0,12	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
330	0,09	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12
Tot	48,72	32,13	12,11	4,65	1,61	0,57	0,16	0,03	0,01	-	-	-	-	100

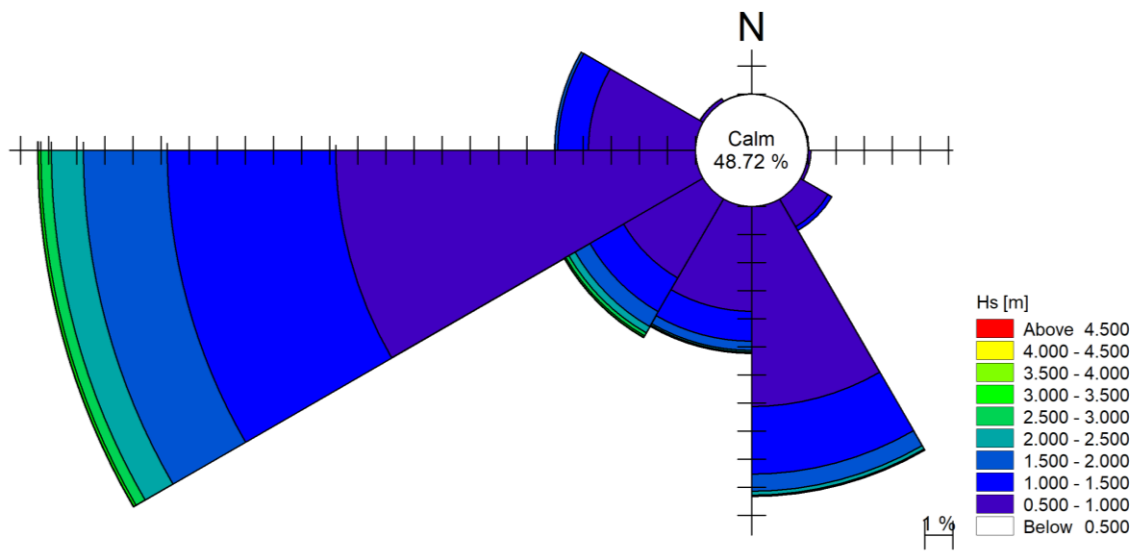


Figura 4-10: Rosa delle onde ottenuta per il punto P1. La calma si riferisce ad un'altezza d'onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM

Tabella 4-12 Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P2

Hs / dir	<0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	Tot
0	0,26	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37
30	0,22	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30
60	0,28	0,13	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43
90	0,63	0,81	0,18	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,65
120	3,47	4,13	2,10	0,72	0,24	0,07	0,02	0,01	-	-	-	-	-	10,77
150	5,01	4,84	2,27	0,96	0,29	0,10	0,05	0,02	-	-	-	-	-	13,54
180	4,75	2,99	0,99	0,34	0,11	0,04	0,01	0,01	-	-	-	-	-	9,25
210	4,50	2,58	1,25	0,61	0,28	0,14	0,07	0,02	0,01	-	-	-	-	9,45
240	8,53	5,38	2,99	1,75	1,02	0,59	0,31	0,09	0,02	0,01	-	-	-	20,70
270	11,23	11,77	5,20	2,40	0,82	0,19	0,01	-	-	-	-	-	-	31,62
300	0,77	0,51	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34
330	0,38	0,19	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58
Tot	40,01	33,52	15,07	6,82	2,77	1,13	0,48	0,15	0,03	0,01	-	-	-	100

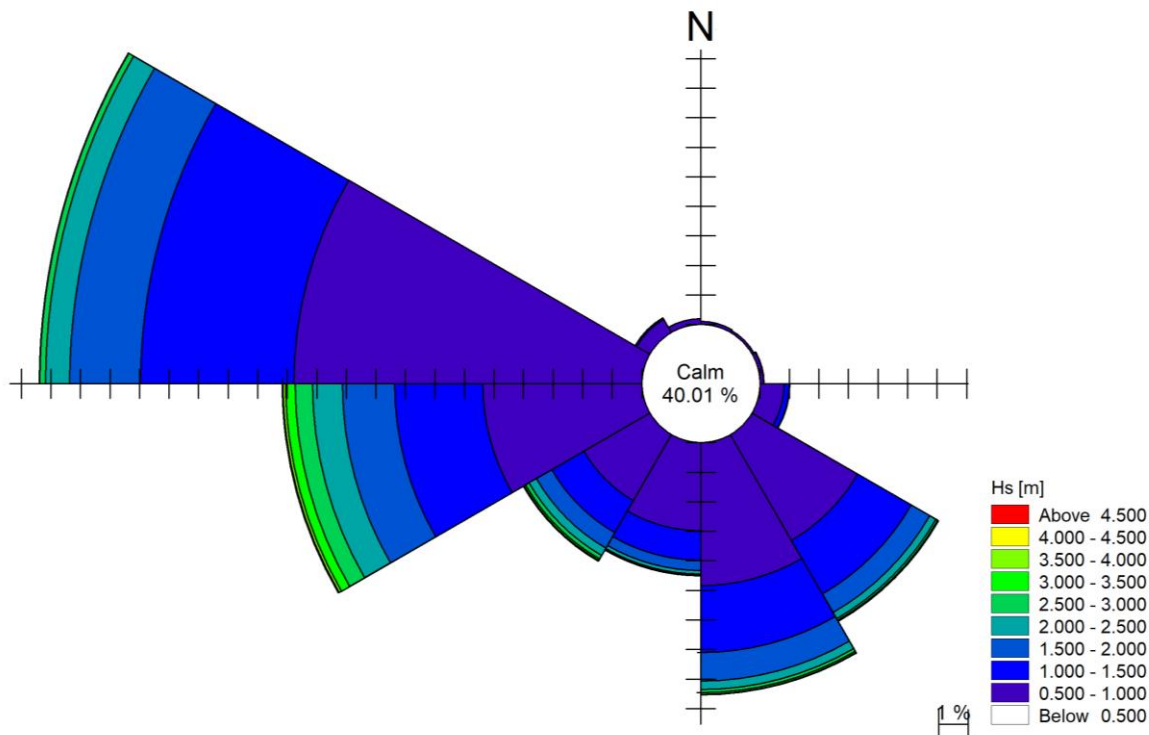



Figura 4-11: Rosa delle onde ottenuta per il punto P2. La calma si riferisce ad un'altezza d'onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM

Tabella 4-13: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto P3

Hs / dir	<0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	Tot
0	0,30	0,31	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68
30	0,31	0,35	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73
60	0,47	0,46	0,10	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07
90	2,41	2,63	1,57	0,61	0,21	0,08	0,03	0,02	0,01	-	-	-	-	7,56
120	3,45	4,32	3,05	1,76	0,81	0,35	0,17	0,06	0,03	0,02	-	-	-	14,02
150	2,88	3,35	1,61	0,79	0,29	0,10	0,04	0,02	0,01	-	-	-	-	9,10
180	2,77	2,16	0,91	0,34	0,13	0,04	0,02	0,01	-	-	-	-	-	6,38
210	2,26	1,59	0,96	0,50	0,24	0,12	0,05	0,02	-	-	-	-	-	5,76
240	2,80	1,94	1,26	0,65	0,37	0,19	0,09	0,06	0,03	0,01	-	-	-	7,42
270	9,81	12,57	8,15	5,06	2,98	1,62	0,89	0,50	0,26	0,15	0,09	0,03	0,01	42,11
300	1,37	1,75	0,70	0,19	0,05	0,01	-	-	-	-	-	-	-	4,08
330	0,48	0,49	0,11	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09
Tot	29,31	31,94	18,53	9,98	5,09	2,51	1,29	0,70	0,34	0,18	0,09	0,03	0,01	100

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 33 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

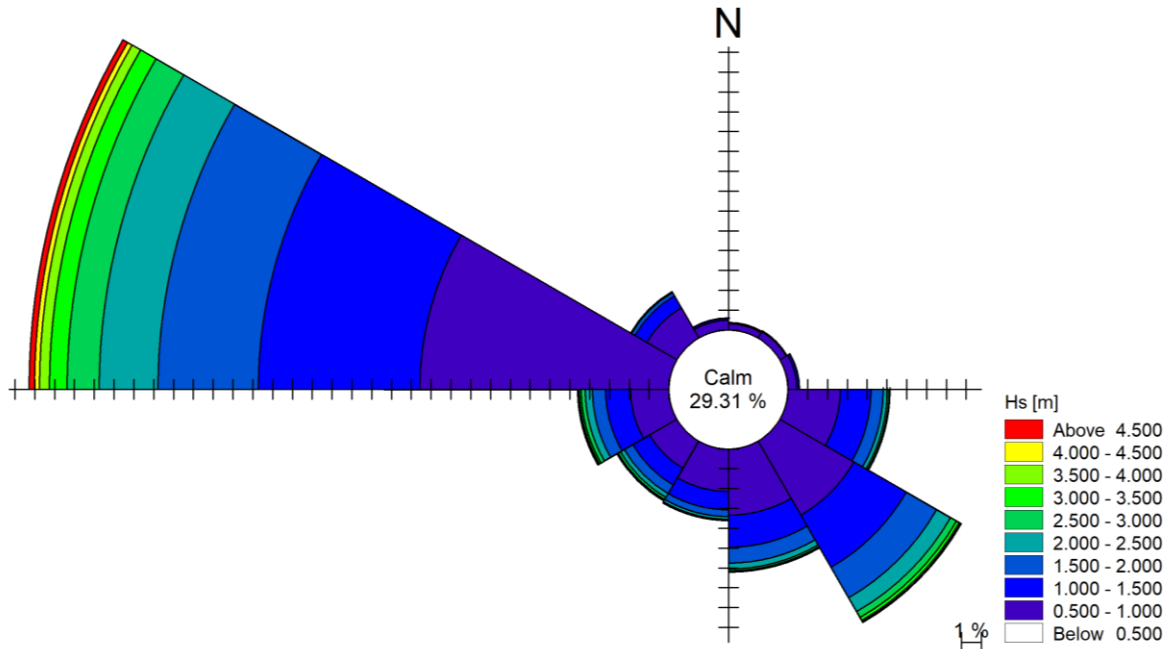


Figura 4-12: Rosa delle onde ottenuta per il punto P3. La calma si riferisce ad un'altezza d'onda significativa (Hs) inferiore a 0,5 m. Fonte: database MWM

4.4.4 MODELLO CREST- DATI DI ONDA

Nelle tabelle a seguire sono riportate le frequenze annue associate alle singole classi di altezza e direzione delle onde per i tre punti presi a riferimento (W001, W002, W003). Tali tabelle sono state dedotte direttamente dal suddetto studio condotto da Saipem Energy International [10], a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti relativamente al clima ondoso della zona.

In generale si riscontra un andamento analogo rispetto a quanto ottenuto con l'analisi svolta facendo riferimento al database MWM, a conferma della robustezza dell'analisi statistica sopra riportata. Le sole differenze si riscontrano per le altezze d'onda più elevate che, in questo caso, risultano superiori rispetto al database MWM, con particolare riferimento al punto più al largo: 4,5 m in W001, 5,5 m in W002 con una frequenza, per entrambi i punti, dello 0,03% e 8,5 m in W003 con una frequenza dello 0.01%.




Tabella 4-14: Caratterizzazione dell'onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto W001.

Hs / dir	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	Tot
0	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09
30	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
60	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03
90	0,05	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
120	0,13	0,09	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23
150	1,87	3,32	1,09	0,18	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,48
180	7,44	6,36	2,03	0,44	0,09	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,38
210	7,06	2,63	0,65	0,19	0,05	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,62
240	18,34	5,92	2,39	1,16	0,75	0,49	0,23	0,08	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	29,39
270	7,93	15,24	7,67	3,10	0,98	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,06
300	0,45	0,71	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,22
330	0,30	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Tot	43,73	34,38	13,90	5,07	1,89	0,68	0,24	0,08	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	100



Tabella 4-15: Caratterizzazione dell’onda – tabella di frequenza in termini di altezza significativa Hs (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Punto W002

Hs / dir	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	Tot
0	0,09	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10
30	0,07	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08
60	0,05	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
90	0,10	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14
120	0,40	0,56	0,21	0,06	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,26
150	4,27	6,17	3,37	1,42	0,44	0,11	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,82
180	4,80	3,91	1,43	0,41	0,09	0,03	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,69
210	4,81	1,98	0,69	0,21	0,11	0,03	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,85
240	10,77	2,72	1,05	0,39	0,14	0,05	0,03	0,02	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	15,20
270	10,25	16,13	9,98	5,47	2,70	1,36	0,60	0,24	0,11	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	46,91
300	0,44	0,90	0,14	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,49
330	0,24	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Tot	36,29	32,60	16,87	7,97	3,51	1,58	0,69	0,28	0,14	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 3 di 115</p>
---	---------------------------------	--	----------------------------

4.5 CARATTERIZZAZIONE DELLE CORRENTI, DELLA TEMPERATURA E DELLA SALINITÀ

In assenza di osservazioni, l'uso della modellazione numerica nella caratterizzazione delle principali variabili oceanografiche (correnti lungo la colonna d'acqua, temperatura e salinità) è sempre più frequente. Il grande vantaggio di questo tipo di approccio è la possibilità di coprire grandi porzioni di mare con dati di risoluzione relativamente elevata, sia nel tempo che nello spazio.

Questo è possibile o mediante l'impiego diretto di modelli di circolazione di grande scala oppure (ove la risoluzione spaziale degli stessi risultasse non adeguata, come nel presente studio) predisponendo modelli 3D più locali che, attraverso tecniche di *downscaling*, prendono le condizioni al contorno dai database di cui sopra e simulano le dinamiche di interesse a più alta risoluzione.

Il modello di riferimento per la larga scala, dal quale sono state ricavate le condizioni iniziali e al contorno del modello locale, è costituito da uno dei più importanti e riconosciuti modelli di circolazione generale oceanica su scala globale, l'Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), sviluppato all'interno del U.S. Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE).

HYCOM è un sistema globale di osservazione, trasferimento, modellazione ed assimilazione, che fornisce informazioni regolari e complete sullo stato degli oceani. Il sistema globale *nowcast/forecast* è un prodotto dimostrativo del Consorzio HYCOM per l'assimilazione dei dati nella modellazione oceanografica sponsorizzato dal National Ocean Partnership Program e sviluppato in partenariato con progetti finanziati dall'Office of Naval Research, dal National Science Foundation, dal Department of Energy e dal National Oceanic and Atmospheric Administration. A livello operativo, è gestito presso il Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO) Major Shared Resource Center. Il modello utilizza il forzante atmosferico del NAVy Global Environmental Model (NAVGENM).

HYCOM è progettato come un modello oceanografico a coordinate ibride (isopicnòtico/ σ/z). È isopicnòtico in oceano aperto stratificato, mentre è a livelli σ , che seguono il terreno, nelle zone costiere poco profonde e a livelli z in prossimità dello strato misto. Il modello globale ha risoluzione orizzontale di $1/12^\circ$ ed è definito su 32 layers verticali. L'assimilazione dei dati viene eseguita utilizzando il Navy Coupled Ocean Data Assimilation (NCODA) [2], e assimila le osservazioni altimetriche disponibili da satellite (lungo il tracciato ottenuto tramite NAVOCEANO - Altimeter Data Fusion Center), la temperatura superficiale del mare (SST) da satellite e da osservazioni in situ, nonché i profili verticali di temperatura e di salinità disponibili in situ da XBT, galleggianti ARGO e boe ormeggiate.

I dati sono disponibili come medie giornaliere per temperatura e salinità e come valori semi-orari per livelli e correnti. Il modello HYCOM non include le maree, per le quali si è fatto riferimento ad un database specifico (sezione 4.6).

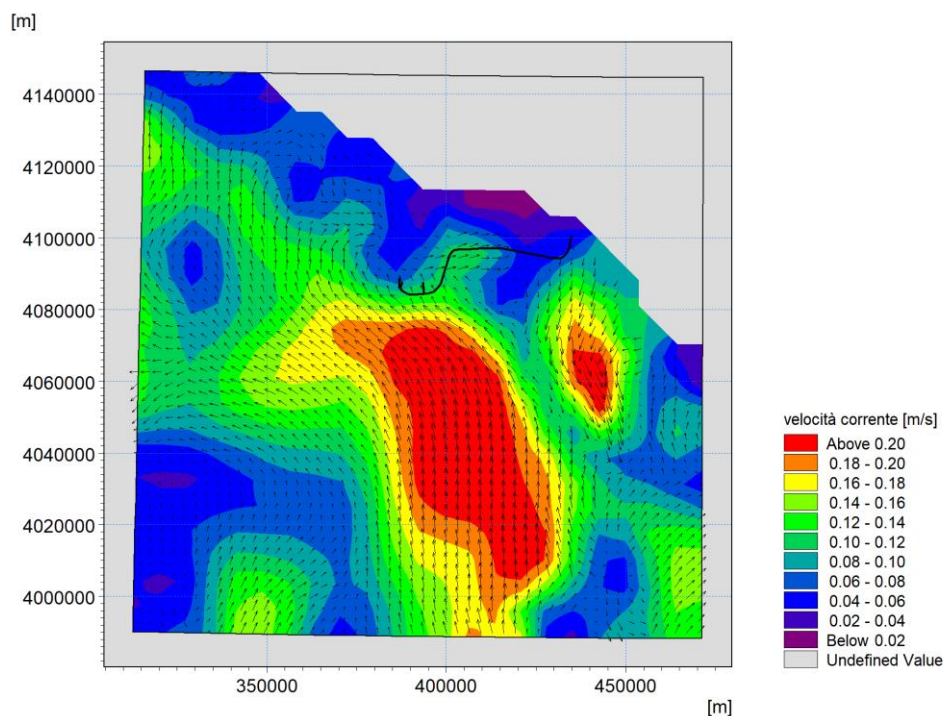


Figura 4-13: Esempio di campo di corrente superficiale dal dataset globale HYCOM nella zona di interesse. Giorno: 01.01.2017. In nero il tracciato delle sealines

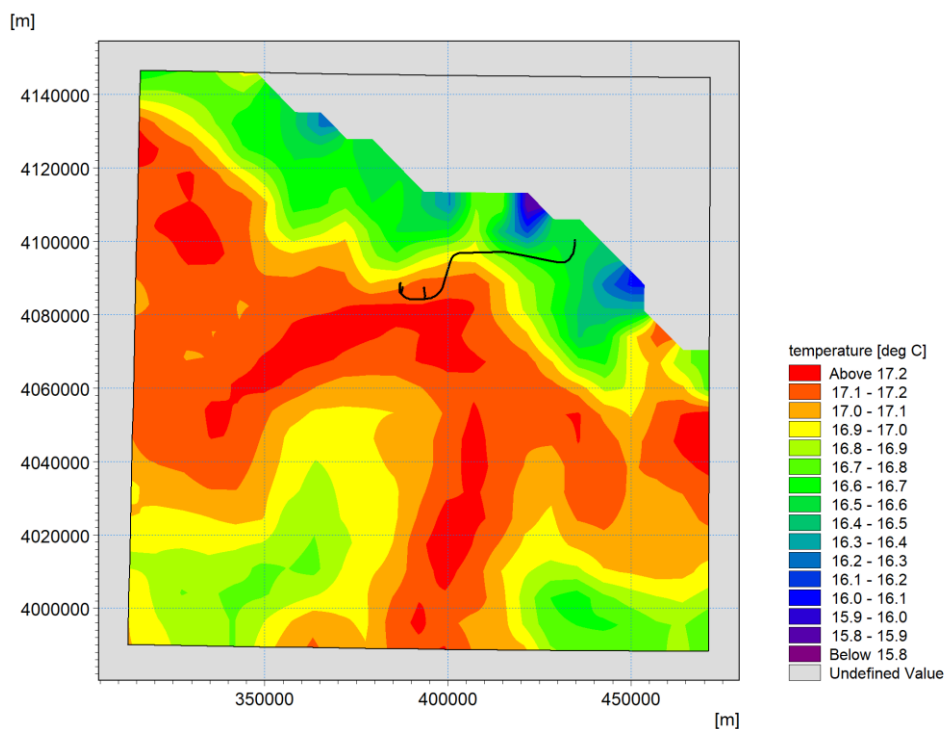



Figura 4-14: Esempio di campo di temperatura superficiale dal dataset globale HYCOM nella zona di interesse. Giorno: 01.01.2017. In nero il tracciato delle sealines

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 5 di 115</p>
---	---------------------------------	--	----------------------------

4.6 CARATTERIZZAZIONE MAREALE

Per la caratterizzazione mareale si è fatto riferimento al modello globale di marea oceanica DTU10 [3] (Technical University of Denmark). I coefficienti armonici del modello sono stati sviluppati utilizzando le misurazioni altimetriche multi-missione effettuate negli ultimi 17 anni (da settembre 1992 a dicembre 2009) dai satelliti TOPEX/POSEIDON, Jason1 e Jason-2 per l'analisi dei residui di livello del mare.

DTU10 è un aggiornamento del modello globale di marea oceanica AG95 ed è validato su misurazioni costiere relative alla regione Nord-Occidentale dell'Europa e al Mar Cinese Orientale.

La risoluzione spaziale è di $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ed include le 12 principali costituenti mareali.

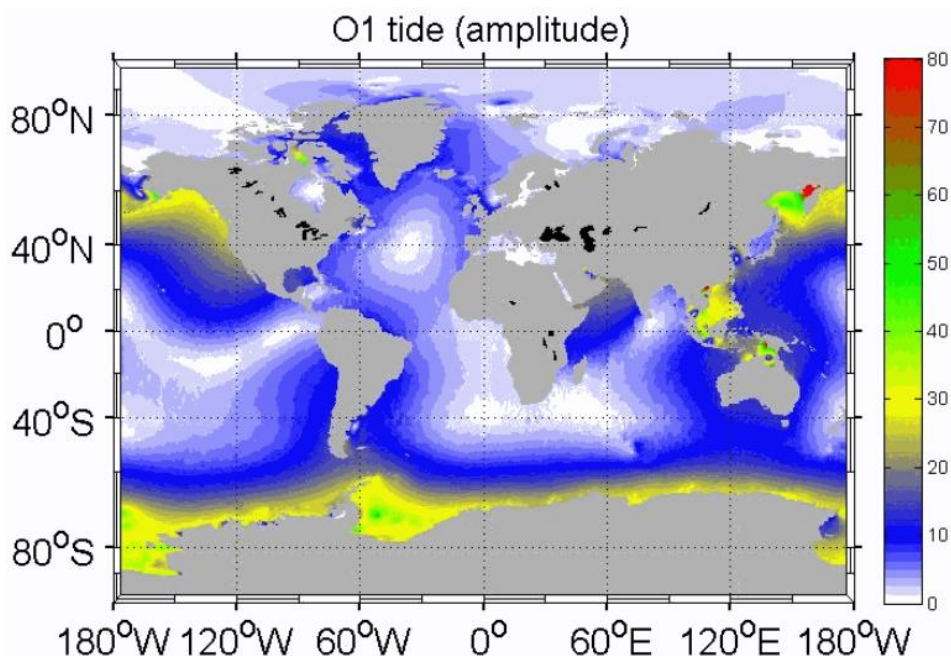



Figura 4-15: Esempio di campo della componente mareale O1 dal modello globale DTU10

4.7 CARATTERIZZAZIONE ATMOSFERICA

I dati atmosferici utilizzati per il presente studio derivano dalle analisi operative del sistema Climate Forecast System (CFS) [4], prodotti e distribuiti dal National Centre for Environmental Prediction (NCEP).

In particolare, i dati a cui si è fatto riferimento per il calcolo degli scambi di calore all'interfaccia aria-acqua, sono quelli relativi a precipitazioni, copertura nuvolosa, temperatura e umidità relativa dell'aria, nella modalità di analisi operativa. Il modello, implementato a scala globale (Figura 4-16), presenta una risoluzione orizzontale di circa 0.20° , corrispondente a circa 18 km, per copertura nuvolosa e temperatura dell'aria, mentre una risoluzione di 0.5° , pari a circa 50 km, per precipitazioni ed umidità relativa.

Si evidenzia che l'anno preso a riferimento per l'analisi dei dati è il 2017, come meglio precisato nel Capitolo 5 nell'ambito dell'illustrazione dell'applicazione di modellistica numerica per l'analisi della dispersione dei sedimenti in seguito alle operazioni di post-trenching.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 6 di 115</p>
---	---------------------------------	---	----------------------------

Nel seguito vengono brevemente descritti gli andamenti di queste grandezze atmosferiche durante l'anno 2017 per il sito di interesse. A tale scopo sono state estratte le serie temporali di queste variabili nella cella che copre la zona centrale oggetto del presente studio.

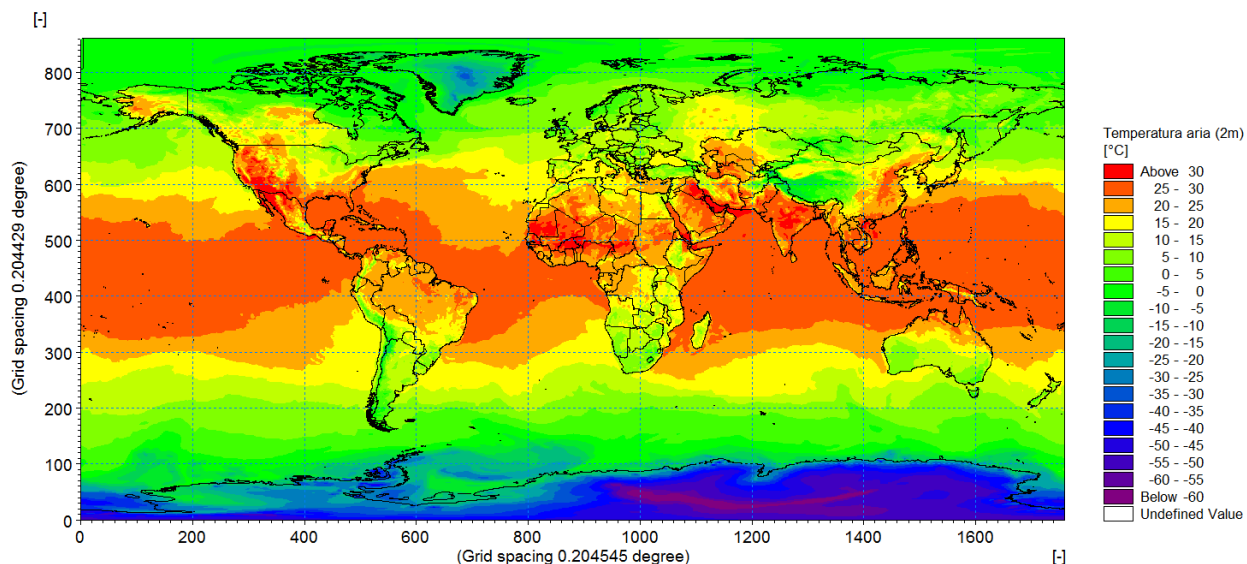



Figura 4-16: Esempio di campo di temperatura dell'aria a 2 m su tutto il dominio di calcolo del sistema Climate Forecast System (CFS)

4.7.1 PRECIPITAZIONI

A seguire è riportata la serie temporale di dati di precipitazione estratti dal modello CFS nella zona di interesse per l'anno 2017. Tale serie (Figura 4-17) mette in evidenza picchi di precipitazione con intensità uguale o superiore a 200 mm/giorno nei mesi di settembre ed ottobre. In generale comunque si verifica una piovosità piuttosto modesta, maggiore durante le stagioni invernale ed autunnale (con valori dell'ordine di alcune decine di mm/giorno) e pressoché nulla durante la stagione estiva.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 7 di 115</p>
---	---------------------------------	--	----------------------------

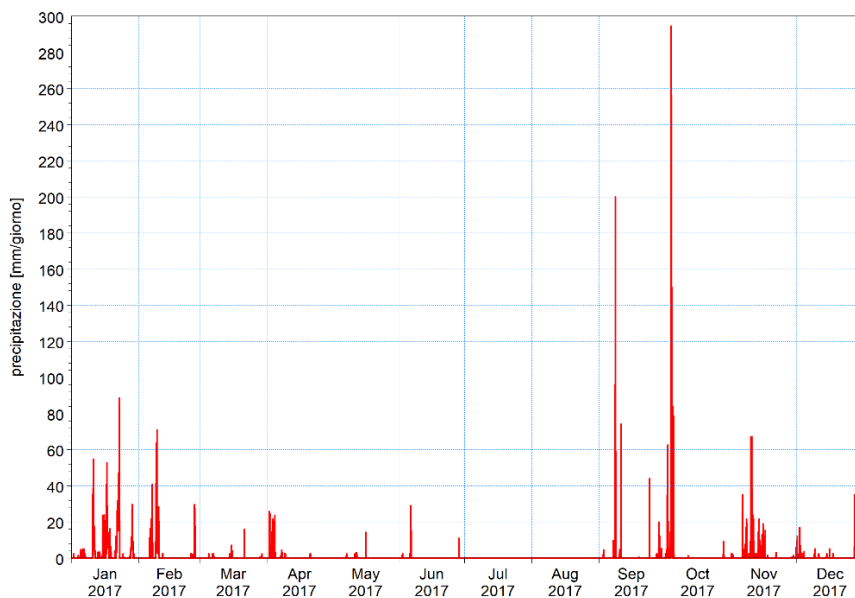


Figura 4-17: Andamento dell'intensità di precipitazione (su 1h, ma in mm/giorno) nella zona di interesse durante l'anno 2017 preso a riferimento

4.7.2 COPERTURA NUVOLOSA

Al fine di considerare in maniera realistica lo scambio termico che si verifica tra l'aria e la superficie marina è stata considerata anche la copertura nuvolosa fornita dal modello CFS in termini percentuali.

Anche per questo parametro si è fatto riferimento all'intero anno 2017. Per maggiore semplicità di visualizzazione, la serie temporale estratta nella zona di interesse è mostrata in Figura 4-18 per il solo mese di aprile.

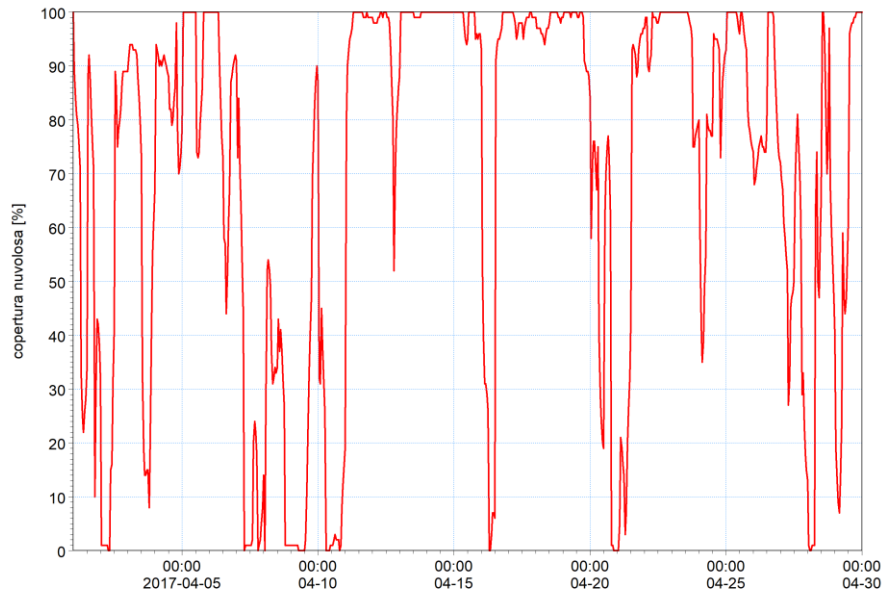


Figura 4-18: Esempio di andamento della copertura nuvolosa (in %) nella zona di interesse durante il mese di aprile dell'anno 2017 preso a riferimento

4.7.3 TEMPERATURA DELL'ARIA

Per considerare lo scambio termico all'interfaccia aria-mare sono stati considerati anche i dati di temperatura dell'aria a 2 m di quota sopra la superficie del mare.

In Figura 4-19 è mostrata la serie temporale estratta dal modello nella zona di interesse per l'anno 2017. Tale serie mostra l'andamento tipico annuo della temperatura dell'aria, con valori che aumentano gradualmente dalla stagione invernale fino alla stagione estiva. Le temperature massime dell'aria si registrano durante il mese di agosto con valori massimi che sfiorano i 32°C, mentre il mese più freddo risulta essere gennaio, con valori minimi di circa 7°C.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
9 di 115

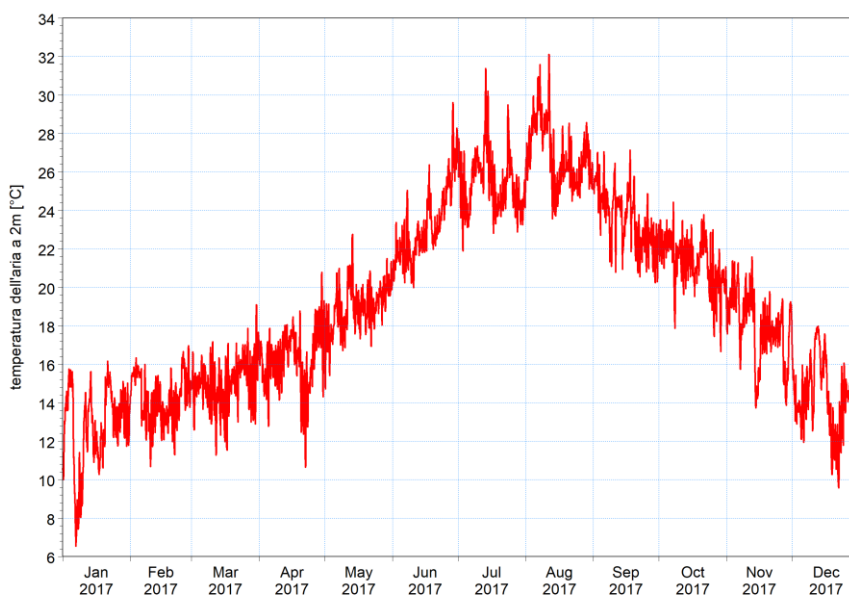


Figura 4-19: Andamento della temperatura dell'aria a quota 2 m (in °C) nella zona di interesse durante l'anno 2017 preso a riferimento

4.7.4 UMIDITÀ RELATIVA

Un ulteriore parametro preso in esame necessario allo studio completo dello scambio di calore all'interfaccia aria-mare è l'umidità relativa dell'aria.

La serie temporale estratta dal modello CFS nella zona di interesse per l'anno 2017 e rappresentata in Figura 4-20, mostra un andamento annuale in cui i valori variano in un range generalmente compreso tra il 45% e l'85%, con valori più bassi riscontrati durante i mesi estivi.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
10 di
115

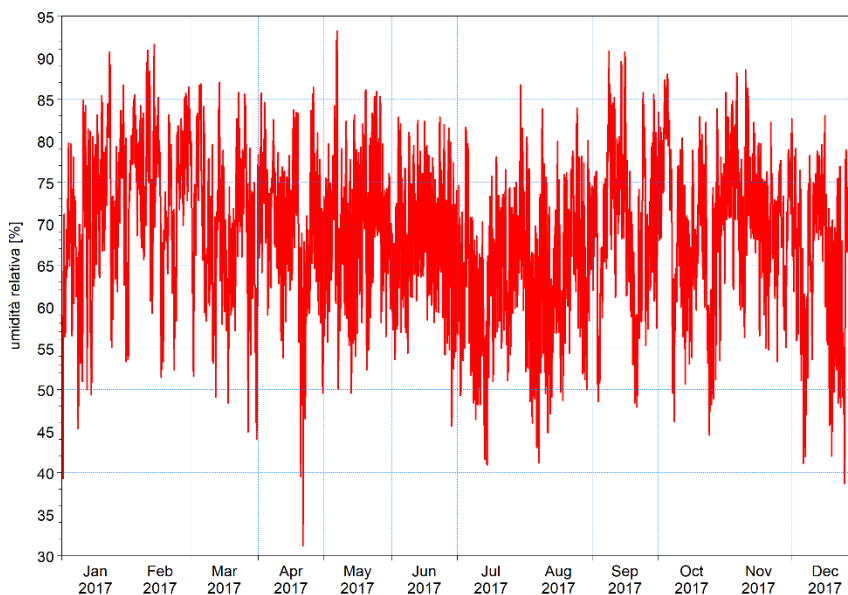



Figura 4-20: Andamento dell'umidità relativa (in %) nella zona di interesse durante l'anno 2017 preso a riferimento

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 11 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

5 CONDIZIONI METEOMARINE E DI CIRCOLAZIONE PRESE A RIFERIMENTO

Fra i primi passi propedeutici alla predisposizione del modello numerico vi è la selezione di un opportuno periodo di riferimento per la modellazione, sufficientemente lungo da essere rappresentativo dell'intera variabilità meteomarina del sito ma al contempo non tale da determinare tempi computazionali insostenibili.

Come suggerito dalle linee guida ISPRA denominate "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere, 2017" [1], la scelta di un periodo di un anno risulta un ottimo compromesso tra le diverse esigenze. Questa tipologia di approccio, che considera quindi un intero anno reale e non degli scenari rappresentativi, permette di tenere in considerazione le variazioni infra-annuali delle fenomenologie fisiche che maggiormente intervengono nella movimentazione del pennacchio di torbida (*plume*) una volta che il sedimento è stato rilasciato nella colonna d'acqua.


Per la scelta dell'anno di riferimento è stata condotta un'analisi pluriennale dei dati di circolazione del dataset HYCOM. Questa analisi ha messo in evidenza che l'anno più recente per il quale si hanno a disposizione i dati di circolazione (il 2017) risulta anche essere un anno ben rappresentativo di condizioni standard per il sito, non caratterizzato da condizioni estreme, in primis di velocità di corrente e temperatura. L'anno 2017 è stato pertanto assunto quale riferimento per l'applicazione modellistica.

Tra le varie fenomenologie che possono influenzare la dispersione ed il trasporto del pennacchio di torbida, il ruolo più rilevante nel caso di studio è senz'altro da attribuire alle correnti di circolazione generale del Canale di Sicilia (correnti barocline), in differenti condizioni di stratificazione termica e salina. I relativi dati di partenza per il modello locale (condizioni iniziali e al contorno) fanno riferimento al dataset HYCOM, descritto nella sezione 4.5.

Ai fini di una corretta simulazione delle correnti di circolazione generale, riveste grande importanza anche la rappresentazione del flusso di calore tra l'atmosfera e la superficie del mare, funzione della radiazione solare, della nuvolosità, della temperatura dell'aria e del mare, della velocità del vento e dell'umidità relativa. Per questi dati si è fatto riferimento al dataset CFSR, descritto nella sezione 4.7. Si evidenzia che anche i dati di vento utilizzati come forzante del modello idrodinamico sono quelli provenienti dal dataset CFSR, per congruenza con le altre variabili atmosferiche considerate per la rappresentazione dello scambio termico aria-acqua, per le quali l'unico dataset disponibile è costituito, appunto, da CFSR. I dati di vento (e di onda) acquisiti dal dataset MWM, a risoluzione spaziale più elevata rispetto al CFSR, sono stati invece utilizzati per effettuare la caratterizzazione anemometrica dell'area in riferimento ai 3 punti selezionati come rappresentativi.

L'idrodinamica di un sito è inoltre influenzata dalla marea, ossia dalle oscillazioni periodiche a cui il mare è sottoposto a causa delle forze di attrazione della Luna, del Sole e dei pianeti. Le maree danno infatti origine alle correnti di marea, cioè a scorrimenti orizzontali dell'acqua che accompagnano la salita (flusso) e la discesa (riflusso) della marea. In generale tali innalzamenti ed abbassamenti dei livelli sono minimi in mare aperto ed in generale nel Mar Mediterraneo [12], con alcune eccezioni di bacini semichiusi caratterizzati da basso fondale (es. Nord Adriatico). Le oscillazioni di marea e le relative correnti lungo il contorno del modello locale sono state ricavate dal dataset DTU10, descritto alla sezione 4.6.

Infine, sebbene il tracciato interessi per la maggiore parte zone ad elevata profondità, negli ultimi chilometri prima dell'approdo esso si sviluppa su profondità basse, fino a circa 4 m, dove l'effetto del moto ondoso sulla dispersione dei sedimenti risulta non trascurabile. Le

 <p data-bbox="384 188 528 286">Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p data-bbox="616 176 686 259">Data Luglio 2019</p>	<p data-bbox="737 109 1342 163">Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p data-bbox="764 176 1315 259">Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p data-bbox="743 273 1335 327">Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p data-bbox="1385 165 1469 271">Pagina 12 di 115</p>
---	---	--	---

onde infatti, durante la loro propagazione, riducono gradualmente la propria altezza come conseguenza di una riduzione del contenuto energetico. Questo trasferimento dell'energia, su fondali relativamente bassi, si traduce in tensioni tangenziali, massime in corrispondenza del fondale, che comportano non solo in mantenimento in sospensione dei sedimenti movimentati, ma anche la messa in sospensione dei sedimenti eventualmente depositati al termine delle operazioni di post-trenching. Nel presente studio si è pertanto considerata come ulteriore forzante quella del moto ondoso, facendo riferimento al dataset MWM, descritto alla sezione 4.4.3.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
13 di
115

6 MODELLO TRIDIMENSIONALE IDRODINAMICO

Al fine di rappresentare le dinamiche che caratterizzano il sistema, in termini di flussi di corrente e relativi livelli e velocità, è stato implementato un modello numerico tridimensionale (3D) comprendente la zona oggetto degli interventi.

Il codice di calcolo utilizzato è il MIKE 3 di DHI [13], che si basa su un approccio a maglia flessibile (Figura 6-1) ed è stato sviluppato per applicazioni in mare aperto, sottocosta ed in estuari. In particolare, il modulo HD, idrodinamico, che costituisce il cuore dell'intero sistema MIKE 3 di DHI, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, consentendo anche la simulazione della variazione di densità nelle 3 direzioni e la rappresentazione delle correnti indotte dai gradienti dovuti a salinità e temperatura. Il codice consente di tenere in considerazione tutti i fenomeni principali che hanno influenza sull'idrodinamica degli ambienti oceanici e/o costieri: gradienti di densità (temperatura/salinità), effetto delle maree, effetto del vento, scambio termico con l'atmosfera, forza di Coriolis, moto ondoso ed apporti fluviali.

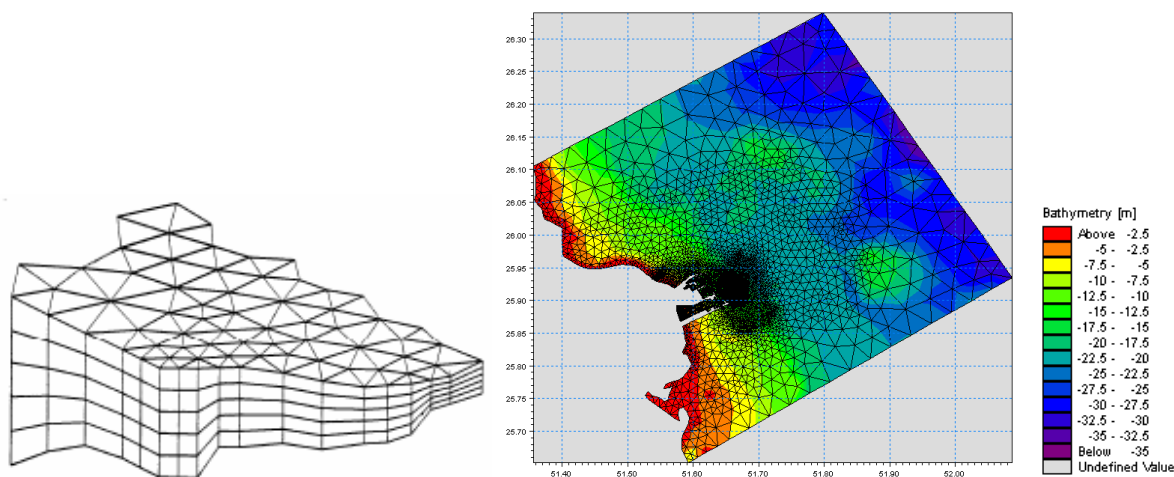



Figura 6-1: Esempi di mesh di calcolo di MIKE 3 FM

MIKE 3 HD può essere utilizzato da solo o insieme ad altri moduli che, pur finalizzati alla simulazione di altri fenomeni (es. trasporto di sedimenti o contaminanti) richiedono la risoluzione contestuale delle variabili idrodinamiche (in primis le velocità di corrente).

Il codice di calcolo si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes in condizioni di pressione idrostatica. Il modello risolve le equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione, ma dai soli gradienti di temperatura e salinità.

Relativamente alle tecniche di risoluzione numerica, MIKE 3 utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte.

Nelle dimensioni orizzontali è utilizzata una maglia non strutturata costituita da triangoli o quadrilateri, mentre per la dimensione verticale si può utilizzare sia l'approccio di discretizzazione della colonna d'acqua secondo i cosiddetti layers sigma (layers di spessore variabile in funzione della profondità locale) o l'approccio combinato sigma-zeta (si prevede l'utilizzo di layers orizzontali di spessore non dipendente dalla profondità locale).

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 14 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

Una descrizione completa del modulo è riportata in Allegato 2.

Il modello è stato implementato su un’area la cui estensione ha compreso tutti i tratti di mare interessati dagli interventi e ha permesso un’accurata rappresentazione delle fenomenologie utili all’analisi in oggetto.

6.1 DATI BATIMETRICI, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE

Per il presente studio è stato predisposto un dominio di calcolo con un’estensione tale da comprendere un’area più ampia rispetto a quella direttamente interessata dalle operazioni di movimentazione dei sedimenti, al fine di rappresentare correttamente i pattern di circolazione e la conseguente evoluzione del pennacchio generato dalla messa in sospensione e dispersione di sedimenti.

In particolare, è stata utilizzata una risoluzione massima, intesa come lunghezza media dei triangoli costituenti la mesh, pari a circa 4 km, lungo i contorni offshore del dominio dove sono applicate le condizioni idrodinamiche estratte dal modello ad ampia scala HYCOM (descritto alla sezione 4.5). All’interno del dominio la risoluzione diminuisce a circa 1,5 km, e in una fascia ampia circa 7 km centrata sul tracciato delle *sealines* di progetto. Infine, è stata creata una zona di maggiore dettaglio, dove la risoluzione passa da circa 600 m, ad una distanza dal tracciato di circa 3,5 km, fino a circa 180 m in corrispondenza del tracciato delle *sealines*. In particolare, per una migliore riproduzione delle operazioni di post-trenching, l’intero tracciato della condotta e degli ombelicali è stato rappresentato con un corridoio formato da tre file di celle quadrangolari in cui quella centrale è direttamente interessata dalle operazioni.

Complessivamente il dominio di calcolo è formato da 8888 elementi (Figura 6-3 e Figura 6-4).

La dimensione verticale è stata rappresentata nel modello con una discretizzazione ibrida di layers sigma-zeta, per un totale di ben 96 layers (Figura 6-5 e Figura 6-6). In particolare, fino alla profondità di 50 m sono stati utilizzati 10 layer sigma equispaziati, mentre per profondità superiori la colonna d’acqua è stata discretizzata con layers di tipo z. Nello specifico, sono stati utilizzati 58 layer z di spessore pari a 6 m per le profondità comprese tra 50 m e 400 m, 26 layers z di spessore pari a 12 m per le profondità comprese tra 400 m e 710 m, e 2 layers z di spessore pari a 24 m per le altre profondità, non interessate direttamente dalle operazioni di post-trenching.

La batimetria è stata costruita utilizzando i dati descritti alla sezione 4.1. Il risultato finale del processamento di tali dati è mostrato in Figura 6-2.

L’estensione del dominio di calcolo è approssimativamente pari a 81 km nella direzione parallela a costa e di circa 50 km perpendicolarmente a costa e copre profondità fino a circa 850 m.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
15 di
115

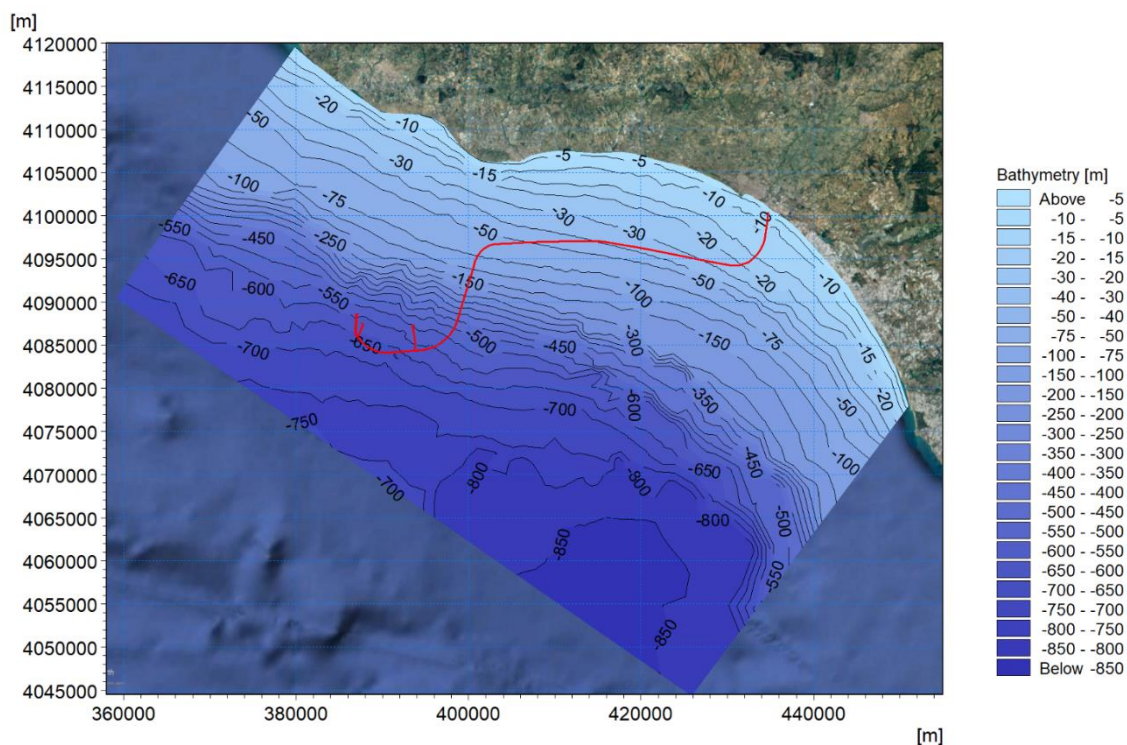


Figura 6-2: Batimetria del dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD, con individuazione delle isolinee di profondità, del tracciato della pipeline e degli ombelicali (in rosso)

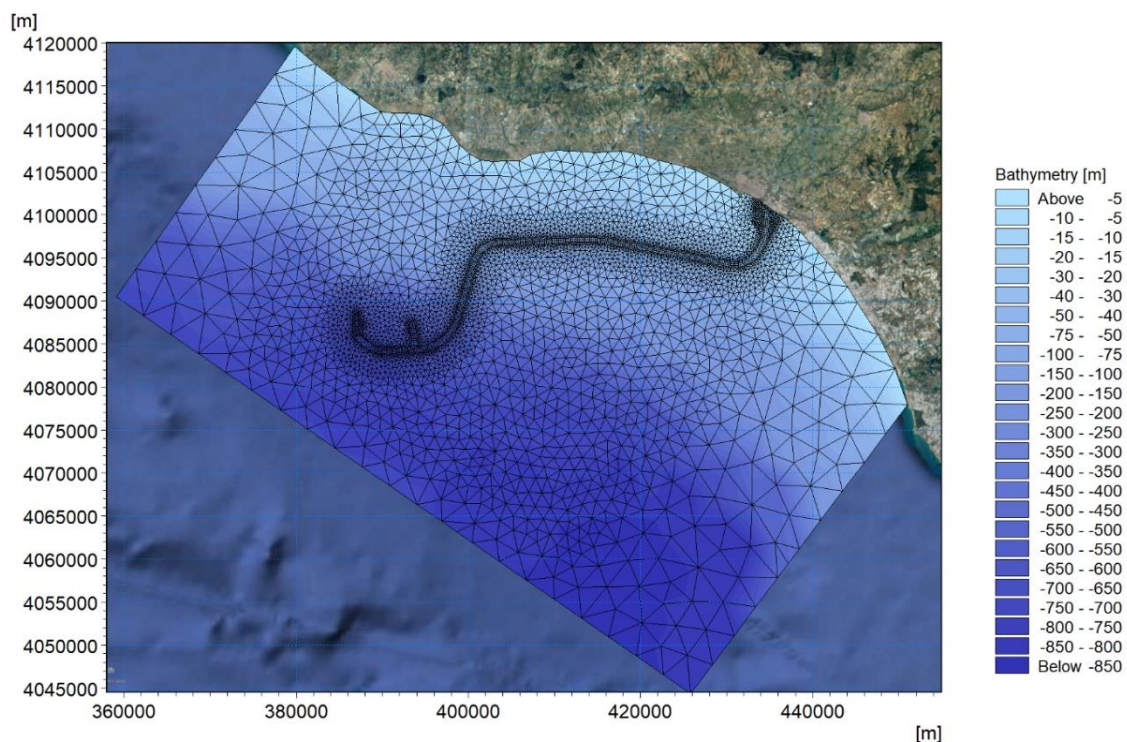


Figura 6-3: Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
16 di
115

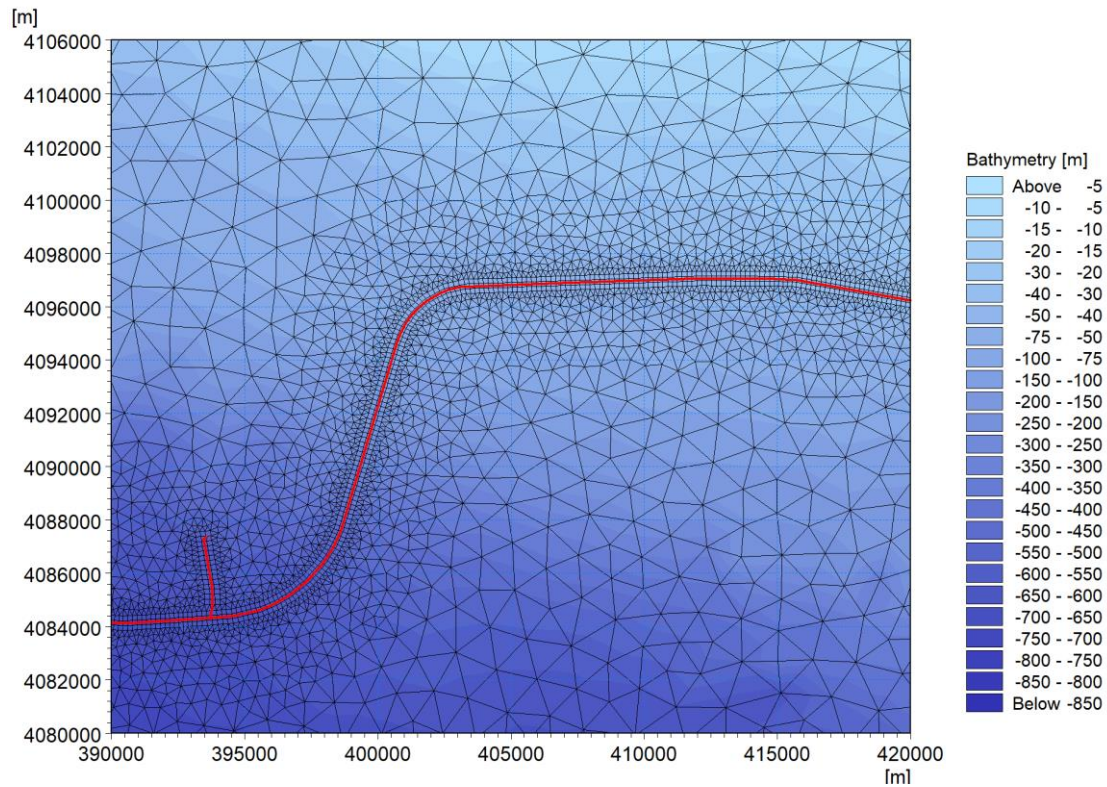


Figura 6-4: Dettaglio del dominio di calcolo: discretizzazione spaziale nell'intorno del tracciato della pipeline

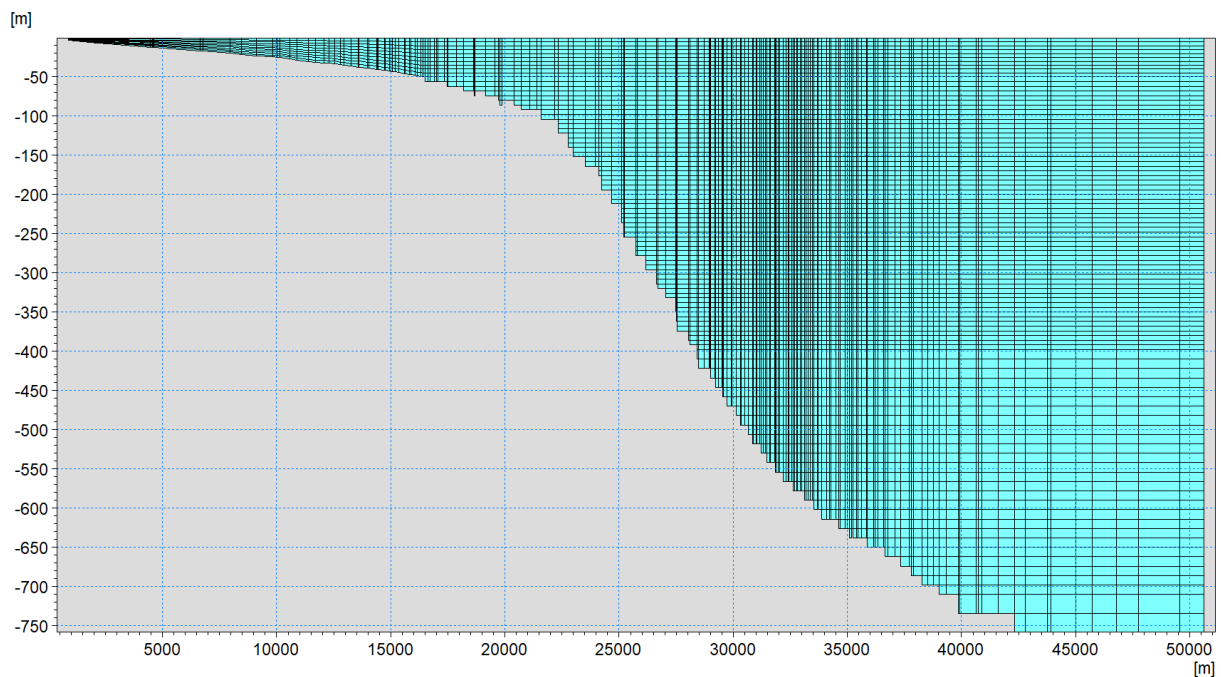



Figura 6-5: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 17 di 115</p>
--	---------------------------------	---	---------------------------------

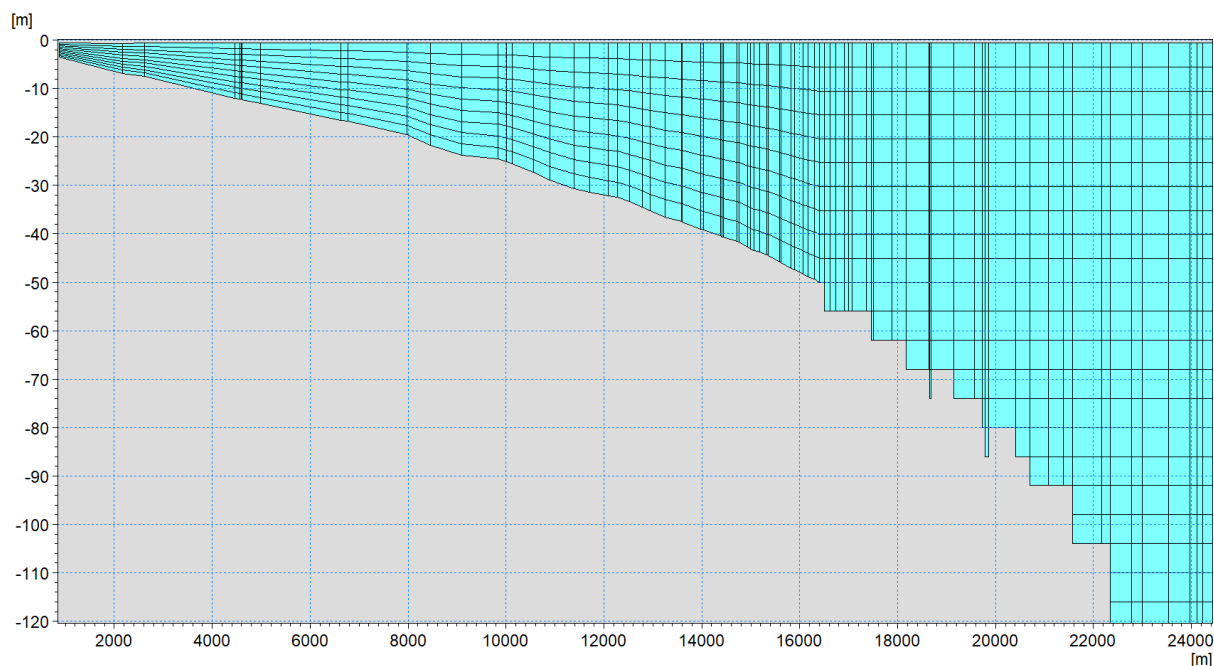


Figura 6-6: Dettaglio della discretizzazione verticale del dominio

6.2 RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO

A seguire, a titolo di esempio, sono riportati alcuni risultati ottenuti con l'applicazione del modello idrodinamico. Per motivi di rappresentazione ed esposizione dei risultati, sono riportate le mappe di circolazione a tre profondità (in superficie, a profondità intermedia e al fondo), in due momenti dell'anno studiato (gennaio e agosto) con diverse condizioni di corrente prevalente (da Sud-Est verso Nord-Ovest e da Nord-Ovest verso Sud-Est).

Queste immagini hanno il solo scopo di visualizzare i campi di velocità sull'intero dominio studiato, ma non sono ovviamente sufficienti per una caratterizzazione dell'idrodinamica locale. Per semplicità di analisi e di esposizione, sono pertanto state create, per tutto il periodo simulato, le rose di corrente, al fondo, a mezza colonna ed in superficie in tre punti presi come riferimento per il presente studio. Questi tre punti (Figura 6-7), già utilizzati per l'analisi di onda e vento (Tabella 4-1), sono stati scelti a tre diverse profondità (basse – P1, intermedie – P2, alte – P3) in considerazione del fatto che le operazioni di post-trenching interessano profondità assai diverse, comprese tra 700 m e 4 m.


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 18 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------



Figura 6-7: Individuazione dei tre punti presi come riferimento per l'analisi di corrente, temperatura e salinità

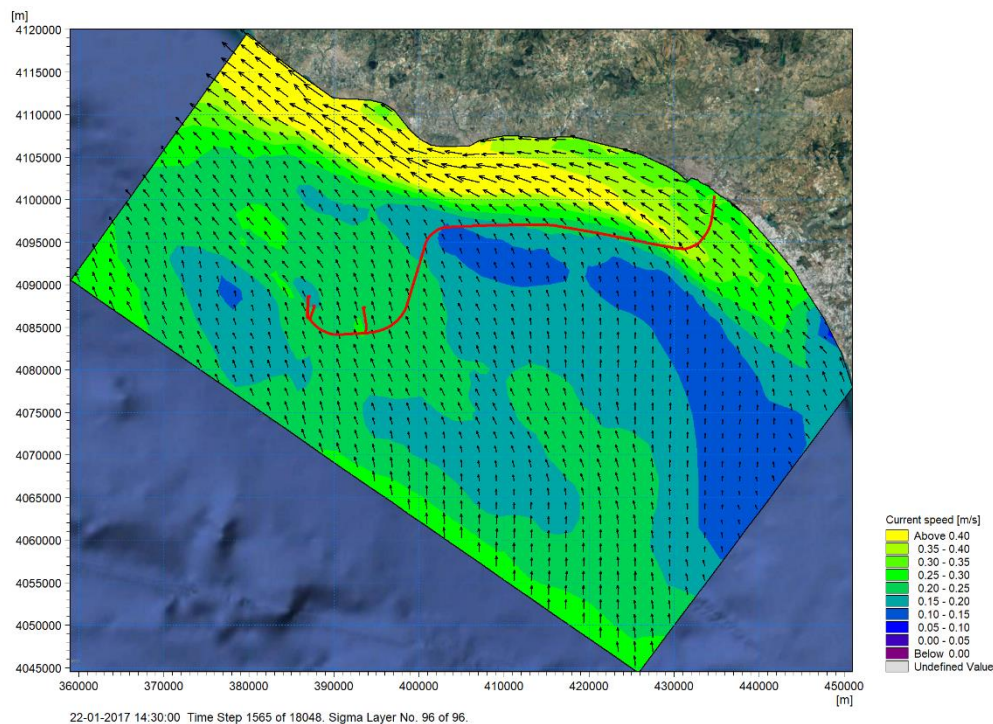


Figura 6-8: Esempio di campo di velocità di corrente in superficie nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali

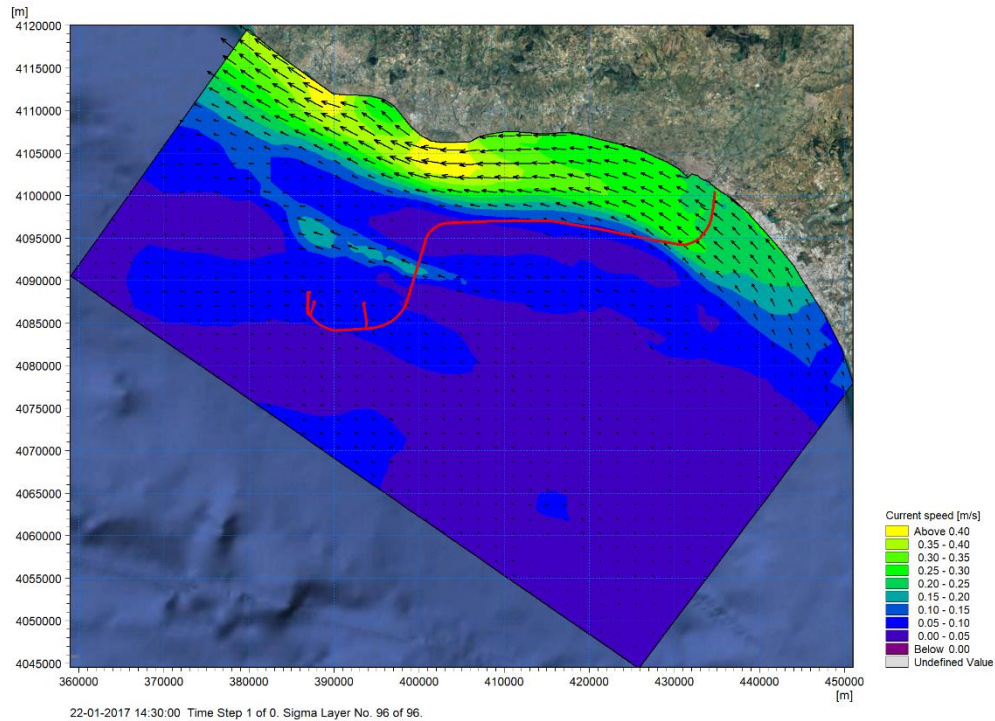


Figura 6-9: Esempio di campo di velocità di corrente a profondità intermedia nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali

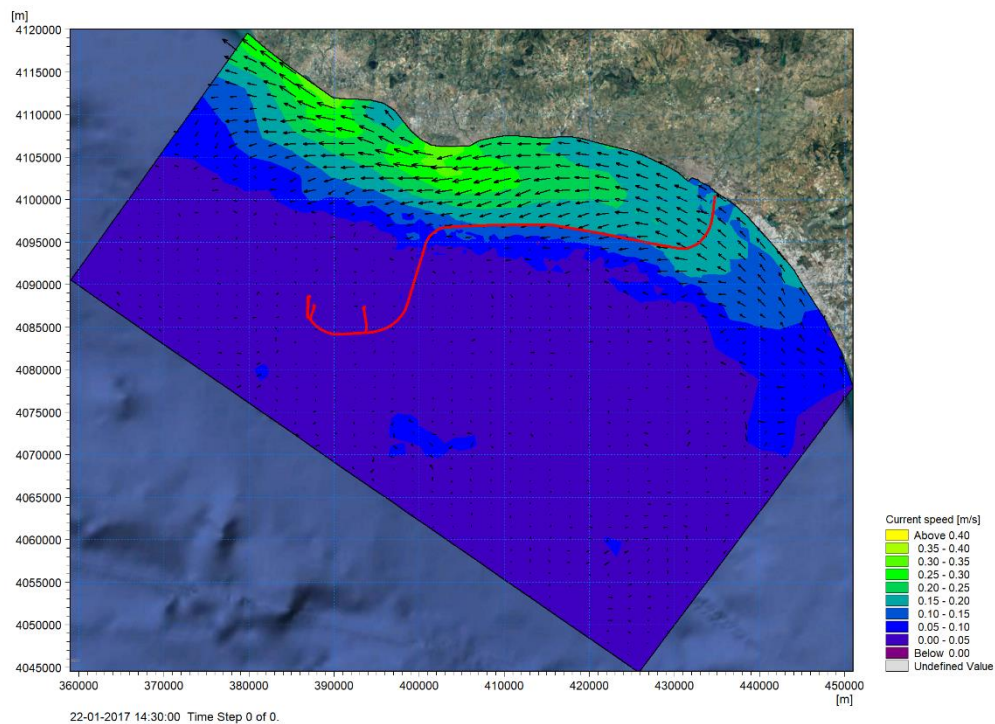


Figura 6-10: Esempio di campo di velocità di corrente al fondo nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 22.01.2017 (corrente prevalente da Sud-Est verso Nord-Ovest). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali

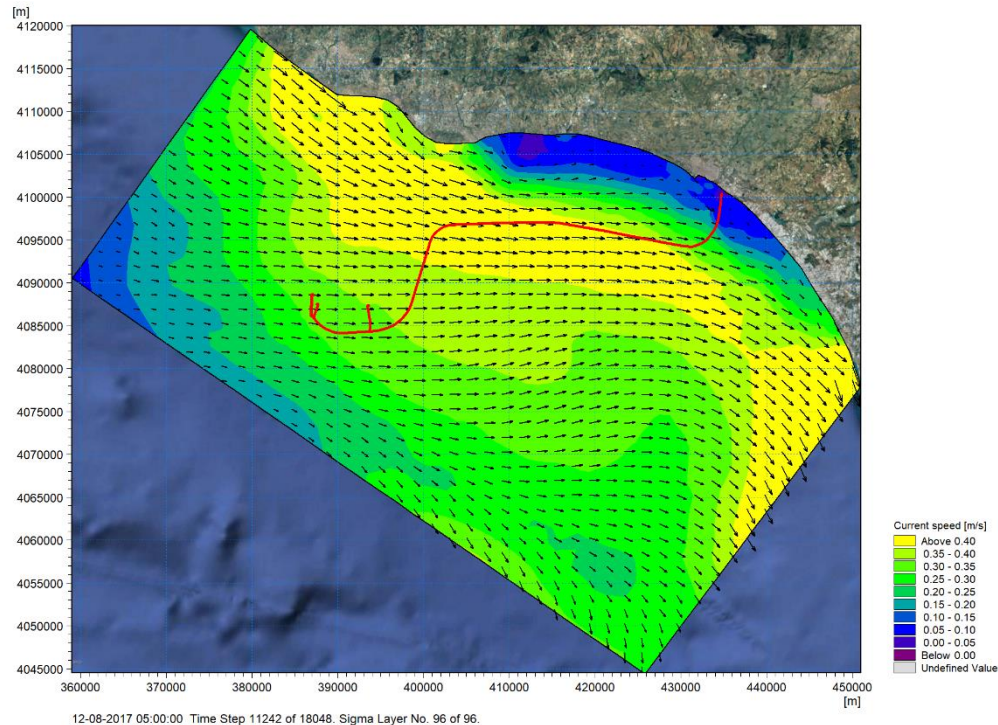


Figura 6-11: Esempio di campo di velocità di corrente in superficie nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali

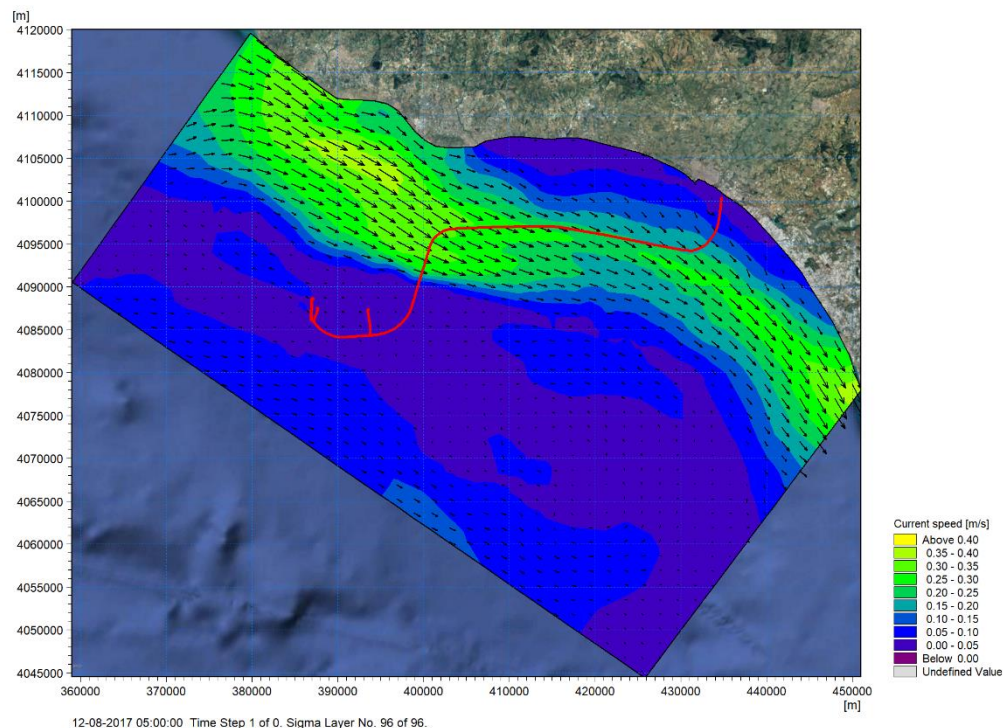


Figura 6-12: Esempio di campo di velocità di corrente a profondità intermedia nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
21 di
115

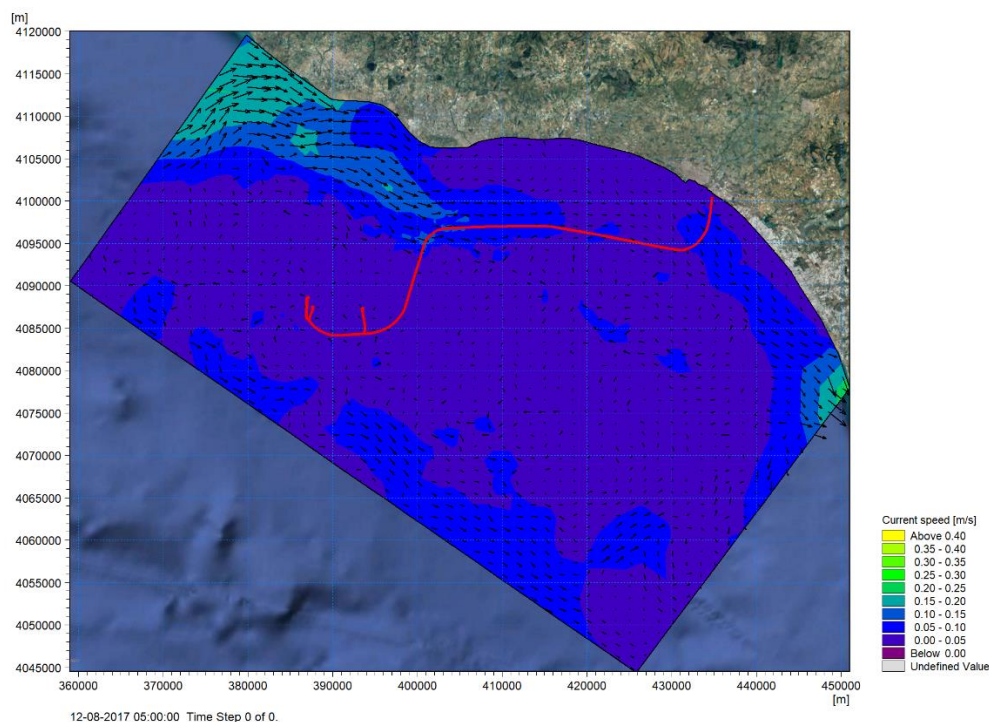


Figura 6-13: Esempio di campo di velocità di corrente al fondo nel dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD il giorno 12.08.2017 (corrente prevalente da Nord-Ovest verso Sud-Est). In rosso: tracciato della condotta e degli ombelicali

Le rose di corrente, riportate nelle immagini a seguire, mostrano velocità maggiori in superficie e nella fascia centrale del dominio studiato. Infatti, mediamente nel punto P1 (Figura 6-14) si hanno velocità di corrente superficiale di circa 0,15 m/s e solo per il 3% del tempo tali velocità superano i 0,4 m/s, nel punto P3 (Figura 6-20) le velocità medie sono di 0,2 m/s e per l'8% dell'anno superano i 0,4 m/s, mentre nel punto P2 (rappresentativo della zona centrale del dominio - Figura 6-17), le velocità sono mediamente pari a 0.2 m/s e velocità superficiali di 0.4 m/s vengono superate per circa il 10% dell'anno.

All'aumentare della profondità, le velocità di corrente diminuiscono notevolmente, con valori medi di circa 0,07m/s a circa 15 m (Figura 6-16) e 0,03 m/s a circa 700 m di profondità (Figura 6-22).

Le rose relative ai punti P1 (Figura 6-14) e P2 (Figura 6-17) mostrano che le correnti superficiali sono prevalentemente parallele a costa, dirette da Nord-Ovest verso Sud-Est (direzione di propagazione: secondo quadrante). Nel punto P3 (Figura 6-20) la direzione più frequente della corrente non si mantiene costante lungo la colonna d'acqua: se in superficie e al fondo la direzione verso Sud-Est risulta prevalente, a media colonna è la direzione verso Nord-Ovest a presentare la maggiore frequenza.

Questo andamento medio, in termini di velocità e direzioni di corrente, è ben raffigurato nei campi di velocità riportati a titolo di esempio in Figura 6-11, Figura 6-12, Figura 6-13.

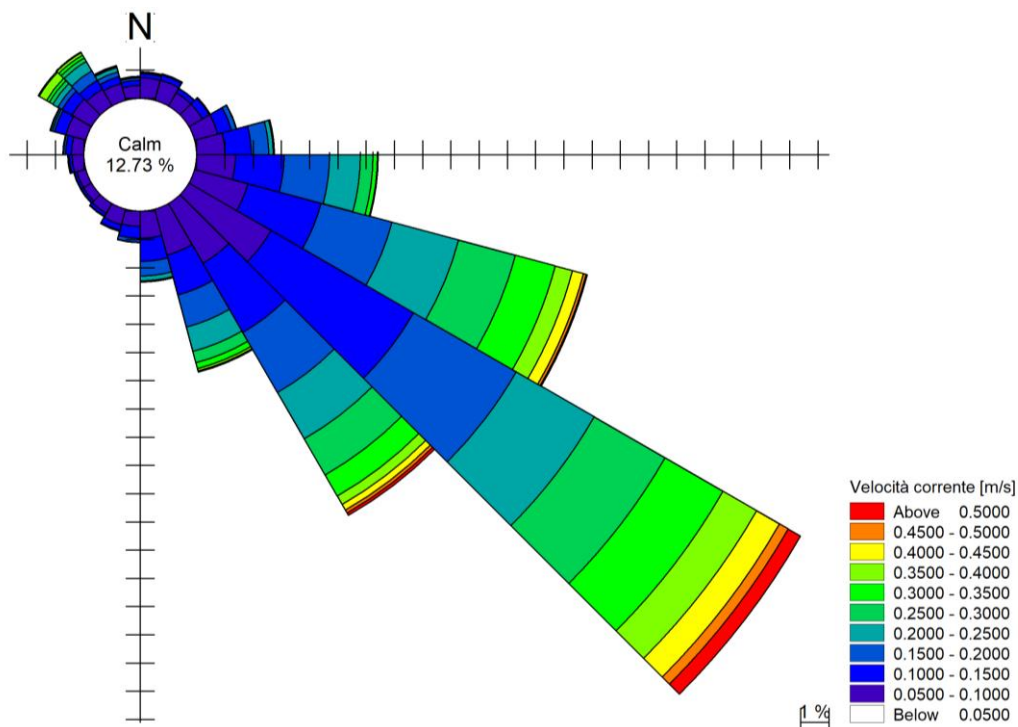


Figura 6-14: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

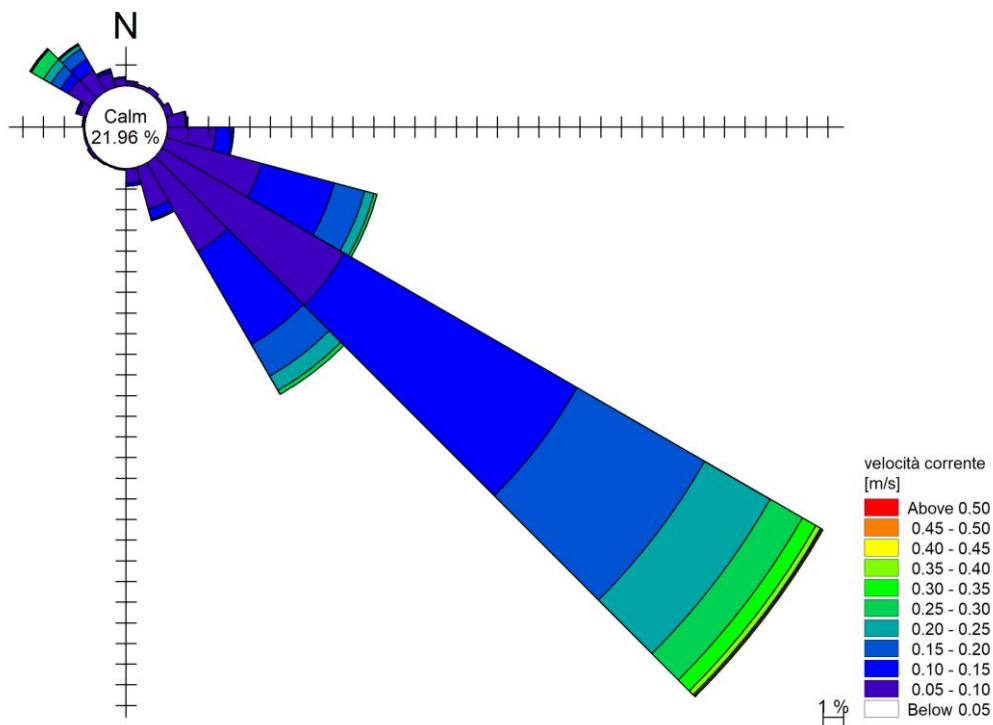


Figura 6-15: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 alla profondità intermedia (circa 8 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
23 di
115

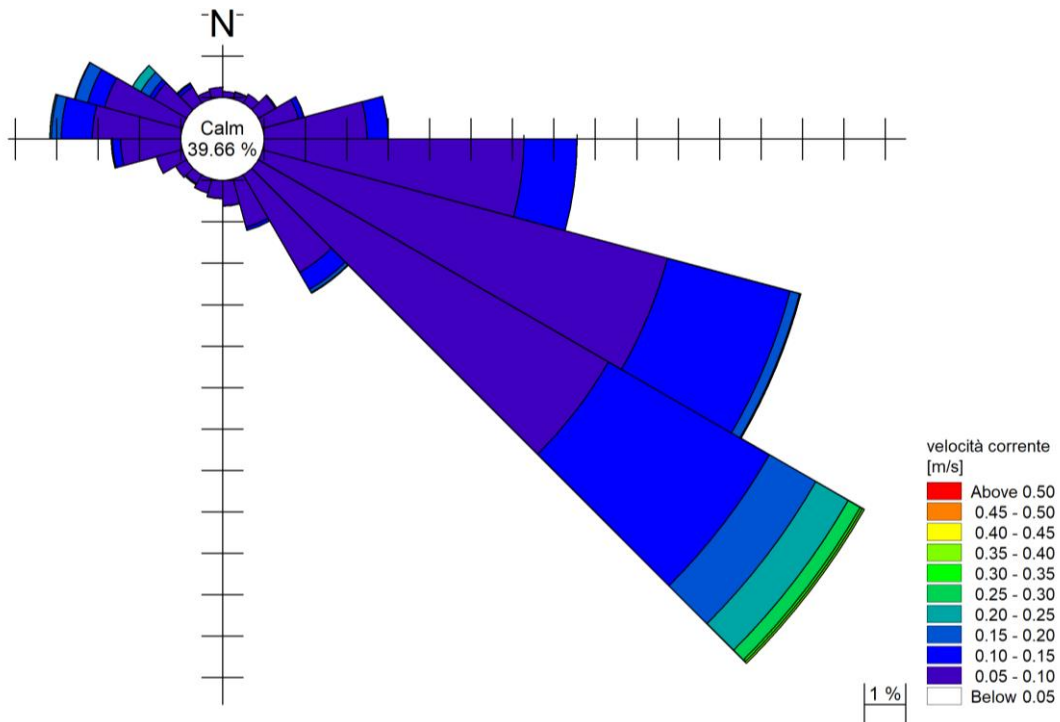


Figura 6-16: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P1 al fondo (circa 15 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

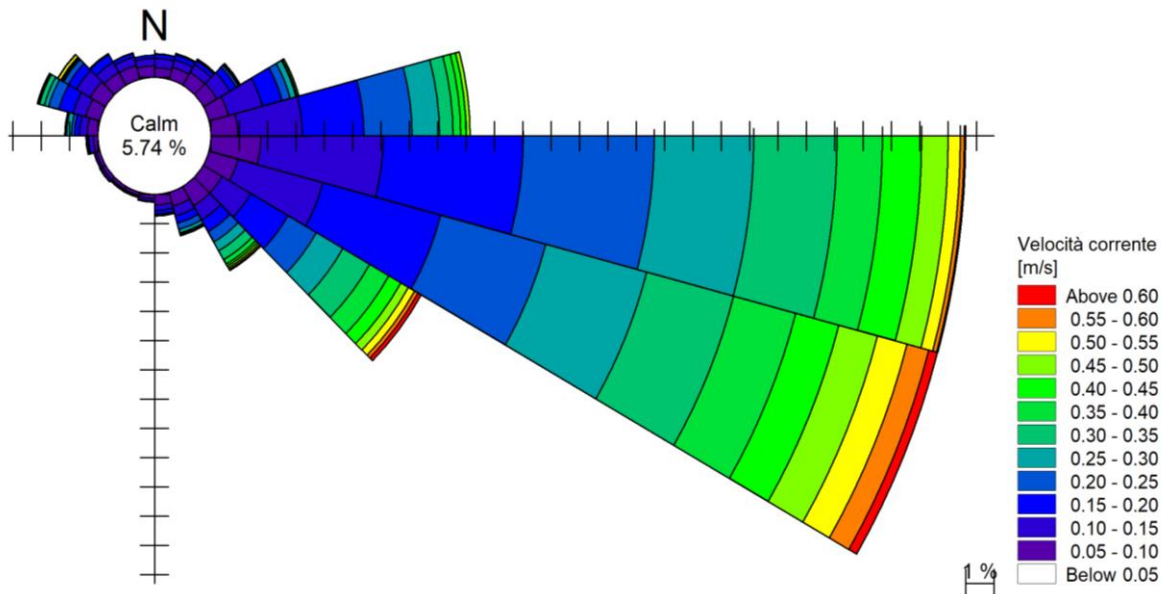


Figura 6-17: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

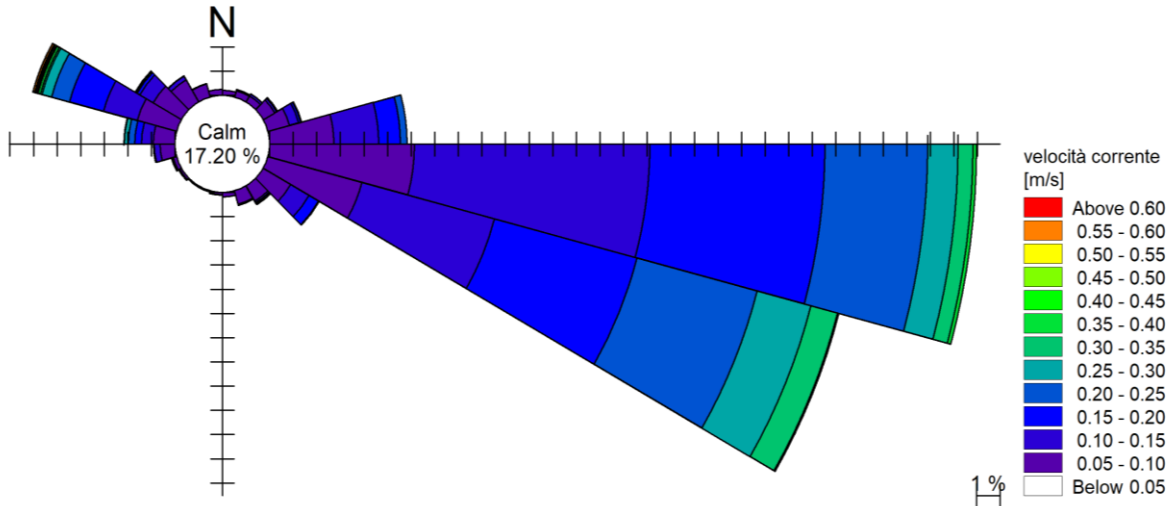


Figura 6-18: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 alla profondità intermedia (circa 25 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

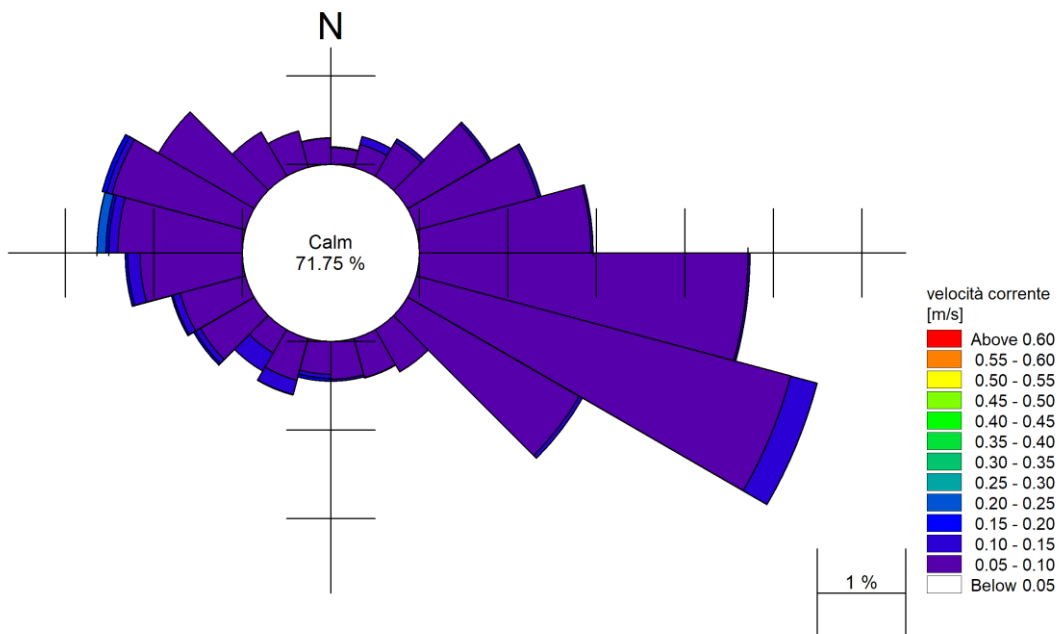


Figura 6-19: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P2 al fondo (circa 50 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

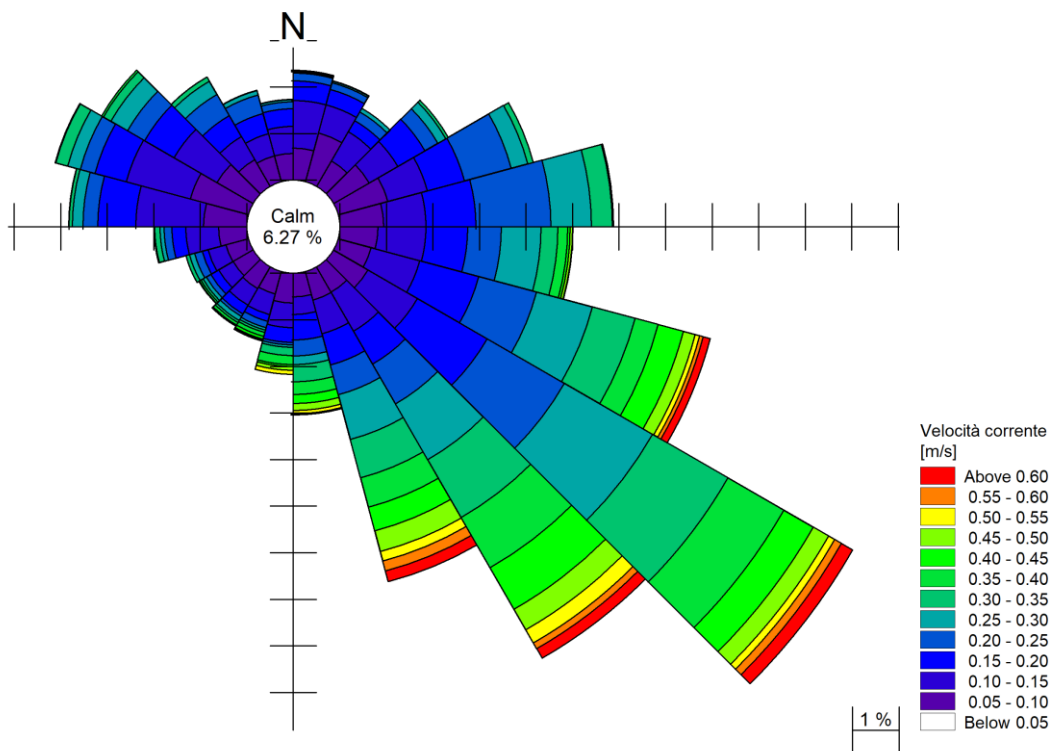


Figura 6-20: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 in superficie. La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

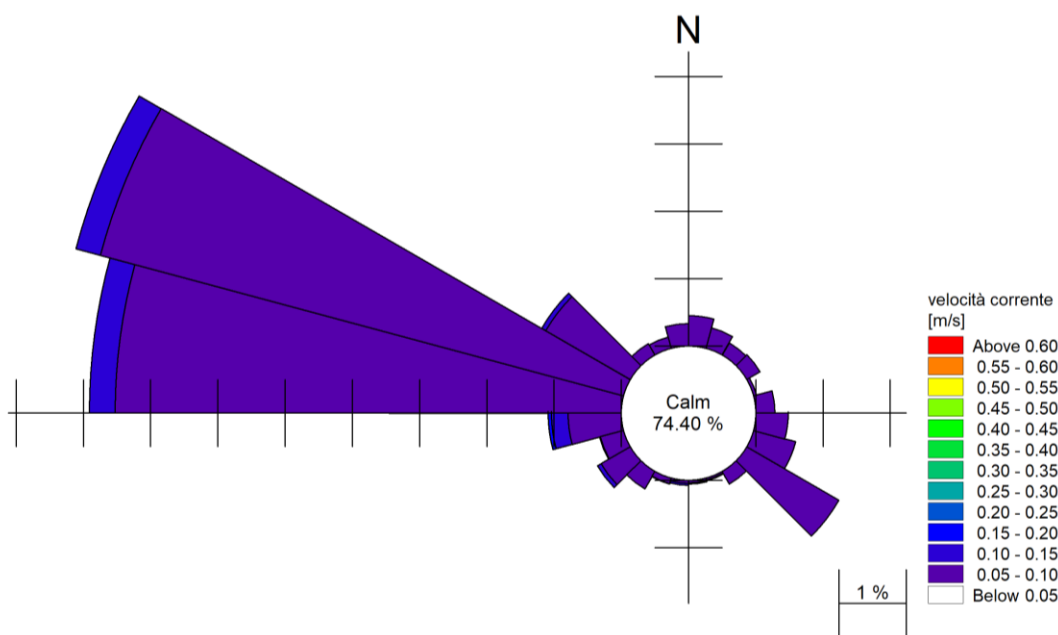



Figura 6-21: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 alla profondità intermedia (circa 353 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 26 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

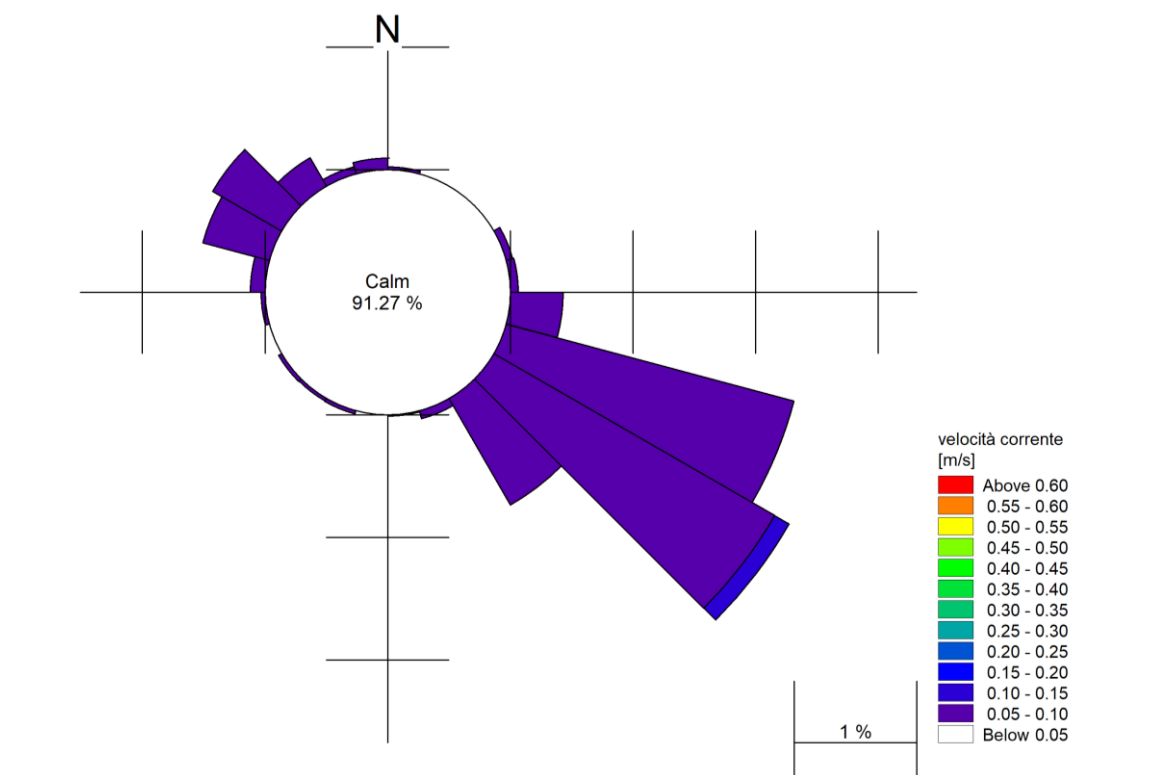


Figura 6-22: Rosa delle correnti simulate dal modello MIKE 3 HD durante l'anno 2017, ottenuta per il punto P3 al fondo (circa 705 m). La calma si riferisce ad una velocità di corrente inferiore a 5 cm/s

A seguire, a completamento dell'analisi, si riportano per tutto il periodo simulato le serie temporali di temperatura e di salinità al fondo, a mezza colonna ed in superficie, sempre nei tre punti presi a riferimento per il presente studio (Figura 6-7).

Per quanto riguarda la temperatura superficiale, si osserva in generale il classico andamento, con valori minimi in inverno, nel mese di febbraio, pari a circa 14-15°C e valori massimi in estate, ad agosto, pari a circa 26-27°C.

Se si fa riferimento al punto P1, localizzato sottocosta dove le profondità sono pari a circa 15 m, le temperature alla profondità intermedia e al fondo seguono lo stesso andamento della temperatura superficiale, con differenze modeste nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio, quando la stratificazione termica è pressoché nulla, e differenze massime, pari a circa 7°C tra superficie e fondo, nei mesi di giugno, luglio ed agosto.

I risultati ottenuti per il punto P2 mostrano che, su profondità più elevate, a mezza colonna e al fondo, la temperatura mantiene un andamento più costante: durante il periodo estivo i valori oscillano sui 17-18°C a circa 25 m di profondità e si abbassano di soli 2°C circa, mantenendo lo stesso andamento, al fondo. Durante i mesi invernali le temperature a mezza colonna e al fondo sono pressoché uguali e oscillano su valori di circa 15-16°C.

Nel punto P3, localizzato a profondità elevate, le temperature al fondo (profondità di 705 m) e a mezza colonna (profondità di 353 m) sono costanti per tutto l'anno, mantenendosi su valori di circa 14°C, in quanto a queste profondità l'acqua non risente in alcun modo degli scambi termici con l'aria.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
27 di
115

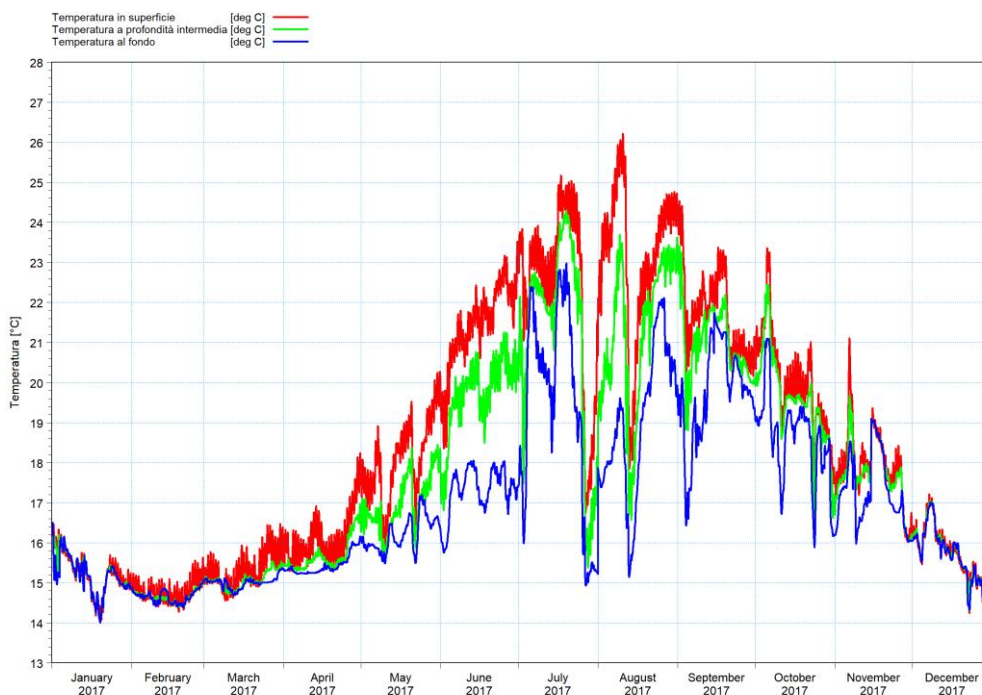


Figura 6-23: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-8 m - linea verde) e al fondo (15 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P1

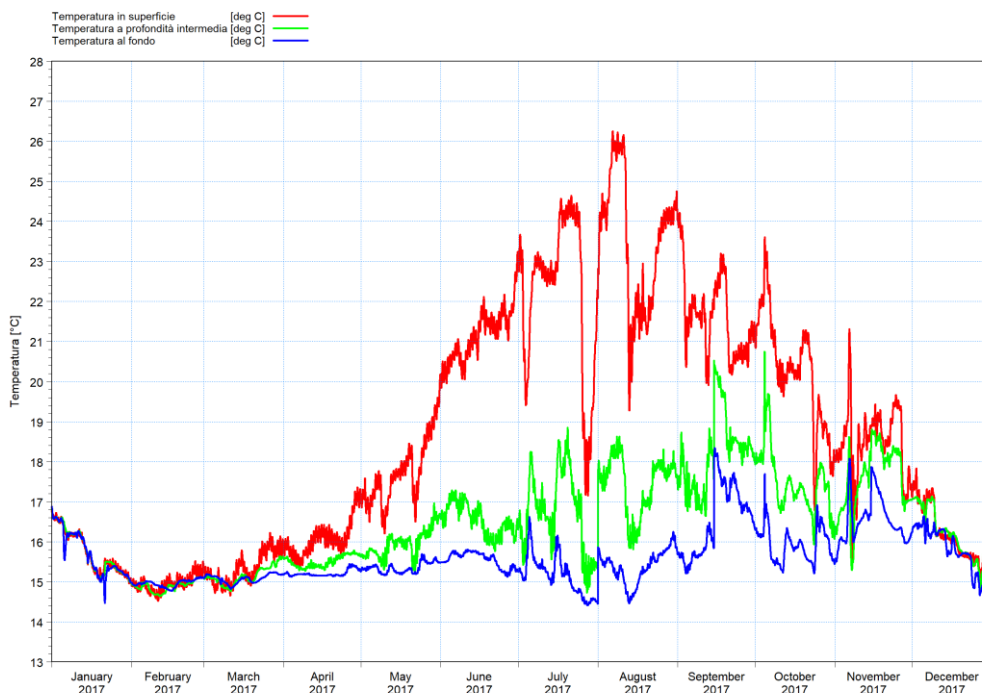


Figura 6-24: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-25 m - linea verde) e al fondo (-50 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P2



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
28 di
115

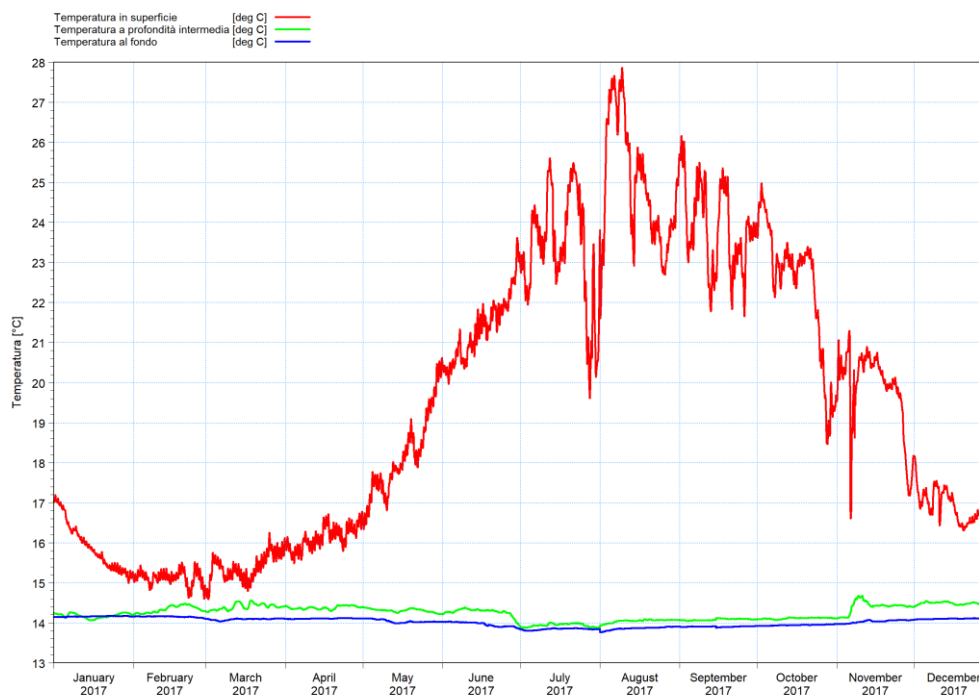


Figura 6-25: Andamento della temperatura simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-353 m - linea verde) e al fondo (-705 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P3

Per quanto riguarda la salinità, si osserva che i valori più bassi e con le maggiori oscillazioni si presentano negli strati più superficiali (linee rosse).

Nel punto P1, dove la profondità è di circa 15 m, la colonna d'acqua è ben mescolata ed infatti gli andamenti alle tre profondità di riferimento sono analoghi. Le oscillazioni sono contenute in circa 1 PSU, con valori che durante l'anno variano tra 37,6 PSU e 38,6 PSU.

A profondità più elevate, nel punto P2, l'andamento annuale della salinità a mezza colonna e al fondo è analogo a quello che si ha in superficie, ma con valori gradualmente più alti spostandosi verso il fondo, seppur con differenze modeste, di circa 0,3 PSU.

Come per la temperatura, anche la salinità a mezza colonna e al fondo nel punto P3 presenta un andamento uniforme e costante durante tutto l'anno, con valori di circa 38,9 PSU.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
29 di
115

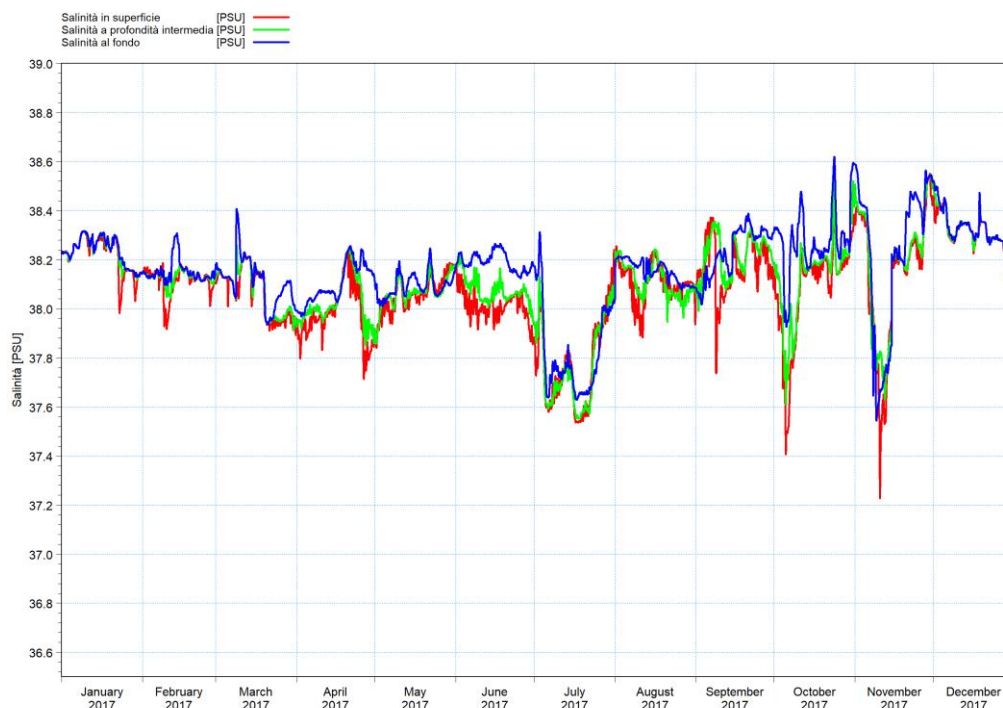


Figura 6-26: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-8 m - linea verde) e al fondo (-15 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P1

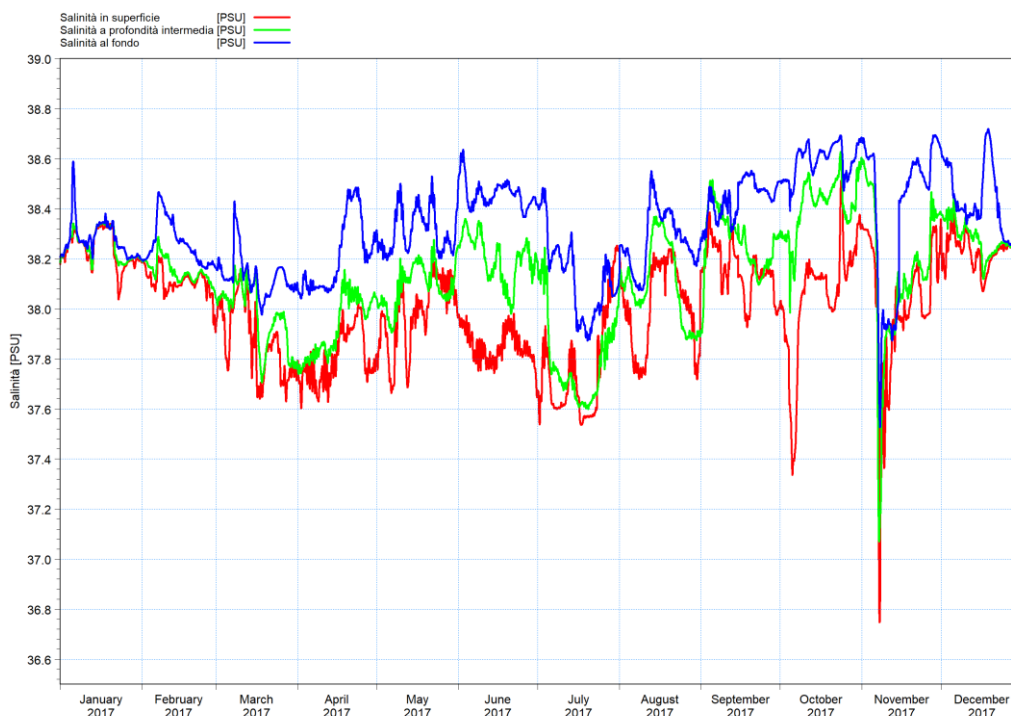


Figura 6-27: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-25 m - linea verde) e al fondo (-50 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P2



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
30 di
115

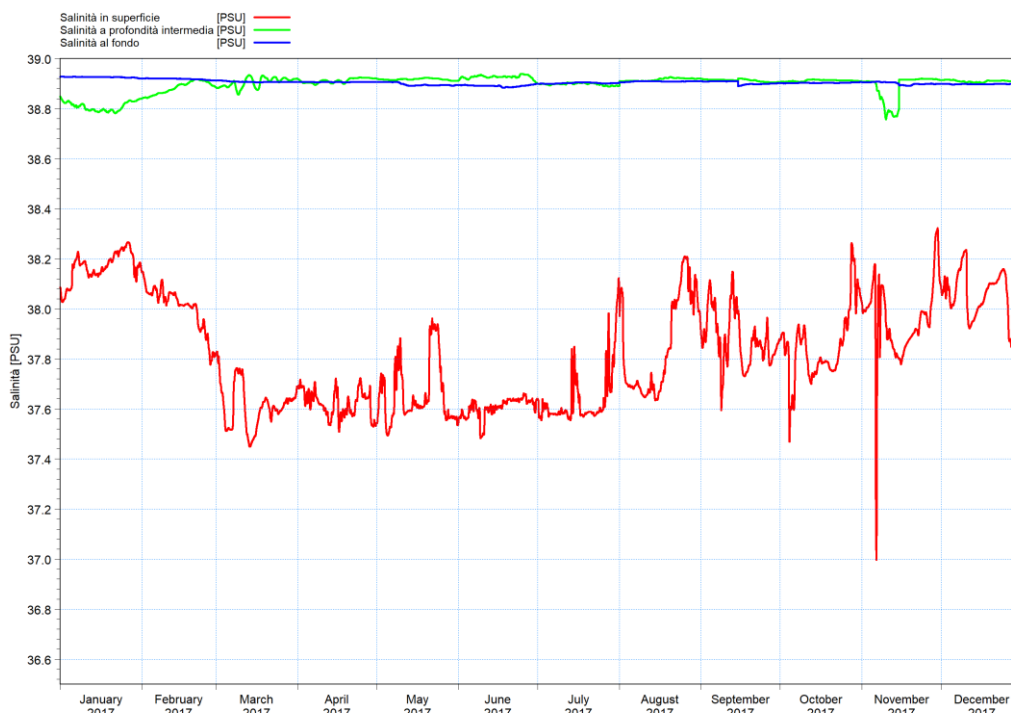



Figura 6-28: Andamento della salinità simulata dal modello MIKE 3 HD in superficie (linea rossa), alla profondità intermedia (-353 m - linea verde) e al fondo (-705 m - linea blu) durante l'anno 2017 nel punto P3

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 31 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

7 MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA AL LARGO DEL GOLFO DI GELA

Le condizioni ondose nella zona interessata dalle operazioni di post-trenching per tutto l'anno 2017 sono state studiate mediante l'applicazione del modello MIKE 21 SW – Spectral Waves [14].

MIKE 21 SW è un modello spettrale per vento ed onde di terza generazione, basato su una griglia non strutturata in grado di simulare la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere.

I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti:

- generazione dell'onda ad opera del vento;
- interazione non lineare onda-onda;
- dissipazione dovuta al cosiddetto "white capping"
- dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
- dissipazione dovuta al frangimento;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
- interazione onde-correnti;
- diffrazione;
- riflessione.


Il modello, a maglia triangolare "flessibile", permette di utilizzare una risoluzione spaziale variabile, consentendo di impiegare una risoluzione elevata nelle aree per le quali si richiede un maggior dettaglio, laddove rifrazione, *shoaling*, attrito con il fondo ed eventualmente frangimento determinano una forte trasformazione delle caratteristiche dell'onda incidente su distanze relativamente limitate.

Un'accurata descrizione del modulo MIKE 21 SW è riportata nell'Allegato 3 al presente elaborato.

I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo – descritta alla sezione 7.1, durata della simulazione – 1 anno);
- scelta del tipo di formulazione, discretizzazione nel dominio delle frequenze e delle direzioni, tecniche di soluzione (per lo specifico modello è stata utilizzata la formulazione spettrale non stazionaria);
- forzanti (vento, da dataset MWM descritto alla sezione 4.3);
- parametri di dissipazione (frangimento, white-capping, attrito al fondo);
- condizioni iniziali (stato di mare iniziale);
- condizioni al contorno (descritte alla sezione 7.2).

I risultati ottenuti, per ognuno degli elementi della mesh e per ciascun istante temporale di calcolo (time step), sono costituiti essenzialmente dai parametri caratteristici dell'onda: altezza d'onda significativa, periodo medio e di picco, direzione media di propagazione.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 32 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

7.1 DATI BATIMETRICI, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE

Per il modello d'onda è stato utilizzato un dominio di calcolo con la stessa estensione di quello utilizzato per il modello idrodinamico (descritto alla sezione 6.1).

Le onde, nella propagazione da largo verso costa, subiscono trasformazioni energetiche che diventano più importanti nell'avvicinamento a costa, dove sono fortemente influenzate dal fondale. In particolare, per la risospensione dei sedimenti nella colonna d'acqua risultano di particolare importanza le aree di basso fondale, laddove le velocità orbitali che si innescano al di sotto delle creste e dei cavi d'onda riescono ad arrivare fino al fondale con velocità non trascurabili. Tali velocità, e le conseguenti tensioni al fondo che si generano, costituiscono le forzanti principali alle profondità intermedie per la risospensione dei sedimenti depositati sul fondo. La risospensione del sedimento per effetto del frangimento da profondità, che interessa esclusivamente gli ultimi metri prima della battigia, non è stata considerata di interesse ai fini del presente studio.

Il dominio di calcolo è stato costruito utilizzando una risoluzione, intesa come lunghezza media dei triangoli costituenti la mesh, di circa 300 nella fascia litoranea compresa tra la linea di riva e la profondità di 10 m (Figura 7-1). Al di fuori di quest'area la risoluzione diminuisce gradualmente fino a dimensioni dei lati dei triangoli pari a circa 4 km lungo i contorni offshore del dominio, dove sono applicate le condizioni d'onda estratte dal modello ad ampia scala MWM (descritte alla successiva sezione 7.2).

Complessivamente il dominio di calcolo è formato da 5271 elementi (Figura 6-3 e Figura 6-4).

Per quanto riguarda i dati batimetrici utilizzati, si è fatto riferimento agli stessi utilizzati per il modello idrodinamico e descritti alla sezione 6.1. Il risultato finale del processamento di tali dati è mostrato in Figura 7-2.

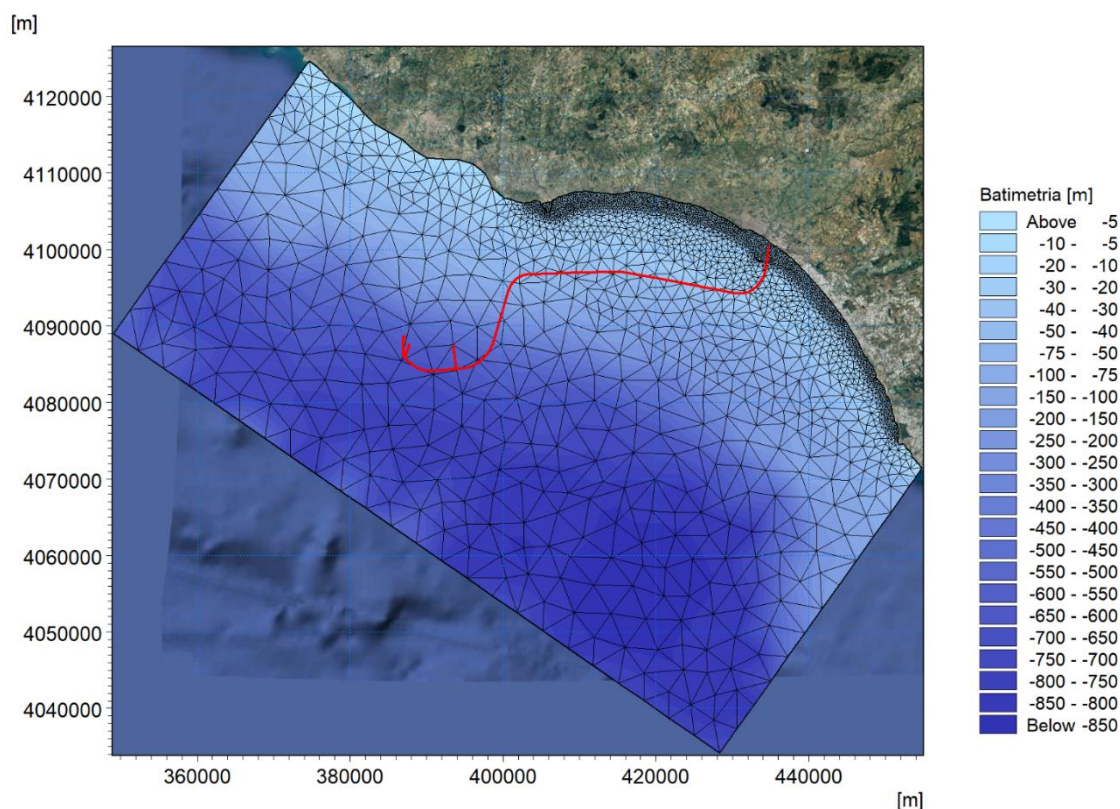


Figura 7-1: Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
33 di
115

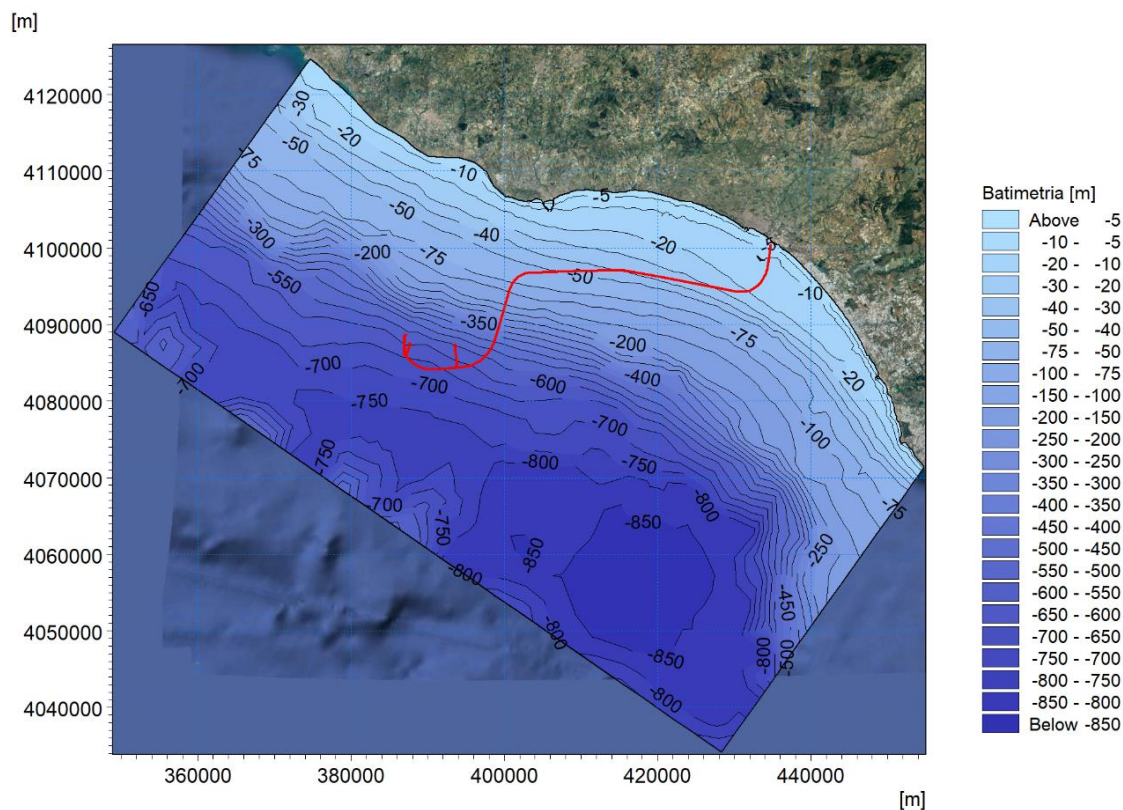


Figura 7-2: Batimetria del dominio di calcolo del modello MIKE 21 SW, con individuazione delle isolinee di profondità e del tracciato della pipeline e degli ombelicali (in rosso)

7.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno utilizzate per la simulazione del moto ondoso nella zona interessata dalle operazioni di post-trenching sono state ricavate dalla serie storica estratta, per l'anno 2017, dal database MWM, descritto nella sezione 4.4.3. L'estrazione dal modello a più ampia scala MWM è stata effettuata lungo i tre i contorni aperti del modello (Figura 7-3).

A titolo di esempio si riporta la rosa delle onde in un punto centrale del contorno aperto offshore (Figura 7-4). Si osserva che l'andamento è del tutto analogo a quello descritto per il punto P3 alla sezione 4.4.3.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
34 di
115

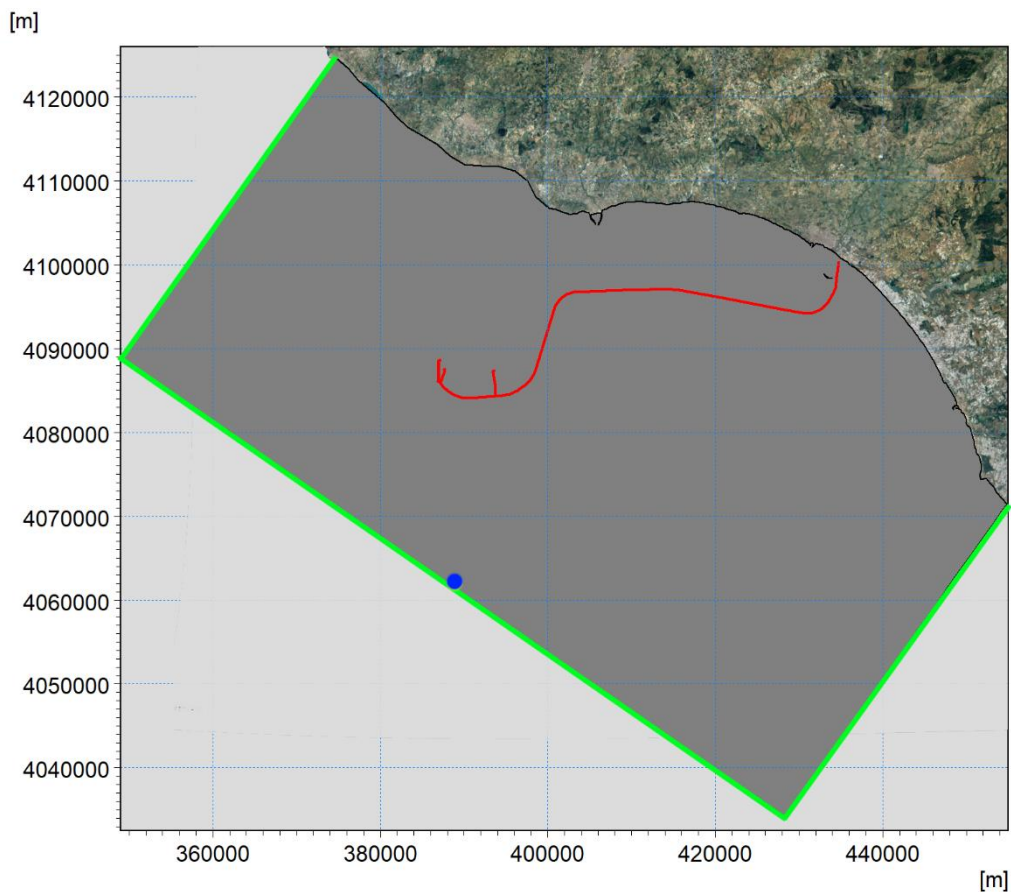


Figura 7-3: Individuazione dei contorni aperti (linee verdi) per il dominio di MIKE 21 SW e del punto di estrazione della serie delle onde per il 2017 (punto blu). In rosso il tracciato della pipeline e degli ombelicali

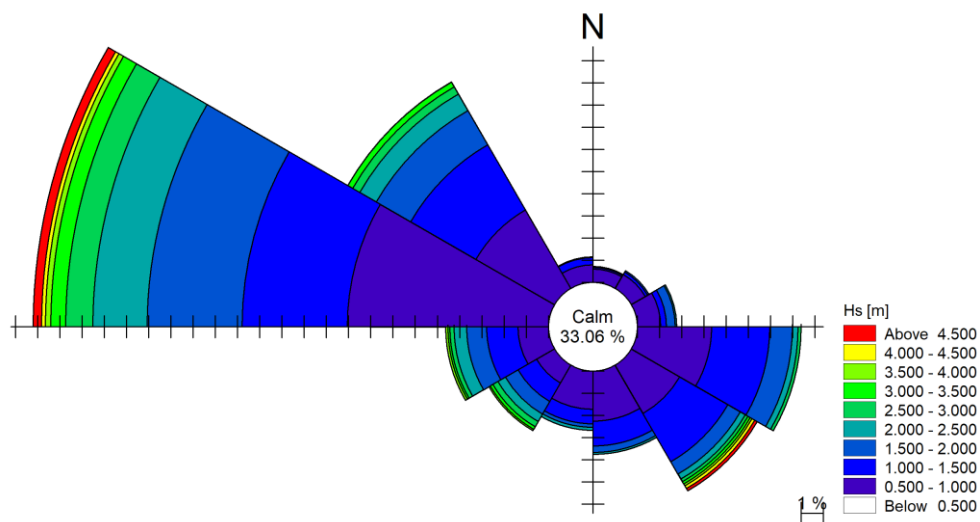



Figura 7-4: Rosa delle onde ottenuta per l'anno 2017 in un punto lungo il contorno aperto offshore del dominio di calcolo di MIKE 21 SW. La calma si riferisce ad un'altezza d'onda significativa (Hs) inferiore a 0.5 m. Fonte: database MWM

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 35 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

7.3 RISULTATI DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE ONDOSA

La simulazione è stata condotta per l'intero anno 2017 ed ha permesso di ottenere la distribuzione delle principali grandezze associate all'onda (altezza significativa, periodo di picco e direzione media di propagazione) in tutti i punti del dominio di calcolo.

A titolo di esempio, nelle immagini a seguire viene illustrato il campo di altezza d'onda significativa per un'onda alta (circa 4 m al largo) proveniente dal II Quadrante (Figura 7-5), dal III Quadrante (Figura 7-7) e dal IV Quadrante (Figura 7-9), e per un'onda bassa (circa 2 m al largo) proveniente dagli stessi tre settori (Figura 7-6, Figura 7-8, Figura 7-10).

Nelle immagini è osservabile il fenomeno della rifrazione, ossia la tendenza delle onde a disporsi perpendicolarmente a costa. Questo fenomeno è ben rappresentato dalla diversa orientazione dei vettori sottocosta rispetto al largo. La rifrazione è ovviamente meno evidente per le onde provenienti dal III Quadrante, che risultano già al largo pressoché perpendicolari a costa.

Un altro importante fenomeno nell'attenuazione dell'energia d'onda, osservabile nelle immagini a seguire nella ristretta fascia sottocosta a bassa profondità, è il frangimento: la fascia dei frangenti è individuata come la zona dove le onde diminuiscono velocemente in altezza per effetto della risalita del fondale.

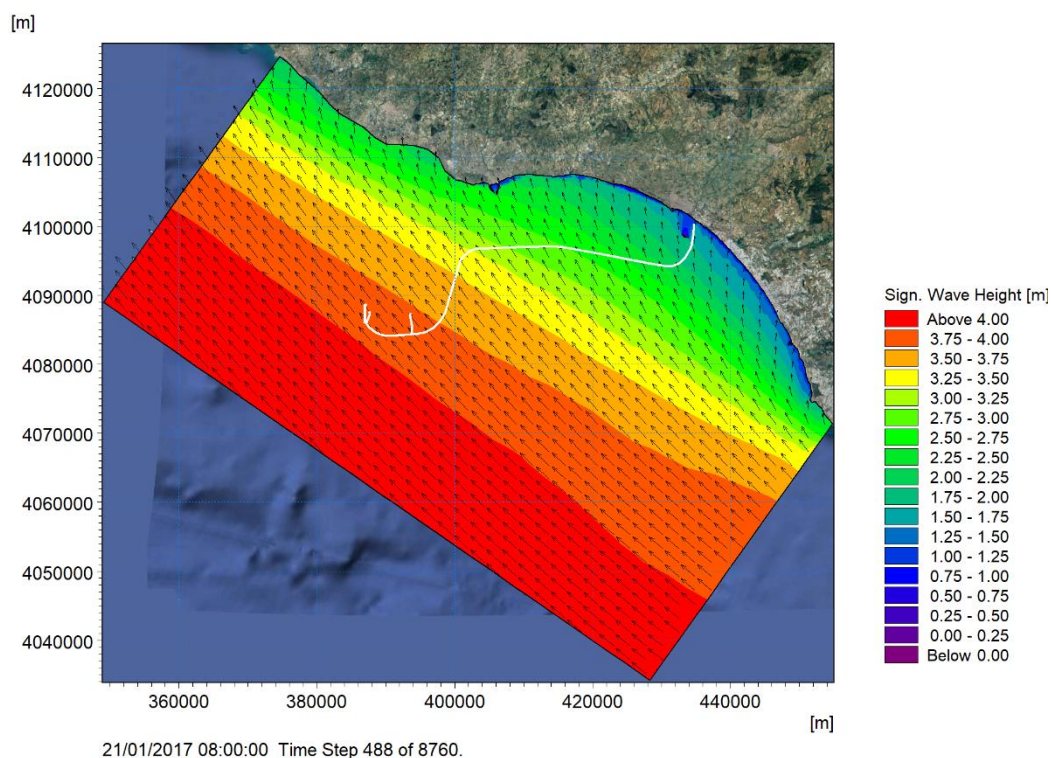


Figura 7-5: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal II Quadrante ($H_s = 4.0$ m, $T_p = 8.8$ s, $MWD = 137^\circ N$)

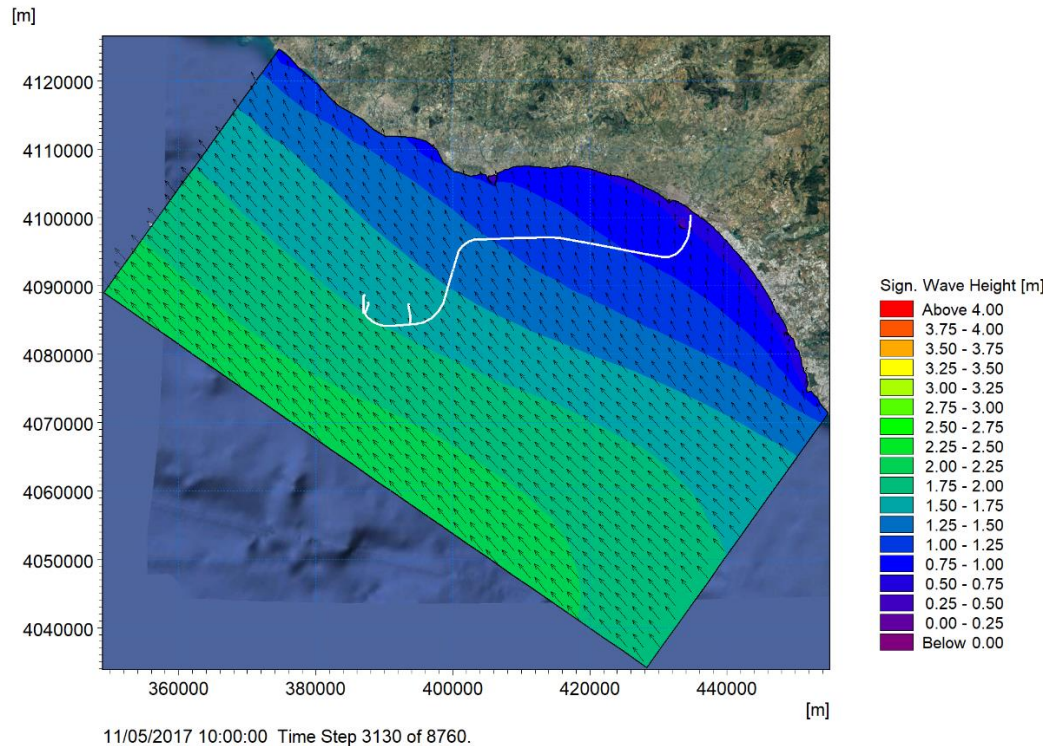


Figura 7-6: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal II Quadrante ($H_s = 2.1$ m, $T_p = 6.1$ s, $MWD = 139^\circ N$)

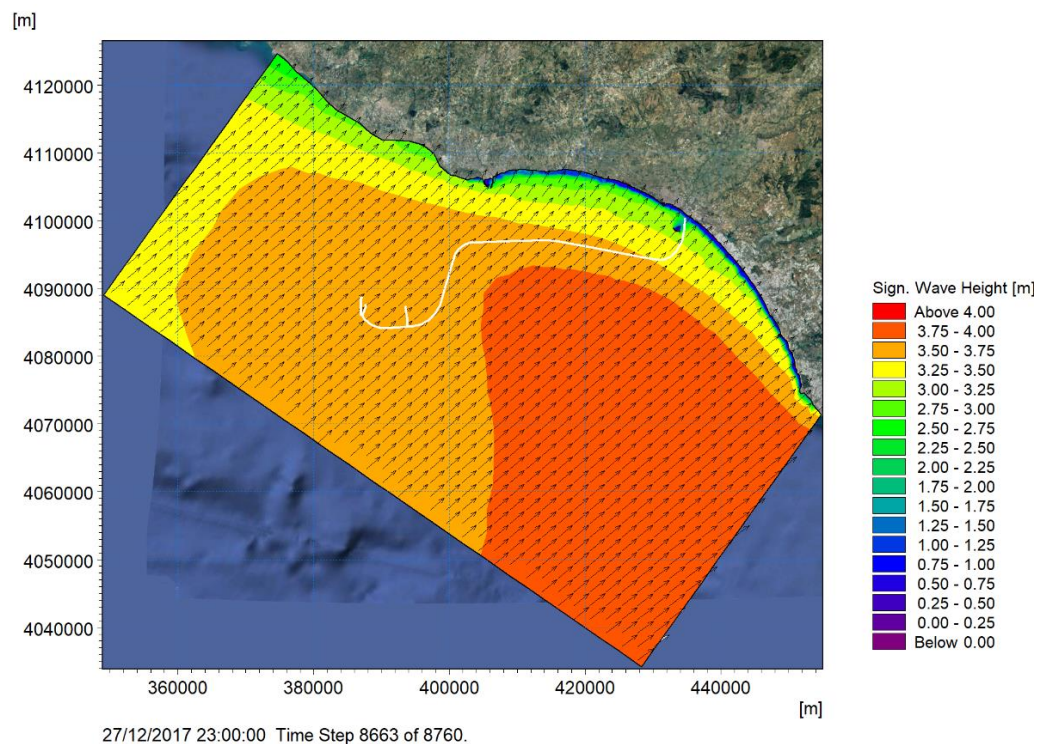


Figura 7-7: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal III Quadrante ($H_s = 3.6$ m, $T_p = 8.5$ s, $MWD = 224^\circ N$)

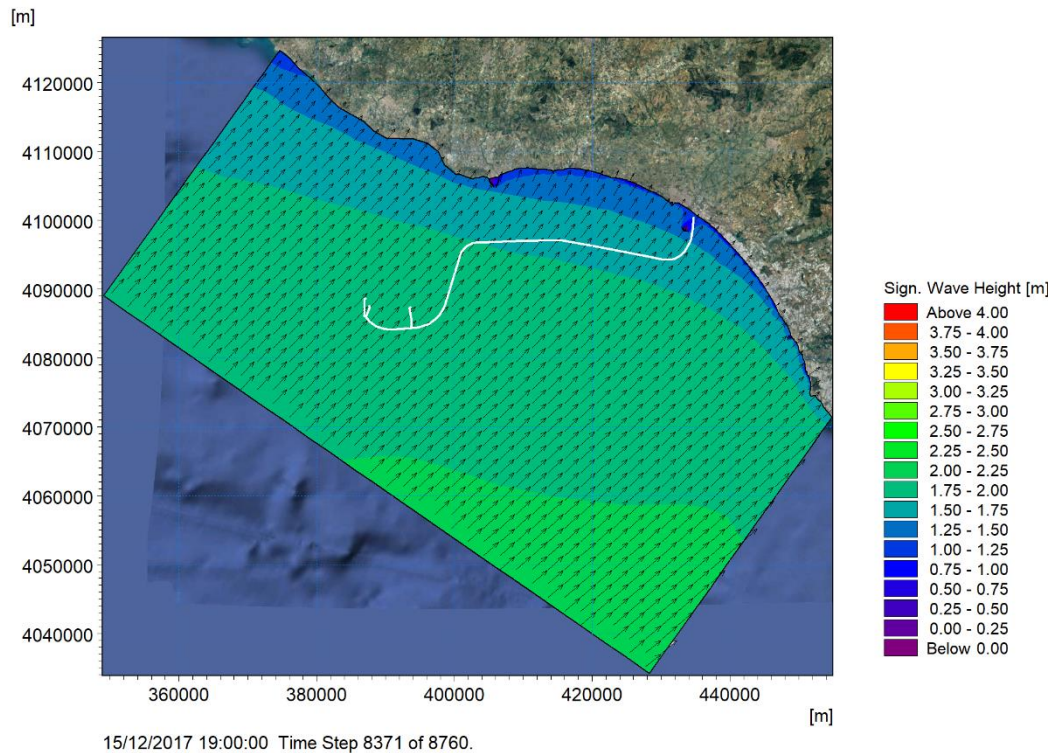


Figura 7-8: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal III Quadrante ($H_s= 2.0$ m, $T_p= 6.6$ s, $MWD= 222^\circ N$)

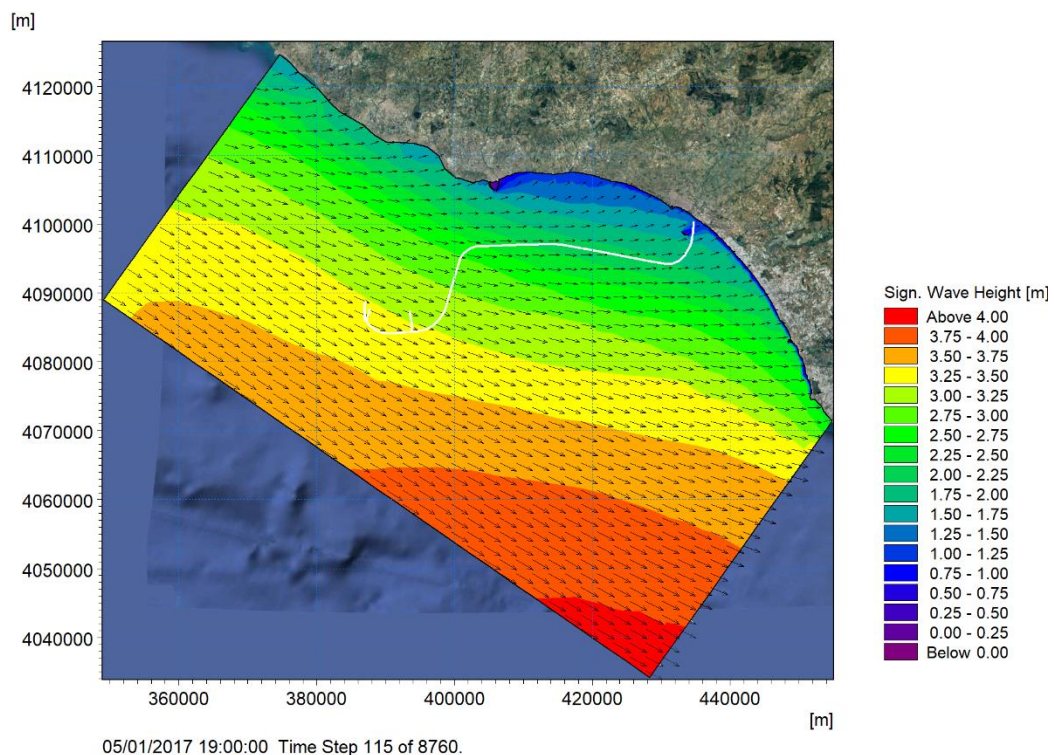


Figura 7-9: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal IV Quadrante ($H_s= 3.8$ m, $T_p= 9.6$ s, $MWD= 299^\circ N$)



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
38 di
115

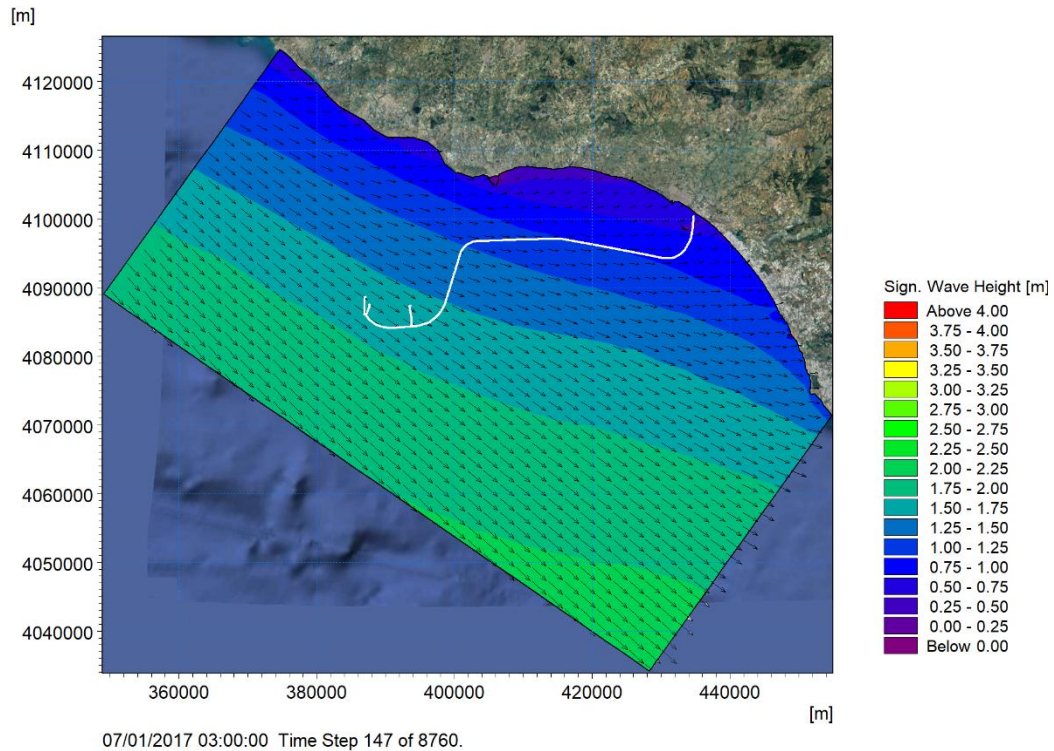



Figura 7-10: Distribuzione dell'altezza d'onda significativa relativa ad un'onda proveniente dal IV Quadrante ($H_s = 2.1$ m, $T_p = 8.0$ s, $MWD = 316^\circ N$)

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 39 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

8 MODALITÀ OPERATIVE DI POST-TRENCHING

Come precedentemente esposto, il presente studio fa riferimento, così come definito dalla Committente, alle operazioni di post-trenching necessarie per la posa di una condotta rigida che collega il Manifold del campo "Cassiopea" con l'approdo onshore e degli ombelicali e *flexible flowlines* che collegano i 4 pozzi sottomarini produttori per il Giacimento "Cassiopea" (1, 2 e 3) e per il Giacimento "Argo" (Argo 2) con i due relativi Manifold di raccolta della produzione.

La progettazione della trincea da scavare a valle della posa della pipeline e la scelta delle macchine da utilizzare per lo scavo sono state effettuate sulla base delle caratteristiche del suolo da scavare, delle profondità del fondale, dei diametri delle condotte e della metodologia utilizzata per la disposizione delle stesse sul fondale, come riportato nel report progettuale [15].

La macchina utilizzata per lo scavo della trincea è della tipologia *trenching jetting*, in grado di scavare anche in condizioni di fondali molto irregolari e con tempistiche di lavoro rapide. Una elevata potenza implica una elevata produttività, ma richiede condizioni di operatività, messa in opera, smantellamento e manutenzione più complicate e costose. Questa tipologia di macchina permetterà di effettuare l'intero scavo con una sola passata, anche ad elevate profondità. Per la trincea relativa alla posa della condotta principale si prevede tuttavia di eseguire una seconda passata, per finalizzare lo scavo ed eliminare l'eventuale materiale sedimentato successivamente alla prima passata. Nel presente studio si è supposto che il volume prelevato con la seconda passata sia, cautelativamente, pari al 15% del volume scavato con la prima passata.

Si evidenzia che, per quanto riguarda le modalità operative di post-trenching (in termini di velocità di avanzamento, tipologie di macchinari impiegati, volumi dragati) sono state effettuate assunzioni sulla base delle informazioni a disposizione, adottando un approccio il più cautelativo possibile. Tali modalità operative in fase di esecuzione potrebbero essere ulteriormente ottimizzate così da ridurre gli impatti simulati e descritti nei successivi capitoli.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
40 di
115

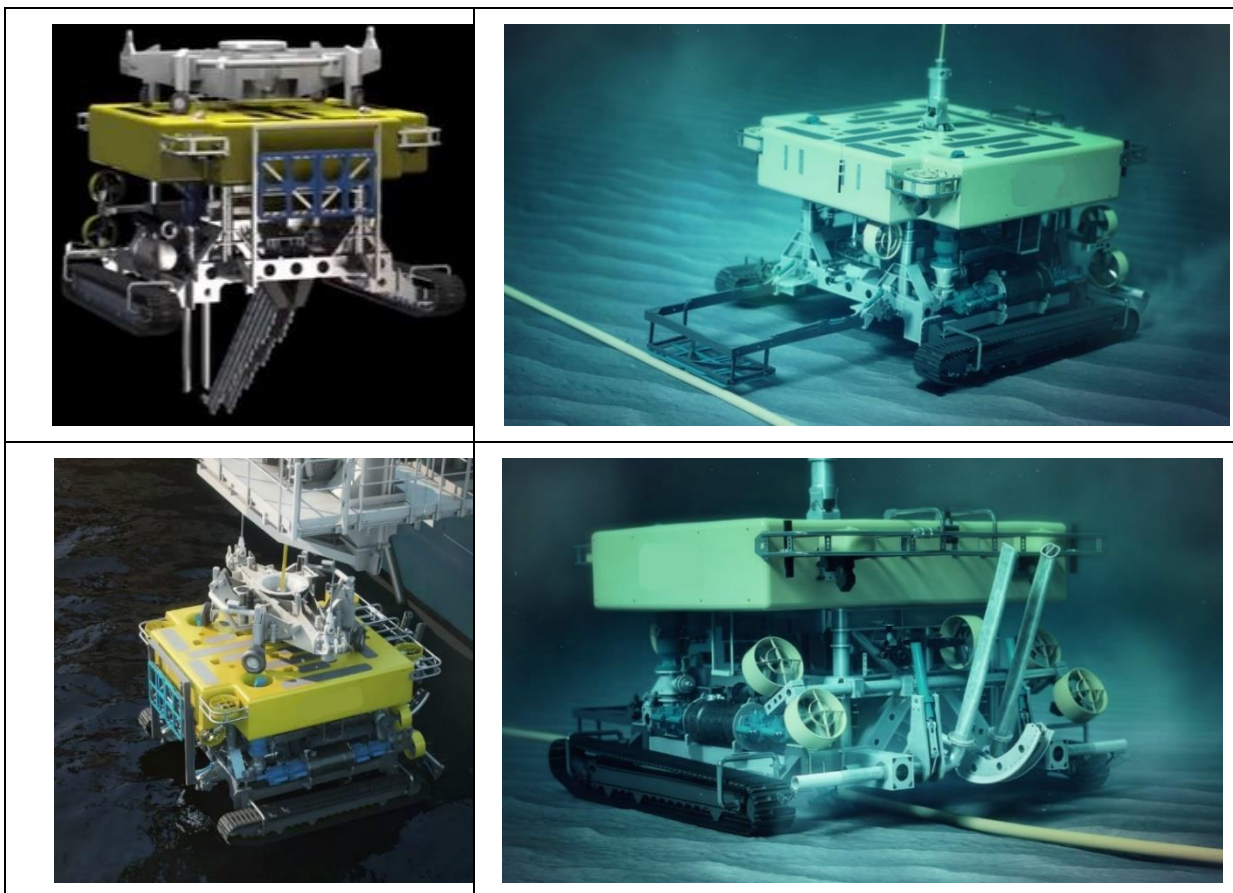



Figura 8-1: Esempio di trenching jetting machine

Il requisito principale della trincea da scavare è la profondità, che dovrà essere tale da contenere le condotte in progetto e che le stesse risultino al di sotto del fondale attuale di circa 1 m. Pertanto, la trincea da scavare dovrà avere una profondità pari al diametro della condotta (14") o degli ombelicali (6") o delle *flexible flowlines* (6") maggiorato di 1 m. Inoltre, per quanto riguarda la condotta rigida, è stato concordato di considerare anche l'ulteriore spessore determinato dal CWC (Concrete Weight Coating) che è variabile, lungo il tracciato, tra 0 e 140 mm. In Tabella 8-1 sono riportati, tratto per tratto, i diametri ed i CWC considerati.

Tabella 8-1: Indicazione dei diametri delle condotte e dei CWC per i diversi tratti interessati dalle operazioni di post-trenching

Tratto	diametro (mm)	CWC (mm)
Condotta rigida KP=0-29,,896 km KP=30,396-41,560 km	355,0	-
Condotta rigida KP=29,896-30,396 km KP=41,560-58,489 km		40
Condotta rigida KP=58,489-59,652 km		50
Condotta rigida KP=59,652-60,068 km		120

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 41 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

Tratto	diametro (mm)	CWC (mm)
Condotta rigida KP=60,068-60,612 km		140
Ombelicale lungo la condotta rigida	176,9	-
Ombelicale di collegamento pozzi-manifold	158,9	-
Flexible flowline	188,2	-

Le operazioni verranno eseguite in continuo, ossia 7 giorni su 7 e 24 ore su 24.


Complessivamente, la durata di tali operazioni, comprensive dello scavo della trincea per la condotta, per gli ombelicali e per le *flexible flowlines*, è prevista in poco più di 21 giorni, come dettagliato in Tabella 8-2, dove è riportata la cronologia delle operazioni e le tempistiche di lavoro tratto per tratto.

In funzione della lunghezza dei tratti in cui è stata suddivisa la pipeline e delle tempistiche previste per le operazioni di post-trenching, è stata calcolata la velocità di avanzamento della macchina. (Tabella 8-2).

Si osserva che, per quanto riguarda la condotta rigida, le operazioni iniziano, tratto per tratto, dal punto più sottocosta e procedono dirigendosi verso il largo. La stessa direzione di esecuzione è utilizzata per la prima e seconda passata in modo da lasciare il tempo al materiale rimosso nella prima passata di sedimentare completamente innanzi alla seconda passata. Per quanto riguarda gli ombelicali si è ipotizzato di procedere dal Manifold verso i pozzi, considerando di scavare una sola trincea per gli ombelicali dei pozzi Cassiopea 1 e 2. Al contrario, per le *flexible flowlines*, si è ipotizzato che le operazioni di post-trenching procedano dai pozzi verso il Manifold.

Tabella 8-2: Durata delle operazioni di post-trenching, velocità di esecuzione della trincea e lunghezza dei singoli tratti

Tratto	Tempo di esecuzione (giorni)	Lunghezza (km)	Velocità di avanzamento (m/s)
Condotta rigida – tratto nearshore – 1 ^a passata	0,42	2	0,056
Condotta rigida – tratto nearshore – 2 ^a passata	0,42	2	0,056
Condotta rigida – tratto intermedio – 1 ^a passata	1,16	10,048	0,101
Condotta rigida – tratto offshore – 1 ^a passata	8,17	48,192	0,068
Condotta rigida – tratto intermedio – 2 ^a passata	0,71	10,048	0,165
Condotta rigida – tratto offshore – 2 ^a passata	2,24	48,192	0,231
Ombelicali	6,35	44,766	0,081
Flexible flowline	1,67	10,965	0,073
Totale	21,14	176,211	

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 42 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

8.1 VOLUMI MOVIMENTATI, RILASCIO IN COLONNA D'ACQUA (SPILL), VELOCITÀ DI SEDIMENTAZIONE

Le quantità di materiale da movimentare lungo l'intero tracciato della condotta, degli ombelicali e delle *flexible flowlines* sono state calcolate considerando un volume unitario della trincea (per metro di lunghezza della stessa) avente forma di parallelepipedo con le seguenti caratteristiche:

- base della trincea pari a 1,7 m
- profondità della trincea pari al diametro della condotta (aumentato dello spessore del CWC), degli ombelicali e delle *flexible flowlines* (come riportati in Tabella 8-1) aumentati di 1 m;
- pendenza delle pareti laterali della trincea pari a 56°.

Sulla base di queste ipotesi è stato calcolato il volume movimentato per ogni metro di trincea (m^3/m), ossia l'area del trapezio in cui può essere schematizzata la sezione verticale della trincea. Queste sezioni sono state considerate costanti lungo tratti omogenei, come riportato in Tabella 8-3. Si evidenzia che i volumi di scavo, validi per la prima passata, variano tra 2.9 m^3/m , nei tratti interessati dagli scavi per gli ombelicali, e 4.6 m^3/m , nel tratto della condotta rigida con CWC di 140 mm (ossia nella parte più sottocosta).

In Tabella 8-3 sono indicati anche i valori del tasso di scavo a cui si è fatto riferimento nei vari tratti, calcolati sulla base dei volumi movimentati (Tabella 8-3), della velocità di avanzamento della macchina (Tabella 8-2) ed assumendo una densità del sedimento pari a 1.900 kg/m^3 , valida per una composizione di sedimento analoga a quella costituente il fondale in esame. Si evidenzia che le caratteristiche riportate in Tabella 8-3 per i vari tratti (illustrati in Figura 8-2) sono elencate in ordine cronologico di esecuzione delle operazioni.

La quantità di sedimento che viene movimentata non corrisponde tuttavia alla quantità di sedimento che si disperde nella colonna d'acqua: la maggior parte del materiale viene infatti prelevato e depositato a lato della trincea, mentre deve essere fatta un'ulteriore assunzione per stimare la quantità di sedimento movimentato che viene effettivamente rilasciato nella colonna d'acqua durante le operazioni, disponibile per la dispersione nel cosiddetto "campo lontano". La percentuale di rilascio per unità di materiale scavato è una quantità "media" di perdita che può assumere valori diversi a seconda dei metodi di movimentazione del materiale e della tipologia di sedimento. Nel presente studio è stato assunto un valore sulla base di referenze bibliografiche [16] [17] [18] e della vasta esperienza di DHI sugli studi di movimentazione dei sedimenti. Pertanto, in considerazione della tipologia di macchine utilizzate per le operazioni (*trenching jetting machine*) è stata assunta una percentuale di rilascio (*spill*) pari al 12.5% della quantità di materiale scavato. Inoltre, per le caratteristiche delle macchine impiegate nelle operazioni, si è assunto che il rilascio dei sedimenti avvenga nello strato più prossimo al fondo.



	Eni S.p.A. Distretto Meridionale	Data Luglio 2019	Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14	Pagina 43 di 115
---	---	------------------------	--	------------------------

Tabella 8-3: Individuazioni delle principali caratteristiche di escavo per ogni tratto del tracciato: lunghezza del tratto, profondità massime e minime dei fondali attraversati, volume movimentato per unità di lunghezza, percentuali tessiturali e tasso di escavo

Tratto	Lunghezza (km)	Prof, min-max (m)	Volume (m ³ /m)	Tessitura**	Tasso di escavo (kg/s)
Condotta rigida – shallow water 1a passata (da H a G)*	2	4-10	4,58	1	489
Condotta rigida – shallow water 1a passata (da G a F)*			4,43	1	-473
Condotta rigida – shallow water 1a passata (da F a E)*			3,90	1	416
Condotta rigida – shallow water 2a passata (da H a G)*	2	4-10	0,69	1	73
Condotta rigida – shallow water 2a passata (da G a F)*			0,66	1	71
Condotta rigida – shallow water 2a passata (da F a E)*			0,59	1	62
Condotta rigida – tratto intermedio 1a passata (da E a D)*	10,048	10-30	3,83	1	737
Condotta rigida – tratto offshore 1a passata (da D a C)*	48,192	30-670	3,83	2	498
Condotta rigida – tratto offshore 1a passata (da C a B)*			3,54	2	460
Condotta rigida – tratto offshore 1a passata (da B a A)*			3,83	2	498
Condotta rigida – tratto offshore 1a passata (da A a Manifold)*			3,54	2/3	460
Condotta rigida – tratto intermedio 2a passata (da E a D)*	10,048	10-30	0,57	1	180
Condotta rigida – tratto offshore 2a passata (da D a C)*	48,192	30-670	0,57	2	252
Condotta rigida – tratto offshore 2a passata (da C a B)*			0,53	2	233
Condotta rigida – tratto offshore 2a passata (da B a A)*			0,57	2	252
Condotta rigida – tratto offshore 2a passata (da A a Manifold)*			0,53	2/3	233
Ombelicale (da Prezioso Platform a SDU)*	29235	40-620	2,93	3	449
Ombelicale (da SDU a Manifold)*	7714	620-660	2,93	3	449
Ombelicale (da SDU ad Argo)*	3265	550-620	2,88	3	440
Ombelicale (da Manifold a Cassiopea 1&2)*	2737	660-580	2,88	3	440
Ombelicale (da Manifold a Cassiopea 3)*	1815	660-620	2,88	3	440
Flexible flowline (da Cassiopea 1 a Manifold)*	2850	580-660	2,97	3	410
Flexible flowline (da Cassiopea 2 a Manifold)*	2920	580-660	2,97	3	410
Flexible flowline (da Cassiopea 3 a Manifold)*	1900	620-660	2,97	3	410
Flexible flowline (da Argo a SDU)*	3295	550-620	2,97	3	410

*gli estremi di ciascun tratto omogeneo sono riportati in Figura 8-2

**le percentuali tessiturali sono riportate in Tabella 8-4

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 44 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

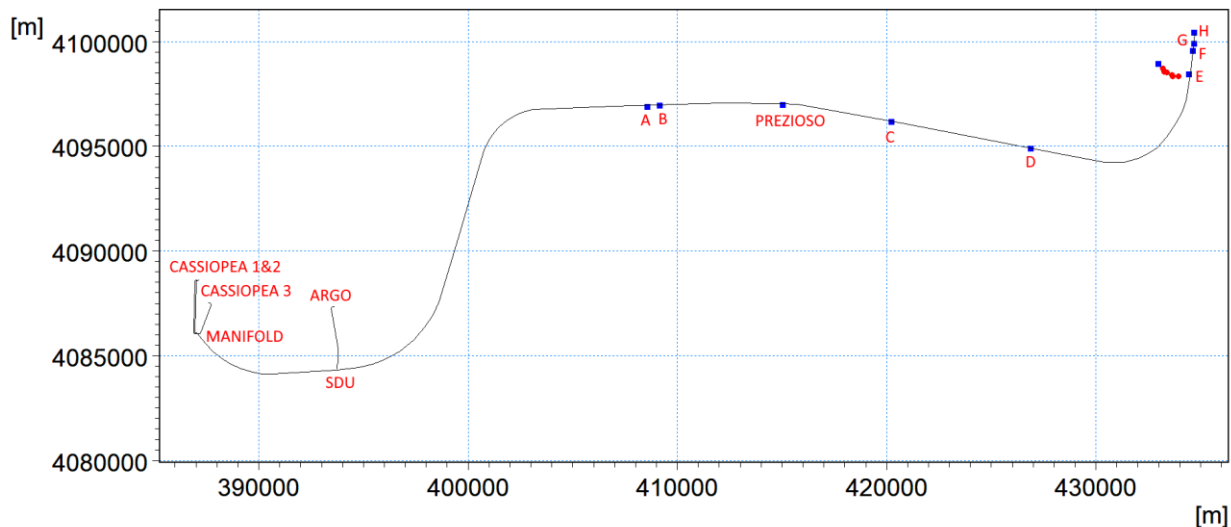


Figura 8-2: Individuazione degli estremi di ciascun tratto omogeneo per il calcolo del volume di sedimento movimentato per unità di lunghezza

Lo studio della dispersione dei sedimenti nella colonna d'acqua, illustrato nel capitolo successivo, permette di calcolare l'evoluzione del plume di sedimenti sia in termini di concentrazione totale, sia differenziata a seconda della frazione a cui si fa riferimento. Nel presente studio il volume movimentato è stato considerato costituito in percentuali variabili di frazione sabbiosa, frazione limosa e frazione argillosa, in accordo, per ogni tratto del tracciato, alle analisi dei campioni analizzati nell'ambito del rilievo ambientale per la caratterizzazione dei sedimenti, descritto alla sezione 4.2.

Le frazioni fini (limo e argilla) sono quelle più significative ai fini ambientali in quanto, essendo caratterizzate da velocità di sedimentazione inferiori, persistono più a lungo nella colonna d'acqua e sono in grado di viaggiare per lunghe distanze, mentre la frazione sabbiosa si deposita in prossimità della sorgente.

Nei modelli numerici si tiene conto delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti movimentati mediante la velocità di sedimentazione, che è funzione principalmente della dimensione e densità dei granuli di sedimento. Pertanto, ciascuna delle tre frazioni tessiturali in esame (sabbiosa, limosa ed argillosa) è stata identificata con una dimensione media del diametro caratteristico e, per ciascun diametro, è stata calcolata la relativa velocità di sedimentazione tramite l'applicazione della nota formulazione di Stokes:

$$w = \frac{2R^2(d_e - d_i)g}{9\eta}$$

dove: w = velocità di sedimentazione [m/s];


R = raggio delle particelle disperse [m];

d_i = densità della fase interna [kg/m³];

d_e = densità della fase esterna [kg/m³];

g = accelerazione di gravità [m/s²];

η = viscosità della fase continua [m²/s]

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 45 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------


L'analisi delle curve granulometriche per i vari campioni di interesse per il presente studio (sezione 4.2) ha portato a considerare diametri medi pesati pari a 160,6 μm per la frazione sabbiosa, 26,0 μm per la frazione limosa e 2,7 μm per la frazione argillosa. Questi diametri corrispondono a velocità di sedimentazione rispettivamente pari a 22,68 mm/s, 0,59 mm/s e 0,01 mm/s (Tabella 8-4).

Si sottolinea che per le frazioni fini del sedimento (limo e argilla, coesive) la velocità di sedimentazione può inoltre variare significativamente in relazione alla concentrazione del sedimento stesso, per effetto della flocculazione. Le correzioni alla velocità di sedimentazione per effetto della flocculazione sono state calcolate direttamente dal modello.

Tabella 8-4: Indicazione delle caratteristiche granulometriche prese a riferimento per il presente studio

Classe tessiturale	Dimetro medio pesato (μm)	Velocità di sedimentazione (mm/s)	Percentuale tessiturale (%)
Sabbia	160,6	22,68	37 (tratto 1*) 0 (tratti 2* e 3*)
Limo	26,0	0,59	42 (tratto 1*) 34 (tratto 2*) 22 (tratto 3*)
Argilla	2,7	0,01	21 (tratto 1*) 66 (tratto 2*) 78 (tratto 3*)

*i tratti 1, 2, 3 sono definiti in Tabella 8-3

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 46 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

9 MODELLO TRIDIMENSIONALE DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI

Il modello utilizzato per la simulazione della dispersione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti messi in sospensione in seguito alle operazioni di post-trenching nell'area di interesse è MIKE 3 MT - Mud Transport [19] di DHI.

Il modulo MIKE 3 MT descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo MIKE 3 HD e, eventualmente, come in questo caso, delle simulazioni di moto ondoso effettuate con MIKE 21 SW.

L'applicazione del modulo MT include la simulazione di frazioni multiple di sedimenti e la simulazione di diversi strati costituenti il fondale e permette di rappresentare i seguenti fenomeni fisici:

- flocculazione, che si attiva per elevate concentrazioni di sedimento coesivo;
- effetti di densità ad alte concentrazioni di sedimento;
- sedimentazione ostacolata (*hindered settling*);
- consolidamento;
- variazioni morfologiche del fondale;
- aggiornamento continuo della morfologia del fondale.

Una descrizione dettagliata del modello MIKE 3 MT è riportata nell'Allegato 2.

In Figura 9-1 sono illustrati schematicamente i processi che sono simulabili con il modello MIKE 3 MT.

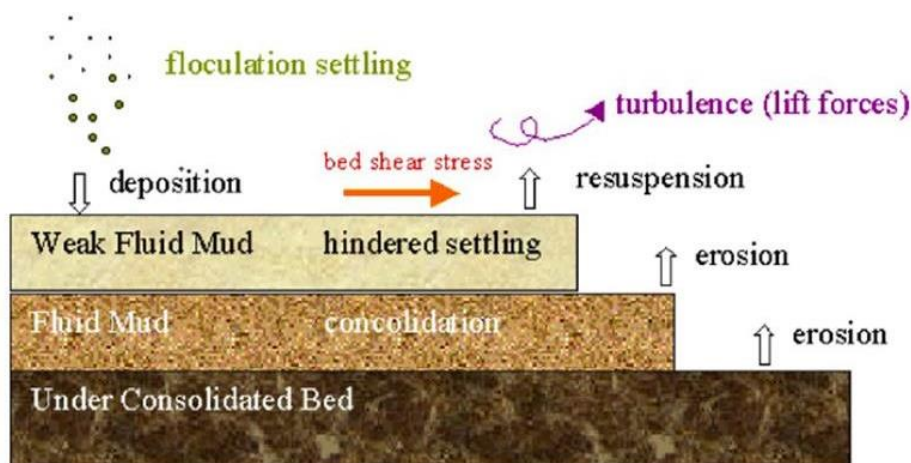



Figura 9-1: Rappresentazione schematica dei processi simulati in MIKE 3 MT

9.1 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI


La mesh di calcolo adottata per il modello MIKE 3 MT è la stessa utilizzata nel modello HD.

Con lo scopo di simulare la dispersione e l'evoluzione del pennacchio di concentrazione di sedimento messo in sospensione durante le operazioni di post-trenching, si è provveduto alla definizione all'interno del modello delle caratteristiche dei sedimenti che saranno movimentati. In particolare, sono state inserite le seguenti informazioni, già precedentemente descritte:

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 47 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

- componenti tessiturali e loro percentuali (Tabella 8-4)
- dimensioni medie pesate dei sedimenti costituenti ciascuna frazione granulometrica, e, in funzione di queste, velocità di sedimentazione associata a ciascuna frazione (Tabella 8-4);
- densità del sedimento secco e del sedimento appena depositato, quindi in presenza di porosità. Tali valori sono stati impostati rispettivamente pari a 2650 kg/m³ e 250 kg/m³;
- limite di flocculazione: sulla base della pluridecennale esperienza del gruppo DHI in studi analoghi l'attivazione della flocculazione è stata imposta per concentrazioni di sedimento coesivo superiori a 10 mg/l. Infatti, per concentrazioni maggiori la probabilità di collisione delle singole particelle di sedimento aumenta e di conseguenza, tende ad innescarsi il fenomeno della flocculazione. Quando si formano aggregazioni di particelle di sedimento, i cosiddetti "flocchi", la velocità di sedimentazione aumenta al crescere della concentrazione del sedimento. Nei sedimenti non coesivi (sabbie) tale fenomeno non si attiva e pertanto la velocità di sedimentazione può essere considerata costante ed indipendente dalla concentrazione del sedimento nella colonna d'acqua;
- limite di sedimentazione ostacolata: sulla base della pluridecennale esperienza del gruppo DHI in studi analoghi l'attivazione della sedimentazione ostacolata è stata imposta per concentrazioni di sedimento coesivo superiori a 10'000 mg/l. Questo fenomeno si innesca infatti quando, a causa dell'elevata concentrazione, le particelle entrano in contatto tra loro e non sono in grado di sedimentare "liberamente" verso il fondo;
- il fondo naturale è stato considerato non erodibile, al fine di evitare che la stima della torbidità e della deposizione durante le operazioni sia influenzata dalla eventuale risospensione naturale del sedimento in caso di mareggiata. È invece ammessa la possibilità che il sedimento depositato a seguito delle operazioni sia soggetto a risospensione;
- la tensione tangenziale critica al fondo, ossia la tensione oltre la quale il sedimento depositato viene messo in sospensione dalle forzanti in gioco (onda e corrente), è stata imposta pari a 0,2 N/m², valore valido per sedimenti coesivi poco consolidati.
- Infine, la localizzazione del rilascio di sedimento (coincidente con la posizione della macchina), in differenti passi temporali della simulazione, è stata specificata nel modello MIKE 3 MT attraverso l'applicazione del cosiddetto "dredging module". Pertanto, durante il periodo delle attività di post-trenching, lo *spill* di sedimenti, all'interno del modello, si sposta lungo il tracciato della condotta, degli ombelicali e delle *flexible flowlines*, seguendo il cronoprogramma previsto delle operazioni, riportato in Tabella 8-3.

La simulazione idrodinamica realistica di lungo periodo e la disponibilità di un intero anno di dati di circolazione ha permesso un approccio per le simulazioni di trasporto di sedimento a "finestre mobili" [1]: per ogni mese di simulazione idrodinamica ha girato il modulo di trasporto di sedimento ad essa accoppiato, ipotizzando che le operazioni abbiano inizio il giorno 1 e il giorno 15 di ogni mese, in modalità separata, cosicché una simulazione non interferisca con la precedente e con la successiva. Il numero totale di simulazioni di trasporto di sedimento è così risultato pari a 24 (due al mese). A fronte della durata netta delle operazioni (circa 21 giorni, Tabella 8-2), ciascuna simulazione di MT dura 35 giorni, al fine di simulare l'evoluzione del pennacchio di torbida non solo durante le operazioni, ma anche nei giorni successivi fino ad un suo completo esaurimento (completa deposizione al fondo o presenza di concentrazioni trascurabili in colonna d'acqua nel dominio di calcolo).

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 48 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

Si sottolinea come l'approccio a finestre mobili risulti pienamente conforme ai contenuti delle già citate linee guida ISPRA del 2017 [1].

9.2 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI

I risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello MIKE 3 MT sono riportati nei paragrafi a seguire in termini di:


- distribuzione spaziale della **concentrazione massima annuale di sedimento sospeso, in termini totali** (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia) al fondo (Figura 9-6), a mezza colonna (Figura 9-7) ed in superficie (Figura 9-8). I massimi sono calcolati come valore medio dei massimi valori di concentrazione riscontrati durante ogni singola simulazione (24 simulazioni totali) su tutto il periodo delle simulazioni (35 giorni);
- distribuzione spaziale della **concentrazione massima stagionale di sedimento sospeso, in termini totali** (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia) al fondo (Figura 9-9, Figura 9-12, Figura 9-15 e Figura 9-18), a mezza colonna (Figura 9-10, Figura 9-13, Figura 9-16 e Figura 9-19) ed in superficie (Figura 9-11, Figura 9-14, Figura 9-17 e Figura 9-20). I massimi sono calcolati come valore medio dei massimi valori di concentrazione riscontrati durante le simulazioni facenti parte della stagione di riferimento (6 simulazioni totali per ogni stagione) su tutto il periodo delle simulazioni (35 giorni);
- distribuzione spaziale dell'**accumulo massimo annuale del sedimento sul fondo** (Figura 9-21), in termini totali (somma delle tre frazioni). I valori massimi vengono calcolati alla fine del periodo di simulazione (periodo di riferimento) sulle singole simulazioni e poi mediate sul numero totale di simulazioni (ossia 24).
- distribuzione spaziale dell'**accumulo massimo stagionale del sedimento sul fondo** (Figura 9-22, Figura 9-23, Figura 9-24 e Figura 9-25), in termini totali (somma delle tre frazioni). I valori massimi vengono calcolati alla fine del periodo di simulazione (periodo di riferimento) sulle singole simulazioni e poi mediate sulle 6 simulazioni di riferimento per ogni stagione.

Le mappe stagionali di seguito riportate sono state ottenute aggregando i dati sulle singole stagioni così raggruppate, per omogeneità idrodinamica e climatica:

- Inverno: gennaio, febbraio, marzo;
- Primavera: aprile, maggio, giugno;
- Estate: luglio, agosto, settembre;
- Autunno: ottobre, novembre, dicembre.

Si evidenzia che le mappe di concentrazione riportate nel seguito rappresentano i valori massimi raggiunti, in ogni punto del dominio, durante l'intero periodo di simulazione. Non sono pertanto rappresentativi di uno specifico istante temporale, ma individuano gli involuppi delle condizioni peggiori che si possono raggiungere in diversi istanti, durante il periodo di esecuzione delle operazioni.

La scelta del valore minimo di riferimento della concentrazione di sedimento rappresentabile nelle mappe illustrate non è immediata in quanto non esiste in assoluto un valore limite accettabile di concentrazione di sedimento sospeso, ma l'accettabilità o meno di concentrazioni di sedimento sospeso dipende in ogni caso dallo specifico contesto di

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 49 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

riferimento (ambiente ed ecosistema). A livello internazionale ([20] e [21]) la concentrazione di 2 mg/l viene diffusamente considerata la soglia al di sotto della quale l'acqua è da considerarsi "limpida" e per valori di concentrazione di sedimento inferiori a tale soglia nessuna specie può essere "perturbata". L'acqua inizia in genere ad essere definita "torbida" quando i valori di concentrazione di sedimento sospeso superano i 6÷10 mg/l.

Le mappe di concentrazione di sedimento sospeso su base annuale mostrano che il pennacchio di torbida rimane per lo più confinato al fondo, dove interessa una fascia larga alcuni km (generalmente tra 5 e 10 km, se si fa riferimento alla soglia di 2 mg/l, tra 1 e 4 km, se si fa riferimento alla soglia di 10 mg/l) e centrata sul tracciato delle *sealines*. Tuttavia, le concentrazioni maggiori, dell'ordine dei 1000 mg/l, si presentano esclusivamente in prossimità del tracciato e già ad una distanza di circa 1 km le concentrazioni si riducono significativamente e rientrano nell'ordine di 50 mg/l.

La distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso mette in evidenza che il materiale rimane confinato negli strati più profondi, con concentrazioni progressivamente più basse procedendo verso la superficie. Facendo riferimento a valori limite di 2 mg/l, il pennacchio di sedimenti raggiunge la superficie solo a basse profondità, comprese tra la costa e circa 12 m, seppur con valori molto bassi, mai superiori a 15 mg/l. Il valore di 10 mg/l in superficie viene superato esclusivamente in corrispondenza della trincea dragata, lungo il primo chilometro sottocosta.

Per meglio comprendere la distribuzione del pennacchio di torbida lungo la colonna d'acqua, è stata calcolata la concentrazione massima di sedimento sospeso lungo la verticale, in riferimento a 12 scenari (per evitare la sovrapposizione di due scenari diversi, sono stati infatti considerati in questa analisi solo quelli che hanno inizio il giorno 1 di ogni mese). Questa analisi, rappresentata in Figura 9-2, mostra che mediamente l'altezza di colonna d'acqua dal fondo dove rimangono confinati i sedimenti in sospensione (facendo riferimento alla soglia di 10 mg/l) è di circa 40 m nella zona offshore, ossia per profondità superiori a 400 m, è di circa 20 m nella fascia intermedia, compresa tra circa 400 m e 30 m di profondità, ed è di circa 5-10 m nella zona sottocosta, per profondità inferiori a 30 m. I sedimenti vengono pertanto rilasciati in prossimità del fondale, ma le granulometrie più fini, per effetto dell'avvezione e dispersione, tendono a disperdersi verso l'alto, interessando, nel caso di bassi fondali, l'intera colonna d'acqua.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
50 di
115

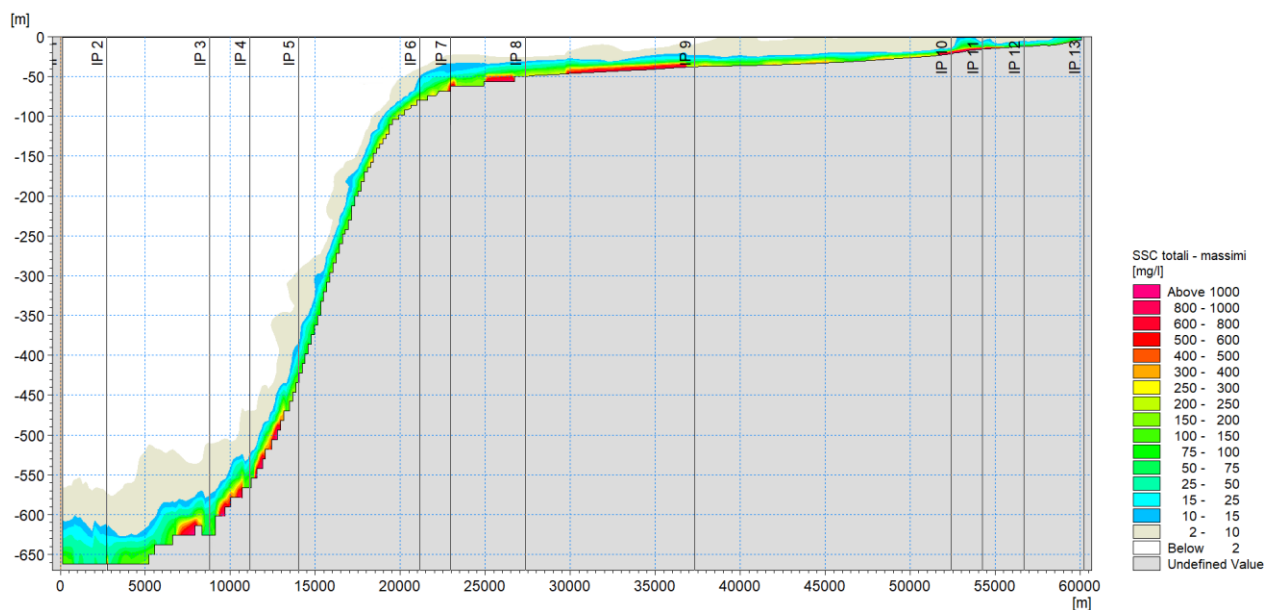


Figura 9-2: Esempio di concentrazione massima di sedimento sospeso lungo la verticale lungo il tracciato della condotta

I risultati mostrano inoltre che puntualmente le concentrazioni al fondo (ossia nello strato dove si presentano le concentrazioni più elevate) tendono ad esaurirsi, raggiungendo valori al di sotto della soglia di 2 mg/l, dopo un periodo di tempo variabile a seconda della particolare idrodinamica locale, ma comunque compreso tra 12 e 48 ore.

A titolo di esempio in Figura 9-3, Figura 9-4 e Figura 9-5 vengono riportati gli andamenti delle concentrazioni al fondo in tre punti (rispettivamente P1 - sottocosta, P2 - nella fascia intermedia, e P3 - al largo) lungo la trincea dragata, in corrispondenza dei punti presi a riferimento per l'analisi di onde e vento (sezione 4.3) e correnti (sezione 6.2). Per semplicità di visualizzazione ed analisi è stato riportato l'andamento per un solo mese (settembre) e considerando un valore massimo di concentrazione di sedimenti pari a 50 mg/l (asse y nelle immagini). Si osserva che i picchi rappresentano l'istante in cui in quello specifico punto avviene lo scavo della trincea e, a seconda delle condizioni idrodinamiche che si instaurano localmente, il picco di concentrazione persiste per un certo tempo variabile.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
51 di
115



Figura 9-3: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P1 sottocosta (E 433203 m, N 4095240 m), lungo la condotta, per il mese di settembre

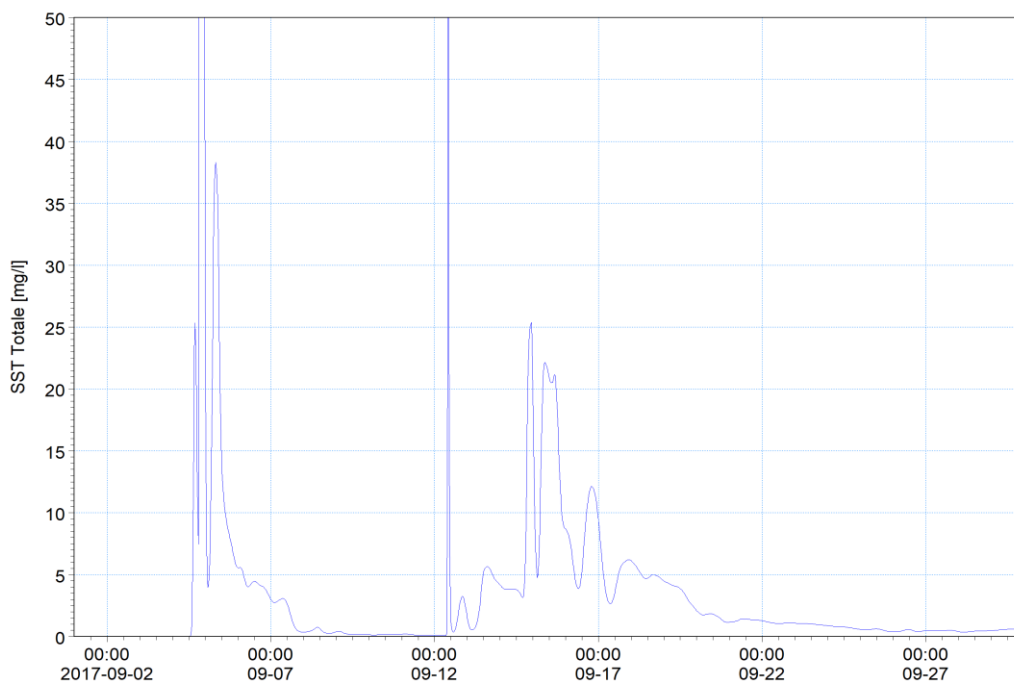



Figura 9-4: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P2 (E 416361 m, N 4096911 m) nella zona intermedia, lungo la condotta, per il mese di settembre

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 52 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

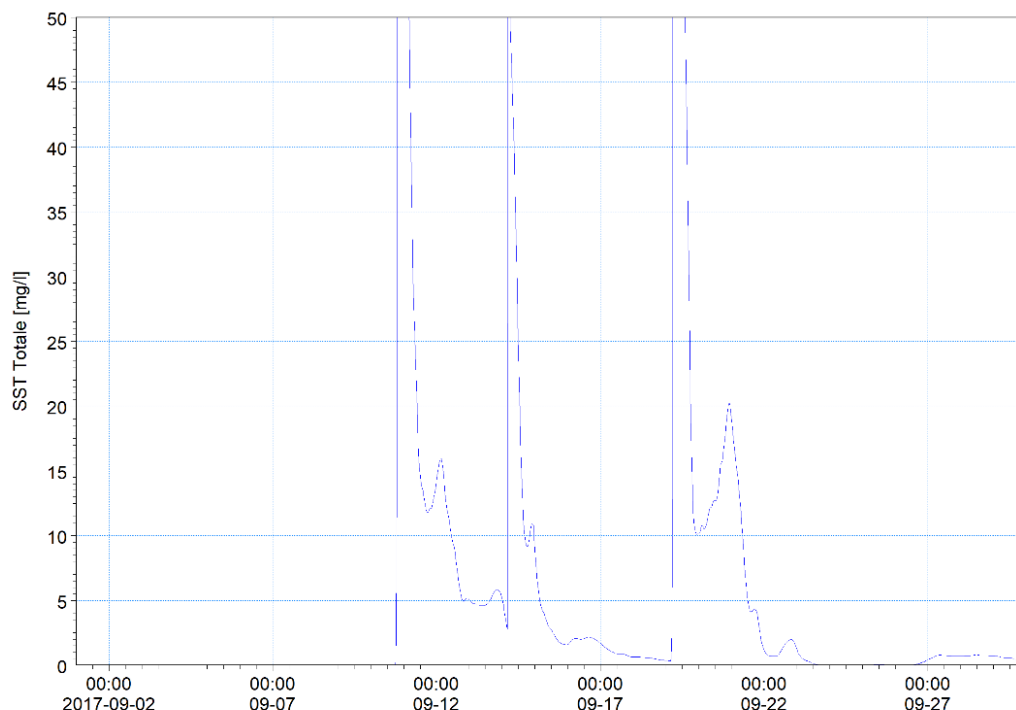



Figura 9-5: Esempio di andamento della concentrazione di sedimenti al fondo nel punto P3 (E 388582 m, N 4084619 m) al largo, lungo la condotta, per il mese di settembre

Si evidenzia inoltre che, come esposto precedentemente, le onde ricoprono un ruolo significativo nel processo di messa in sospensione del sedimento a partire da circa 20 m di profondità. In questa fascia pertanto risulta importante non solo il fenomeno di avvezione-dispersione generato dall'idrodinamica locale, ma anche e soprattutto la risospensione del sedimento interessato dalle operazioni per effetto delle tensioni al fondo generate dalle onde.

Il comportamento descritto su base annuale può ritenersi analogo anche per tutte le stagioni: si osserva che durante le stagioni estiva e primaverile il pennacchio tende a rimanere confinato maggiormente sul fondo: rispetto alle stagioni invernale e autunnale, il pennacchio infatti risulta più esteso al fondo e meno esteso in superficie. Questa circostanza, osservabile sulle medie-basse profondità, deriva dal fatto che i mesi estivi sono caratterizzati da una forte stratificazione termica (sezione 6.2), fattore particolarmente influente sull'eventuale risalita in superficie dei sedimenti rilasciati. Al contrario, i mesi invernali sono contraddistinti da una colonna d'acqua completamente rimescolata, quindi con una differenza di densità tra il fondo e la superficie molto limitata. Nei mesi più freddi si perde pertanto l'effetto di confinamento dei sedimenti indotto da un termocline ben sviluppato, così come accade nei mesi estivi.

Le tre frazioni granulometriche considerate, argilla, limo e sabbia, presenti in percentuali differenti, presentano una diversa velocità di sedimentazione che comporta un maggiore o minore tempo di permanenza del sedimento nella colonna d'acqua. In generale, il modello ha evidenziato che il plume di sedimenti sospesi è determinato per lo più dalla frazione argillosa: i risultati ottenuti per i sedimenti totali e per la sola frazione d'argilla sono infatti del tutto analoghi, in termini di valori di concentrazione e di forma e dimensione del plume. Il plume di sedimenti per le altre due frazioni interessa invece una zona molto ristretta e rimane maggiormente confinato in prossimità del fondo.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 53 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

Dal punto di vista del sedimento depositato si osserva un accumulo massimo dell'ordine di un paio di centimetri che si verifica lungo il tracciato interessato dalle operazioni di post-trenching. Se si considerano depositi minimi di materiale pari a mezzo millimetro, la fascia interessata è ampia circa 500-600 m centrata sul tracciato delle *sealines*.

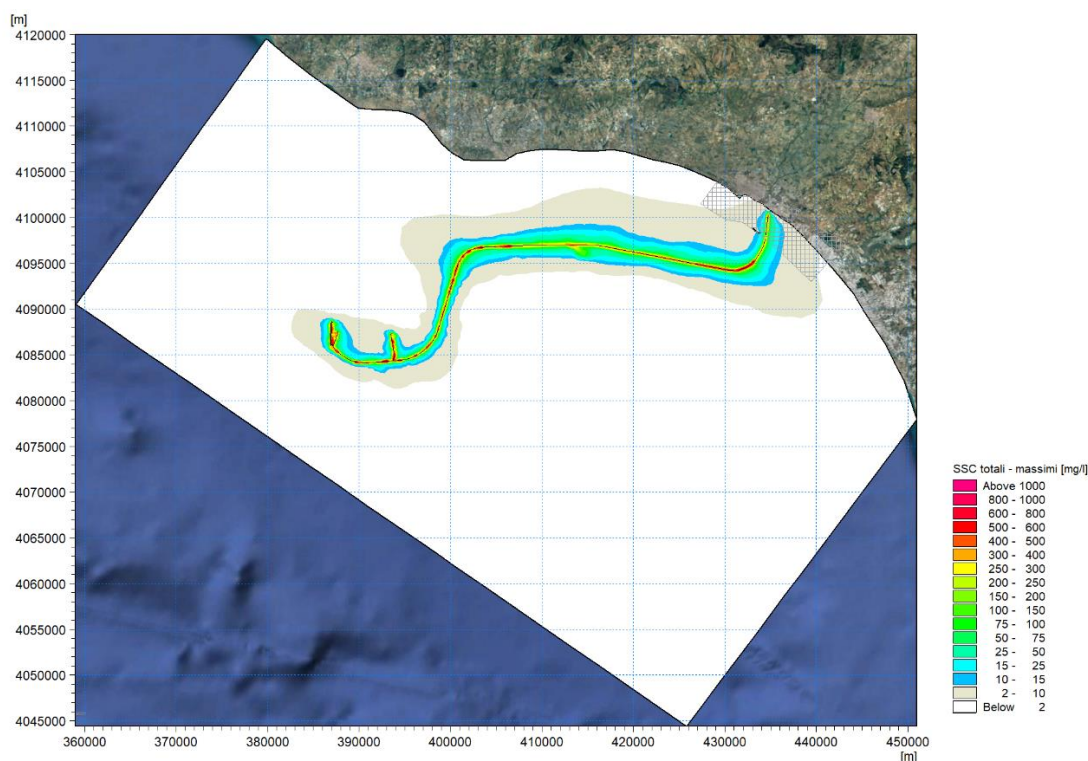


Figura 9-6: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
54 di
115

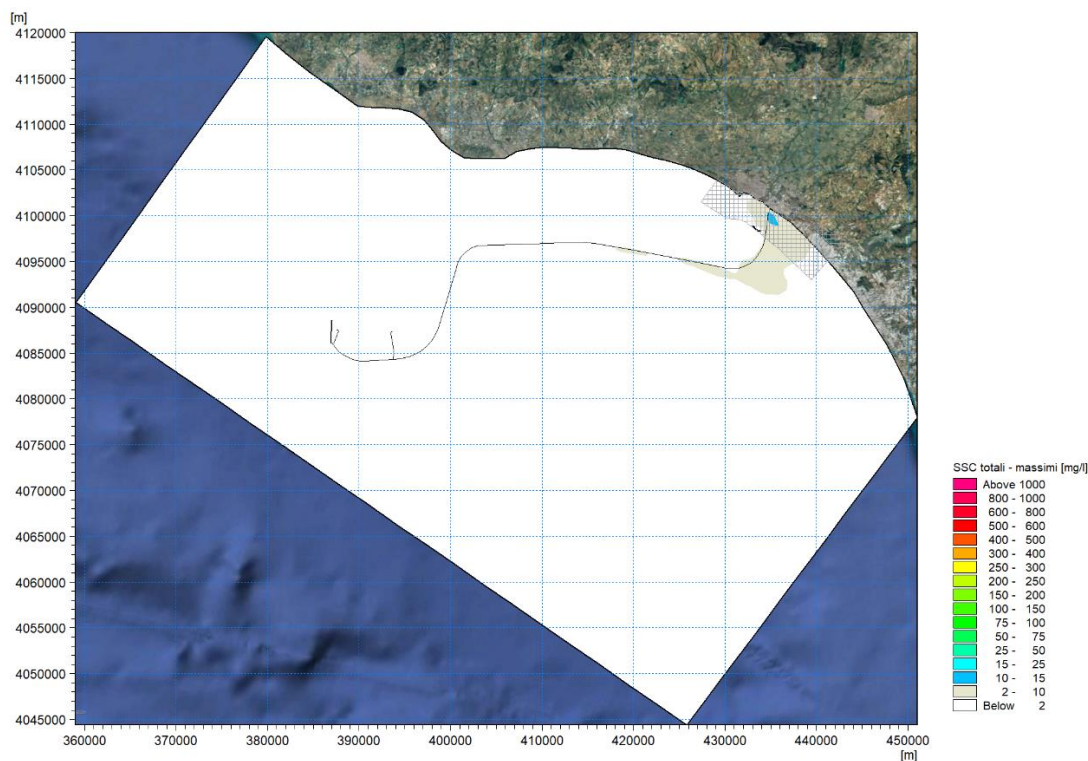


Figura 9-7: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

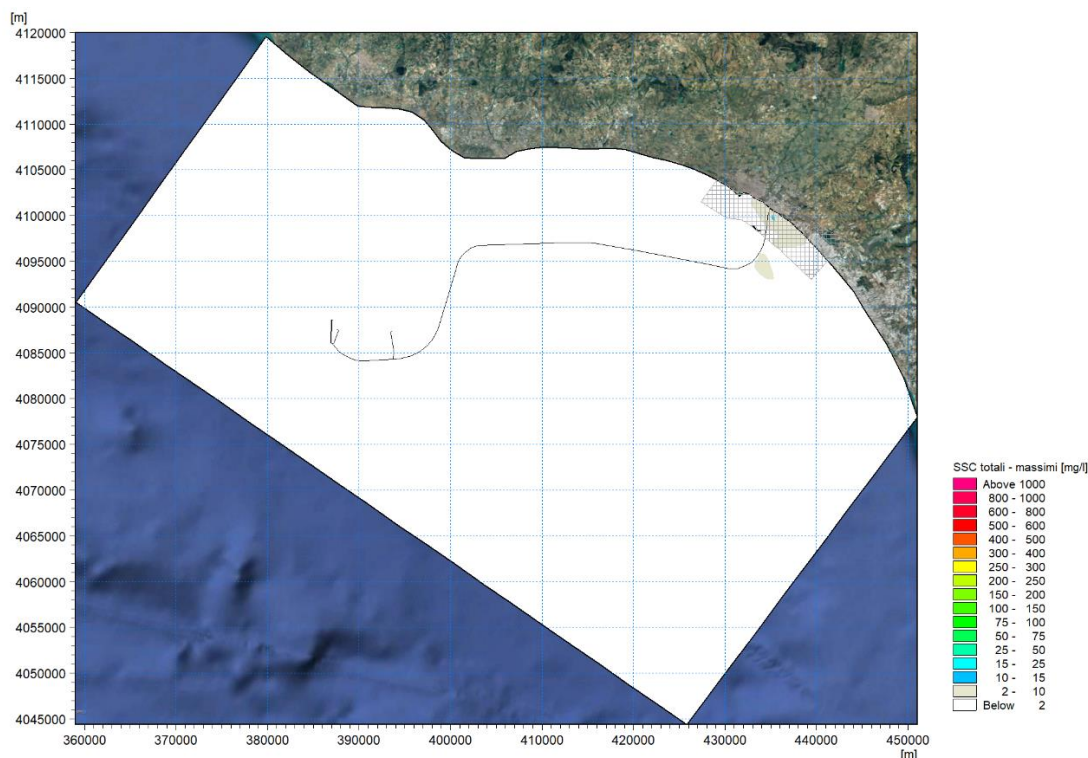


Figura 9-8 Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
55 di
115

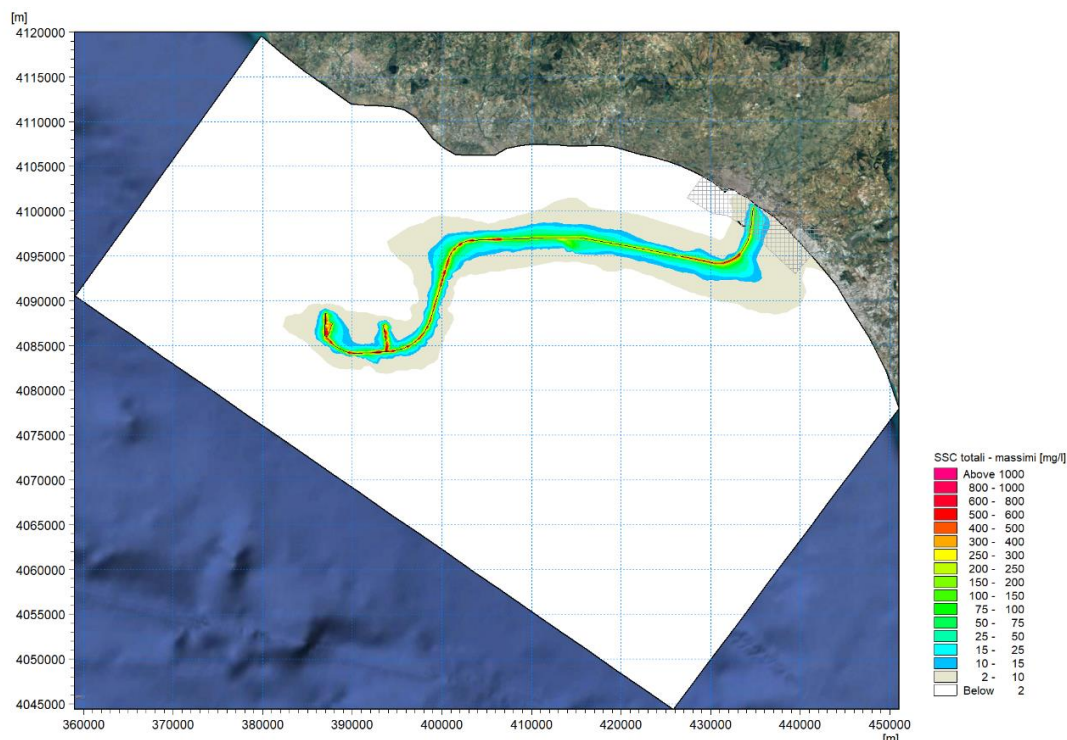


Figura 9-9 Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

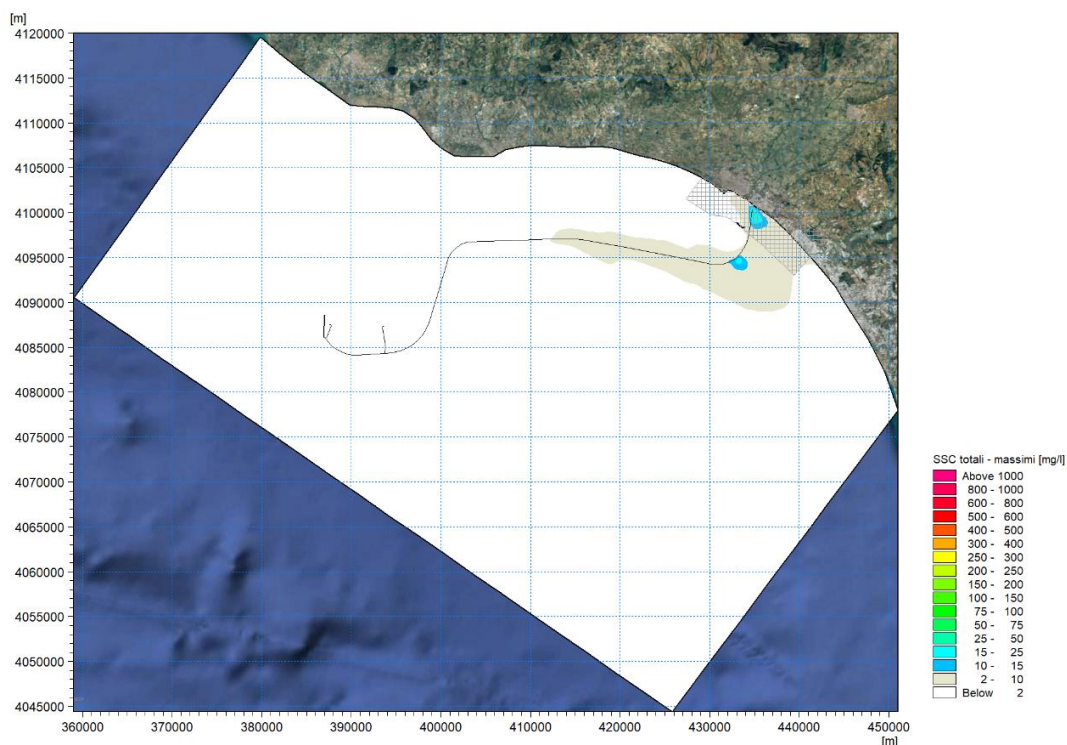


Figura 9-10 Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
56 di
115

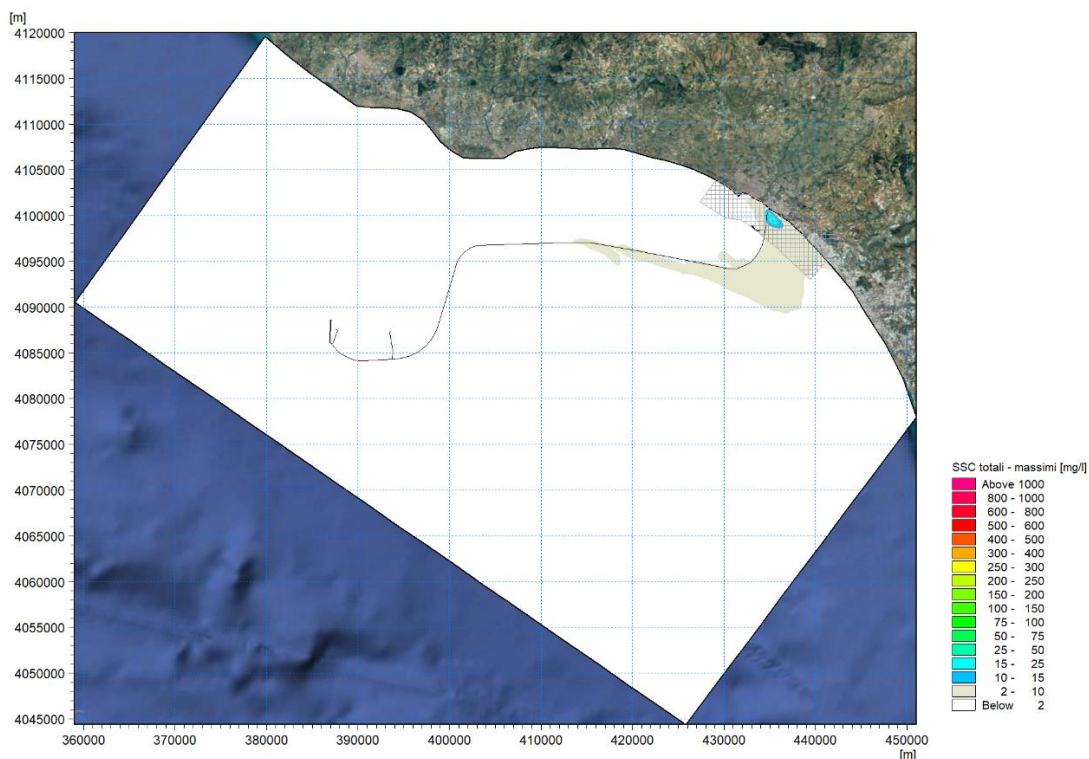


Figura 9-11: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

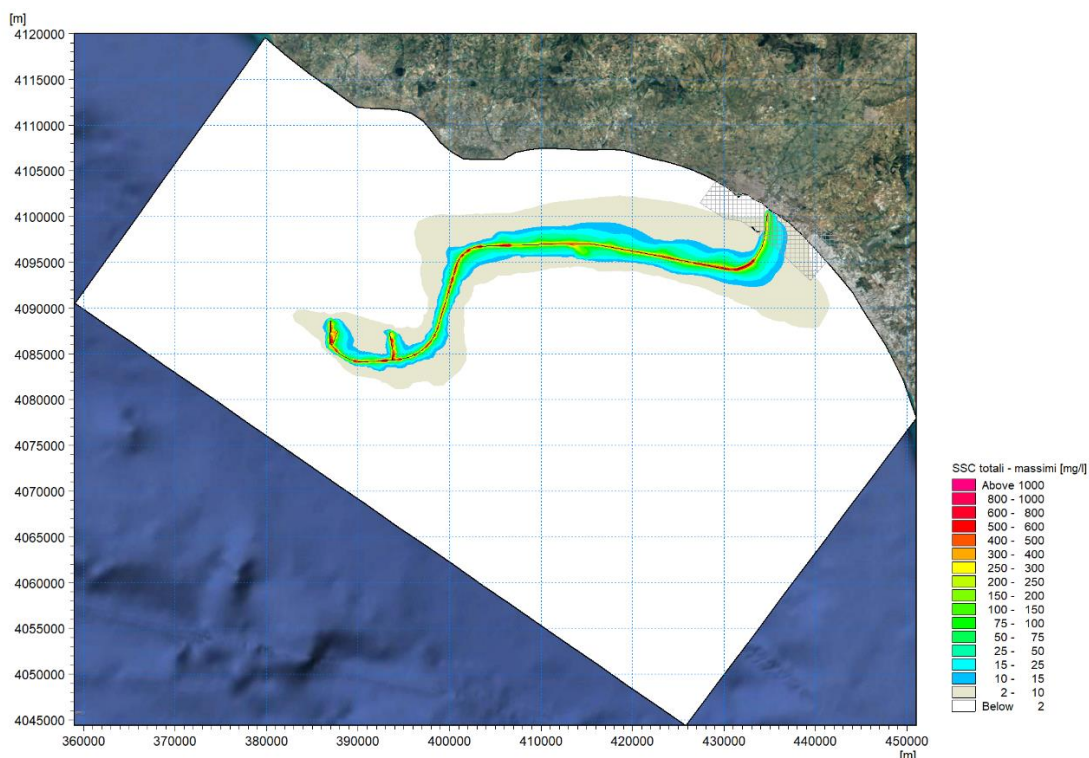


Figura 9-12: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
57 di
115



Figura 9-13: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Figura 9-14: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
58 di
115

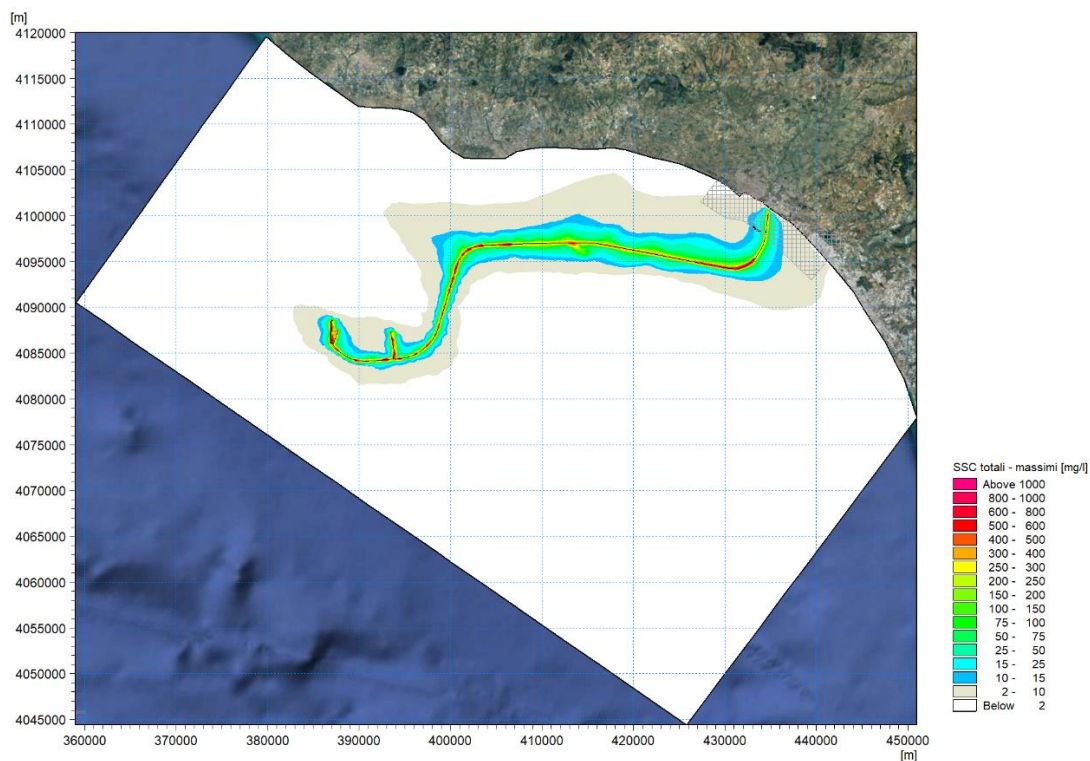


Figura 9-15: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

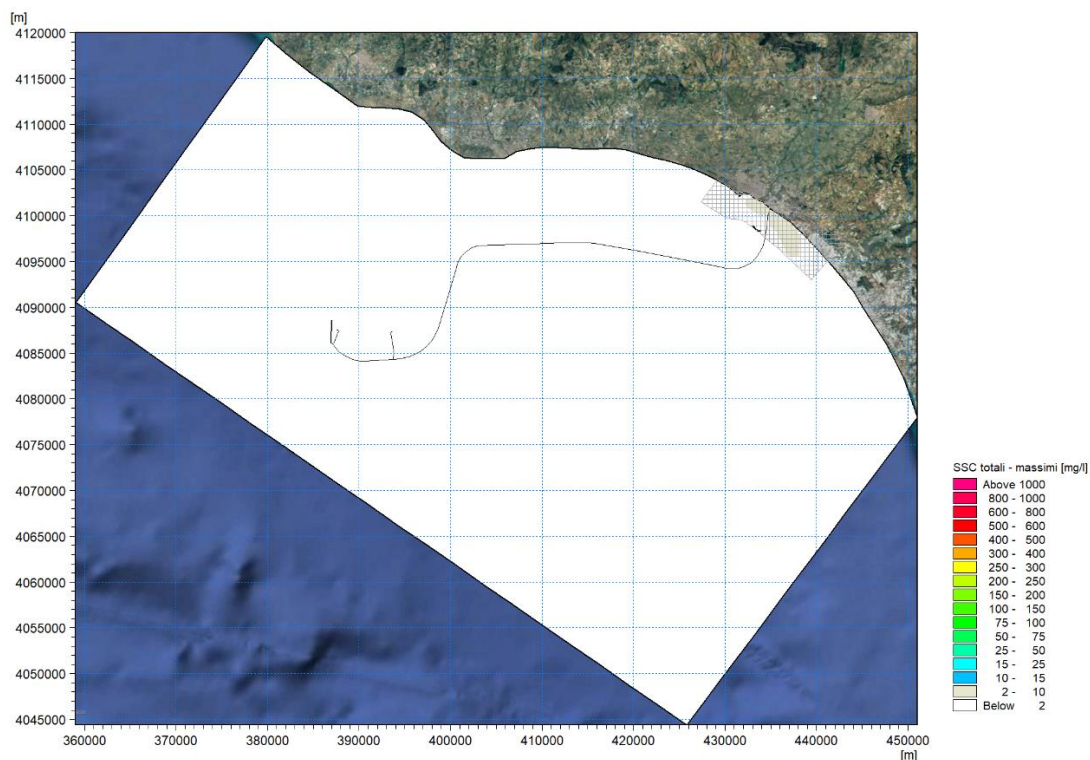


Figura 9-16: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

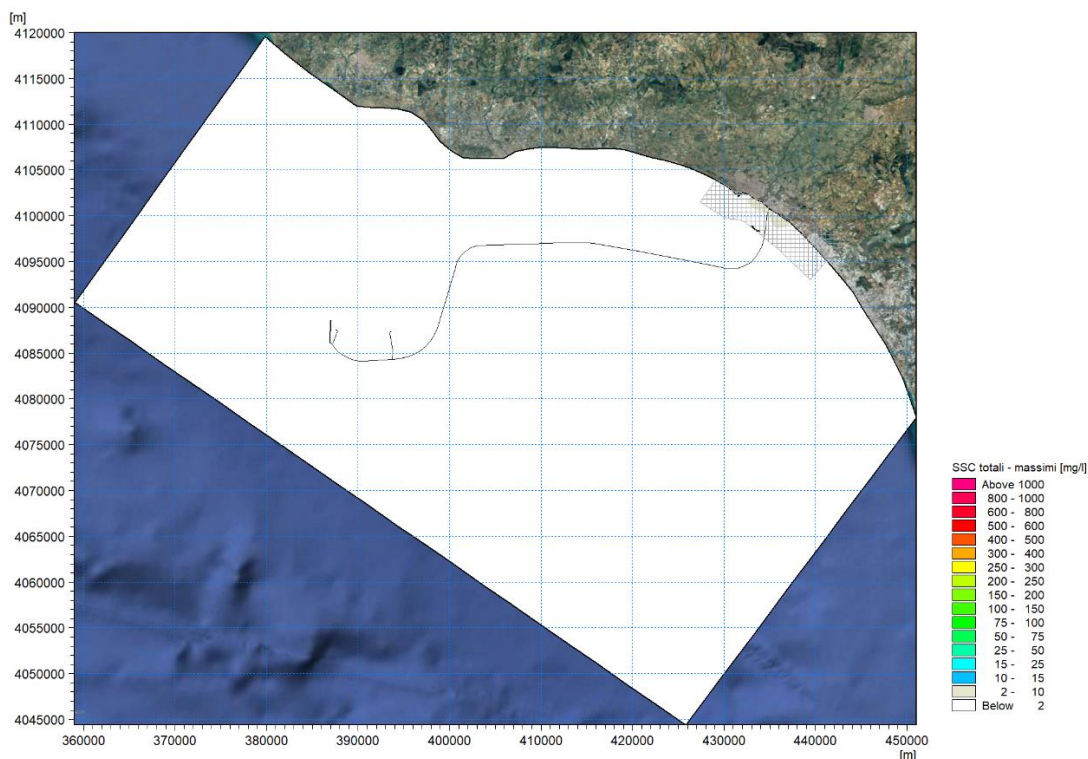


Figura 9-17: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

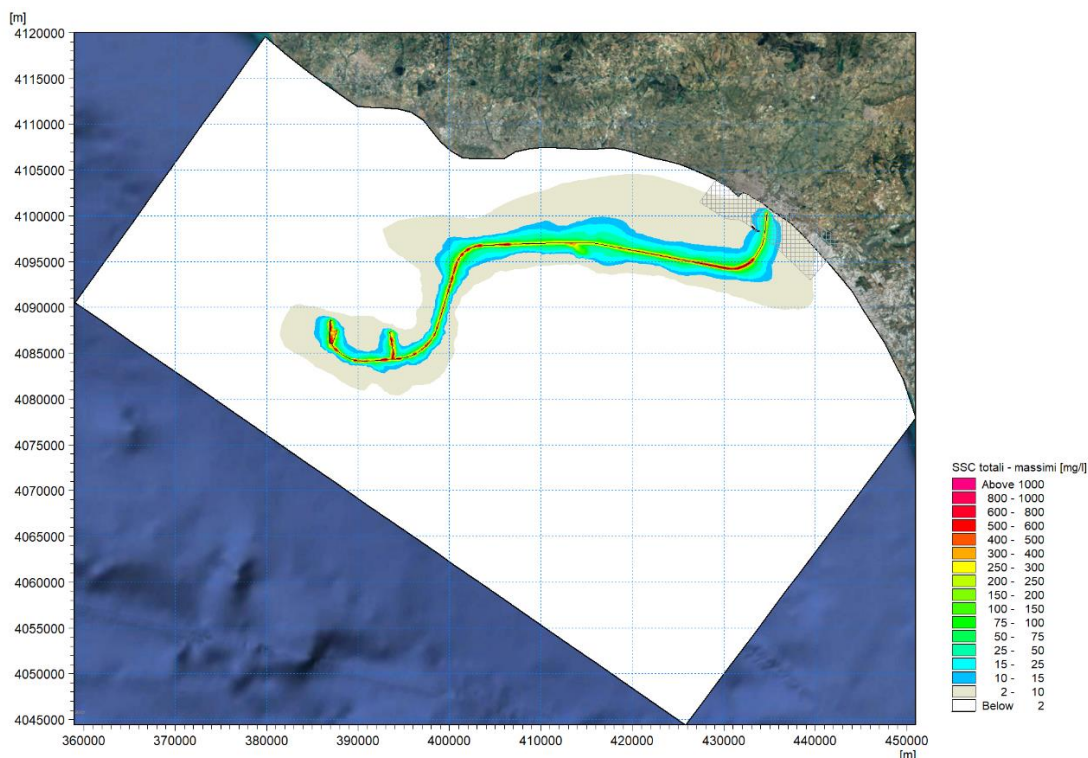


Figura 9-18: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi al fondo su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
60 di
115

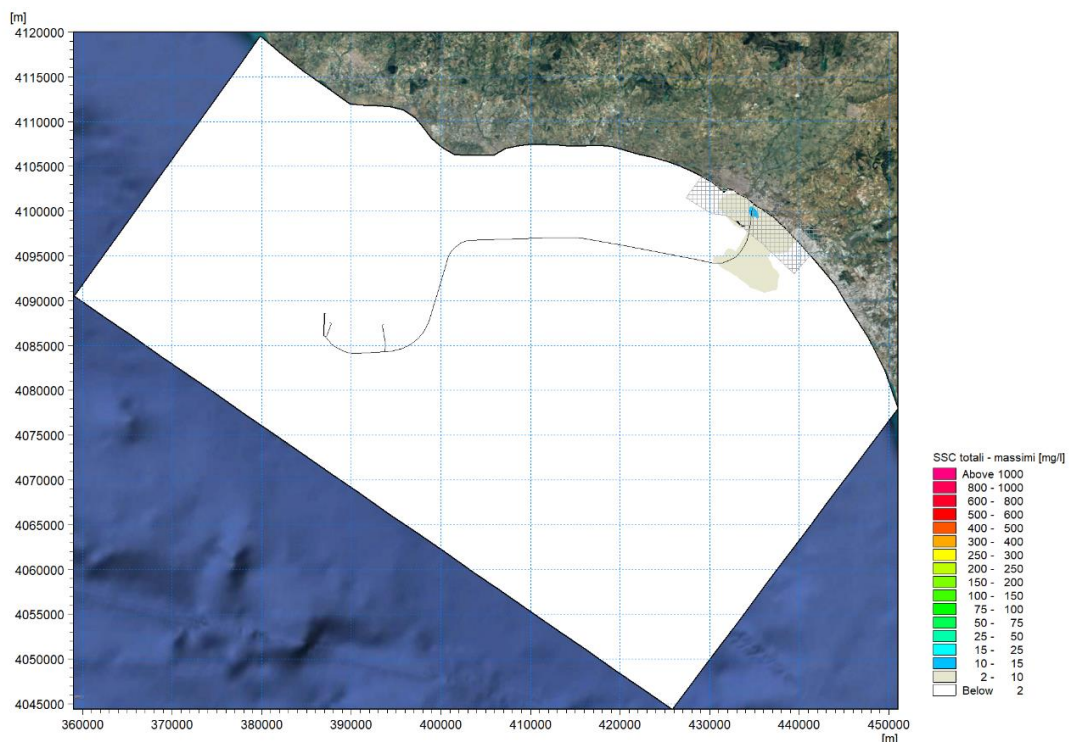


Figura 9-19: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi a profondità intermedia su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

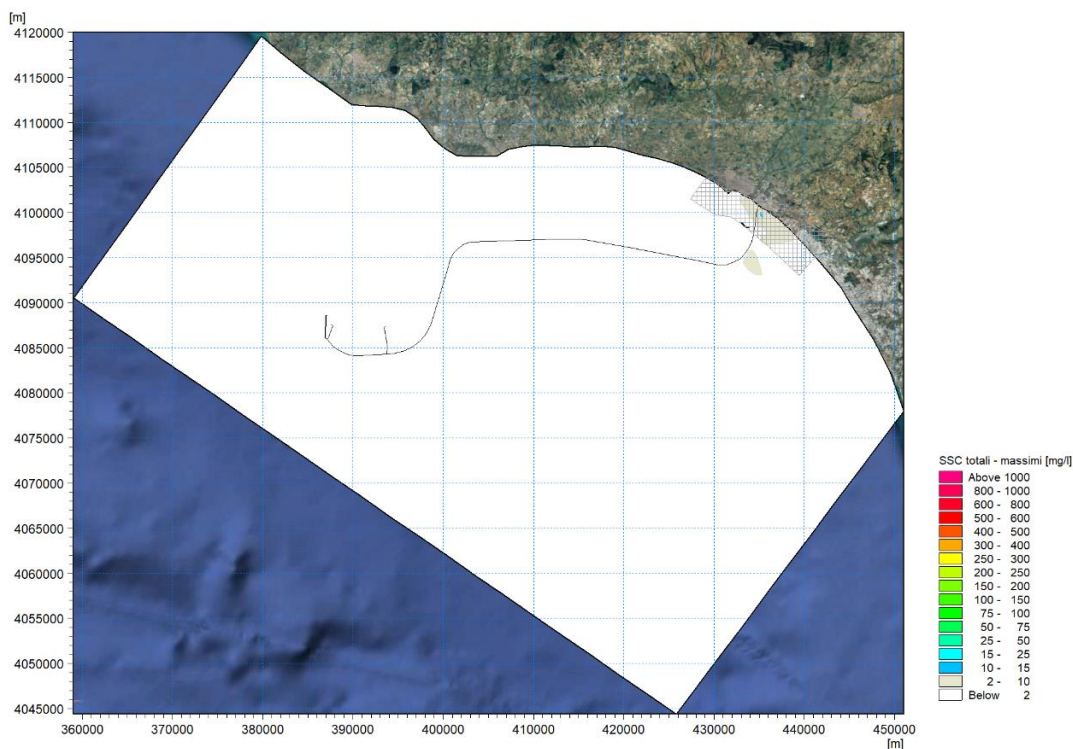


Figura 9-20: Mappa delle concentrazioni massime di sedimenti sospesi in superficie su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
61 di
115

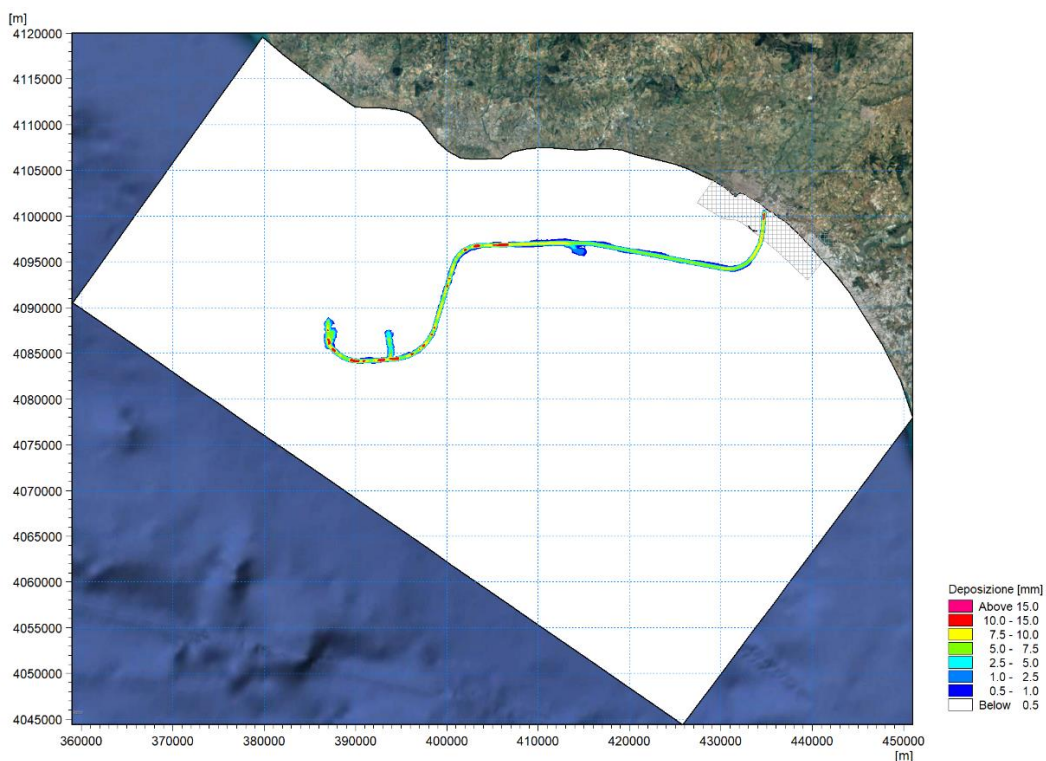


Figura 9-21: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

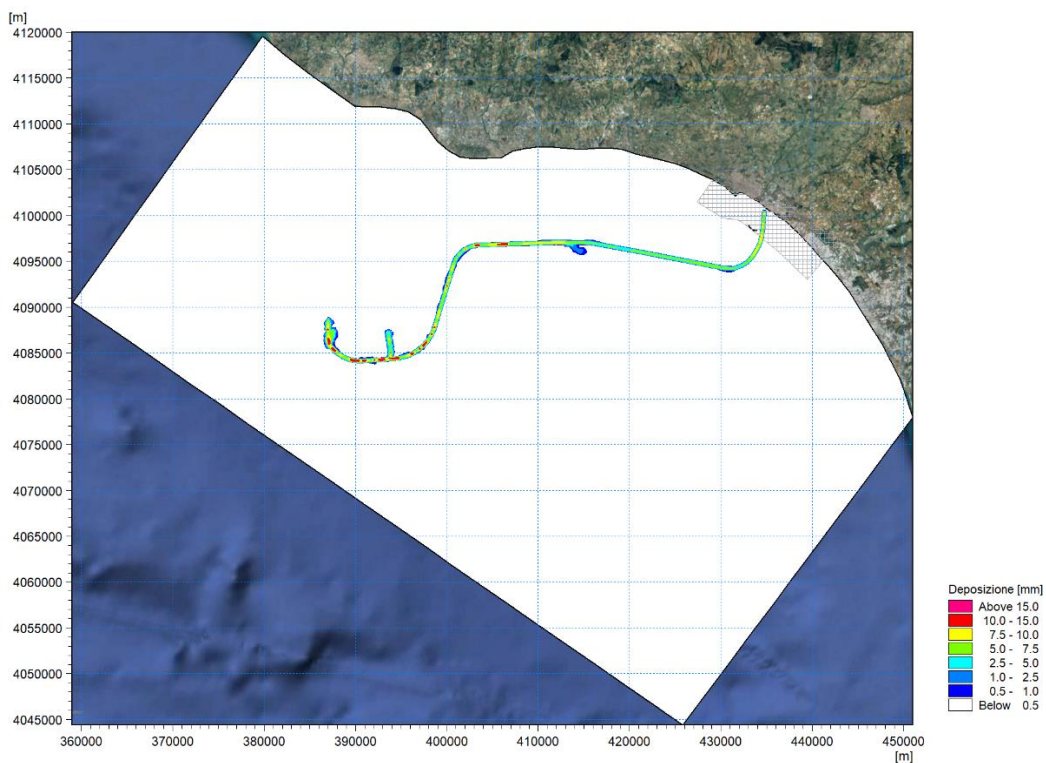


Figura 9-22: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
62 di
115

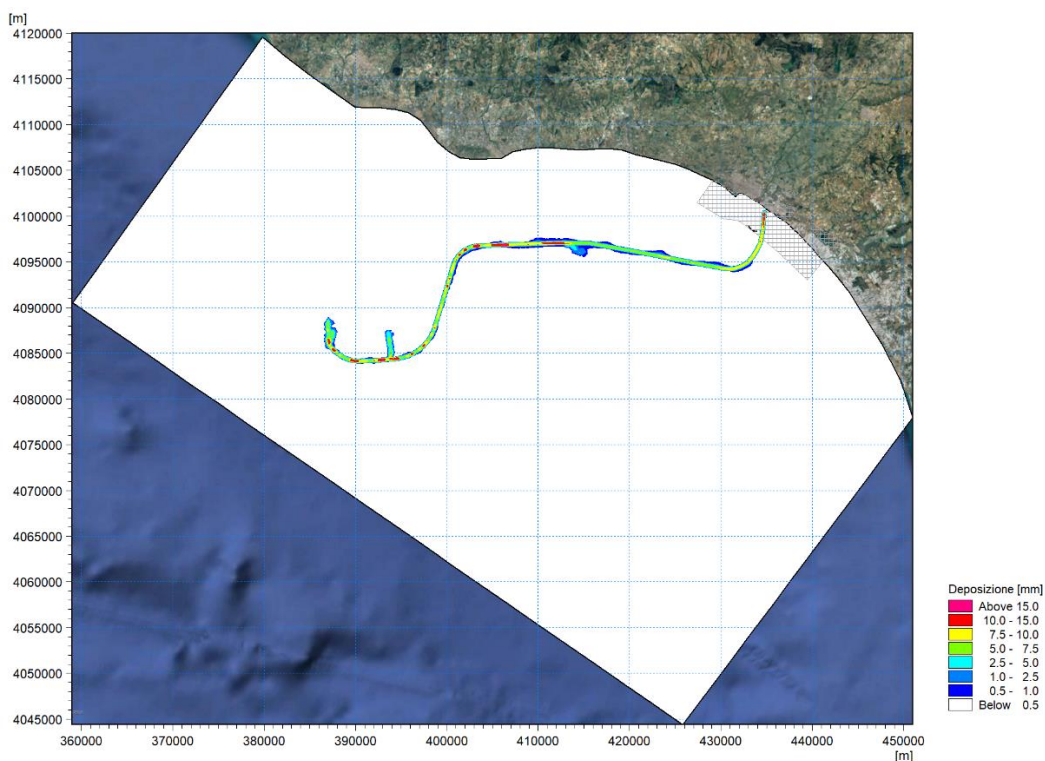


Figura 9-23: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

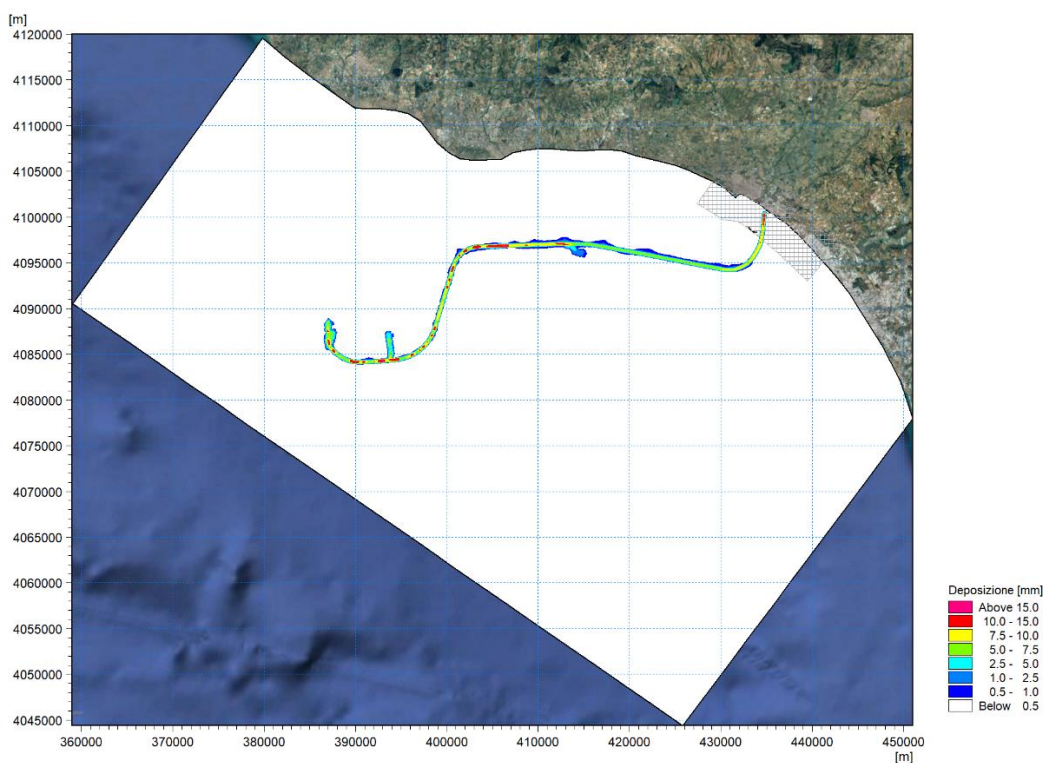


Figura 9-24: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

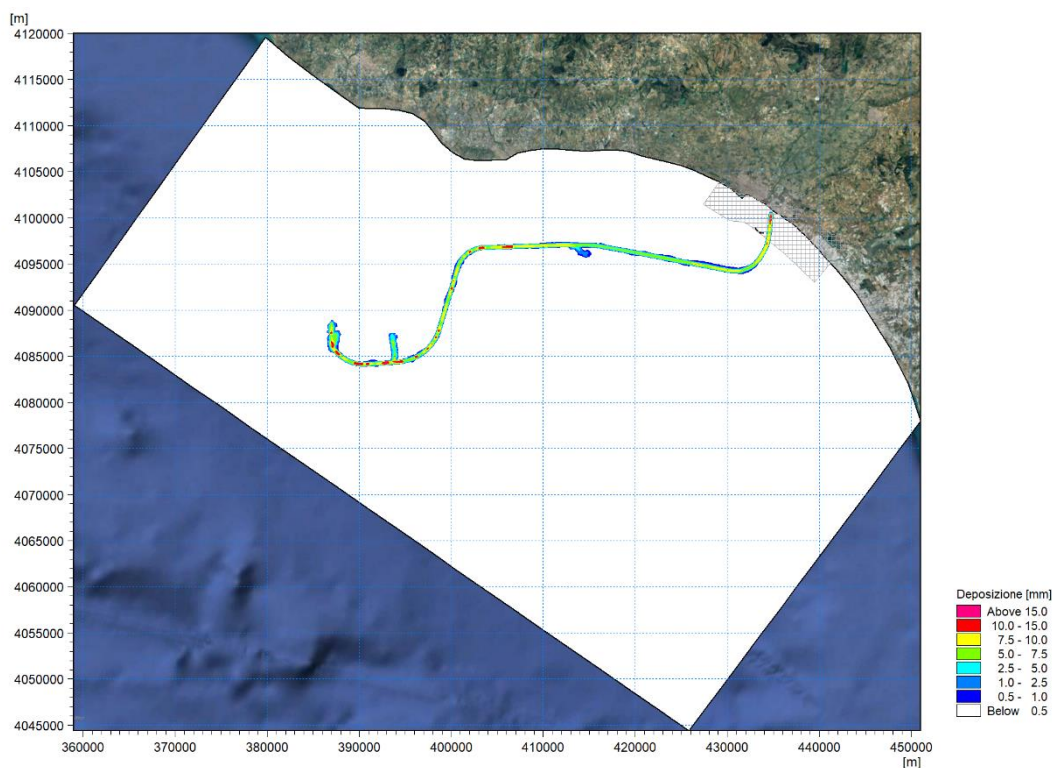
Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**


**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
63 di
115



**Figura 9-25: Mappa della deposizione massima di sedimenti su base stagionale –
autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN**

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 64 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

10 ANALISI DEL CAMPO DI MOTO INDOTTO DAI MEZZI NAVALI IMPIEGATI

Nell’ambito degli approfondimenti richiesti dalla prescrizione Ministeriale riportata in premessa al presente documento, è richiesto di definire ed analizzare i campi di corrente e le onde anomale (“*Bernoulli Wake*” - generate dai mezzi navali impiegati durante l’esecuzione dei lavori) che si propagano anche verso il basso fondale dando luogo a “stress” ed alla conseguente risospensione dei sedimenti.

Si evidenzia che nel seguito si è assunto che tali mezzi navali, in virtù delle loro dimensioni e del pescaggio, vengano utilizzati a supporto delle operazioni di movimentazione dei sedimenti che avvengono al largo dell’esistente pontile e pertanto che non interessino le profondità inferiori a circa 10 m.

Il campo di moto indotto dal treno d’onde prodotto da un mezzo navale in movimento (*Bernoulli wake*) può infatti, in talune condizioni, raggiungere il fondale ed erodere il sedimento, determinandone la risospensione ed il successivo trasporto ad opera delle correnti a cui è soggetto il sito.


In generale, si può affermare che tale effetto è tanto più marcato quanto maggiore è la velocità del mezzo navale e quanto più ridotta è la profondità nella quale tali mezzi si trovano ad operare.

Nel caso in esame, i fondali interessati dalle operazioni di posa delle sealines presentano in generale profondità elevate: gli ombelicali e le flexible flowline sono localizzate a profondità sempre superiori a 550 m, mentre la condotta rigida presenta solo il 16% dello sviluppo complessivo del tracciato – circa 10 km su 61 km - a profondità inferiori ai 30 m. Inoltre, in considerazione delle velocità delle operazioni, descritte alla sezione 8, i mezzi navali a supporto delle operazioni procederanno con velocità dell’ordine di 0,1-0,3 nodi. Queste circostanze sono tali da inibire l’eventualità che le *Bernoulli wakes* possano interessare il fondale con intensità tale da determinare la risospensione del sedimento.

Al fine di supportare tale affermazione, è stata effettuata una dettagliata analisi dei risultati delle simulazioni del campo di moto indotto dal passaggio di mezzi navali (prevalentemente proprio per l’effetto della scia non viscosa, *Bernoulli wake*) effettuata mediante l’applicazione del modello SHIPFLOW.

Le simulazioni effettuate hanno fatto riferimento ad un mezzo navale delle dimensioni indicativamente pari a quelle delle imbarcazioni che si suppone verranno utilizzate a supporto delle operazioni [15]. Si sono inoltre considerate due differenti velocità del mezzo (6 nodi e 4 nodi) e 3 differenti profondità (30 m, 16 m, 11 m).

In Figura 10-1 è riportato a titolo di esempio un risultato del modello SHIPFLOW.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 65 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

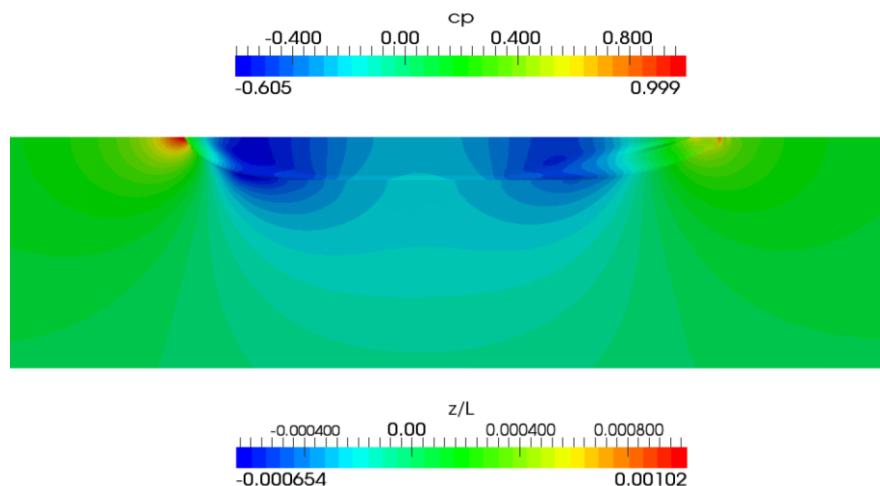


Figura 10-1: Esempio dell'elevazione non dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (Cp) sulla superficie della carena (Prora a sinistra)

I risultati analizzati delle simulazioni del modello SHIPFLOW hanno evidenziato che alla profondità di 30 m, considerando una velocità di avanzamento della nave pari a 6 nodi, il valore massimo di velocità di corrente che si ottiene al fondo è dell'ordine di 0,14 m/s. Questa velocità risulta via via più elevata al ridursi della profondità: a 16 m presenta un valore di circa 0,37 m/s, mentre a 11 m la velocità aumenta a circa 0,60 m/s.

Per verificare l'eventuale messa in sospensione del sedimento in presenza di tali velocità di corrente, sono state calcolate le relative tensioni tangenziali al fondo (*shear stress*). La risponzione del sedimento dipende infatti dal rapporto tra le forze che tendono a erodere il fondale, ivi compreso l'effetto delle *Bernoulli Wakes*, e la resistenza offerta dal sedimento stesso, funzione della composizione granulometrica e soprattutto (nel caso di sedimenti fini) dal grado di compattamento (*shear stress* critico).

Per questa analisi, noto il modulo della velocità massima $V_{b,max}$ generata per effetto delle *Bernoulli Wake* ad una certa distanza z dal fondo, il valore della velocità tangenziale U_f può essere calcolato con la seguente formulazione:


$$\frac{V}{U_f} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{K}\right)$$

dove k è la costante di Von Karman, pari a 0,407, e K è la scabrezza equivalente. In questo caso il valore di V è fatto coincidere con il valore di $V_{b,max}$.

Inoltre, la velocità tangenziale U_f può essere espressa in funzione della tensione tangenziale al fondo τ :

$$U_f = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

L'erosione del fondale avviene laddove la tensione tangenziale al fondo τ risulta maggiore della tensione tangenziale critica τ_c , assunta nel nostro caso pari a 0.20 N/m². Tale valore, in assenza di specifiche misure in-situ, è stato stimato sulla base delle analisi dei parametri misurati e modellati da DHI in centinaia di casi di studio a livello internazionale [19]. Il valore fa riferimento ad un grado di consolidamento medio-basso, in quanto si ritiene che il sedimento, rilasciato nella colonna d'acqua durante le operazioni di scavo della trincea, abbia

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 66 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

tempo di consolidarsi poco. Il valore è stato assunto valido indipendentemente dalla granulometria.

Utilizzando la relazione per calcolare lo *shear stress*, risulta che il valore di τ rimane inferiore a quello critico ($0,20 \text{ N/m}^2$) per valori di velocità V non superiori a $0,24 \text{ m/s}$. Pertanto, mentre alla profondità di 30 m il passaggio dei mezzi navali a velocità comprese tra 4 e 6 nodi determina tensioni tangenziali al fondo (pari a circa $0,07 \text{ N/m}^2$) al di sotto del valore limite, nella fascia costiera si potrebbero verificare tensioni in grado di mettere in sospensione del sedimento al fondo. Infatti, nella fascia compresa tra profondità di 16 m e 11 m , lo *shear stress* risulta variabile tra circa $0,5 \text{ N/m}^2$ e $1,3 \text{ N/m}^2$.

Tali risultati confermano quanto segue:

- per fondali caratterizzati da una profondità superiore a 30 m (nel caso di studio si tratta di circa l'84% del tracciato complessivo) il campo di moto indotto per effetto della scia non viscosa (*Bernoulli Wake*) non è mai in grado di generare valori di intensità di corrente tali da determinare la messa in sospensione dei sedimenti costituenti il fondale, anche per velocità del mezzo (6 nodi) di un ordine di grandezza superiore alle velocità attese per i mezzi navali a supporto delle operazioni di posa delle *sealines*;
- in acque meno profonde, per fondali compresi tra circa 30 e 10 m di profondità, si può affermare che la messa in sospensione del sedimento ad opera della scia non viscosa indotta dal movimento dei mezzi navali può innescarsi, ma nel caso in cui il mezzo navale si muova ad una velocità di $4 \div 6$ nodi. In virtù delle velocità previste per i mezzi navali nell'ambito del presente studio (di un ordine di grandezza inferiore) è tuttavia da attendersi un effetto assai modesto o nullo di messa in sospensione dei sedimenti per effetto della scia non viscosa (*Bernoulli Wake*).



11 TORBIDITÀ NATURALE GENERATA DA UNA MAREGGIATA TIPICA

Al fine di meglio comprendere l'effettivo impatto delle operazioni dal punto di vista della torbidità, i valori di tensione tangenziale al fondo e le conseguenti concentrazioni di sedimento sospeso sono stati messi a confronto con quelli indotti da una mareggiata tipica per il sito di interesse.

Come mareggiata di riferimento è stata considerata quella avvenuta ad inizio Marzo 2017 (picco di mareggiata: 07/03/2017 ore 15:00) le cui caratteristiche, in termini di altezza d'onda significativa nel tempo, in un punto al largo e in un punto sottocosta, alla profondità di circa 10 m, sono mostrate in Figura 11-1. Il punto sottocosta è stato selezionato lungo il tracciato della condotta ad una profondità di circa 11 m.

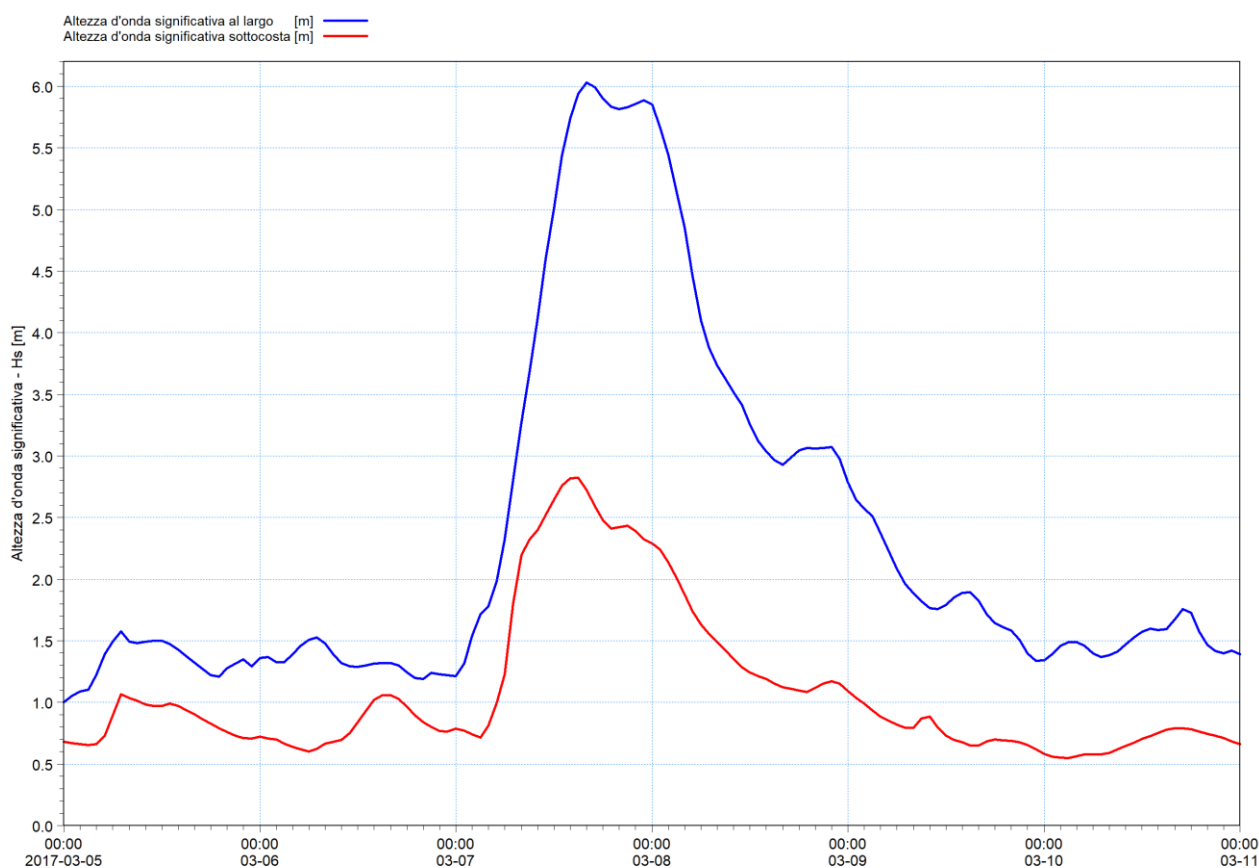



Figura 11-1: Rappresentazione delle altezze d'onda significative al largo e sottocosta durante la mareggiata studiata. Periodo: 05.03.2017-10.03.2017

È stato quindi applicato il modello MIKE 3 MT per calcolare le tensioni al fondo generate nella fascia litoranea da questa mareggiata, i volumi di sedimento che potenzialmente vengono messi in sospensione e le relative concentrazioni in colonna d'acqua.

Il modello MIKE 3 MT è stato costruito utilizzando le stesse impostazioni descritte al Capitolo 9 in termini di forzanti (idrodinamica e onde), batimetria, dominio di calcolo e caratteristiche granulometriche. In questo caso, il fondale naturale è stato considerato erodibile e la tensione tangenziale critica al fondo è stata imposta pari a $0,3 \text{ N/m}^2$. Nello studio della dispersione dei sedimenti a seguito delle attività di post-trenching (Capitolo 9), il fondale naturale era stato

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 68 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

invece considerato non erodibile, con l'unica eccezione per il sedimento depositato a seguito delle operazioni.

In Figura 11-2 è indicato come varia, durante l'evoluzione della mareggiata, la tensione tangenziale al fondo in alcuni punti posti lungo il tracciato della condotta, a profondità variabili tra circa 5 m (zona terminale della condotta) e circa 30 m, dove l'azione delle onde sul fondale può considerarsi trascurabile. Si osserva che i valori massimi variano tra circa 4 N/m², a -5 m, e circa 0,3 N/m², a -30 m.

Si evidenzia che le tensioni tangenziali presentano valori pari a circa il triplo rispetto a quelle generate dalle Bernoulli Wakes nel caso più conservativo di mezzo navale che attraversa profondità di 16 e 11 m a velocità di 4-6 nodi.

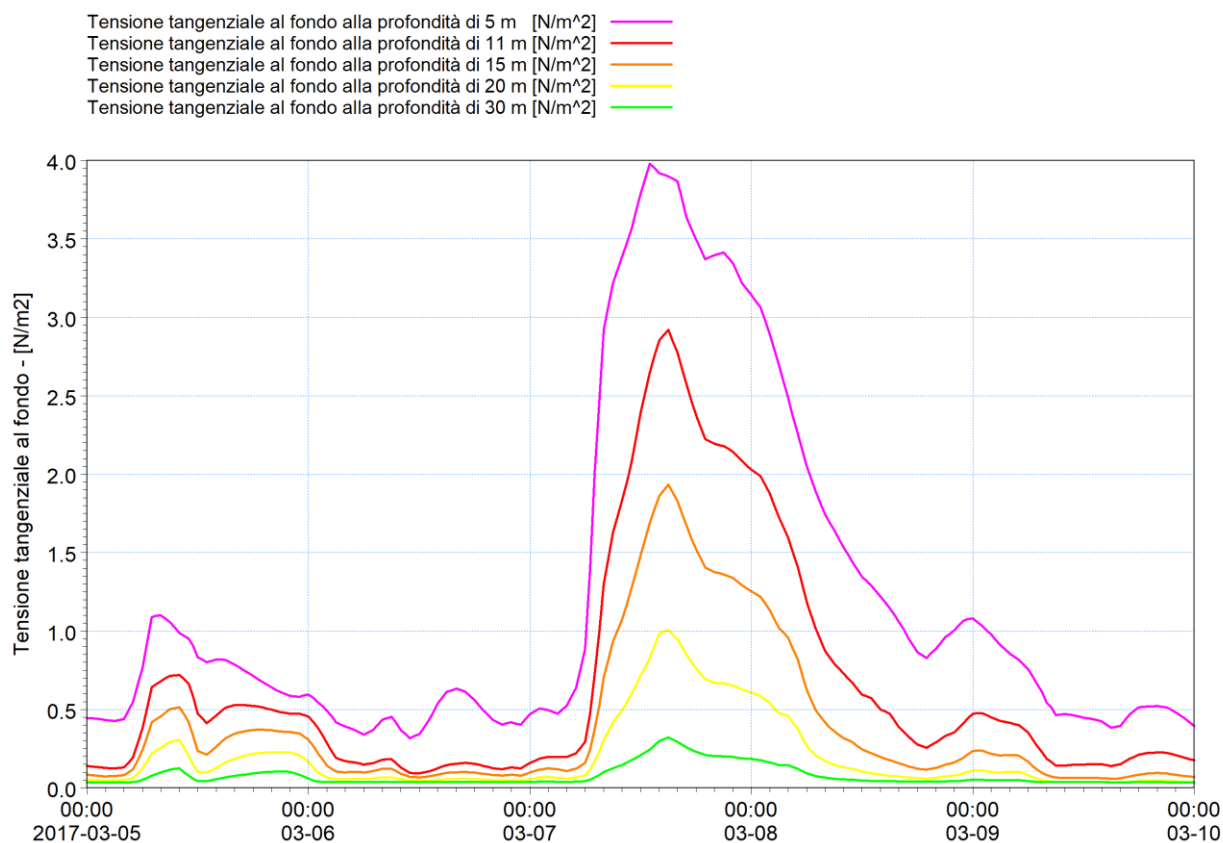



Figura 11-2: Andamento della tensione tangenziale al fondo durante lo sviluppo della mareggiata in studio (Figura 11-1). La rappresentazione è relativa a 5 diverse profondità lungo il tracciato della condotta: 5 m, 11 m, 15 m, 20 m, 30 m

Dal punto di vista delle concentrazioni (Figura 11-3), avendo imposto come tensione tangenziale critica al fondo un valore pari a 0,3 N/m², la profondità di 30 m rappresenta la profondità limite di naturale messa in sospensione dei sedimenti in caso di mareggiata.

Nella fascia litoranea più vicina a costa, ossia indicativamente fino ad una profondità di circa 10 m, i valori massimi di concentrazione di sedimenti messi in sospensione durante una mareggiata nello strato di fondo sono paragonabili (ossia superiori a 500 mg/l) ai valori massimi di concentrazione al fondo che si verificano lungo il tracciato durante le operazioni.

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 69 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

Si ricorda che a circa 1 km di distanza dal tracciato delle *sealines*, nello strato di fondo, i valori di concentrazione sono pari a circa 50 mg/l, ovvero un ordine di grandezza in meno rispetto a quanto risospeso naturalmente sottocosta da una mareggiata.

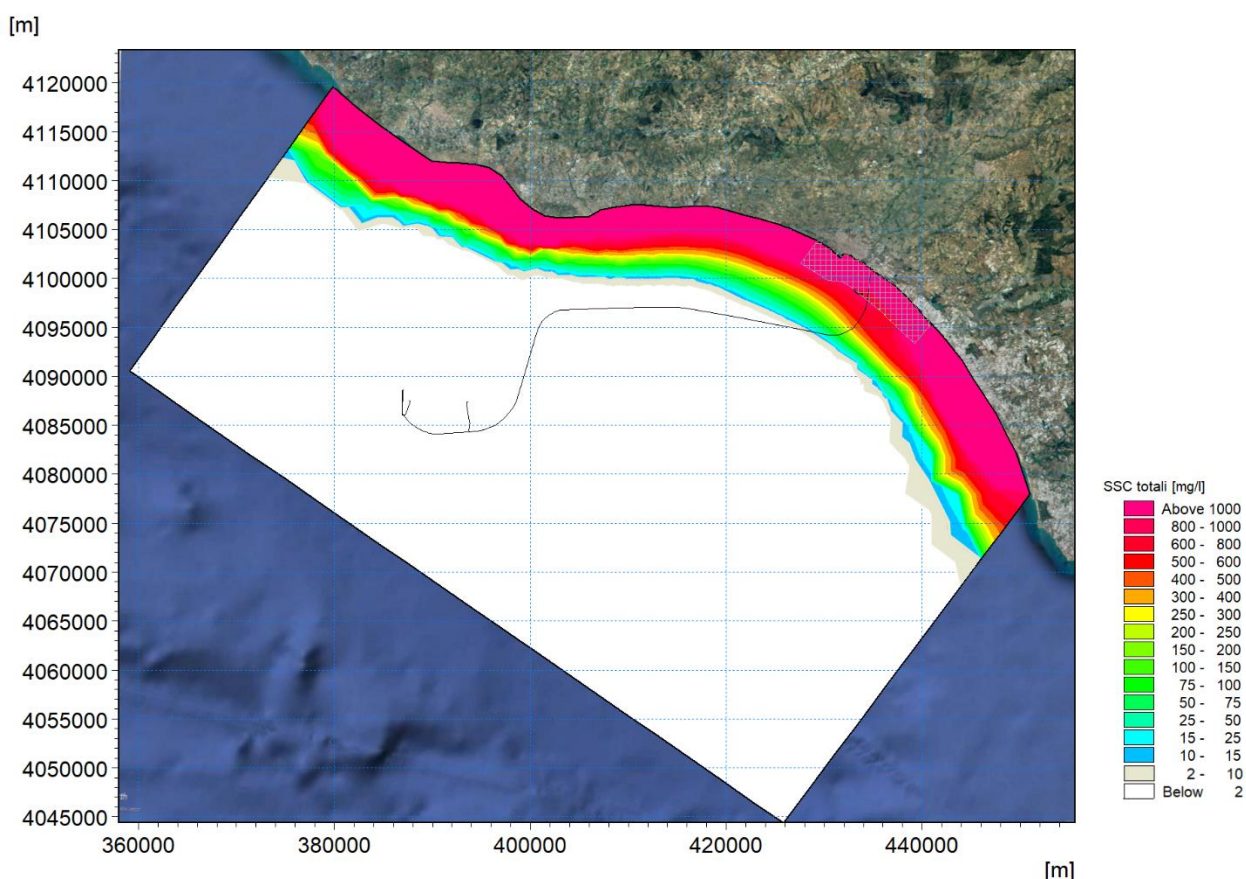



Figura 11-3: Mappa delle concentrazioni di sedimento sospeso al fondo al picco della mareggiata. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell’ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 70 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

12 CONCENTRAZIONI DI MERCURIO IN SOSPENSIONE

Come anticipato nel paragrafo 4.3, nel presente studio viene fornita una valutazione della quantità di mercurio disperso nella colonna d’acqua, in quanto adeso ai sedimenti, durante le operazioni di post-trenching.

Tale studio è stato condotto ipotizzando che il mercurio messo in sospensione sia in quantità proporzionale ai sedimenti risospesi, senza pertanto considerare fenomeni di eventuale desorbimento tra sedimento e matrice liquida e successivo adsorbimento tra matrice liquida e sedimento sospeso. Si evidenzia che tale approccio ha come obiettivo una sola valutazione preliminare, non essendo in grado di rappresentare in maniera esauriente tutti i processi che intervengono nella messa in sospensione del mercurio adeso ai sedimenti costituenti il fondale oggetto delle operazioni di dragaggio.

Secondo questo approccio assai semplificato, i valori delle massime concentrazioni di sedimento totale sospeso ottenuti per l’intero dominio di calcolo sono stati moltiplicati per i valori di concentrazione di mercurio adeso al sedimento, desunti dagli studi ambientali (vedere Tabella 4-2).

A seguito di questi calcoli sono state create le mappe di concentrazione massima di mercurio al fondo, sia su base annuale (Figura 12-1) che stagionale (Figura 12-2, Figura 12-3, Figura 12-4 e Figura 12-5). I risultati non sono stati rappresentati a mezza colonna ed in superficie in quanto a questi livelli della colonna d’acqua le concentrazioni di mercurio sono ovunque trascurabili, inferiori al valore minimo preso a riferimento per il presente studio, ossia 0.005 µg/l. Questo valore minimo è stato considerato sufficientemente basso tenendo presente che la Direttiva 2008/105/CE [6], relativa a standard di qualità ambientale (SQA) nel settore della politica delle acque, indica come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) per le acque superficiali interne e per le altre acque superficiali un valore pari a 0,07 µg/l.

Si osserva che le concentrazioni di mercurio in sospensione sono uguali o superiori a 0,005 µg/l solo in una fascia larga approssimativamente 500-800 m a cavallo della *sealine*, dove mediamente si raggiungono valori di 0,018 µg/l. Concentrazioni con valori compresi tra 0,03 e 0,07 µg/l rimangono confinate in una zona larga pochi metri in corrispondenza della trincea di scavo e comunque si verificano solo in alcune zone, assai limitate (in giallo nelle mappe a seguire). Il valore di 0,07 µg/l viene raggiunto in alcuni punti isolati lungo il tracciato.

Si evidenzia fin da ora che le concentrazioni di mercurio, sopra riportate, valutate con l’approccio semplificato sopra riportato, saranno comunque oggetto di indagine; così come richiesto nell’Allegato 1 prescrizioni A9 e A10 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito Dec. VIA/AIA 149/14) rilasciato dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014. I risultati così ottenuti permetteranno di validare o verificare le osservazioni riportate.



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
71 di
115

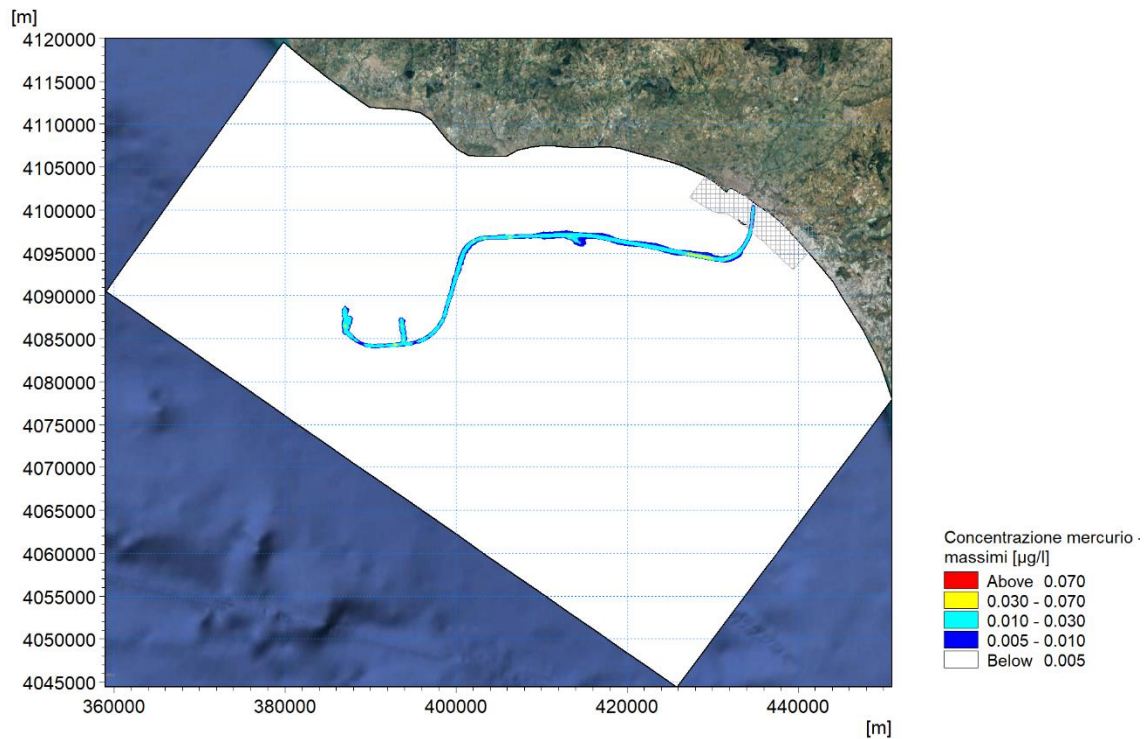


Figura 12-1: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base annuale. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

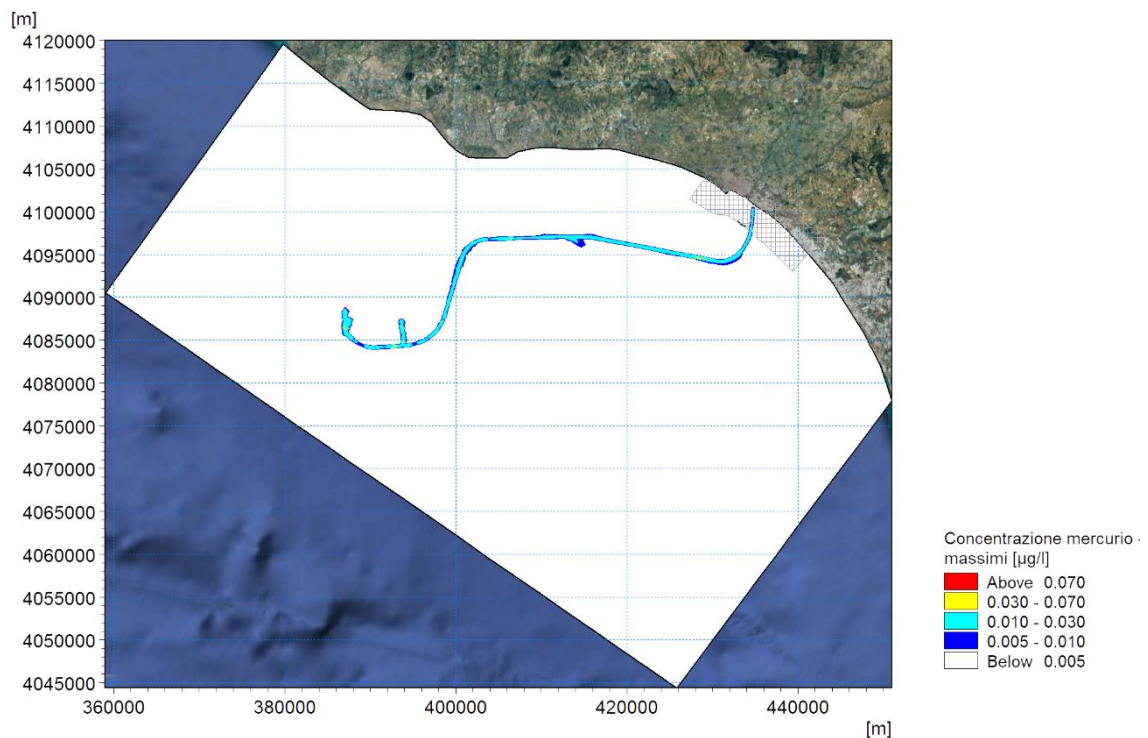


Figura 12-2 Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – inverno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea

Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines

Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14

Pagina
72 di
115

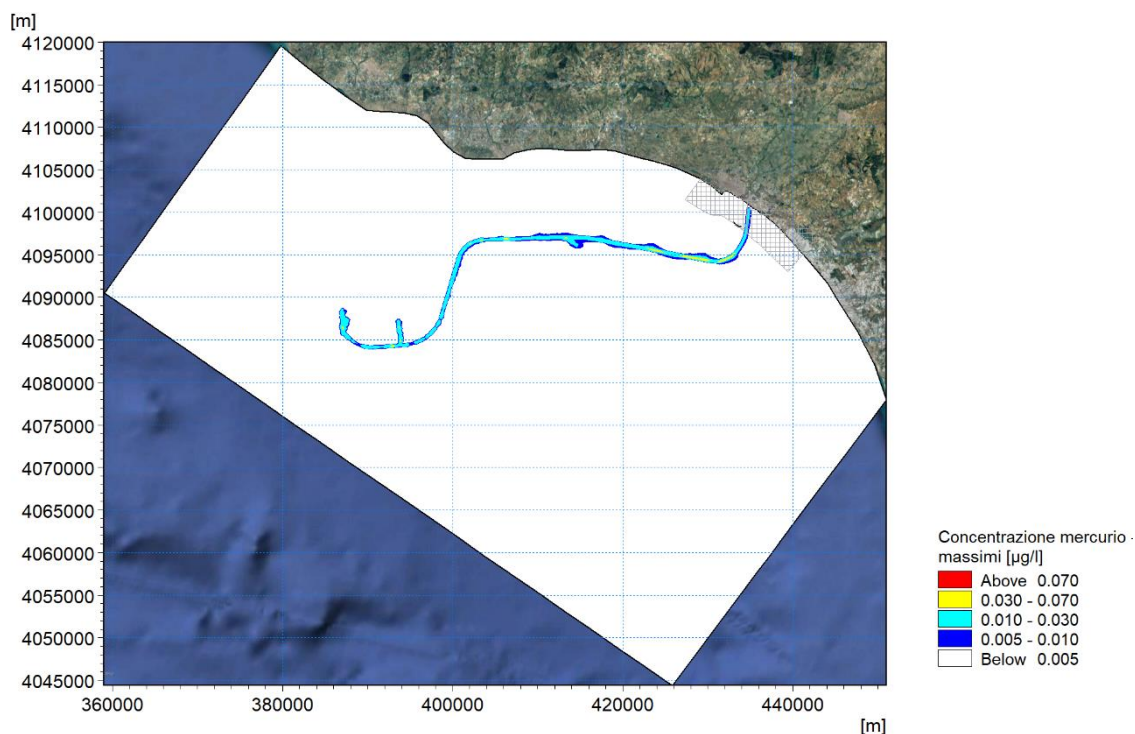


Figura 12-3: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – primavera. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

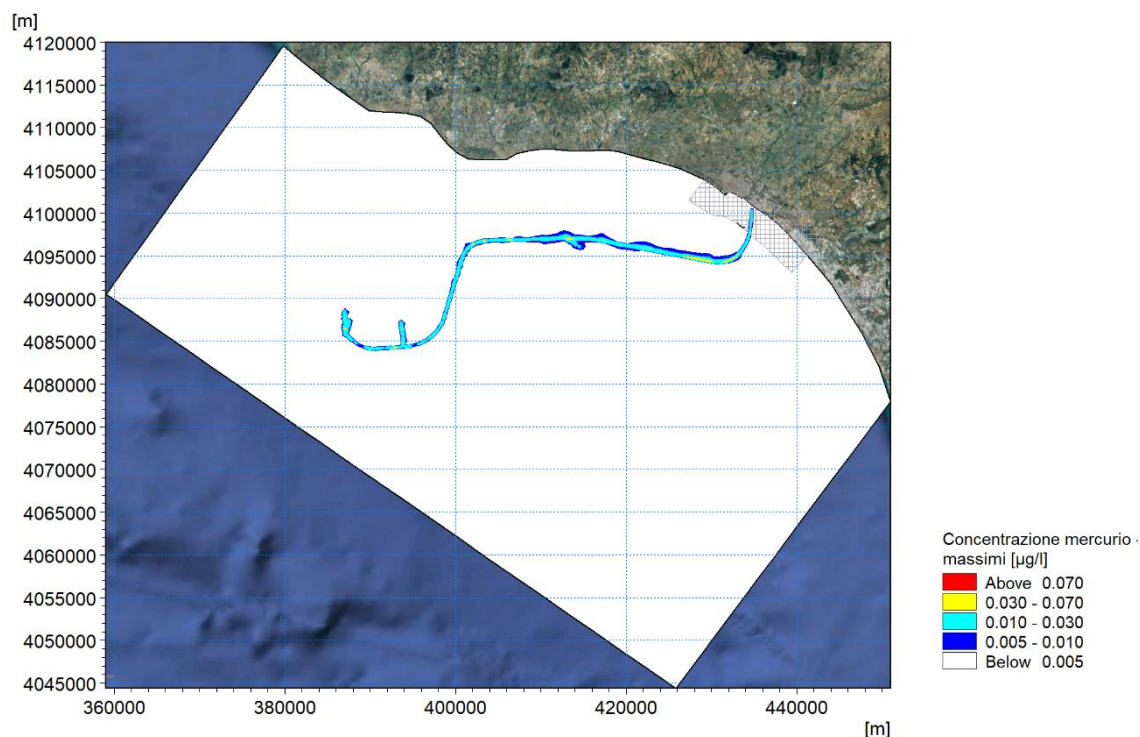


Figura 12-4: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – estate. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN



Eni S.p.A.
Distretto
Meridionale

Data
Luglio
2019

**Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore
Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea**

**Simulazione di dispersione dei sedimenti
nell'ambiente marino durante la fase di post-
trenching delle sealines**

**Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 -
Dec. VIA/AIA n. 149/14**

Pagina
73 di
115

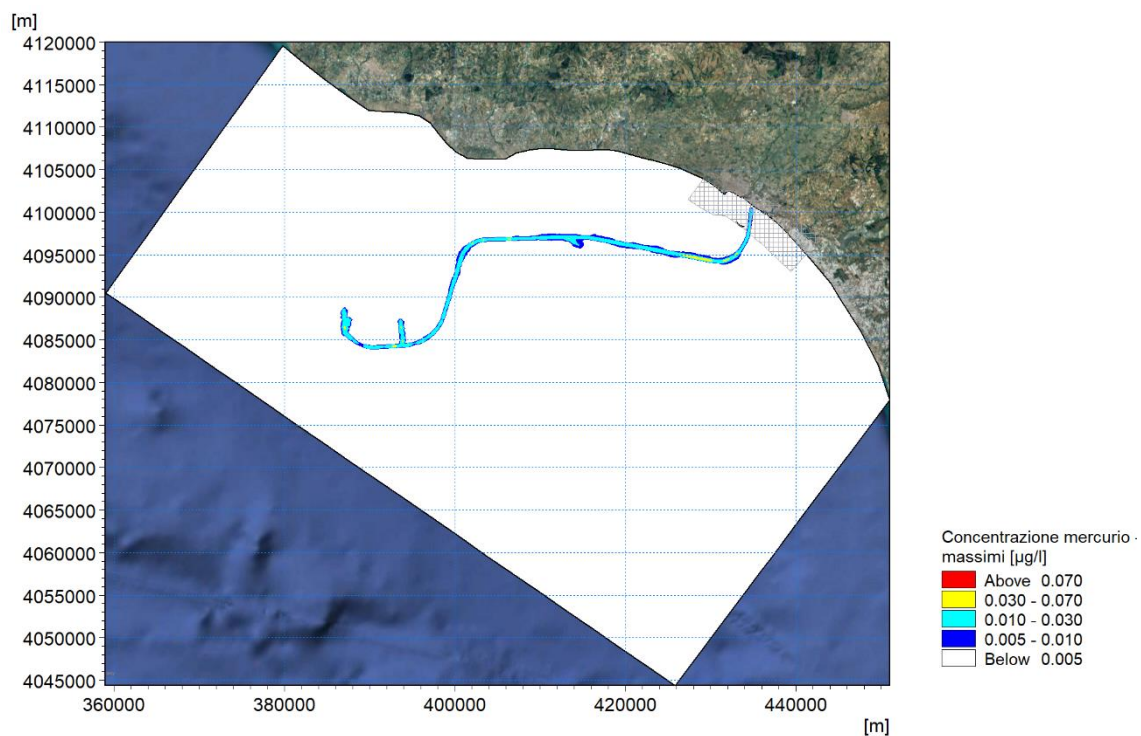



Figura 12-5: Mappa delle concentrazioni massime di mercurio al fondo su base stagionale – autunno. Il retinato grigio indica l'estensione del SIN

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 74 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

13 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto con lo scopo di ottemperare alle disposizioni di cui alla prescrizione A.11 riportata nell'Allegato 1 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale [22] rilasciato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014 per il Progetto "Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea", ubicato nel Canale di Sicilia, al largo di Gela. In particolare, è richiesta l'esecuzione di simulazione numerica, mediante l'applicazione di opportuna modellistica tridimensionale, per studiare la dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di scavo ed interrimento delle sealines.

La condotta rigida oggetto del presente studio sarà lunga circa 60 km, si svilupperà su fondali caratterizzati da profondità molto variabili, dai 4 m ai 670 m, e avrà lo scopo di collegare il Manifold del campo "Cassiopea" con l'approdo onshore. L'analisi condotta fa inoltre riferimento alle operazioni di escavo necessarie per la posa di ombelicali e flexible flowlines che collegano i 4 pozzi sottomarini produttori per il Giacimento "Cassiopea" (1, 2 e 3) e per il Giacimento "Argo" (Argo 2) con i due relativi Manifold di raccolta della produzione, nonché l'ombelicale di collegamento tra la Piattaforma Preziosa ed il Manifold Cassiopea.

L'analisi modellistica è stata preceduta da un'attività di raccolta e processamento di tutti i dati disponibili (batimetrici, sedimentologici, meteomarini, oceanografici, mareali e atmosferici), unitamente alle caratteristiche progettuali delle *sealines* e alle modalità operative di scavo ed affossamento delle stesse.

La principale dinamica in grado di giocare un ruolo chiave nella dispersione e trasporto del sedimento movimentato per la modellazione della dispersione è rappresentata dalle correnti di circolazione del Canale di Sicilia (circolazione baroclina) affiancata, sottocosta, dall'effetto del moto ondoso sulla risospensione dei sedimenti depositati.


Mediante l'applicazione del modulo MIKE 3 HD – Hydrodynamic e MIKE 21 SW – Spectral Waves è stato possibile ricostruire i campi rispettivamente idrodinamici e di moto ondoso per un intero anno preso a riferimento, il 2017. La scelta di considerare un periodo sufficientemente lungo da essere rappresentativo dell'intera variabilità meteomarina del sito ma al contempo non tale da determinare tempi computazionali insostenibili è suggerito dalle linee guida ISPRA di riferimento per il settore, denominate "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere".

Su tale dominio di calcolo è stato applicato il modello MIKE 3 MT – Mud Transport per il calcolo della dispersione, trasporto e deposizione dei sedimenti, utilizzando un approccio a "finestre mobili" pienamente conforme ai contenuti delle già citate linee guida. In particolare, sono state eseguite due simulazioni per ogni mese dell'anno, per un totale di 24 simulazioni in grado di rappresentare l'effetto delle operazioni in vari periodi dell'anno.

I risultati delle simulazioni sono stati forniti in termini di distribuzione spaziale della concentrazione massima di sedimento sospeso su tre livelli (al fondo, a profondità intermedia e in superficie), e di accumulo massimo annuale del sedimento al fondo, sia su base annuale che stagionale.

Per l'analisi di questi risultati si è fatto riferimento a due soglie di concentrazione: 2 mg/l, diffusamente considerata la soglia al di sotto della quale l'acqua è da considerarsi "limpida", offrendo quindi garanzia per la salute di qualsiasi specie naturale, e 6÷10 mg/l, ossia la concentrazione alla quale l'acqua inizia in genere ad essere definita "torbida".

Le mappe di concentrazione di sedimento sospeso su base annuale mostrano che il pennacchio di torbida rimane per lo più confinato al fondo, dove interessa una fascia larga alcuni km

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 75 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

(generalmente tra 5 e 10 km, se si fa riferimento alla soglia di 2 mg/l, tra 1 e 4 km, se si fa riferimento alla soglia di 10 mg/l) centrata sul tracciato delle *sealines*. Tuttavia, le concentrazioni maggiori, dell'ordine dei 1000 mg/l, si presentano esclusivamente in prossimità del tracciato e già ad una distanza di circa 1 km le concentrazioni si riducono significativamente e rientrano nell'ordine di 50 mg/l.

Si osserva che il materiale rimane confinato negli strati più profondi, con concentrazioni progressivamente più basse procedendo verso la superficie. Facendo riferimento a valori limite di 2 mg/l, il pennacchio di sedimenti raggiunge la superficie solo a basse profondità, comprese tra la costa e circa 12 m, ossia all'interno della zona SIN, seppur con valori molto bassi, mai superiori a 15 mg/l. A queste profondità risulta rilevante l'effetto dell'onda nel mantenimento in sospensione dei sedimenti fino o nella messa in sospensione degli stessi.

L'altezza di colonna d'acqua dal fondo dove rimangono confinati i sedimenti in sospensione è variabile con le profondità. Facendo riferimento alla soglia di 10 mg/l, questa altezza è di circa 40 m nella zona al largo, ossia per profondità superiori a 400 m, è di circa 20 m nella fascia intermedia, compresa tra circa 400 m e 30 m di profondità, ed è di circa 5-10 m nella zona sottocosta, per profondità inferiori a 30 m.

Inoltre, i risultati mostrano che puntualmente le concentrazioni al fondo (ossia nello strato dove si presentano le concentrazioni più elevate) tendono ad esaurirsi, raggiungendo valori al di sotto della soglia di 2 mg/l, dopo un periodo di tempo variabile a seconda della particolare idrodinamica locale, ma comunque compreso tra 12 e 48 ore.

Dal punto di vista tessiturale, il contributo più consistente alla creazione del pennacchio di torbida è dato dalla frazione argillosa, mentre è modesto per le frazioni limose: La frazione sabbiosa si deposita invece velocemente sul fondo senza disperdersi lungo la colonna d'acqua.


Il comportamento descritto su base annuale può ritenersi analogo anche per tutte le stagioni, se non per modeste variazioni tra i mesi caldi e i mesi freddi come conseguenza dell'effetto di confinamento per la diffusione dei sedimenti generato da una differenza di stratificazione lungo la colonna d'acqua, legata alla presenza o meno del termoclino.

Per quanto riguarda il sedimento depositato, si osserva in generale un accumulo massimo dell'ordine di un paio di centimetri che si verifica lungo il tracciato interessato dalle operazioni. Se si considerano depositi minimi di materiale pari a mezzo millimetro, la fascia interessata è ampia circa 500-600 m centrata sul tracciato delle *sealines*.

Le valutazioni sul campo di moto associato al passaggio dei mezzi navali impiegati nelle operazioni di posa delle *sealines* (per effetto della scia non viscosa, Bernoulli Wakes) hanno evidenziato che, in virtù delle limitate velocità attese dei mezzi navali a supporto, le tensioni tangenziali al fondo determinate dalle Bernoulli Wakes sono trascurabili per più dell'80% del tracciato, ossia dove le profondità sono superiori ai 30 m. Per profondità più basse, le velocità al fondo potrebbero determinare la potenziale messa in sospensione del sedimento, seppur in quantità modesta, creando concentrazioni di sedimento sospeso tuttavia ben al di sotto del pennacchio di torbida generato da una mareggiata in condizioni naturali.

A tale proposito è opportuno evidenziare che nella fascia litoranea più vicina a costa, ossia indicativamente fino ad una profondità di circa 10 m, i valori massimi di concentrazione di sedimenti messi in sospensione durante una mareggiata nello strato di fondo sono paragonabili (ossia superiori a 500 mg/l) ai valori massimi di concentrazione al fondo che si verificano lungo il tracciato durante le operazioni.


Lo studio della quantità di mercurio disperso nella colonna d'acqua, in quanto adeso ai sedimenti, durante le operazioni di post-trenching è stato condotto seguendo un approccio assai semplificato, non in grado di tenere in considerazione i fenomeni di eventuale

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 76 di 115</p>
--	---------------------------------	--	---------------------------------

desorbimento - adsorbimento tra matrice liquida e sedimento sospeso. Le concentrazioni di mercurio sono state pertanto calcolate ipotizzandole proporzionali alle concentrazioni di sedimenti presenti lungo la colonna d'acqua a seguito delle operazioni di dragaggio. I risultati hanno messo in evidenza che le concentrazioni di mercurio in sospensione sono mediamente pari a 0.018 µg/l in una fascia larga approssimativamente 500-800 m a cavallo della *sealine*. Nel resto del dominio le concentrazioni sono ovunque inferiori a 0.005 µg/l.


La Direttiva 2008/105/CE [6], relativa a standard di qualità ambientale (SQA) nel settore della politica delle acque, indica come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) per il mercurio un valore pari a 0,07 µg/l, valore mai superato lungo la sealine dalle valutazioni riportate nel precedente capitolo.

Si evidenzia fin da ora che comunque le concentrazioni di mercurio, valutate con l'approccio semplificato, saranno oggetto di indagine; così come richiesto nell'Allegato 1 prescrizioni A9 e A10 del Decreto di Compatibilità Ambientale ed Autorizzazione Integrata Ambientale (di seguito Dec. VIA/AIA 149/14) rilasciato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il 27 Maggio 2014.


 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post-trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 77 di 115</p>
---	---------------------------------	--	---------------------------------

14 BIBLIOGRAFIA


- [1] I. Lisi, A. Feola, A. Bruschi, M. Di Risio, A. Pedroncini, D. Pasquali and E. Romano, “La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere,” *Manuali e Linee Guida ISPRA*, vol. 169, p. 144, 2017.
- [2] J. A. Cummings, “Operational multivariate ocean data assimilation,” *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, vol. 131, no. 613, pp. 3583-3604, 2005.
- [3] C. Yongcun and O. Baltazar Andersen, “Improvement in global ocean tide model in shallow water regions,” in *Poster, SV.1-68 45, OSTST*, Lisbon, Oct.18-22, 2010.
- [4] Saha, Suranjana and Coauthors, “The NCEP Climate Forecast System Reanalysis,” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, pp. 91, 1015.1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1, 2010.
- [5] A. Pedroncini, G. Contento, L. Donatini, L. Cusati, G. Lupieri, H. Hansen and R. Bolanos Sanches, “Mediterranean Wind Wave Model (MWM): a 37 year hindcast database of wind and wave conditions and a base for relocatable operational forecast models,” in *XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Bologna, 2016.
- [6] Parlamento Europeo e del Consiglio, “Direttiva 2008/105/CE, relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/289/CEE e 2000/60/CEE,” 16 dicembre 2008.
- [7] Jeppesen Marine, “CM-93, Global Electronic Chart Database Professional+,” Jeppesen Marine, Norway, 2019.
- [8] DHI, “MIKE C-MAP, Extraction of World Wide Bathymetry Data and Tidal Information, Scientific Documentation,” MIKE by DHI, Hørsholm, 2016.
- [9] G.A.S. - Geological Assistance & Services, “Progetto Offshore Ibleo - Sealine PANDA – PLEM, survey ambientale,” Luglio 2009.
- [10] Saipem Energy International, “Progetto Offshore Ibleo - Meteocean Study For Sealine Design,” Giugno 2010.
- [11] Crest S.r.l., “Gela Offshore (Sicily) – Met-Ocean Study – 20 years hourly wind and waves hindcasting- Technical Report,” Aprile 2010.
- [12] M. Tsimplis, R. Proctor and R. Flather, “A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 100, Agosto 1995.
- [13] DHI, “MIKE 3 Flow Model HD FM, Hydrodynamics Flexible Mesh, Scientific Documentation,” MIKE by DHI, Hørsholm, 2017.
- [14] “MIKE 21 SW - Spectral Wave Module, Scientific Documentation,” MIKE by DHI, Hørsholm, 2019.
- [15] Eni S.p.A., “Engineering, procurement, construction and installation contract for transportation & installation work package of the Cassiopea project,” 2017.
- [16] S. A. John, S. Challinor, M. Simpson, T. N. Burt and J. Spearman, “Scoping the assessment of sediment plumes from dredging,” CIRIA, 2000.
- [17] Chevron Australia Pty Ltd., “Chevron- Wheatstone LNG EIA,” 2009-2010.
- [18] J. Becker, E. van Eekelen, J. van Wiechen, W. de Lange, T. Damsma, T. Smolders and M. van Koningsveld, “Estimating source terms for far field dredge plume modelling,” *Journal of Environmental Management*, vol. 149, pp. 282-293, 2015.

 <p data-bbox="384 188 528 286">Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p data-bbox="616 181 686 259">Data Luglio 2019</p>	<p data-bbox="735 114 1342 165">Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p data-bbox="762 181 1315 259">Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p data-bbox="743 275 1334 327">Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p data-bbox="1390 170 1469 271">Pagina 78 di 115</p>
--	---	--	---

- [19] DHI, “MIKE 3 MT FM, Mud Transport Flexible Mesh, Scientific Documentation,” MIKE by DHI, Hørsholm, 2019.
- [20] DHI, “Øresund Link Environmental Impact Assessment,” 1990-2000.
- [21] DHI, “Feedback Monitoring, Environmental Monitoring and Management,” Øresund, Denmark, 1995-2000.
- [22] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, “Decreto Ministeriale 149 del 27/05/2014”.

 <p data-bbox="384 188 528 286">Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p data-bbox="616 176 687 259">Data Luglio 2019</p>	<p data-bbox="735 114 1342 165">Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p data-bbox="764 181 1313 259">Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p data-bbox="743 275 1334 327">Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p data-bbox="1385 170 1469 271">Pagina 79 di 115</p>
---	---	--	---

ALLEGATI

 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 80 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

ALLEGATO 1

MWM – Mediterranean Wind Wave Model

MWM: Mediterranean Wind Wave Model

General description of the models' chain

The models and datasets used for the development of the MWM database are:

- the *CFSR (Climate Forecast System Reanalysis)* global re-analysis dataset, produced and freely published by NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) (Saha et al, 2010; <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>), hourly (re-forecast) data with a space resolution of 0.5°; these data are used as initial (IC) and boundary conditions (BC) of the *WRF-ARW model* (below);
- the atmospheric model *WRF-ARW – version 3.4.1 (Weather Research and Forecast - Advanced Research WRF)*, model developed by NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) (Skamarock and Klemp, 2007; Michalakes et al, 2001; Michalakes et al, 2005); *WRF-ARW* is presently considered among the best state-of-the-art non-hydrostatic meteorological models; it is supported by a massive worldwide community that contributes to its local use and development (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>; <http://www.wrf-model.org/index.php>);
- the wave model *MIKE 21 Spectral Waves (SW)* developed by DHI (former Danish Hydraulic Institute) (Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004). *MIKE 21 SW* is among the state of the art wave models, widely used in thousands of offshore and coastal applications worldwide.

In the following a description of the *CFSR* dataset, the *WRF-ARW* and the *MIKE 21 SW* model is given, with specific interest to the implementation adopted in MWM.

CFSR Dataset

The *CFSR* dataset (Fig. A.1) is the result of a long and complex process performed by NCEP, an ensemble of nine weather prediction centers in the United States belonging to the *NWS (National Weather Service)* of the *NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)*. The simulation, completed in 2011, is based on a global atmospheric numerical model including atmosphere-ocean and sea-ice couplings, with a systematic ingestion of both conventional (point) and satellite observations with data assimilation procedures.

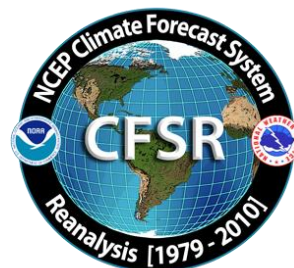


Figure A.1

The *CFSR* now covers a 35-year period from 1979 to 2013 (included) and is continuously updated with new recent data. The simulations were performed as 9 hours forecast simulations, initialized 4 times a day (at 00:00, 06:00, 12:00 and 18:00) between the 6-hourly re-analysis frames. The

results of these simulations, gathered in the CFSR dataset, consist in complete atmospheric data over ocean and lands with a one hour time resolution and a 0.5° horizontal resolution, while the vertical resolution changes greatly amongst the atmospheric variables, spanning from the single surface value up to values at 64 different isobaric levels.

MWM dataset ingest the 6-hourly CFSR data, specifically the *ds093.0* dataset.

Chawla et al (2013) presented a thorough analysis of the *CFSR* dataset against satellite and oceanic buoys data. The final goal of that study is the use of the U_{10} wind data from the *CFSR* dataset as the forcing term of *WWIII* to generate wave fields at global scale, without any assimilation of wave data. The analysis of the *CFSR* dataset shown in that paper includes the intrinsic performance of the model in terms of the seasonal and annual variability of the percentiles. A moving average is applied to smooth the altimeter data from the satellites and from the buoys. The normalized percentiles ("...normalized with the wind speeds at corresponding percentiles from the altimeters") computed over the satellite tracks exhibit an oscillatory behavior, never below 0.93 or 0.90 in the Northern and Southern hemisphere respectively. From that analysis, the wind and wave *CFSR* and *WWIII* data compare very well with satellite data in terms of normalized percentiles. The Q-Q plots at selected offshore buoys are generally good or very good, with some unexpected variations from case to case for some buoys close to the coast, with even a contradictory behavior between U_{10} and H_s in some locations.

The analysis of the wind field of the *CFSR* dataset is far beyond the scope of the present work but still some checks have been done in specific cases, like the event of November 1999 in Trieste (Italy). The performance of a local area model is directly related to the information contained in the global model used as boundary and initial conditions; Fig. A.2 after Contento et al (2014) shows the wind speed for the case of November 1999 in Trieste (Northern Adriatic Sea - Italy); the red dots are experimental data by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the yellow line corresponds to the re-analysis data *CFSR d093.0* (Saha et al, 2010; <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>) interpolated at the same position of the station; the blue dots are related to a fully certified and verified measurement station of the Regional Agency for the Environment Protection (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) located few meters far from the station used by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the cyan line corresponds to the present hindcast dataset (model *WRF-ARW*). It is rather evident that the *CFSR* dataset ingests the experimental data from NOAA but there are some non-negligible discrepancies between the two experimental datasets (private communication with ARPA FVG-OSMER - Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia Region, Italy). In this case the local model *WRF-ARW* is able to develop the local wind field and matches correctly the measurement by ARPA, irrespective of the wrong assimilated data as BC and IC; this, however, cannot be always guaranteed.

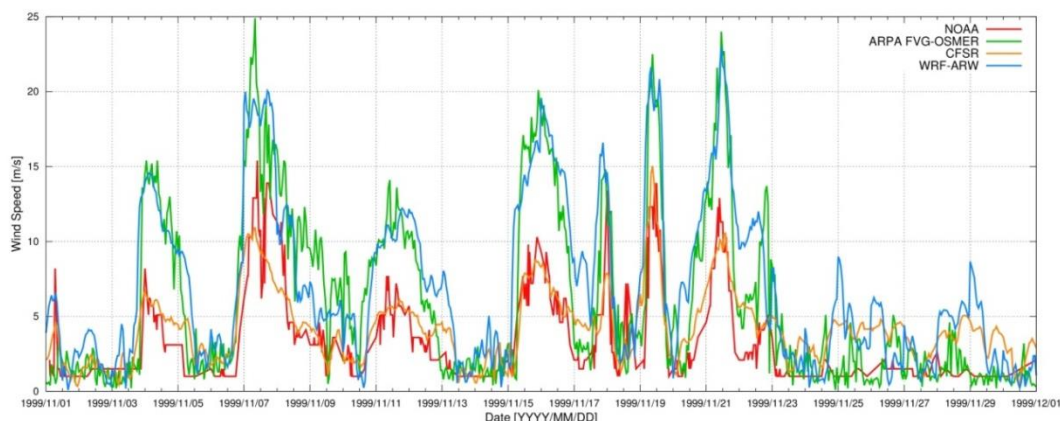


Figure A.2 Comparison between measured wind speed at two ground neighbor (few meters from each other) stations in Trieste (Italy - Northern Adriatic Sea) from the database of NOAA

(<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>) (red line) and from ARPA-FVG OSMER (<http://www.osmer.fvg.it/home.php>) (blue line). Model data from CFSR (Saha et al, 2010) (yellow line) and the present simulations with WRF-ARW (cyan line) are overlapped.

The scope of these checks was solely to verify the sensitivity of the CFSR wind pattern to a complex steep geographic area facing the sea. The eastern coast of the Adriatic Sea is just an example among many others. The availability of certified wind data from the local Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) related to ground stations and to a fixed station in the middle of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea <http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>), helped a lot in defining the set-up of the local area meteorological model. The aim of the set-up process was to let the model WRF-ARW develop mesoscale and local weather structures, thus using a domain large enough to develop these structures, but at the same time avoiding the use of too large a domain that may lead to a model drift from the experimental data. These undesired effects were observed along the entire Adriatic Sea, specifically on the eastern side (Contento et al, 2011; Contento et al, 2014).

WRF-ARW meteorological model

The WRF model is an open source mesoscale to microscale atmospheric model developed by the American atmospheric research center NCAR in cooperation with many other meteorological institutions. It is largely used worldwide for both atmospheric research and forecast or hindcast purposes due to its ability to perform atmospheric simulations over a wide range of length scales spanning from less than 1 kilometer to thousands of kilometers. This flexibility is further increased by its capability of performing two way coupled nested runs.

The WRF modelling system includes a pre-processor system (WPS), a data assimilation system (WRF-DA) and the dynamic solver. During this work the ARW dynamic solver, developed and maintained by the Mesoscale and Microscale Meteorology Division of NCAR, has been used. The ARW dynamic core is a fully compressible and non-hydrostatic model, based on a terrain-following hydrostatic pressure vertical coordinate system and on an Arakawa C-grid staggered evaluation of the vector quantities. The solver uses high order time integration and 3-D advection schemes.

The WRF model works internally with NetCDF files, a self-describing and machine-independent data format particularly suitable for the manipulation of long arrays of scientific data.

A WRF-ARW model run is a quite complex process, since it involves several different steps to be run in a precise order. First of all, WRF requires boundary and initial conditions; these conditions can be supplied by the GRIB files obtained from the CFSR dataset files described in CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010." [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

GRIB files needed to cover completely the whole simulated period must be fed to the model to complete the simulation process successfully.

Moreover, since the atmosphere behaviour is strongly dependent on the soil characteristics, detailed data about these characteristics must be fed to the model too in order to let it develop the local weather phenomena correctly. However, there is no need to produce this type of data since suitable 30" resolved geographic data are included in the default WRF pre-processing (WPS). Since these data are time-independent they need to be downloaded only once, and they remain valid for every simulation unlike the GRIB files. Actually, some of the parameters contained in the geographic data cannot be considered as completely time-independent; in fact, some of the parameters show a time dependence which, however, is limited to seasonal changes, e.g. the

reduced vegetation cover in winter. The possible seasonal variability of the geographical parameters is included in the geographical data archive of WPS.

A complete WRF-ARW simulation needs the WPS (*WRF Pre-processor System*) to be run before the numerical solver (*wrf.exe*). The WPS pre-processor system deals with both the domain set-up and the preliminary input manipulations; it is composed by three main executables carrying out different tasks:

- *geogrid.exe* is responsible for the definition of the horizontal grid as well as for the interpolation of the geographic data on the user-defined grid. When performing nested runs, the *geogrid.exe* run produces a NetCDF file *geo_em.dxx.nc* containing the grid and geographic data for each domain, where *xx* stands for the code of the domain (01, 02, ...).
- *ungrib.exe* is responsible for the decoding of the input GRIB files used as initial and boundary conditions. The GRIB files, which need to be linked to the work directory of WPS by means of the script *link_grib.csh*, are “ungribbed” and rewritten in an intermediate format suitable for further manipulations, excluding all the fields not needed for the following model run.
- *metgrid.exe* is responsible for the horizontal interpolation of the intermediate input files produced by *ungrib.exe* on the grid defined by *geogrid.exe*. Moreover, the geographic data contained in the *geo_em* files are ingested by *metgrid* and written on its output files. The output of *metgrid.exe* is in fact composed by the NetCDF files *met_em.dxx.YYYY-MM-DD_HH:00:00.nc*, each containing the interpolated boundary conditions and geographic data for the *xx* domain and for every timestep of the supplied GRIB files. In the case considered, as the CFSR dataset is composed of hourly data, the produced *met_em* files are hourly spaced too.

The whole WPS process is controlled by a single external configuration file: *namelist.wps*, which contains the user specified parameters defining the time length and the domain of the simulation as well as the time and space resolutions.

An additional manipulation is needed before launching the actual solver: the NetCDF data produced by *metgrid.exe* must be vertically interpolated onto the user-defined vertical levels of the WRF simulation. This task is performed by the *real.exe* executable, which, despite actually being a pre-processing routine, is not included in the WPS system. The *real.exe* run finally produces the NetCDF files needed by the bare solver: *wrfinput_dxx* and *wrfbdy_dxx*, containing respectively, for each of the nested domains under simulation, the initial condition inclusive of the domain geographic data and the boundary conditions forcing the domain over time.

The last step of a WRF-ARW model simulation is the *wrf.exe* solver run which performs the numerical integration and produces the final output files *wrfout_dxx_YYYY-MM-DD_HH:MN:SS*, one for each simulated domain and for every temporal frame in the total simulated period. Each *wrfout* file contains therefore the complete atmospheric variables set calculated by the ARW solver for every point of the user defined simulation 3-D grid at a single temporal frame.

Both *real.exe* and *wrf.exe* are controlled by *namelist.input*, an external configuration file gathering the user defined parameters regarding the vertical resolution of the simulation, the atmosphere microphysical parameters and, again, the time / length scales and resolutions of the simulation.

A script that makes all steps involved automatic in a WRF-ARW simulation procedure, from the set-up of the configuration files to the archiving of output files, was developed and tested extensively.

The above depicted working scheme is summarized in Figure A.3:

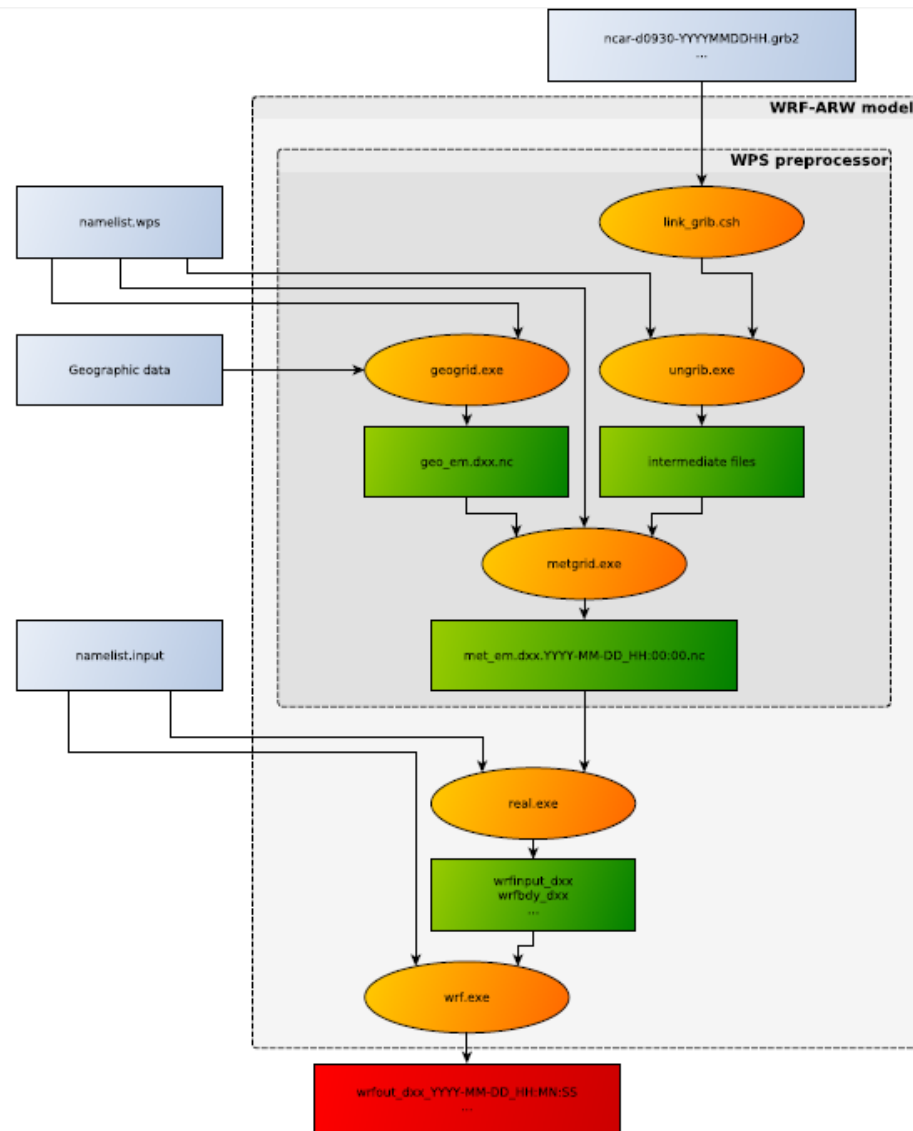


Figure A.3 Working scheme of the WRF-ARW model.

WRF-ARW domains, resolution, set-up in MWM

The preliminary set-up and tuning of the met-ocean models chain was performed simulating the month of November 1999, chosen for the remarkable number of very intense storms occurred over the Mediterranean Sea. The second step, before running the entire period 1979-2013, was done simulating one complete year, from November 1999 to October 2000, relying on 41 ground stations along the Mediterranean coast and 25 wave buoys for comparison. The results obtained in these steps are summarized in Contento et al. (2014), Contento et al. (2012-2014) and Donatini (2013).

The two-steps set-up started with the meteorological model *WRF-ARW*, adopting different configurations (domain size, resolution, run length, spin-up time) and comparing the wind speed and direction with observational data from ground stations. Since the *CFRS* (Saha et al, 2010) re-analysis dataset reproduces large scale events correctly, after several tests the final decision was to adopt three relatively small, overlapping domains, which cover respectively the Western, Eastern and Central Mediterranean Sea (Fig. A.4). Hereafter these domains will be referred as MEW, MEE and MEC respectively. The wind field obtained from the 3 domains was merged in a

single dataset by a bi-linear interpolation on a Lat-Lon grid and by a linear blending of the results inside the two overlapping zones (Fig. A.4).

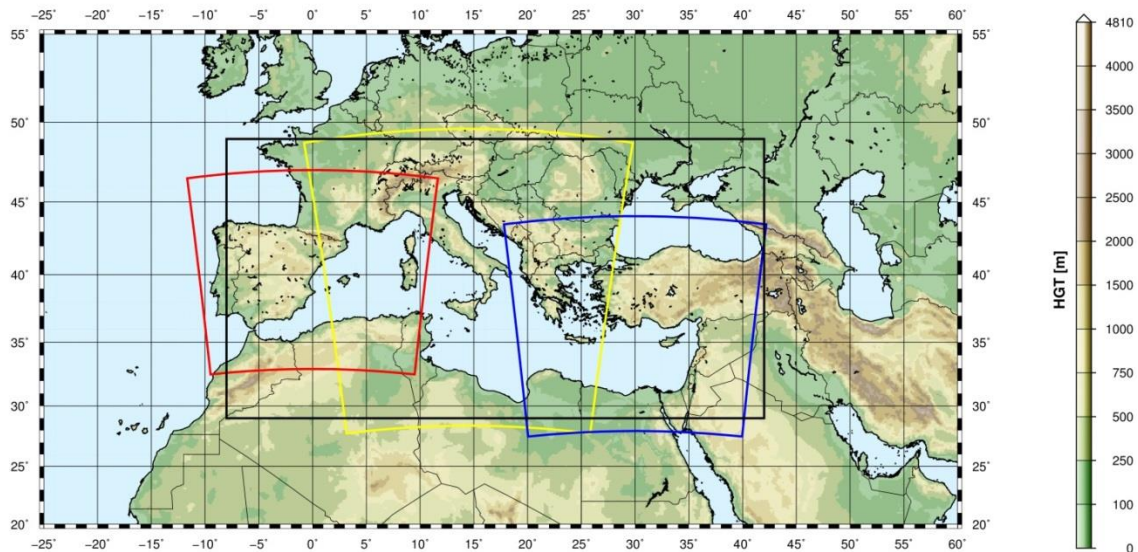


Figure A.4 WRF-ARW domains (red=domain MEW, yellow=domain MEC, blue=domain MEE) and interpolation/blending domain (black line).

The horizontal resolution of *WRF-ARW* was set to 10.53 km, with a grid ratio to the *CFSR* re-analysis data of 1:5 approximately. An additional domain (ITN) with a resolution of 3.51 km was run over Northern Italy as a nested domain of MEC.

The time length of the model run, in terms of hours simulated continuously between two consecutive model initializations with *CFSR* frames, proved to be among the most important parameters that influence the quality of the results. Keeping a small run length reduces the risk of model drift. On the other hand, shortening it excessively may lead to a too constrained behavior of the model, which prevents the correct development of the mesoscale weather structures. The problem of the model drift proved to be particularly tough over the Adriatic Sea where the orography is rather complex and the North-Eastern wind (Bora) can occasionally reach the speed of 150 km/h or more in very narrow zones.

A spin-up time window was used in order to let the model *WRF-ARW* ingest and process the coarser initial conditions from *CFSR*, thus letting it evolve and develop local weather structures. This spin-up window was overlapped with the tail of the previous run so that the data of the simulation during the spin-up window were discarded. The time length of this overlapping window is typically of few hours.

The Mediterranean Sea is a very complex basin from the meteorological point of view, with violent storms usually characterized by a short duration. The two examples given below show the importance of resolving the large space and time gradients of the variables.

Fig. A.5 shows a typical winter wind pattern (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The reference distance of these large variations is of 1° at most.

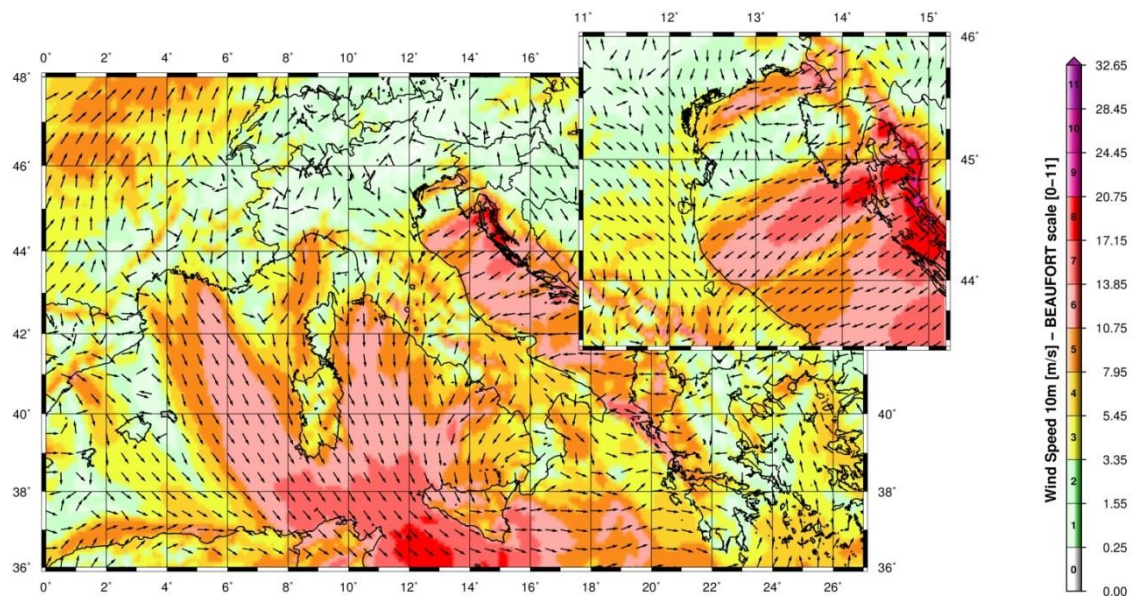


Figure A.5 A typical winter wind pattern over the Mediterranean Sea (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The upper-right figure shows a zoom over the Northern part of the Adriatic Sea (Istria peninsula).

Fig. A.6 (Contento et al., 2011) shows the time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste that caused the loss of two human lives and damages in the main harbor. The squall lasted about 10 min reaching more than 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model *WRF-ARW* run at that time by some of the authors of this work for ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>. The black line corresponds to the measurement at the station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The station is a fixed pole in the middle of the Gulf of Trieste. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s. This situation is not uncommon in the Adriatic zone, mostly during the summer, with violent fronts from North and North-West then rotating to North-East.

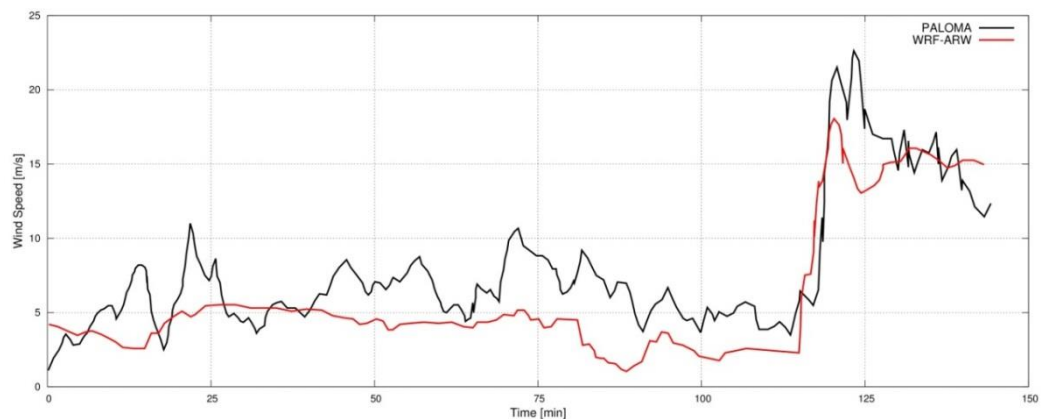


Figure A.6 Time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste. The squall lasts about 10 min reaching over 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model *WRF-ARW*. The black line corresponds to the measurements at the measurements station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s.

MIKE 21 SW wave model

The wave modeling system includes the state of the art third generation spectral wind-wave model MIKE 21 SW, developed by DHI. MIKE 21 SW simulates the growth, decay and transformation of wind-generated waves and swell in offshore and coastal areas.

MIKE 21 SW includes two different formulations:

- Directional decoupled parametric formulation
- Fully spectral formulation

and includes the following physical phenomena:

- Wave growth by action of wind
- Non-linear wave-wave interaction
- Dissipation due to white-capping
- Dissipation due to bottom friction
- Dissipation due to depth-induced wave breaking
- Refraction and shoaling due to depth variations
- Wave-current interaction
- Effect of time-varying water depth

The discretization of the governing equation in geographical and spectral space is performed using cell-centered finite volume method. In the geographical domain, an unstructured mesh technique is used. The time integration is performed using a fractional step approach where a multisequence explicit method is applied for the propagation of wave action.

For the production of the MWM database, the fully spectral formulation has been adopted, based on the wave action conservation equation, as described in e.g. Komen et al. and Young where the directional-frequency wave action spectrum is the dependent variable.

The time integration of the governing equations is done by using a dynamically determined time step. The time step is determined in order to verify the stability criteria (CFL number).

The only driving force is represented by the two components of wind fields U10 and V10, (x and y component of wind at the elevation of 10m). The process by which the wind transfers energy into the water body for generating waves is controlled by a uncoupled air-sea interaction.

The spectral discretization adopted in the wave model has been deeply investigated and the final configuration is able to guarantee at the same time a high level of accuracy of the results and a reasonable computational effort.

The model domain covers the whole Mediterranean Sea but the spatial resolution is not the same everywhere: while in the offshore areas the spatial resolution is around 0.1° , when approaching the coast the spatial resolution increases up to around 0.03° .

The wave model is forced by the wind fields coming from the WRF Atmospheric models, illustrated above. The wave model generated results in terms of wave parameters (Significant Wave Height, Wave Periods, Wave Directions, etc.) over the whole domain and, in addition, spectral parameters in predefined output locations have been stored, too.

MIKE 21 SW domain, resolution, set-up in MWM

The model domain, covering the entire Mediterranean Sea, is illustrated in Figure A.7.

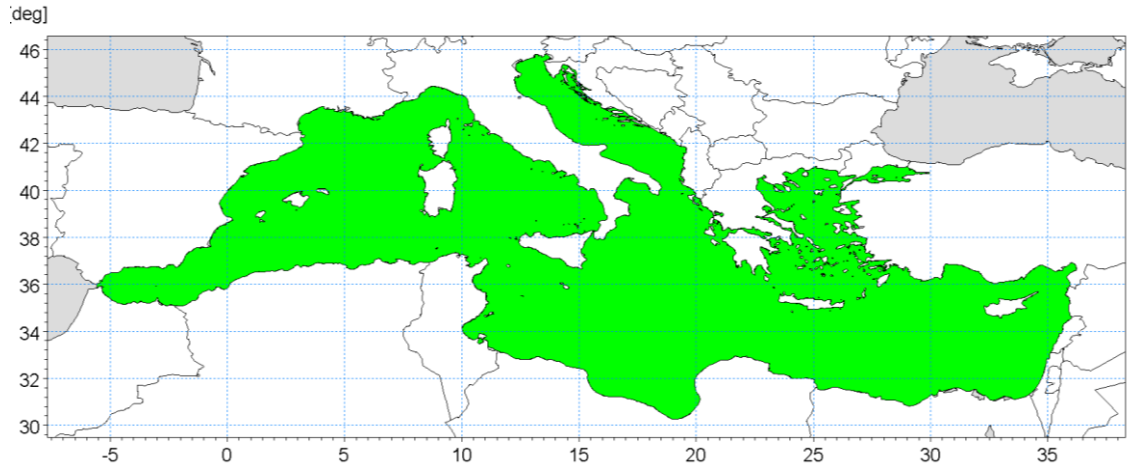


Figure A.7 Wave model domain filled in green

The unstructured mesh, generated over the entire domain by means of a specific tool included in MIKE 21 package, is characterized by different resolutions (in terms of mean length of triangle sides) over the domain. In particular the following criteria have been adopted:

- a coarser resolution of 0.1° (about 10 Km) is used for offshore areas;
- a finer resolution of 0.03° (about 3 Km) has been adopted in shallow water areas, where bathymetry is less than 100m depth or, in coastal areas characterized by very steep profiles, where the distance from the coastline is less than 5÷10 Km.

Figure A.8 illustrates the computational mesh of the Mediterranean wave model.

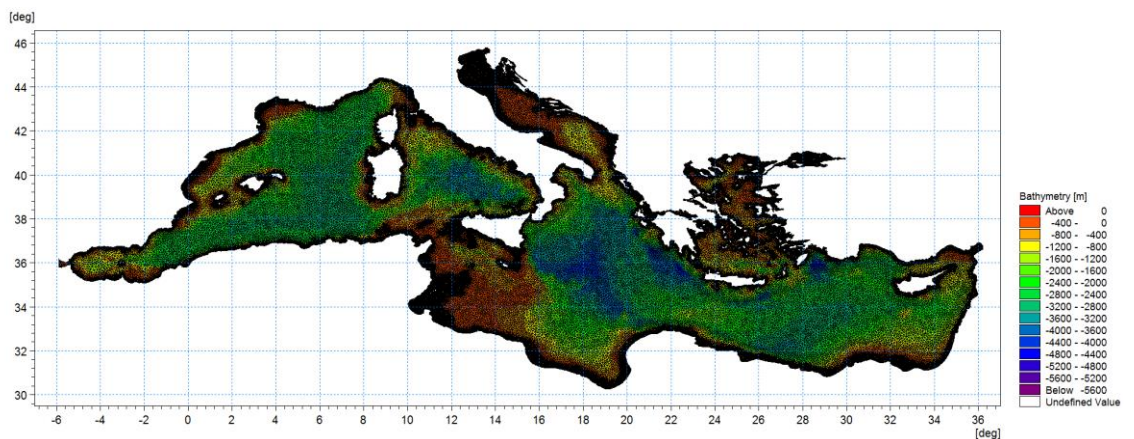


Figure A.8 - Mediterranean wave model computational mesh

Figure A.9 illustrates a detail of the above computational mesh, with special focus on the Adriatic Sea.

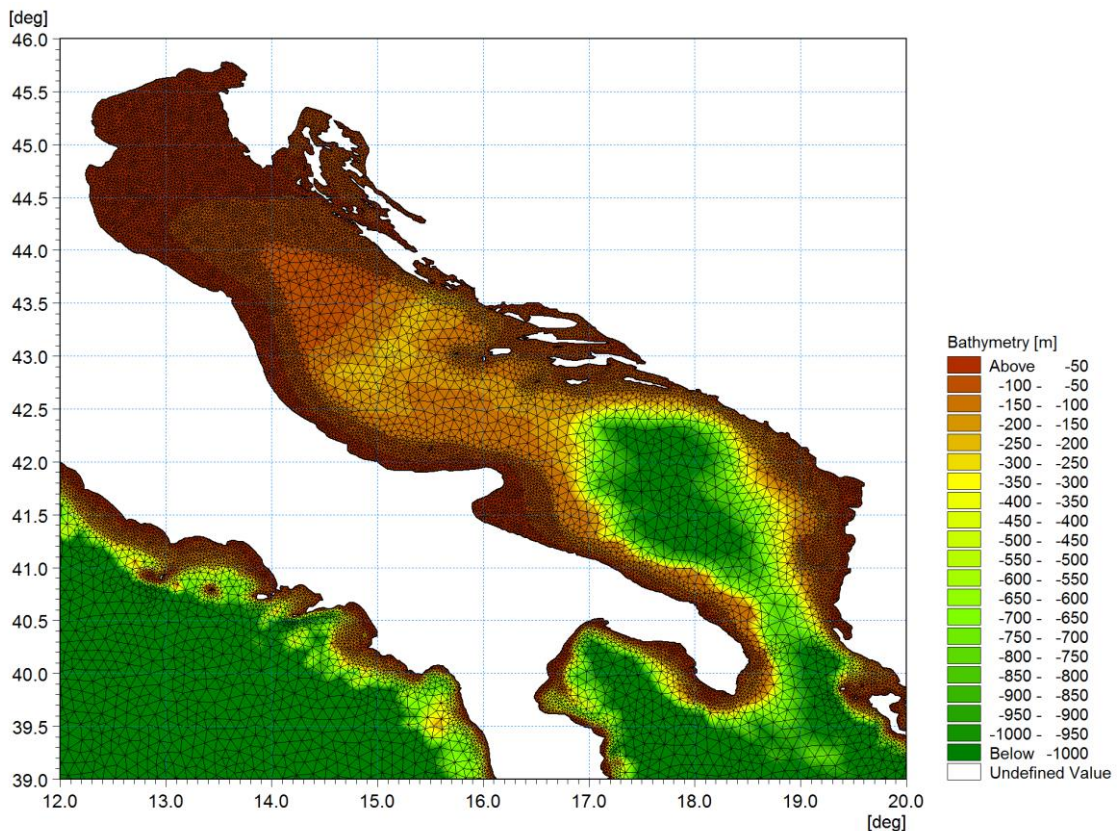


Figure A.9 - Detail of the mesh – Adriatic Sea

Scatter bathymetry data have been derived from GEBCO_08 database. The GEBCO_08 Grid is a 30 arc-second grid of global elevations and it is a continuous terrain model for ocean and land. The grid was generated by combining quality-controlled ship depth soundings with interpolation between sounding points guided by satellite-derived gravity data.

The gridded data are stored in a netCDF data file. Grids are stored as one dimensional arrays of 2-byte signed integer values. The complete data sets provide global coverage. Each data set consists of 21,600 rows x 43,200 columns, resulting in a total of 933,120,000 data points. The data start at the Northwest corner of the file, i.e. for the global file, position 89°59'45"N, 179°59'45"W, and are arranged in latitudinal bands of 360 degrees x 120 points/degree = 43,200 values. The data range eastward from 179°59'45"W to 179°59'45"E. Thus, the first band contains 43,200 values for 89°59'45"N, then followed by a band of 43,200 values at 89°59'15"N and so on at 30 arc-second latitude intervals down to 89°59'45"S. Data values are pixel centred registered, they refer to elevations at the centre of grid cells.

Figure A.10 illustrates GEBCO_08 scatter data for the entire area of the Mediterranean Sea.

GEBCO scatter data have not been used in the whole domain of the Mediterranean Sea. Following a detailed check of agreement and discrepancies between GEBCO database and nautical charts, it has been assumed to limit the use of GEBCO database for offshore areas (up to 500 m water depth) and to use nautical charts for shallower water areas (mainly coastal areas).

The nautical charts database which has been used is the CM93/3 database from CMAP.

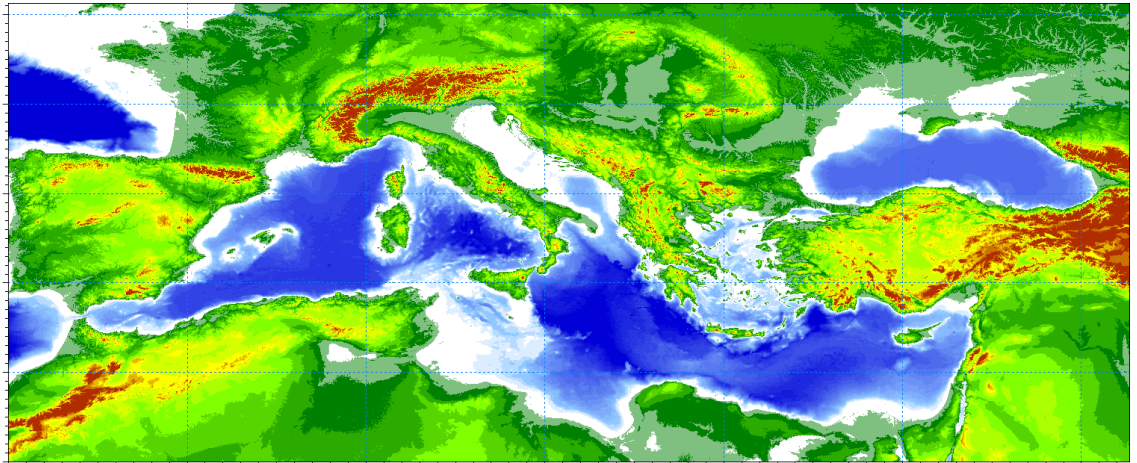


Figure A.10 - Scatter bathymetry data derived from GEBCO_08 database

The number of discrete frequencies and directions form the so called “spectral resolution”, which is a key parameter for wave models in general. The number of discrete frequencies and directions should in fact be high enough to properly represent the “real shape” of the wave spectrum and, on the other hand, it can’t be too high, since it would lead to unacceptable computational times and memory consumption.

In terms of frequency range, the minimum frequency f_{min} (which corresponds to the maximum wave period T_{max} , according to the common relation $f = \frac{1}{T}$) should be able to capture the longest wave periods that can occur in the Mediterranean Sea.

The analysis of ordinary and extreme waves in the Mediterranean Sea (from available data of wave buoys) has highlighted that almost all the wave energy associated to waves in the Mediterranean Sea are associated to wave periods between 1.5 seconds and 20 seconds.

In addition, a logarithmic distribution for the discrete frequencies acts better than a simple linear distribution, since most of the wave periods are concentrated below 8-10 seconds. A number of frequencies around 30 is widely considered as adequate for a proper discretization of wave energy spectra in the Mediterranean Sea. The following formulation has therefore been adopted:

$$f_n = 0.04 \cdot 1.1^n,$$

where n goes from 0 to 29 (30 frequencies in total). The discrete frequencies range from 0.04 Hz to 0.63 Hz (from 1.6s to 25.0s of Mean Wave Period T_m).

Also the choice of the number of discrete directions (directional discretization) is the result of detailed investigations and tests. In particular, a high number of wave model tests, each one characterized by a different spectral resolution (directional), i.e. by a different number of discrete directions have been setup and run.

Few examples of the results of the above model tests are illustrated from Figure A.11 to Figure A.13 in terms of short time series of wave heights extracted at 3 different locations where also measurements were available (La Spezia wave buoy, Ponza wave buoy, Cetraro wave buoy).

In all the below test cases, it appears that the two time series of wave height characterized by 24 and 36 discrete directions are almost coincident. Higher discrepancies can be found for a much limited number of discrete directions (12). After a high number of tests, the 24 directions solution has been assumed as a very good compromise between accuracy of results and computational time (the computational time of the wave model is linearly dependent on the number of discrete directions).

Provided that wave directions can vary within the 360° rose, the directional resolution of the wave model is $360^\circ/24 = 15^\circ$

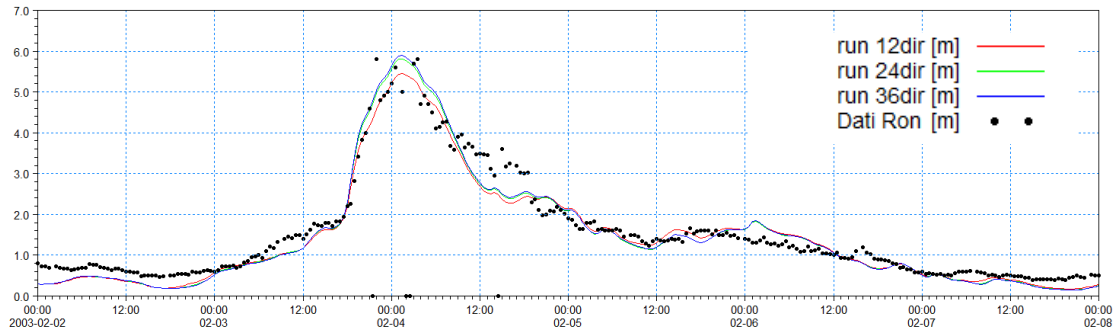


Figure A.11 - Time series of wave height at La Spezia buoy location for 3 different numbers of discrete directions

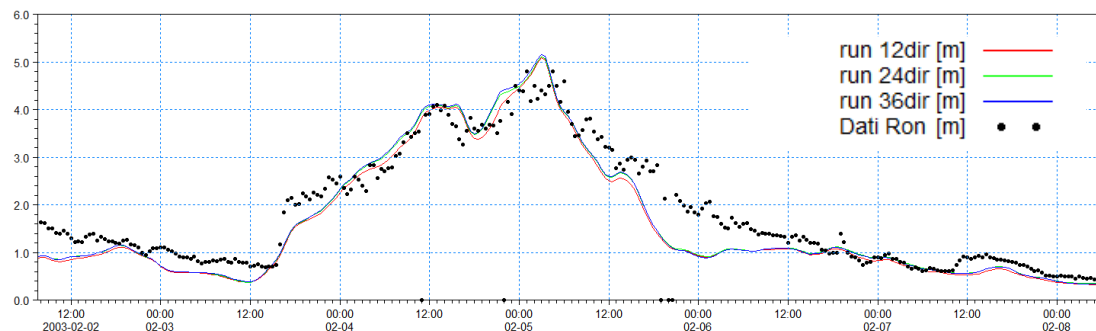


Figure A.12 - Time series of wave height at Ponza buoy location for 3 different numbers of discrete directions

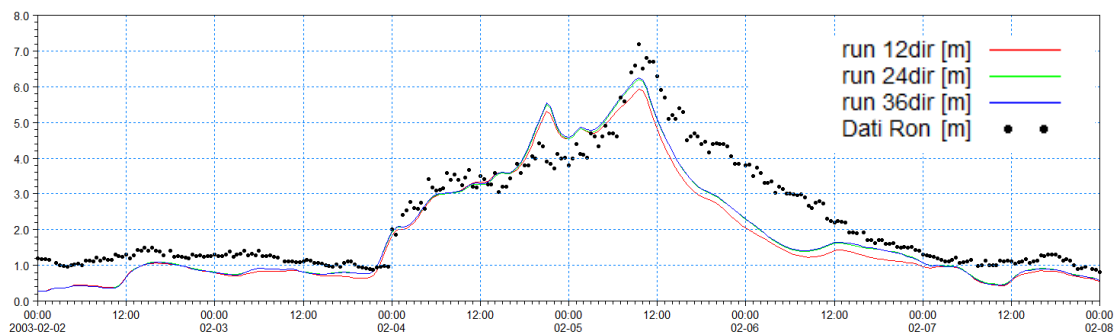


Figure A.13 - Time series of wave height at Cetraro buoy location for 3 different numbers of discrete directions

Available products of the MWM database

The results of the wind and wave model are stored, in the whole domain, in terms of wind parameters and wave parameters averaged over the wave period (“phase averaged results”). In particular, the following hourly time series are available:

- Wind speed, WS [m/s]
- Wind direction, WD [deg]
- Significant Wave height, Hs [m]
- Mean wave period, Tm [s]
- Peak wave period, Tp [s]
- Zero crossing period, Tz [s]
- Mean wave direction, MWD [deg]
- Peak wave direction, PWD [deg]
- Directional standard deviation, DSD [deg]

In addition, hourly spectral results (in terms of wave energy associated to the frequency-direction bins) are saved on a regular grid with an equidistant spatial resolution of 0.1° .

Figure A.14 and Figure A-15 illustrate respectively an example of phase averaged results over a portion of Mediterranean Sea (Hs) and an local example of spectral results.

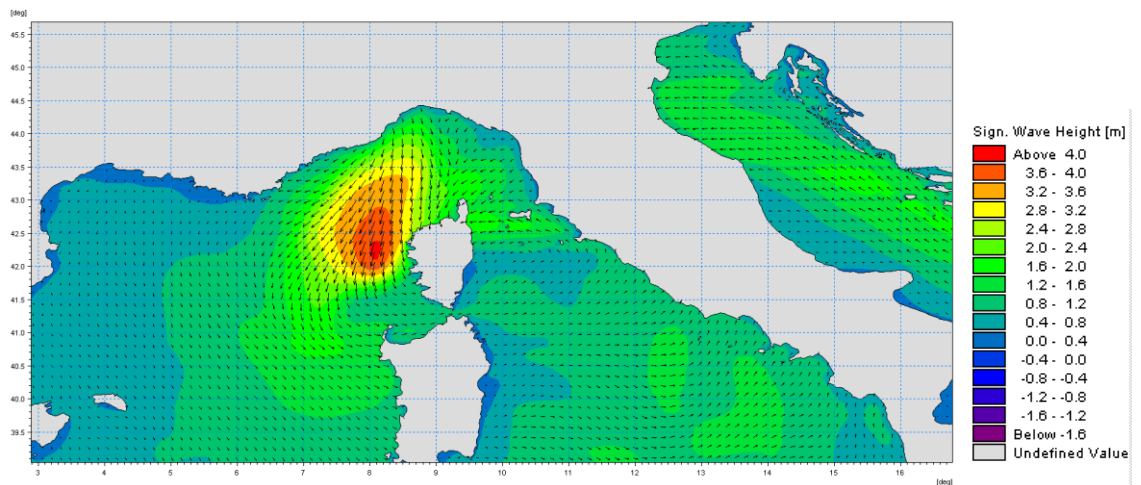


Figure A.14 Phase averaged results: Field of significant wave height and direction

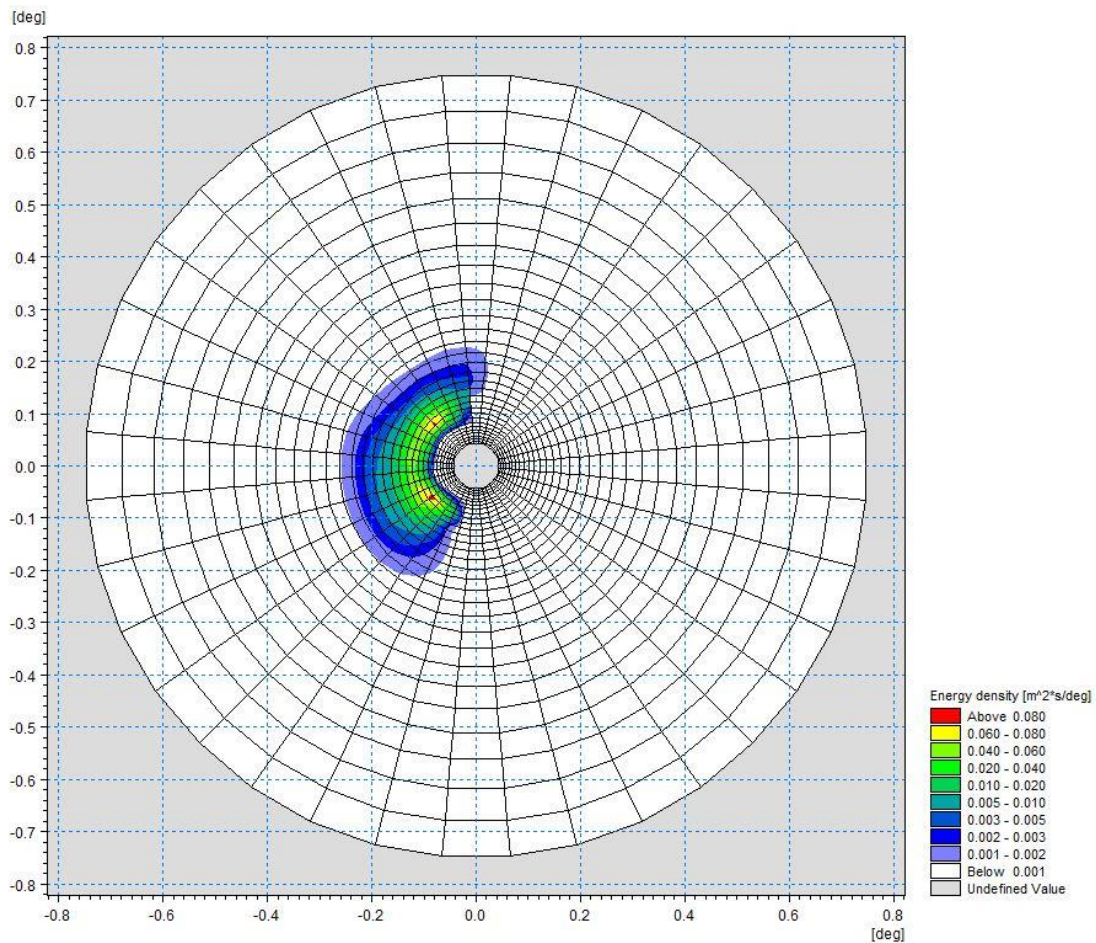


Figure A.15 Polar plot of spectral results. Wave energy density (coloured contours) as a function of directions (angular coordinate) and frequencies (radial coordinate)

References

Arduin, F., Bertotti, L., Bidlot, J.R., Cavaleri, L., Filipetto, V., Lefevre, J.M., Wittmann, P., 2007, Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Mediterranean Sea. *Ocean Engineering*, Vol. 34, pp. 526-541.

Athanassoulis, G., Stefanakos, Ch., Cavaleri, L., Ramieri, E., NoEL, C., Lefevre, J.M., Gaillard, P., 2004, RTP 10.10 / WW_MEDATLAS Scientific Report.

Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M., 1978, Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proceedings, 16th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp.569-587.

Bolaños-Sanchez, R., Sanchez-Arcilla, A., Cateura, J., 2007, Evaluation of two atmospheric models for wind-wave modeling in the NW Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 65:336-353.

Cavaleri, L., Bertotti, L., 2004, Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas. *Tellus*, Vol. 56, pp. 167-175.

Cavaleri, L., 2005, The wind and wave atlas of the Mediterranean Sea – the calibration phase. *Advances in Geosciences*, Vol. 2, pp. 255-257.

- Cavaleri, L., Sclavo., M., 2006, The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol.53, pp. 613-627.
- Chawla, A., Spindler, D.M., Tolman, H.L., 2013, Validation of a thirty year wave hindcast using the Climate Forecast System Reanalysis winds, *Ocean Modelling*, Vol. 70, pp. 189-206.
- Contento, G., Lupieri, G., Venturi, M. Ciuffardi, T., 2011, A medium-resolution wave hindcast study over the Central and Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 16(2), pp. 181–201.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, Feudale, L, Pedroncini, A., Cusati, L.A., 2014, A state-of-the-art met-ocean model chain for wind&wave hindcast over the Mediterranean and Black Seas: implementation, tuning and validation against field data, accepted for presentation at the 21th Symposium Theory and Practice of Shipbuilding SORTA 2014, Oct. 2-4, 2014, Baška, Island of Krk, Croatia.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, 2012-2014, Project SEAPOL - Sistema modellistico ad Elevata risoluzione per l'Analisi storica e la Previsione del moto Ondoso nel mar Ligure, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Technical Reports codes SEAPOL_UT_1.1.0 to SEAPOL_UT_5.1.0.
- Donatini, L., 2013, Implementation of a state-of-art met-ocean model chain for hindcast wave simulations over the Mediterranean Sea and comparison of results with field data, Master Degree Thesis, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Italy.
- Donatini, L., Lupieri, G., Contento, G., 2014, A medium resolution wind&wave hindcast study for the Mediterranean Sea, Journal Paper, under review.
- Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Krusemann, P., Meerburg, A., Mueller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H., 1973, Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergaenzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe, A(8)*, 12, 95 pp.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H., Barnett, T.P., 1985. Computations and parametrizations of the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part II: Parametrizations of the nonlinear energy transfer for applications in wave models. *J. Phys. Oceanogr.* Vol. 15, pp. 1378–1391.
- ISPRA (formerly APAT), 2004, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, Dipartimento Tutela Acque Marine ed Interne, Servizio difesa delle coste, Analisi preliminare dei dati marini lungo le coste italiane – Atlante delle coste – Il moto ondoso al largo delle coste italiane, Technical Report (in Italian). http://www.apat.gov.it/site/_files/Atlante_coste/Introduzione.pdf.
- Janssen, P.A.E.M., Abdalla, S., Hersbach, H., Bidlot, J.R., 2007: Error Estimation of Buoy, Satellite, and Model Wave Height Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. **24**, pp. 1665–1677. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH2069.1>
- Michalakes, J., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp, J., Middlecoff, J., Skamarock, W., 2001, Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. *Developments in Teracomputing. In Proceedings of the 9th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, 269-276.
- Michalakes, J., Dudhia, J., Gill, D., Henderson, T., Klemp, J., Skamarock, W., Wang, W., 2005, The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. In *Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński. World Scientific, 56 - 168.

Ponce del León, S., Guedes Soares, C., 2008, Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol. 55, pp. 920-929.

Puertos del Estado, Spain, 2009, – (http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/), private communication.

Queffeuou, P., 2004, Long term validation of wave height measurements from altimeters. *Marine Geodesy*, Vol. 27, 495-510.

Queffeuou, P., Croizé-Fillon, D., 2010, Global altimeter SWH data set, version 7, Technical Report, Ifremer, ftp://ftp.ifremer.fr/cersat/products/swath/altimeters/waves/documentation/altimeter_wave_merge__7.0.pdf

Queffeuou, P., 2009, Altimeter Wave Height Measurements - Validation of Long Time Series. Poster: Ocean Surface Topography Science Team meeting, Seattle, Washington, USA. (<http://www.avisioceanobs.com/en/courses/ostst/ostst-2009-seattle/posters/>).

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Wollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y., Chuang, H., Juang, H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist, D., VanDelst, P., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., van den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R., Rutledge, G., Goldberg, M., 2010, *The NCEP Climate Forecast System Reanalysis*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 91, 1015–1057.

Skamarock WC, Klemp JB, 2007, A time-split nonhydrostatic atmospheric model for research and NWP applications. *J. Comp. Phys.* Special issue on environmental modeling.

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Tolman, H.L., 2002a. Alleviating the garden sprinkler effect in wind wave models. *Ocean Modelling*, Vol. 4, pp. 269–289.

Tolman, H.L., 2002f, Validation of WAVEWATCH III, version 1.15 for a global domain. Tech. Note 213, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 33p.

Tolman, H.L., 2008, http://cioss.coas.oregonstate.edu/CIOSS/workshops/Altimeter_workshop_08/Coastal_Alt_Presentations/18_Tolman_Sig_Wave_Ht.pdf

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P.A.E.M., (1984). Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560 pp.

Young, I.R., (1999). Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

WAMDI-group: S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky and J.A. Ewing, (1988) "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model", *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810

General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) – www.gebco.net

CM-93 Edition 3.0, CM-93/3 - www.jeppesen.com/marine/commercial/professional/

Ole Baltazar Andersen (1995), Global ocean tides from ERS 1 and TOPEX/POSEIDON altimetry, J. of Geophys. Res., 100, C12, p. 25249-25260

Doodson, A. T., Warburg, H. D., 1941 "Admiralty manual of tides"

Web references


ARPA-FVG OSMER, [Online] <http://www.osmer.fvg.it/home.php>

ARW Online Tutorial." [Online] Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>

CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010." [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

NOAA, Hourly/Sub-Hourly Observational Data." [Online] Available at <http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>

The Weather Research&Forecasting Model Website." [Online] Available at <http://www.wrf-model.org/index.php>

 <p data-bbox="384 192 528 286">Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p data-bbox="616 181 687 264">Data Luglio 2019</p>	<p data-bbox="735 114 1342 170">Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p data-bbox="762 181 1315 259">Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p data-bbox="743 275 1334 331">Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p data-bbox="1385 170 1469 271">Pagina 81 di 115</p>
---	---	--	---

ALLEGATO 2

MIKE 3 HD – Hydrodynamics e MIKE 3 MT – Mud Transport

MIKE 3

Modello tridimensionale per fiumi, laghi,
aree costiere ed offshore





INDICE

1	PREMESSA	1
2	MODULO IDRODINAMICO (HD FM)	3
3	MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)	8

1 PREMESSA

MIKE 3 è un codice di calcolo professionale per la simulazione di correnti a pelo libero in tre dimensioni utilizzabile per lo studio di livelli e correnti, trasporto di sedimenti coesivi, qualità delle acque ed ecologia in fiumi, laghi, estuari, baie, aree costiere e mare aperto. MIKE 3 costituisce un pacchetto professionale unico per le attività di ingegneria e consulenza a supporto della progettazione, pianificazione e gestione in ambienti fluviali e marini a diverse scale spaziali. Il codice è il risultato di una continua attività di sviluppo e mantenimento da più di 20 anni, frutto di un'elevata esperienza conseguita in centinaia di applicazioni in tutto il mondo.

La scelta di utilizzare la versione 2D o 3D dipende da numerosi fattori. Ad esempio, in acque poco profonde, le condizioni di vento e di marea sono sufficienti a mantenere omogenee le caratteristiche della colonna d'acqua (salinità e temperatura). Nei corpi idrici stratificati, sia per problematiche legate alla densità o di altro tipo (ecologiche), può convenire l'utilizzo della versione tridimensionale.

I principali campi di applicazione sono:

- idrodinamica in acque profonde o stratificate;
- supporto alla progettazione e costruzione di opere ed impianti;
- studi di impatto ambientale;
- studi sulla circolazione costiera ed oceanica;
- analisi di laghi e grandi bacini artificiali;
- modellazione della dispersione di inquinanti;
- valutazione dell'impatto di gradienti di temperatura e salinità;
- analisi di aree complesse in cui siano rilevanti i fenomeni tridimensionali.

Il pacchetto MIKE 3 è disponibile in 3 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

SINGLE GRID (Griglia singola):

le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo.

MULTIPLE GRID (Griglia multipla):

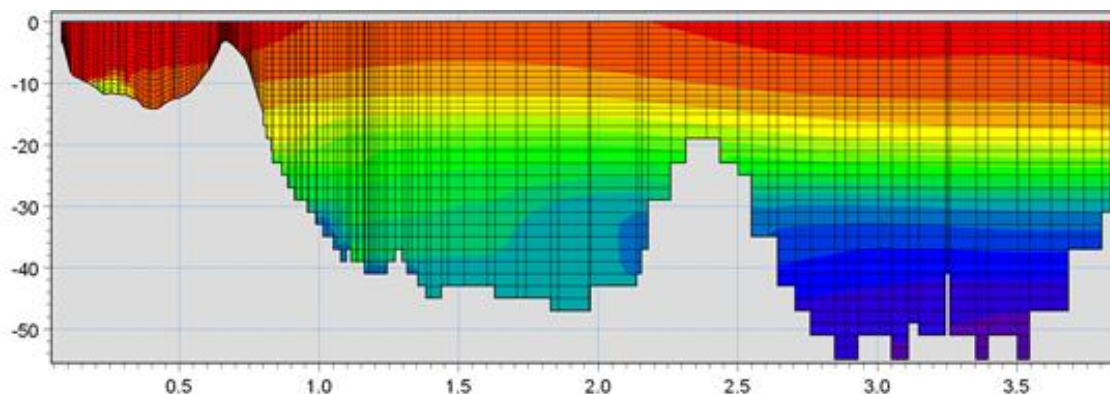
questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

FLEXIBLE MESH (Griglia Flessibile):

questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile.

Nelle versioni Griglia Singola e Griglia Multipla, le equazioni tempo-varianti di continuità e del moto in tre dimensioni sono risolte mediante uno schema alle differenze finite su di una griglia

rettangolare. Entrambe le schematizzazioni includono sia la versione idrostatica che non idrostatica. La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato orizzontalmente attraverso una maglia non strutturata costituita da elementi triangolari o quadrangolari; per la dimensione verticale è possibile adottare una discretizzazione con struttura a layer di altezza costante o variabile in funzione della profondità.



Oltre a poter utilizzare campi di correnti e di vento, MIKE 3 può ricevere in input anche i risultati di un qualunque modulo d'onda di MIKE 21.

Essendo in grado di esaminare le correnti indotte da gradienti di densità generati da non uniforme distribuzione di salinità e temperatura, MIKE 3 risulta particolarmente adatto per studi di impatto ambientale in funzione di diversi tipi di rilasci. Attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 3 consente inoltre di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti reagenti.

MIKE 3 risulta ideale anche per il downscaling di modelli oceanografici ad ampia scala fino ad applicazioni costiere ad alta risoluzione. La risoluzione del modello ad ampia scala e la batimetria possono essere ben approssimate lungo i contorni per poi, gradatamente, imporre risoluzioni via via più elevate procedendo verso la costa, utilizzando l'approccio a maglia flessibile.

Breve descrizione dei moduli MIKE 3	
Modulo	Descrizione
PP (Pre and Post Processing)	Il modulo PP è l'ambiente di lavoro di base e fornisce un insieme di tool per l'importazione e processamento dei dati di input nonché l'elaborazione degli output e la preparazione di immagini ed animazioni. PP è necessario per tutti i moduli di MIKE 3.
HD (Hydrodynamics)	Il modulo idrodinamico simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici.
AD (Advection – Dispersion)	Il modulo simula il trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti (o caratterizzati da decadimento dipendente dal solo fattore tempo) o per studi di eccesso di temperatura o salinità.
ST (Sediment Transport)	E' il modulo avanzato per il trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale.
MT (Mud Transport)	Modulo multifrazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non. Particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggi dei fondali.
Oil Spill	Simula la diffusione e dispersione di sostanze oleose in corpi idrici, considerandone i processi di decadimento.
PA/PT (Particle Tracking)	Simula il trasporto e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. E' utilizzato in particolare per analisi di rischio, versamenti accidentali e monitoraggio delle attività di dragaggio. Utilizza un approccio Lagrangiano.
EcoLab	Modulo avanzato per studi di qualità delle acque ed idroecologia in presenza di reazioni, decadimenti complessi, eutrofizzazione e trasporto di metalli pesanti.

2 MODULO IDRODINAMICO (HD FM)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 3, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. MIKE 3 HD FM può essere utilizzato da solo o insieme ad altri moduli che, pur finalizzati alla simulazione di altri fenomeni (es. trasporto di sedimenti) richiedono la risoluzione contestuale degli aspetti idrodinamici.

In particolare, il modulo HD di MIKE 3 permette di tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- flooding and drying;
- gradienti di densità;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;

- effetto del vento;
- gradienti di pressione;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/evaporazione;
- moto ondoso (attraverso i radiation stress);
- apporti puntuali (pozzi e sorgenti).

Il modulo idrodinamico, utilizzato assieme al modulo di trasporto TR, è utilizzato per simulare la dispersione di sostanze disciolte o in sospensione. Analogamente, il modulo idrodinamico può essere accoppiato al modulo di qualità delle acque ed idro-ecologia (ECO Lab) per gli studi ed applicazioni nel settore ecologico.

Inoltre, il modulo HD può essere utilizzato insieme ai moduli Sand Transport e Mud Transport per simulare il trasporto rispettivamente di materiale non coesivo e coesivo.

Nelle aree costiere, laddove il trasporto è in gran parte dominato dalle correnti indotte dal moto ondoso, il modulo idrodinamico può essere forzato dai campi di radiation stress ottenuti mediante l'utilizzo del modulo SW (Spectral Wave).

EQUAZIONI DEL MODELLO

Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni dei Navier-Stokes mediate (Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) sotto le ipotesi di Boussinesq e in condizioni di pressione idrostatica.

Il modello risolve le equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione ma dai soli gradienti di temperatura e salinità. Per il modello 3D, la superficie libera è modellata utilizzando l'approccio di trasformazione delle coordinate sigma o combinato sigma-z. A seguire si presentano in coordinate cartesiane, le equazioni utilizzate.

Equazione di continuità:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Il calcolo degli scambi di temperatura (T) e di salinità (s) è modellato secondo le equazioni generali del trasporto:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \hat{H} + s_s S$$

I termini di diffusività orizzontale sono definiti da:

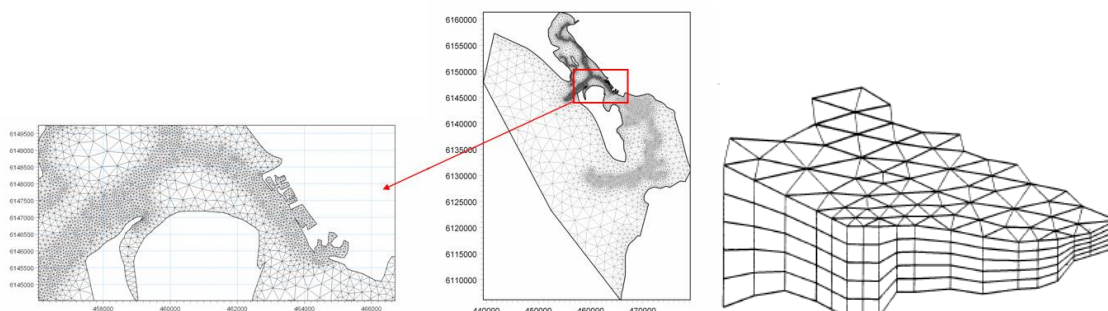
$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

Le equazioni per l'idrodinamica bidimensionale sono ottenute integrando le equazioni lungo la verticale. Possono essere considerati anche gli scambi termici con l'atmosfera.

Symbol list	
t	time
x, y, z :	Cartesian coordinates
u, v, w :	flow velocity components
T, s :	temperature and salinity
D_v :	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
\hat{H} :	source term due to heat exchange with atmosphere
S :	magnitude of discharge due to point sources
T_s, s_s :	temperature and salinity of source
F_T, F_s, F_c :	horizontal diffusion terms
D_h :	horizontal diffusion coefficient
h :	depth

La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte.

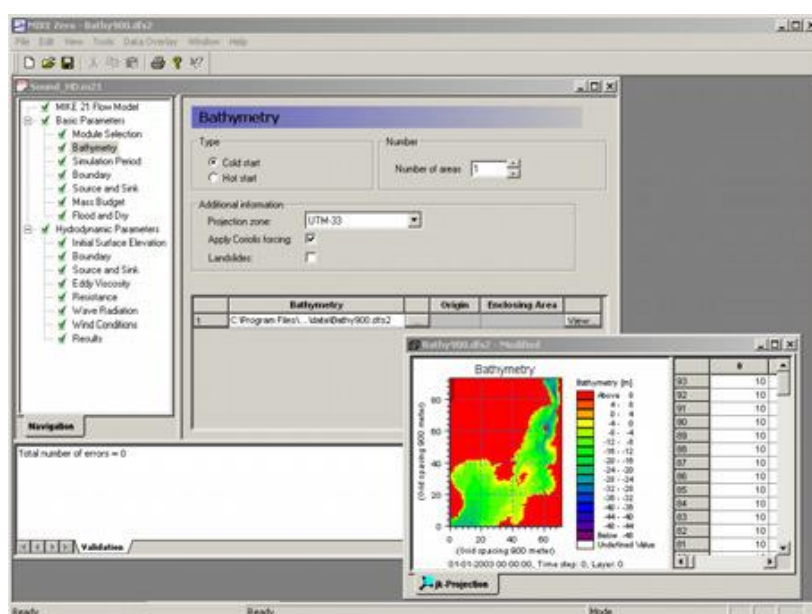
Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri.



INPUT AL MODELLO

Il modello MIKE 3 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo, durata della simulazione);
- fattori di calibrazione (es. scabrezza, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (es. livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (es. oscillazioni di marea, portate);
- altre forzanti (es. campi di vento, radiation stress, apporti puntuali di portata).



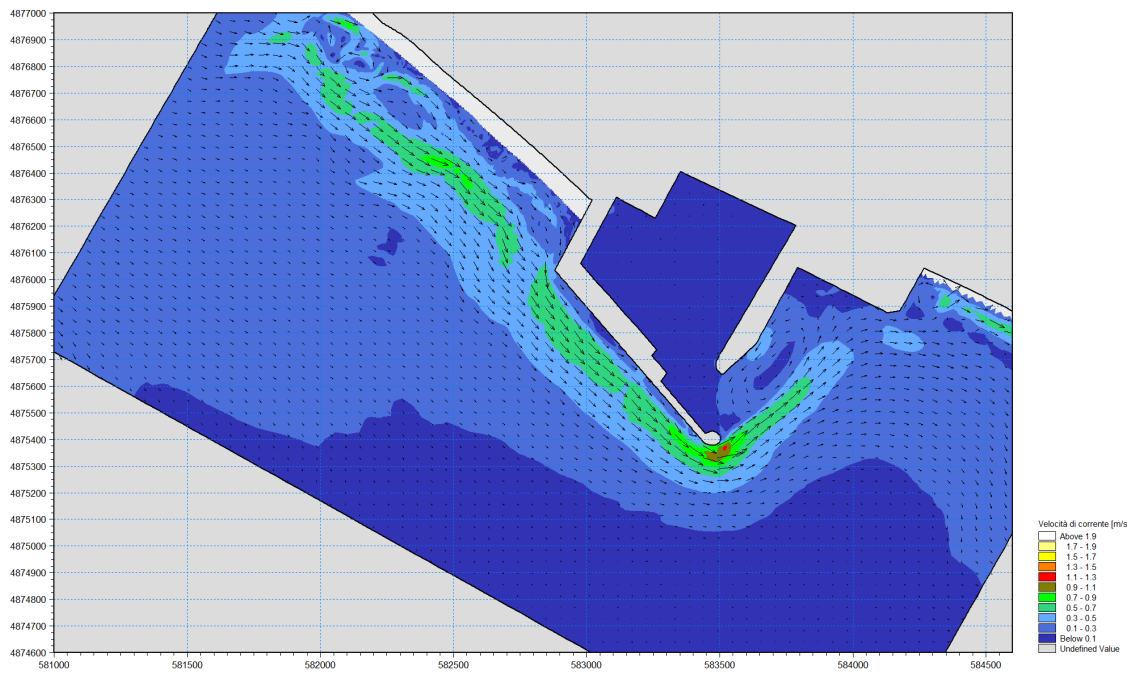
OUTPUT DEL MODELLO

I risultati di un'applicazione modellistica tridimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazioni da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo tridimensionale permette di indagare per l'intera colonna d'acqua non solo l'intensità delle correnti ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Per ciascuna cella/elemento di calcolo (griglia classica o flessibile), è possibile ottenere le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- densità, temperatura e salinità;
- velocità di corrente e direzione;

- velocità del vento;
- pressione atmosferica.



3 MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)

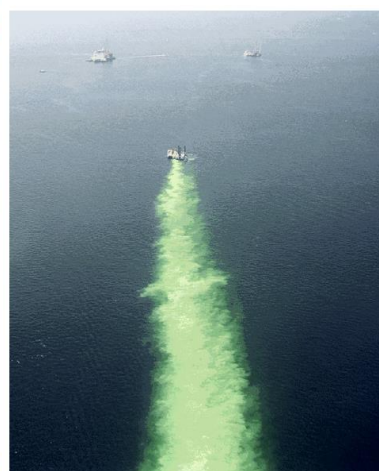
MT (Mud Transport) è il modulo di MIKE 3 che descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione di limi e misture sabbie/limi sotto l'azione di correnti e di onde.

Il modulo MT calcola il trasporto solido sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo HD ed eventualmente delle simulazioni di moto ondoso effettuate con SW. Per effettuare simulazioni a fondo mobile è possibile includere il feedback degli effetti dell'idrodinamica sulla batimetria utilizzando i moduli HD, SW ed MT in maniera accoppiata.

Il Modulo MT può essere applicato in svariati casi, laddove si verificano fenomeni di erosione, deposizione e dispersione di sedimenti fini. In particolare: per studi di trasporto solido per materiali coesivi o per misture sabbie/limi in estuari o aree costiere, nelle quali sono importanti gli aspetti ambientali e può facilmente diminuire la qualità dell'acqua; insabbiamento nei porti, canali navigabili, fiumi, invasi; studi di dragaggio di fondali e del relativo plume.

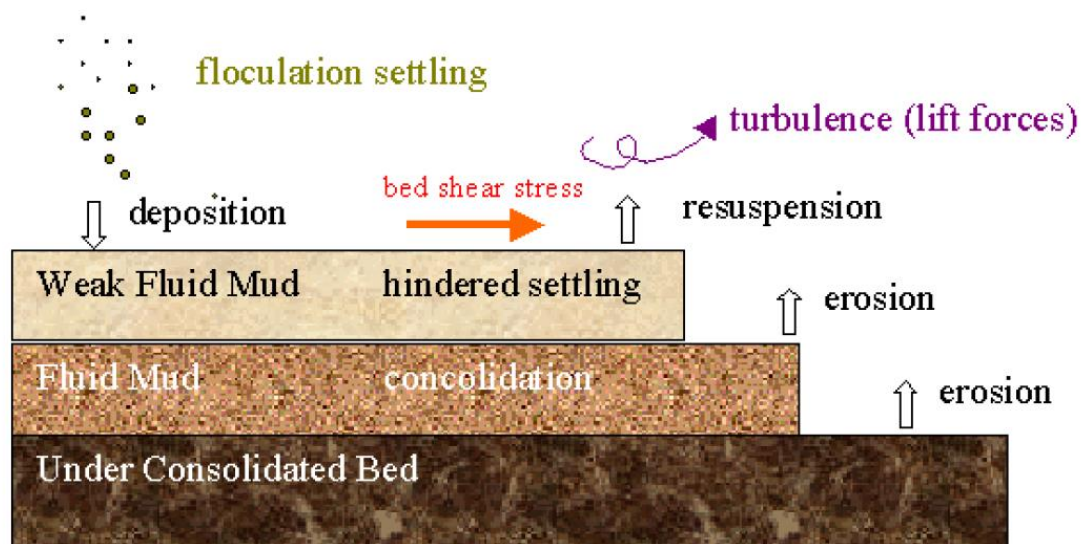
E' possibile includere in MIKE 3 MT:

- simulazione di frazioni multiple di sedimenti;
- simulazione di diversi "bed layers";
- flocculazione;
- inclusione di sedimenti non-coesivi;
- bed shear stress risultanti dall'azione combinata onde-correnti;
- update morfologico del fondale;
- consolidamento.



EQUAZIONI DEL MODELLO

Le equazioni del modulo MT sono basate essenzialmente su *Mehta et al.* (1989), che riguardano il movimento del sedimento fine in un fluido e la sua interazione con il fondo.



L'azione del moto ondoso è introdotta mediante il "bed shear stress". L'equazione del trasporto è descritta di seguito (*Teisson 1991*):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i$$

Symbol list

t	time
x, y, z :	Cartesian co-ordinates
u, v, w :	flow velocity components
D_v :	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
c^i :	the i 'th scalar component (defined as the mass concentration)
w_s^i :	fall velocity
σ_{Tx}^i :	turbulent Schmidt number
ν_{Tx} :	anisotropic eddy viscosity
S^i :	source term

La velocità di sedimentazione, descritta dal termine $\frac{\partial w_s c^i}{\partial z}$, può essere specificata come un valore costante se la concentrazione del sedimento risulta inferiore ad un determinato valore ($c < c_{floc}$). Al di sotto di tale valore di concentrazione, la flocculazione può essere ritenuta trascurabile e pertanto si può applicare un valore costante della velocità di sedimentazione ($w_s = k$).

Nel momento in cui $c > c_{floc}$, il sedimento inizia a flocculare e la velocità di sedimentazione viene descritta dalla relazione seguente (Burt 1986):

$$w_s = k \times \left(\frac{c}{\rho_{sediment}} \right)^\gamma$$

laddove k è una costante, $\rho_{sediment}$ è la densità del sedimento e γ è un coefficiente che regola la sedimentazione.

Nel momento in cui viene raggiunta una concentrazione di sedimenti relativamente alta ($c > c_{hindered}$) i fiocchi di sedimento iniziano ad ostacolarsi l'un l'altro, per tale motivo la velocità di sedimentazione si riduce. Tale riduzione è implementata nel codice secondo le formulazioni di Richardson e Zaki (1954) e Winterwerp (1999).

La Deposizione è descritta nel modo seguente (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b p_D$$

Dove w_s è la velocità di sedimentazione, c_b è la concentrazione di sedimento sospeso al fondo e p_D è espressione della probabilità di deposizione:

$$p_D = 1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}}$$

L'erosione è trattata nel modello in due modi differenti, in funzione della consistenza del fondale. Per fondali consolidati, il tasso di erosione S_E viene definito nel modo seguente (Partheniades, 1965):

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right)^n$$

Dove E è l'erodibilità, n rappresenta la potenza dell'erosione, τ_b è il "bed shear stress" mentre τ_c è il "bed shear stress" critico.

Nel caso di fondale parzialmente consolidato il tasso di erosione viene definito secondo Parchure e Mehta (1985):

$$S_E = E \left(e^{\alpha \sqrt{\tau_b - \tau_c}} \right)$$

Nel caso simulazioni a lungo termine la consolidazione di sedimenti depositati può ricoprire un ruolo importante. Nel caso in cui si utilizzino diversi "bed layers" è possibile applicare un tasso di transizione (T_i) che consente ai sedimenti degli strati superiori di passare agli strati inferiori (consolidamento).

TECNICHE DI SOLUZIONE

La soluzione delle equazioni del trasporto è strettamente legata alla soluzione delle condizioni idrodinamiche. La discretizzazione spaziale delle equazioni di base viene effettuata utilizzando un approccio ai volumi finiti. Il dominio spaziale è discretizzato da una suddivisione del continuo in celle non sovrapposte. Nel piano orizzontale viene utilizzata una mesh non strutturata mentre

nel dominio verticale (nel caso di modello 3D) viene utilizzata una mesh strutturata. L'integrazione temporale è effettuata utilizzando uno schema esplicito.

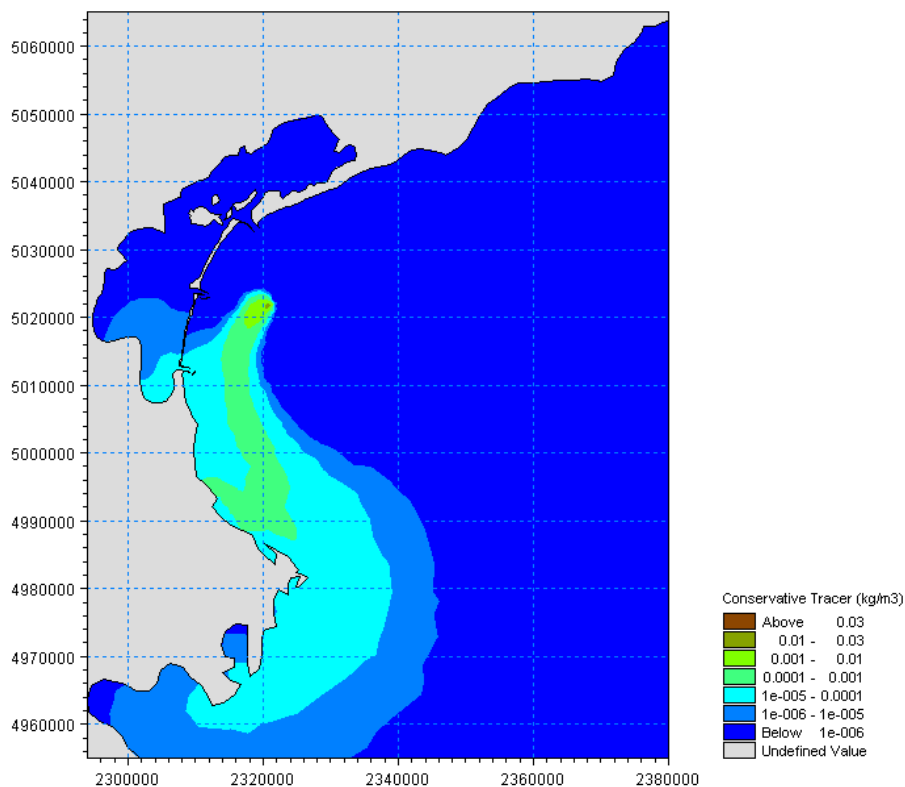
INPUT AL MODELLO


Premesso che la dinamica dei sedimenti coesivi è tale da richiedere sempre un grande lavoro di calibrazione, i principali parametri da inserire in input sono i seguenti:

- velocità di sedimentazione;
- “shear stress” critico per l’erosione e la deposizione;
- caratteristiche dell’erosione (coefficienti di erosione e potenza);
- concentrazioni dei sedimenti ai contorni aperti;
- coefficienti di dispersione;
- spessore dei “bed layers”;
- coefficienti di transizione tra i layers;
- densità dei “bed layers”

OUTPUT DEL MODELLO

I principali output che fornisce il modello sono: concentrazioni di sedimenti sospesi nel tempo e nello spazio; spessori o massa di sedimenti che costituiscono i “bed layers”; tasso di sedimentazione netta, ecc..



 <p>Eni S.p.A. Distretto Meridionale</p>	<p>Data Luglio 2019</p>	<p>Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea</p> <p>Simulazione di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino durante la fase di post- trenching delle sealines</p> <p>Ottemperanza alla Prescrizione A.11 Allegato 1 - Dec. VIA/AIA n. 149/14</p>	<p>Pagina 82 di 115</p>
---	---------------------------------	---	---------------------------------

ALLEGATO 3

MIKE 21 SW – Spectral Waves

MWM: Mediterranean Wind Wave Model

General description of the models' chain

The models and datasets used for the development of the MWM database are:

- the *CFSR (Climate Forecast System Reanalysis)* global re-analysis dataset, produced and freely published by NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) (Saha et al, 2010; <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>), hourly (re-forecast) data with a space resolution of 0.5°; these data are used as initial (IC) and boundary conditions (BC) of the *WRF-ARW model* (below);
- the atmospheric model *WRF-ARW – version 3.4.1 (Weather Research and Forecast - Advanced Research WRF)*, model developed by NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) (Skamarock and Klemp, 2007; Michalakes et al, 2001; Michalakes et al, 2005); *WRF-ARW* is presently considered among the best state-of-the-art non-hydrostatic meteorological models; it is supported by a massive worldwide community that contributes to its local use and development (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>; <http://www.wrf-model.org/index.php>);
- the wave model *MIKE 21 Spectral Waves (SW)* developed by DHI (former Danish Hydraulic Institute) (Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004). *MIKE 21 SW* is among the state of the art wave models, widely used in thousands of offshore and coastal applications worldwide.

In the following a description of the *CFSR* dataset, the *WRF-ARW* and the *MIKE 21 SW* model is given, with specific interest to the implementation adopted in MWM.

CFSR Dataset

The *CFSR* dataset (Fig. A.1) is the result of a long and complex process performed by NCEP, an ensemble of nine weather prediction centers in the United States belonging to the *NWS (National Weather Service)* of the *NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)*. The simulation, completed in 2011, is based on a global atmospheric numerical model including atmosphere-ocean and sea-ice couplings, with a systematic ingestion of both conventional (point) and satellite observations with data assimilation procedures.

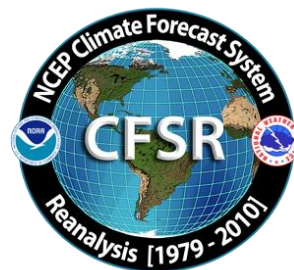


Figure A.1

The *CFSR* now covers a 35-year period from 1979 to 2013 (included) and is continuously updated with new recent data. The simulations were performed as 9 hours forecast simulations, initialized 4 times a day (at 00:00, 06:00, 12:00 and 18:00) between the 6-hourly re-analysis frames. The

results of these simulations, gathered in the CFSR dataset, consist in complete atmospheric data over ocean and lands with a one hour time resolution and a 0.5° horizontal resolution, while the vertical resolution changes greatly amongst the atmospheric variables, spanning from the single surface value up to values at 64 different isobaric levels.

MWM dataset ingest the 6-hourly CFSR data, specifically the *ds093.0* dataset.

Chawla et al (2013) presented a thorough analysis of the *CFSR* dataset against satellite and oceanic buoys data. The final goal of that study is the use of the U_{10} wind data from the *CFSR* dataset as the forcing term of *WWIII* to generate wave fields at global scale, without any assimilation of wave data. The analysis of the *CFSR* dataset shown in that paper includes the intrinsic performance of the model in terms of the seasonal and annual variability of the percentiles. A moving average is applied to smooth the altimeter data from the satellites and from the buoys. The normalized percentiles ("...normalized with the wind speeds at corresponding percentiles from the altimeters") computed over the satellite tracks exhibit an oscillatory behavior, never below 0.93 or 0.90 in the Northern and Southern hemisphere respectively. From that analysis, the wind and wave *CFSR* and *WWIII* data compare very well with satellite data in terms of normalized percentiles. The Q-Q plots at selected offshore buoys are generally good or very good, with some unexpected variations from case to case for some buoys close to the coast, with even a contradictory behavior between U_{10} and H_s in some locations.

The analysis of the wind field of the *CFSR* dataset is far beyond the scope of the present work but still some checks have been done in specific cases, like the event of November 1999 in Trieste (Italy). The performance of a local area model is directly related to the information contained in the global model used as boundary and initial conditions; Fig. A.2 after Contento et al (2014) shows the wind speed for the case of November 1999 in Trieste (Northern Adriatic Sea - Italy); the red dots are experimental data by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the yellow line corresponds to the re-analysis data *CFSR d093.0* (Saha et al, 2010; <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>) interpolated at the same position of the station; the blue dots are related to a fully certified and verified measurement station of the Regional Agency for the Environment Protection (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) located few meters far from the station used by NOAA (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>); the cyan line corresponds to the present hindcast dataset (model *WRF-ARW*). It is rather evident that the *CFSR* dataset ingests the experimental data from NOAA but there are some non-negligible discrepancies between the two experimental datasets (private communication with ARPA FVG-OSMER - Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia Region, Italy). In this case the local model *WRF-ARW* is able to develop the local wind field and matches correctly the measurement by ARPA, irrespective of the wrong assimilated data as BC and IC; this, however, cannot be always guaranteed.

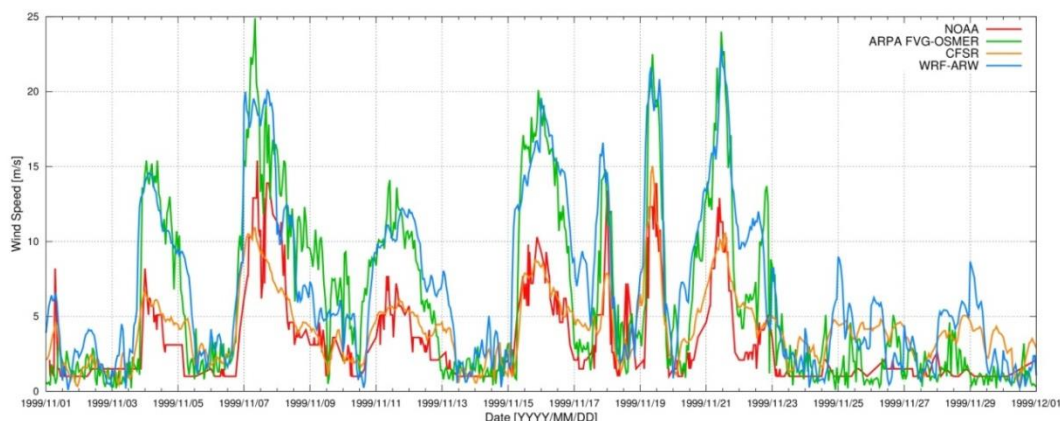


Figure A.2 Comparison between measured wind speed at two ground neighbor (few meters from each other) stations in Trieste (Italy - Northern Adriatic Sea) from the database of NOAA

(<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>) (red line) and from ARPA-FVG OSMER (<http://www.osmer.fvg.it/home.php>) (blue line). Model data from CFSR (Saha et al, 2010) (yellow line) and the present simulations with WRF-ARW (cyan line) are overlapped.

The scope of these checks was solely to verify the sensitivity of the CFSR wind pattern to a complex steep geographic area facing the sea. The eastern coast of the Adriatic Sea is just an example among many others. The availability of certified wind data from the local Regional Agency for the Environment Protection – Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>) related to ground stations and to a fixed station in the middle of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea <http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>), helped a lot in defining the set-up of the local area meteorological model. The aim of the set-up process was to let the model WRF-ARW develop mesoscale and local weather structures, thus using a domain large enough to develop these structures, but at the same time avoiding the use of too large a domain that may lead to a model drift from the experimental data. These undesired effects were observed along the entire Adriatic Sea, specifically on the eastern side (Contento et al, 2011; Contento et al, 2014).

WRF-ARW meteorological model

The WRF model is an open source mesoscale to microscale atmospheric model developed by the American atmospheric research center NCAR in cooperation with many other meteorological institutions. It is largely used worldwide for both atmospheric research and forecast or hindcast purposes due to its ability to perform atmospheric simulations over a wide range of length scales spanning from less than 1 kilometer to thousands of kilometers. This flexibility is further increased by its capability of performing two way coupled nested runs.

The WRF modelling system includes a pre-processor system (WPS), a data assimilation system (WRF-DA) and the dynamic solver. During this work the ARW dynamic solver, developed and maintained by the Mesoscale and Microscale Meteorology Division of NCAR, has been used. The ARW dynamic core is a fully compressible and non-hydrostatic model, based on a terrain-following hydrostatic pressure vertical coordinate system and on an Arakawa C-grid staggered evaluation of the vector quantities. The solver uses high order time integration and 3-D advection schemes.

The WRF model works internally with NetCDF files, a self-describing and machine-independent data format particularly suitable for the manipulation of long arrays of scientific data.

A WRF-ARW model run is a quite complex process, since it involves several different steps to be run in a precise order. First of all, WRF requires boundary and initial conditions; these conditions can be supplied by the GRIB files obtained from the CFSR dataset files described in CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010.” [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

GRIB files needed to cover completely the whole simulated period must be fed to the model to complete the simulation process successfully.

Moreover, since the atmosphere behaviour is strongly dependent on the soil characteristics, detailed data about these characteristics must be fed to the model too in order to let it develop the local weather phenomena correctly. However, there is no need to produce this type of data since suitable 30" resolved geographic data are included in the default WRF pre-processing (WPS). Since these data are time-independent they need to be downloaded only once, and they remain valid for every simulation unlike the GRIB files. Actually, some of the parameters contained in the geographic data cannot be considered as completely time-independent; in fact, some of the parameters show a time dependence which, however, is limited to seasonal changes, e.g. the

reduced vegetation cover in winter. The possible seasonal variability of the geographical parameters is included in the geographical data archive of WPS.

A complete WRF-ARW simulation needs the WPS (*WRF Pre-processor System*) to be run before the numerical solver (*wrf.exe*). The WPS pre-processor system deals with both the domain set-up and the preliminary input manipulations; it is composed by three main executables carrying out different tasks:

- *geogrid.exe* is responsible for the definition of the horizontal grid as well as for the interpolation of the geographic data on the user-defined grid. When performing nested runs, the *geogrid.exe* run produces a NetCDF file *geo_em.dxx.nc* containing the grid and geographic data for each domain, where *xx* stands for the code of the domain (01, 02, ...).
- *ungrib.exe* is responsible for the decoding of the input GRIB files used as initial and boundary conditions. The GRIB files, which need to be linked to the work directory of WPS by means of the script *link_grib.csh*, are “ungribbed” and rewritten in an intermediate format suitable for further manipulations, excluding all the fields not needed for the following model run.
- *metgrid.exe* is responsible for the horizontal interpolation of the intermediate input files produced by *ungrib.exe* on the grid defined by *geogrid.exe*. Moreover, the geographic data contained in the *geo_em* files are ingested by *metgrid* and written on its output files. The output of *metgrid.exe* is in fact composed by the NetCDF files *met_em.dxx.YYYY-MM-DD_HH:00:00.nc*, each containing the interpolated boundary conditions and geographic data for the *xx* domain and for every timestep of the supplied GRIB files. In the case considered, as the CFSR dataset is composed of hourly data, the produced *met_em* files are hourly spaced too.

The whole WPS process is controlled by a single external configuration file: *namelist.wps*, which contains the user specified parameters defining the time length and the domain of the simulation as well as the time and space resolutions.

An additional manipulation is needed before launching the actual solver: the NetCDF data produced by *metgrid.exe* must be vertically interpolated onto the user-defined vertical levels of the WRF simulation. This task is performed by the *real.exe* executable, which, despite actually being a pre-processing routine, is not included in the WPS system. The *real.exe* run finally produces the NetCDF files needed by the bare solver: *wrfinput_dxx* and *wrfbdy_dxx*, containing respectively, for each of the nested domains under simulation, the initial condition inclusive of the domain geographic data and the boundary conditions forcing the domain over time.

The last step of a WRF-ARW model simulation is the *wrf.exe* solver run which performs the numerical integration and produces the final output files *wrfout_dxx_YYYY-MM-DD_HH:MN:SS*, one for each simulated domain and for every temporal frame in the total simulated period. Each *wrfout* file contains therefore the complete atmospheric variables set calculated by the ARW solver for every point of the user defined simulation 3-D grid at a single temporal frame.

Both *real.exe* and *wrf.exe* are controlled by *namelist.input*, an external configuration file gathering the user defined parameters regarding the vertical resolution of the simulation, the atmosphere microphysical parameters and, again, the time / length scales and resolutions of the simulation.

A script that makes all steps involved automatic in a WRF-ARW simulation procedure, from the set-up of the configuration files to the archiving of output files, was developed and tested extensively.

The above depicted working scheme is summarized in Figure A.3:

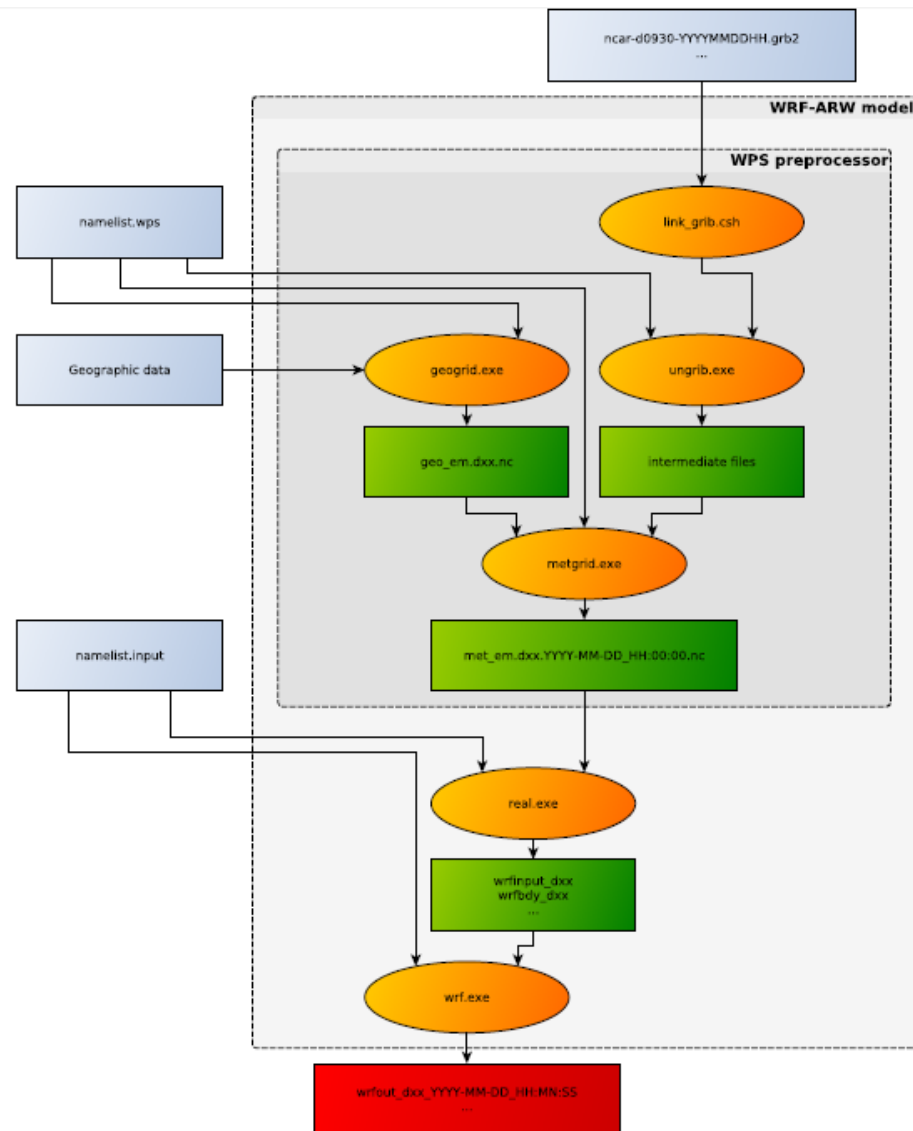


Figure A.3 Working scheme of the WRF-ARW model.

WRF-ARW domains, resolution, set-up in MWM

The preliminary set-up and tuning of the met-ocean models chain was performed simulating the month of November 1999, chosen for the remarkable number of very intense storms occurred over the Mediterranean Sea. The second step, before running the entire period 1979-2013, was done simulating one complete year, from November 1999 to October 2000, relying on 41 ground stations along the Mediterranean coast and 25 wave buoys for comparison. The results obtained in these steps are summarized in Contento et al. (2014), Contento et al. (2012-2014) and Donatini (2013).

The two-steps set-up started with the meteorological model *WRF-ARW*, adopting different configurations (domain size, resolution, run length, spin-up time) and comparing the wind speed and direction with observational data from ground stations. Since the *CFSR* (Saha et al, 2010) re-analysis dataset reproduces large scale events correctly, after several tests the final decision was to adopt three relatively small, overlapping domains, which cover respectively the Western, Eastern and Central Mediterranean Sea (Fig. A.4). Hereafter these domains will be referred as MEW, MEE and MEC respectively. The wind field obtained from the 3 domains was merged in a

single dataset by a bi-linear interpolation on a Lat-Lon grid and by a linear blending of the results inside the two overlapping zones (Fig. A.4).

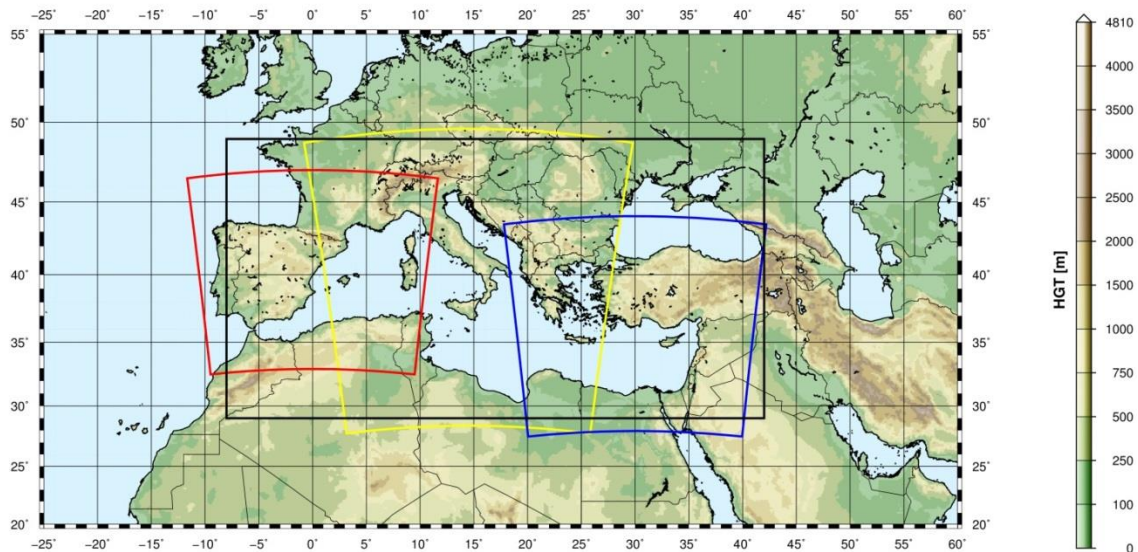


Figure A.4 WRF-ARW domains (red=domain MEW, yellow=domain MEC, blue=domain MEE) and interpolation/blending domain (black line).

The horizontal resolution of *WRF-ARW* was set to 10.53 km, with a grid ratio to the *CFSR* re-analysis data of 1:5 approximately. An additional domain (ITN) with a resolution of 3.51 km was run over Northern Italy as a nested domain of MEC.

The time length of the model run, in terms of hours simulated continuously between two consecutive model initializations with *CFSR* frames, proved to be among the most important parameters that influence the quality of the results. Keeping a small run length reduces the risk of model drift. On the other hand, shortening it excessively may lead to a too constrained behavior of the model, which prevents the correct development of the mesoscale weather structures. The problem of the model drift proved to be particularly tough over the Adriatic Sea where the orography is rather complex and the North-Eastern wind (Bora) can occasionally reach the speed of 150 km/h or more in very narrow zones.

A spin-up time window was used in order to let the model *WRF-ARW* ingest and process the coarser initial conditions from *CFSR*, thus letting it evolve and develop local weather structures. This spin-up window was overlapped with the tail of the previous run so that the data of the simulation during the spin-up window were discarded. The time length of this overlapping window is typically of few hours.

The Mediterranean Sea is a very complex basin from the meteorological point of view, with violent storms usually characterized by a short duration. The two examples given below show the importance of resolving the large space and time gradients of the variables.

Fig. A.5 shows a typical winter wind pattern (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The reference distance of these large variations is of 1° at most.

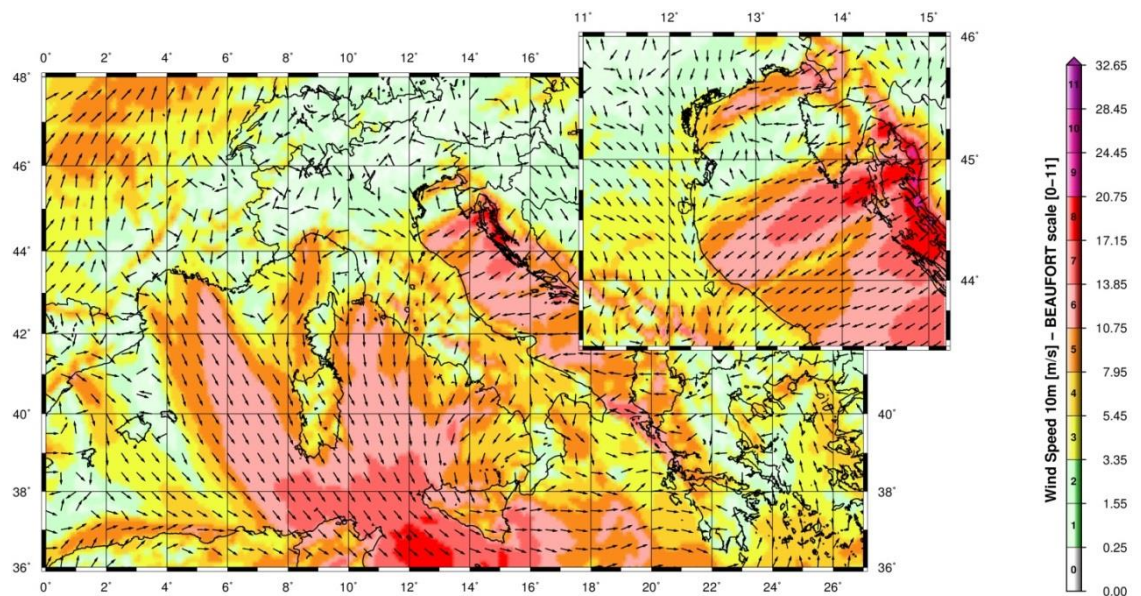


Figure A.5 A typical winter wind pattern over the Mediterranean Sea (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The upper-right figure shows a zoom over the Northern part of the Adriatic Sea (Istria peninsula).

Fig. A.6 (Contento et al., 2011) shows the time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste that caused the loss of two human lives and damages in the main harbor. The squall lasted about 10 min reaching more than 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model *WRF-ARW* run at that time by some of the authors of this work for ARPA FVG-OSMER, <http://www.osmer.fvg.it/home.php>. The black line corresponds to the measurement at the station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The station is a fixed pole in the middle of the Gulf of Trieste. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s. This situation is not uncommon in the Adriatic zone, mostly during the summer, with violent fronts from North and North-West then rotating to North-East.

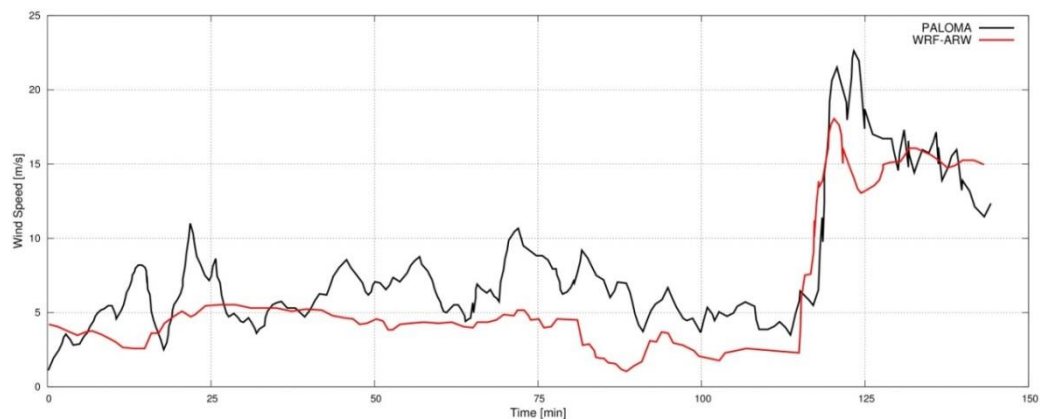


Figure A.6 Time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste. The squall lasts about 10 min reaching over 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model *WRF-ARW*. The black line corresponds to the measurements at the measurements station PALOMA (45° 37' 06" N, 13° 33' 55" E) [<http://www.ts.ismar.cnr.it/node/84>]. The measured wind speed is 5 min averaged with 5 min samples. The time step of the model is approximately 13 s.

MIKE 21 SW wave model

The wave modeling system includes the state of the art third generation spectral wind-wave model MIKE 21 SW, developed by DHI. MIKE 21 SW simulates the growth, decay and transformation of wind-generated waves and swell in offshore and coastal areas.

MIKE 21 SW includes two different formulations:

- Directional decoupled parametric formulation
- Fully spectral formulation

and includes the following physical phenomena:

- Wave growth by action of wind
- Non-linear wave-wave interaction
- Dissipation due to white-capping
- Dissipation due to bottom friction
- Dissipation due to depth-induced wave breaking
- Refraction and shoaling due to depth variations
- Wave-current interaction
- Effect of time-varying water depth

The discretization of the governing equation in geographical and spectral space is performed using cell-centered finite volume method. In the geographical domain, an unstructured mesh technique is used. The time integration is performed using a fractional step approach where a multisequence explicit method is applied for the propagation of wave action.

For the production of the MWM database, the fully spectral formulation has been adopted, based on the wave action conservation equation, as described in e.g. Komen et al. and Young where the directional-frequency wave action spectrum is the dependent variable.

The time integration of the governing equations is done by using a dynamically determined time step. The time step is determined in order to verify the stability criteria (CFL number).

The only driving force is represented by the two components of wind fields U10 and V10, (x and y component of wind at the elevation of 10m). The process by which the wind transfers energy into the water body for generating waves is controlled by a uncoupled air-sea interaction.

The spectral discretization adopted in the wave model has been deeply investigated and the final configuration is able to guarantee at the same time a high level of accuracy of the results and a reasonable computational effort.

The model domain covers the whole Mediterranean Sea but the spatial resolution is not the same everywhere: while in the offshore areas the spatial resolution is around 0.1° , when approaching the coast the spatial resolution increases up to around 0.03° .

The wave model is forced by the wind fields coming from the WRF Atmospheric models, illustrated above. The wave model generated results in terms of wave parameters (Significant Wave Height, Wave Periods, Wave Directions, etc.) over the whole domain and, in addition, spectral parameters in predefined output locations have been stored, too.

MIKE 21 SW domain, resolution, set-up in MWM

The model domain, covering the entire Mediterranean Sea, is illustrated in Figure A.7.

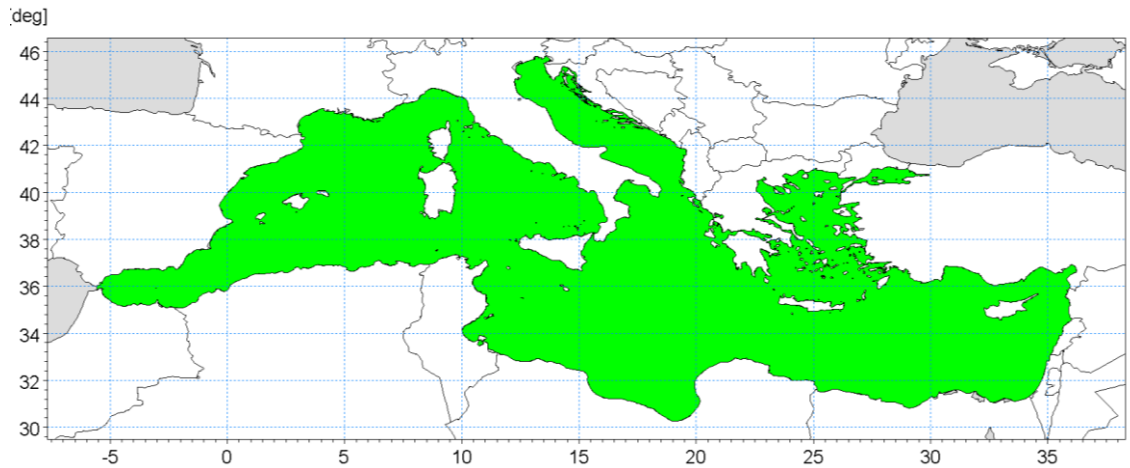


Figure A.7 Wave model domain filled in green

The unstructured mesh, generated over the entire domain by means of a specific tool included in MIKE 21 package, is characterized by different resolutions (in terms of mean length of triangle sides) over the domain. In particular the following criteria have been adopted:

- a coarser resolution of 0.1° (about 10 Km) is used for offshore areas;
- a finer resolution of 0.03° (about 3 Km) has been adopted in shallow water areas, where bathymetry is less than 100m depth or, in coastal areas characterized by very steep profiles, where the distance from the coastline is less than 5÷10 Km.

Figure A.8 illustrates the computational mesh of the Mediterranean wave model.

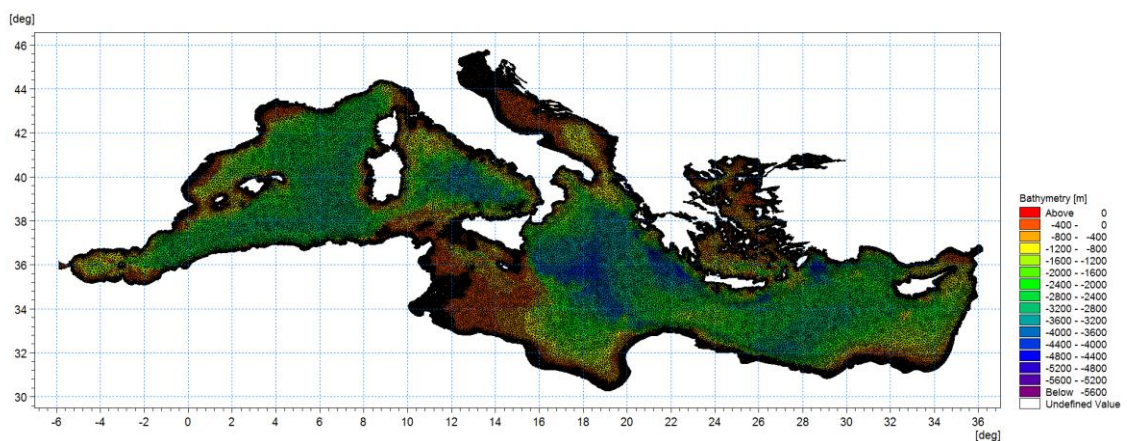


Figure A.8 - Mediterranean wave model computational mesh

Figure A.9 illustrates a detail of the above computational mesh, with special focus on the Adriatic Sea.

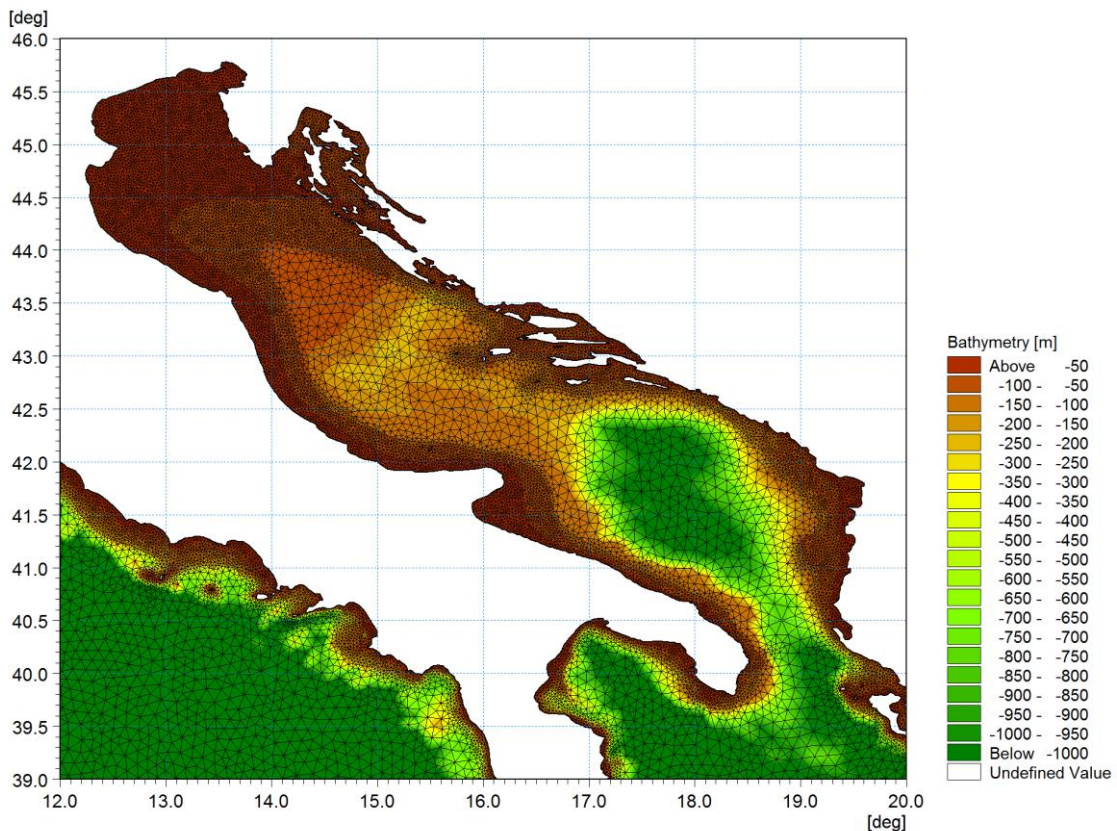


Figure A.9 - Detail of the mesh – Adriatic Sea

Scatter bathymetry data have been derived from GEBCO_08 database. The GEBCO_08 Grid is a 30 arc-second grid of global elevations and it is a continuous terrain model for ocean and land. The grid was generated by combining quality-controlled ship depth soundings with interpolation between sounding points guided by satellite-derived gravity data.

The gridded data are stored in a netCDF data file. Grids are stored as one dimensional arrays of 2-byte signed integer values. The complete data sets provide global coverage. Each data set consists of 21,600 rows x 43,200 columns, resulting in a total of 933,120,000 data points. The data start at the Northwest corner of the file, i.e. for the global file, position 89°59'45"N, 179°59'45"W, and are arranged in latitudinal bands of 360 degrees x 120 points/degree = 43,200 values. The data range eastward from 179°59'45"W to 179°59'45"E. Thus, the first band contains 43,200 values for 89°59'45"N, then followed by a band of 43,200 values at 89°59'15"N and so on at 30 arc-second latitude intervals down to 89°59'45"S. Data values are pixel centred registered, they refer to elevations at the centre of grid cells.

Figure A.10 illustrates GEBCO_08 scatter data for the entire area of the Mediterranean Sea.

GEBCO scatter data have not been used in the whole domain of the Mediterranean Sea. Following a detailed check of agreement and discrepancies between GEBCO database and nautical charts, it has been assumed to limit the use of GEBCO database for offshore areas (up to 500 m water depth) and to use nautical charts for shallower water areas (mainly coastal areas).

The nautical charts database which has been used is the CM93/3 database from CMAP.

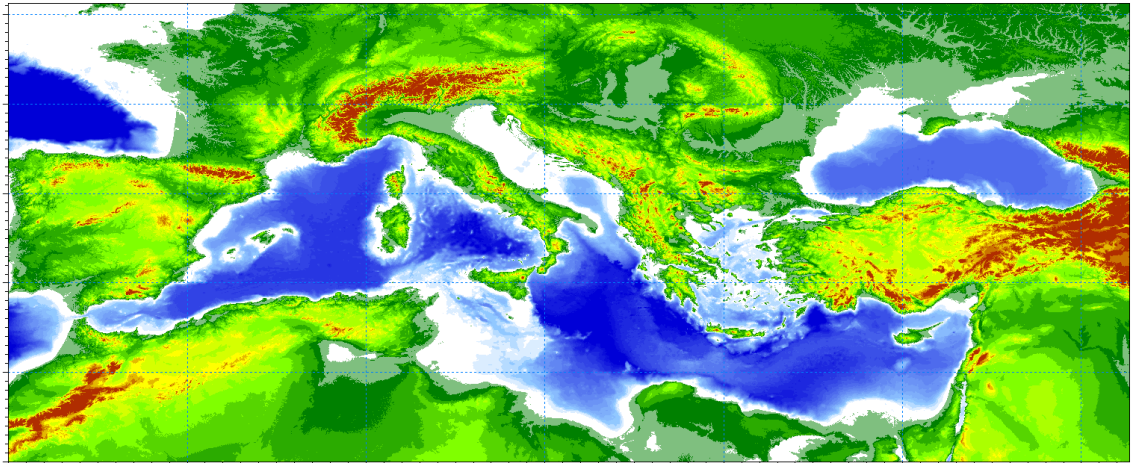


Figure A.10 - Scatter bathymetry data derived from GEBCO_08 database

The number of discrete frequencies and directions form the so called “spectral resolution”, which is a key parameter for wave models in general. The number of discrete frequencies and directions should in fact be high enough to properly represent the “real shape” of the wave spectrum and, on the other hand, it can’t be too high, since it would lead to unacceptable computational times and memory consumption.

In terms of frequency range, the minimum frequency f_{min} (which corresponds to the maximum wave period T_{max} , according to the common relation $f = \frac{1}{T}$) should be able to capture the longest wave periods that can occur in the Mediterranean Sea.

The analysis of ordinary and extreme waves in the Mediterranean Sea (from available data of wave buoys) has highlighted that almost all the wave energy associated to waves in the Mediterranean Sea are associated to wave periods between 1.5 seconds and 20 seconds.

In addition, a logarithmic distribution for the discrete frequencies acts better than a simple linear distribution, since most of the wave periods are concentrated below 8-10 seconds. A number of frequencies around 30 is widely considered as adequate for a proper discretization of wave energy spectra in the Mediterranean Sea. The following formulation has therefore been adopted:

$$f_n = 0.04 \cdot 1.1^n,$$

where n goes from 0 to 29 (30 frequencies in total). The discrete frequencies range from 0.04 Hz to 0.63 Hz (from 1.6s to 25.0s of Mean Wave Period T_m).

Also the choice of the number of discrete directions (directional discretization) is the result of detailed investigations and tests. In particular, a high number of wave model tests, each one characterized by a different spectral resolution (directional), i.e. by a different number of discrete directions have been setup and run.

Few examples of the results of the above model tests are illustrated from Figure A.11 to Figure A.13 in terms of short time series of wave heights extracted at 3 different locations where also measurements were available (La Spezia wave buoy, Ponza wave buoy, Cetraro wave buoy).

In all the below test cases, it appears that the two time series of wave height characterized by 24 and 36 discrete directions are almost coincident. Higher discrepancies can be found for a much limited number of discrete directions (12). After a high number of tests, the 24 directions solution has been assumed as a very good compromise between accuracy of results and computational time (the computational time of the wave model is linearly dependent on the number of discrete directions).

Provided that wave directions can vary within the 360° rose, the directional resolution of the wave model is $360^\circ/24 = 15^\circ$

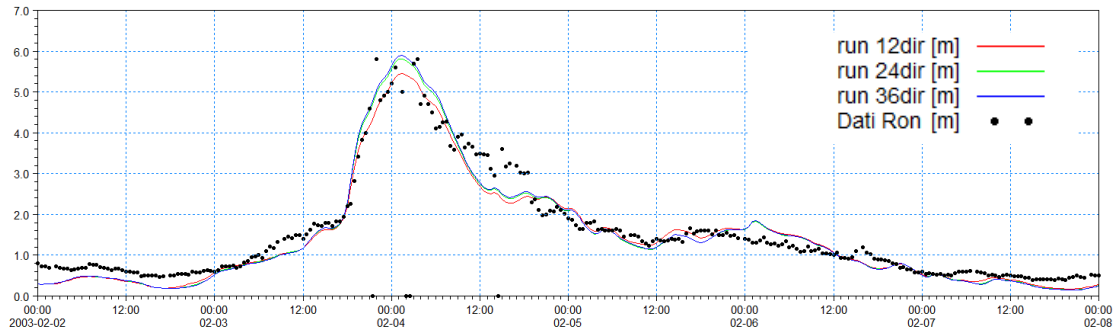


Figure A.11 - Time series of wave height at La Spezia buoy location for 3 different numbers of discrete directions

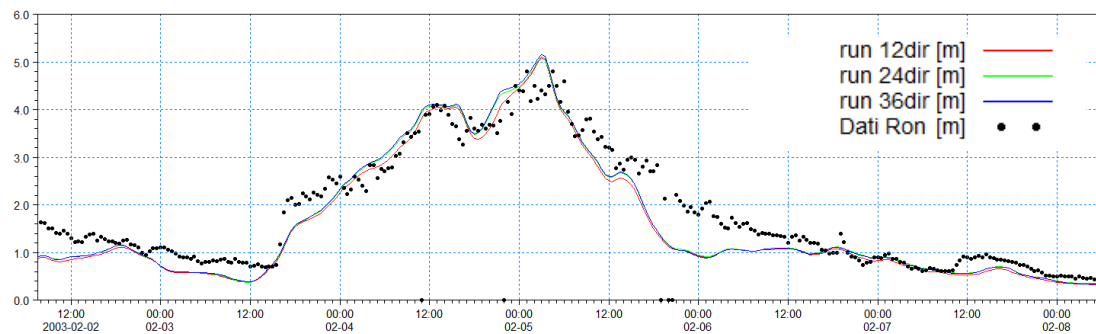


Figure A.12 - Time series of wave height at Ponza buoy location for 3 different numbers of discrete directions

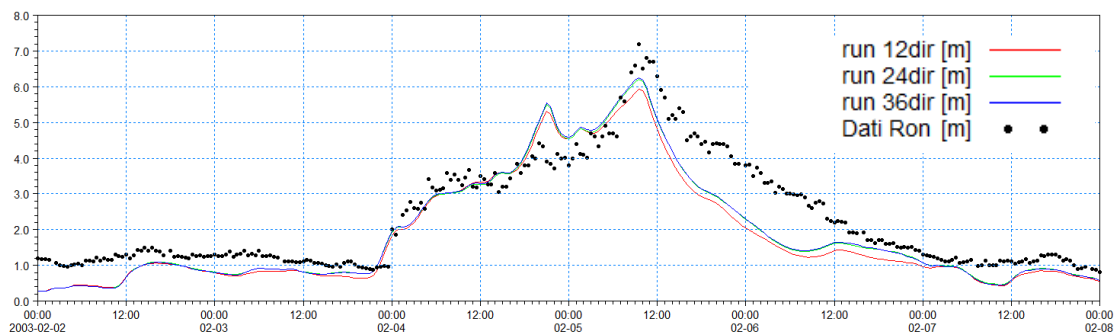


Figure A.13 - Time series of wave height at Cetraro buoy location for 3 different numbers of discrete directions

Available products of the MWM database

The results of the wind and wave model are stored, in the whole domain, in terms of wind parameters and wave parameters averaged over the wave period (“phase averaged results”). In particular, the following hourly time series are available:

- Wind speed, WS [m/s]
- Wind direction, WD [deg]
- Significant Wave height, Hs [m]
- Mean wave period, Tm [s]
- Peak wave period, Tp [s]
- Zero crossing period, Tz [s]
- Mean wave direction, MWD [deg]
- Peak wave direction, PWD [deg]
- Directional standard deviation, DSD [deg]

In addition, hourly spectral results (in terms of wave energy associated to the frequency-direction bins) are saved on a regular grid with an equidistant spatial resolution of 0.1° .

Figure A.14 and Figure A-15 illustrate respectively an example of phase averaged results over a portion of Mediterranean Sea (Hs) and an local example of spectral results.

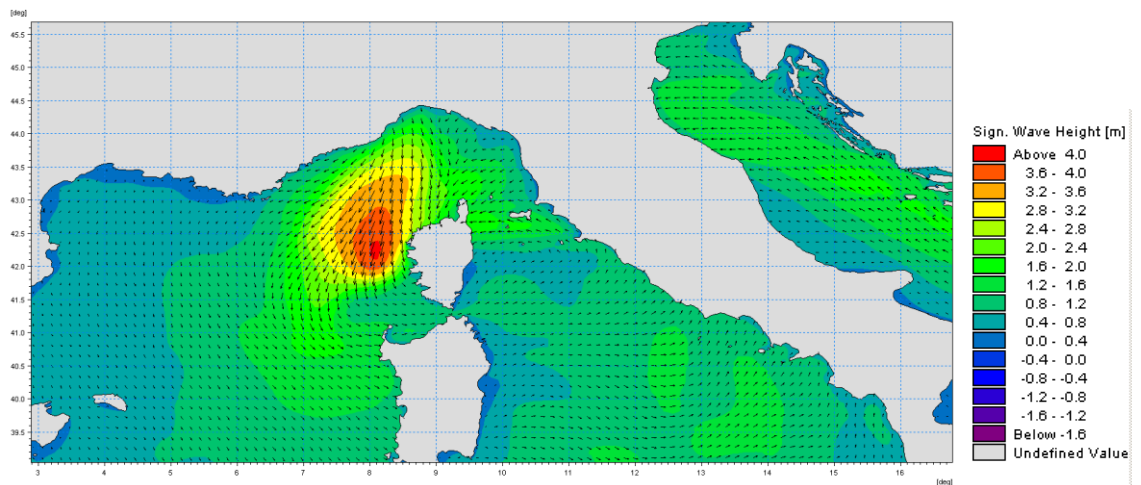


Figure A.14 Phase averaged results: Field of significant wave height and direction

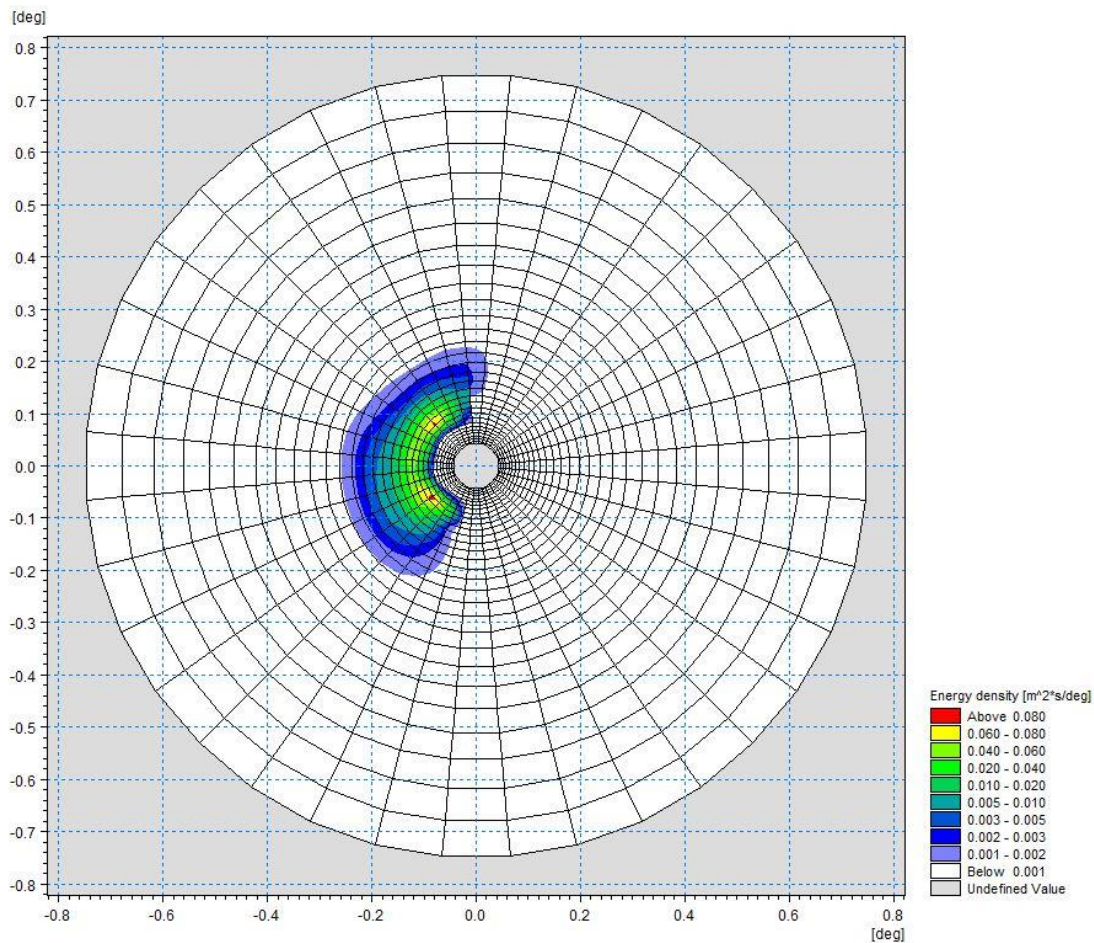


Figure A.15 Polar plot of spectral results. Wave energy density (coloured contours) as a function of directions (angular coordinate) and frequencies (radial coordinate)

References

Arduin, F., Bertotti, L., Bidlot, J.R., Cavaleri, L., Filipetto, V., Lefevre, J.M., Wittmann, P., 2007, Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Mediterranean Sea. *Ocean Engineering*, Vol. 34, pp. 526-541.

Athanassoulis, G., Stefanakos, Ch., Cavaleri, L., Ramieri, E., NoEL, C., Lefevre, J.M., Gaillard, P., 2004, RTP 10.10 / WW_MEDATLAS Scientific Report.

Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M., 1978, Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proceedings, 16th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp.569-587.

Bolaños-Sanchez, R., Sanchez-Arcilla, A., Cateura, J., 2007, Evaluation of two atmospheric models for wind-wave modeling in the NW Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 65:336-353.

Cavaleri, L., Bertotti, L., 2004, Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas. *Tellus*, Vol. 56, pp. 167-175.

Cavaleri, L., 2005, The wind and wave atlas of the Mediterranean Sea – the calibration phase. *Advances in Geosciences*, Vol. 2, pp. 255-257.

- Cavaleri, L., Sclavo, M., 2006, The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol.53, pp. 613-627.
- Chawla, A., Spindler, D.M., Tolman, H.L., 2013, Validation of a thirty year wave hindcast using the Climate Forecast System Reanalysis winds, *Ocean Modelling*, Vol. 70, pp. 189-206.
- Contento, G., Lupieri, G., Venturi, M. Ciuffardi, T., 2011, A medium-resolution wave hindcast study over the Central and Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 16(2), pp. 181–201.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, Feudale, L, Pedroncini, A., Cusati, L.A., 2014, A state-of-the-art met-ocean model chain for wind&wave hindcast over the Mediterranean and Black Seas: implementation, tuning and validation against field data, accepted for presentation at the 21th Symposium Theory and Practice of Shipbuilding SORTA 2014, Oct. 2-4, 2014, Baška, Island of Krk, Croatia.
- Contento, G., Lupieri, G., Donatini, L, 2012-2014, Project SEAPOL - Sistema modellistico ad Elevata risoluzione per l'Analisi storica e la Previsione del moto Ondoso nel mar Ligure, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Technical Reports codes SEAPOL_UT_1.1.0 to SEAPOL_UT_5.1.0.
- Donatini, L., 2013, Implementation of a state-of-art met-ocean model chain for hindcast wave simulations over the Mediterranean Sea and comparison of results with field data, Master Degree Thesis, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste, Italy.
- Donatini, L., Lupieri, G., Contento, G., 2014, A medium resolution wind&wave hindcast study for the Mediterranean Sea, Journal Paper, under review.
- Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Krusemann, P., Meerburg, A., Mueller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H., 1973, Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergaenzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe, A(8)*, 12, 95 pp.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H., Barnett, T.P., 1985. Computations and parametrizations of the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part II: Parametrizations of the nonlinear energy transfer for applications in wave models. *J. Phys. Oceanogr.* Vol. 15, pp. 1378–1391.
- ISPRA (formerly APAT), 2004, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, Dipartimento Tutela Acque Marine ed Interne, Servizio difesa delle coste, Analisi preliminare dei dati marini lungo le coste italiane – Atlante delle coste – Il moto ondoso al largo delle coste italiane, Technical Report (in Italian). http://www.apat.gov.it/site/_files/Atlante_coste/Introduzione.pdf.
- Janssen, P.A.E.M., Abdalla, S., Hersbach, H., Bidlot, J.R., 2007: Error Estimation of Buoy, Satellite, and Model Wave Height Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. **24**, pp. 1665–1677. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH2069.1>
- Michalakes, J., Chen, S., Dudhia, J., Hart, L., Klemp, J., Middlecoff, J., Skamarock, W., 2001, Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. *Developments in Teracomputing. In Proceedings of the 9th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, 269-276.
- Michalakes, J., Dudhia, J., Gill, D., Henderson, T., Klemp, J., Skamarock, W., Wang, W., 2005, The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. In *Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński. World Scientific, 56 - 168.

Ponce del León, S., Guedes Soares, C., 2008, Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean Sea. *Coastal Engineering*, Vol. 55, pp. 920-929.

Puertos del Estado, Spain, 2009, – (http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/), private communication.

Queffeuou, P., 2004, Long term validation of wave height measurements from altimeters. *Marine Geodesy*, Vol. 27, 495-510.

Queffeuou, P., Croizé-Fillon, D., 2010, Global altimeter SWH data set, version 7, Technical Report, Ifremer, ftp://ftp.ifremer.fr/cersat/products/swath/altimeters/waves/documentation/altimeter_wave_merge__7.0.pdf

Queffeuou, P., 2009, Altimeter Wave Height Measurements - Validation of Long Time Series. Poster: Ocean Surface Topography Science Team meeting, Seattle, Washington, USA. (<http://www.avisioceanobs.com/en/courses/ostst/ostst-2009-seattle/posters/>).

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Wollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y., Chuang, H., Juang, H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist, D., VanDelst, P., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., van den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R., Rutledge, G., Goldberg, M., 2010, *The NCEP Climate Forecast System Reanalysis*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 91, 1015–1057.

Skamarock WC, Klemp JB, 2007, A time-split nonhydrostatic atmospheric model for research and NWP applications. *J. Comp. Phys.* Special issue on environmental modeling.

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Tolman, H.L., 2002a. Alleviating the garden sprinkler effect in wind wave models. *Ocean Modelling*, Vol. 4, pp. 269–289.

Tolman, H.L., 2002f, Validation of WAVEWATCH III, version 1.15 for a global domain. Tech. Note 213, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 33p.

Tolman, H.L., 2008, http://cioss.coas.oregonstate.edu/CIOSS/workshops/Altimeter_workshop_08/Coastal_Alt_Presentations/18_Tolman_Sig_Wave_Ht.pdf

Sorensen, O.R., Kofoed-Hansen, H., Rugbjerg, M. and Sorensen, L.S., 2004: A Third Generation Spectral Wave Model Using an Unstructured Finite Volume Technique. In Proceedings of the 29th International Conference of Coastal Engineering, 19-24 September 2004, Lisbon, Portugal.

Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen, P.A.E.M., (1984). Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560 pp.

Young, I.R., (1999). Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

WAMDI-group: S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky and J.A. Ewing, (1988) "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model", *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810

General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) – www.gebco.net

CM-93 Edition 3.0, CM-93/3 - www.jeppesen.com/marine/commercial/professional/

Ole Baltazar Andersen (1995), Global ocean tides from ERS 1 and TOPEX/POSEIDON altimetry, J. of Geophys. Res., 100, C12, p. 25249-25260

Doodson, A. T., Warburg, H. D., 1941 "Admiralty manual of tides"

Web references

ARPA-FVG OSMER, [Online] <http://www.osmer.fvg.it/home.php>

ARW Online Tutorial." [Online] Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/index.htm>

CISL RDA: NCEP Climate Forecast System Re-analysis (CFSR) 6-hourly Products, January 1979 to December 2010." [Online] Available at <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/index.html#description>

NOAA, Hourly/Sub-Hourly Observational Data." [Online] Available at <http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=hourly&layers=1&node=gis>

The Weather Research&Forecasting Model Website." [Online] Available at <http://www.wrf-model.org/index.php>

MIKE 3

Modello tridimensionale per fiumi, laghi,
aree costiere ed offshore





INDICE

1	PREMESSA	1
2	MODULO IDRODINAMICO (HD FM)	3
3	MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)	8

1 PREMESSA

MIKE 3 è un codice di calcolo professionale per la simulazione di correnti a pelo libero in tre dimensioni utilizzabile per lo studio di livelli e correnti, trasporto di sedimenti coesivi, qualità delle acque ed ecologia in fiumi, laghi, estuari, baie, aree costiere e mare aperto. MIKE 3 costituisce un pacchetto professionale unico per le attività di ingegneria e consulenza a supporto della progettazione, pianificazione e gestione in ambienti fluviali e marini a diverse scale spaziali. Il codice è il risultato di una continua attività di sviluppo e mantenimento da più di 20 anni, frutto di un'elevata esperienza conseguita in centinaia di applicazioni in tutto il mondo.

La scelta di utilizzare la versione 2D o 3D dipende da numerosi fattori. Ad esempio, in acque poco profonde, le condizioni di vento e di marea sono sufficienti a mantenere omogenee le caratteristiche della colonna d'acqua (salinità e temperatura). Nei corpi idrici stratificati, sia per problematiche legate alla densità o di altro tipo (ecologiche), può convenire l'utilizzo della versione tridimensionale.

I principali campi di applicazione sono:

- idrodinamica in acque profonde o stratificate;
- supporto alla progettazione e costruzione di opere ed impianti;
- studi di impatto ambientale;
- studi sulla circolazione costiera ed oceanica;
- analisi di laghi e grandi bacini artificiali;
- modellazione della dispersione di inquinanti;
- valutazione dell'impatto di gradienti di temperatura e salinità;
- analisi di aree complesse in cui siano rilevanti i fenomeni tridimensionali.

Il pacchetto MIKE 3 è disponibile in 3 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

SINGLE GRID (Griglia singola):

le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo.

MULTIPLE GRID (Griglia multipla):

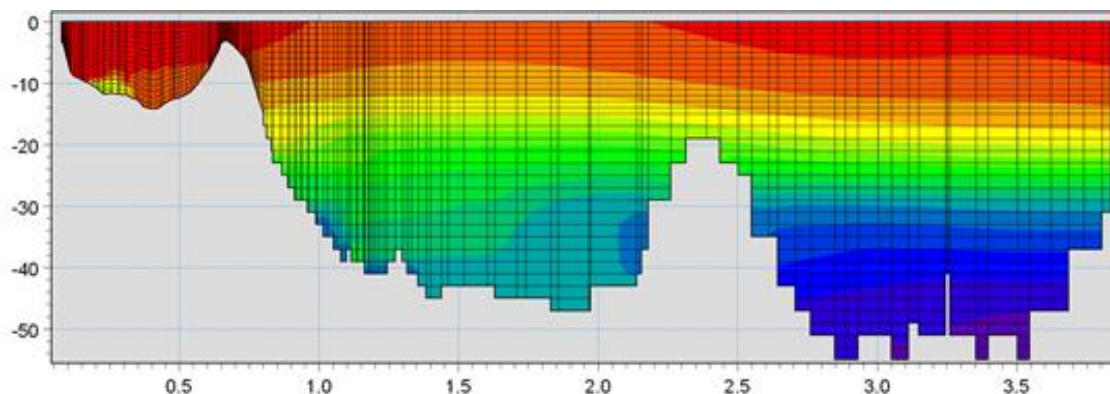
questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

FLEXIBLE MESH (Griglia Flessibile):

questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile.

Nelle versioni Griglia Singola e Griglia Multipla, le equazioni tempo-varianti di continuità e del moto in tre dimensioni sono risolte mediante uno schema alle differenze finite su di una griglia

rettangolare. Entrambe le schematizzazioni includono sia la versione idrostatica che non idrostatica. La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato orizzontalmente attraverso una maglia non strutturata costituita da elementi triangolari o quadrangolari; per la dimensione verticale è possibile adottare una discretizzazione con struttura a layer di altezza costante o variabile in funzione della profondità.



Oltre a poter utilizzare campi di correnti e di vento, MIKE 3 può ricevere in input anche i risultati di un qualunque modulo d'onda di MIKE 21.

Essendo in grado di esaminare le correnti indotte da gradienti di densità generati da non uniforme distribuzione di salinità e temperatura, MIKE 3 risulta particolarmente adatto per studi di impatto ambientale in funzione di diversi tipi di rilasci. Attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 3 consente inoltre di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti reagenti.

MIKE 3 risulta ideale anche per il downscaling di modelli oceanografici ad ampia scala fino ad applicazioni costiere ad alta risoluzione. La risoluzione del modello ad ampia scala e la batimetria possono essere ben approssimate lungo i contorni per poi, gradatamente, imporre risoluzioni via via più elevate procedendo verso la costa, utilizzando l'approccio a maglia flessibile.

Breve descrizione dei moduli MIKE 3	
Modulo	Descrizione
PP (Pre and Post Processing)	Il modulo PP è l'ambiente di lavoro di base e fornisce un insieme di tool per l'importazione e processamento dei dati di input nonché l'elaborazione degli output e la preparazione di immagini ed animazioni. PP è necessario per tutti i moduli di MIKE 3.
HD (Hydrodynamics)	Il modulo idrodinamico simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici.
AD (Advection – Dispersion)	Il modulo simula il trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti (o caratterizzati da decadimento dipendente dal solo fattore tempo) o per studi di eccesso di temperatura o salinità.
ST (Sediment Transport)	E' il modulo avanzato per il trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale.
MT (Mud Transport)	Modulo multifrazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non. Particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggi dei fondali.
Oil Spill	Simula la diffusione e dispersione di sostanze oleose in corpi idrici, considerandone i processi di decadimento.
PA/PT (Particle Tracking)	Simula il trasporto e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. E' utilizzato in particolare per analisi di rischio, versamenti accidentali e monitoraggio delle attività di dragaggio. Utilizza un approccio Lagrangiano.
EcoLab	Modulo avanzato per studi di qualità delle acque ed idroecologia in presenza di reazioni, decadimenti complessi, eutrofizzazione e trasporto di metalli pesanti.

2 MODULO IDRODINAMICO (HD FM)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 3, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. MIKE 3 HD FM può essere utilizzato da solo o insieme ad altri moduli che, pur finalizzati alla simulazione di altri fenomeni (es. trasporto di sedimenti) richiedono la risoluzione contestuale degli aspetti idrodinamici.

In particolare, il modulo HD di MIKE 3 permette di tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- flooding and drying;
- gradienti di densità;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;

- effetto del vento;
- gradienti di pressione;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/evaporazione;
- moto ondoso (attraverso i radiation stress);
- apporti puntuali (pozzi e sorgenti).

Il modulo idrodinamico, utilizzato assieme al modulo di trasporto TR, è utilizzato per simulare la dispersione di sostanze disciolte o in sospensione. Analogamente, il modulo idrodinamico può essere accoppiato al modulo di qualità delle acque ed idro-ecologia (ECO Lab) per gli studi ed applicazioni nel settore ecologico.

Inoltre, il modulo HD può essere utilizzato insieme ai moduli Sand Transport e Mud Transport per simulare il trasporto rispettivamente di materiale non coesivo e coesivo.

Nelle aree costiere, laddove il trasporto è in gran parte dominato dalle correnti indotte dal moto ondoso, il modulo idrodinamico può essere forzato dai campi di radiation stress ottenuti mediante l'utilizzo del modulo SW (Spectral Wave).

EQUAZIONI DEL MODELLO

Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni dei Navier-Stokes mediate (Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) sotto le ipotesi di Boussinesq e in condizioni di pressione idrostatica.

Il modello risolve le equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione ma dai soli gradienti di temperatura e salinità. Per il modello 3D, la superficie libera è modellata utilizzando l'approccio di trasformazione delle coordinate sigma o combinato sigma-z. A seguire si presentano in coordinate cartesiane, le equazioni utilizzate.

Equazione di continuità:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Il calcolo degli scambi di temperatura (T) e di salinità (s) è modellato secondo le equazioni generali del trasporto:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \hat{H} + s_s S$$

I termini di diffusività orizzontale sono definiti da:

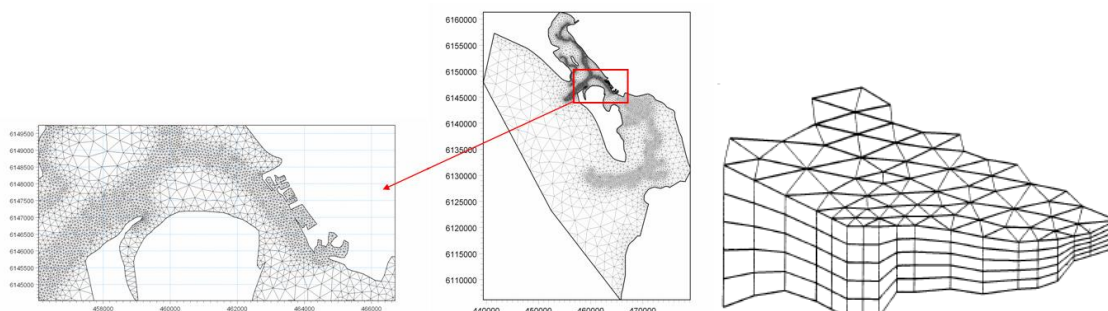
$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

Le equazioni per l'idrodinamica bidimensionale sono ottenute integrando le equazioni lungo la verticale. Possono essere considerati anche gli scambi termici con l'atmosfera.

Symbol list	
<i>t</i>	time
<i>x, y, z:</i>	Cartesian coordinates
<i>u, v, w:</i>	flow velocity components
<i>T, s:</i>	temperature and salinity
<i>D_v:</i>	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
<i>Ĥ:</i>	source term due to heat exchange with atmosphere
<i>S:</i>	magnitude of discharge due to point sources
<i>T_s, s_s:</i>	temperature and salinity of source
<i>F_T, F_s, F_c:</i>	horizontal diffusion terms
<i>D_h:</i>	horizontal diffusion coefficient
<i>h:</i>	depth

La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte.

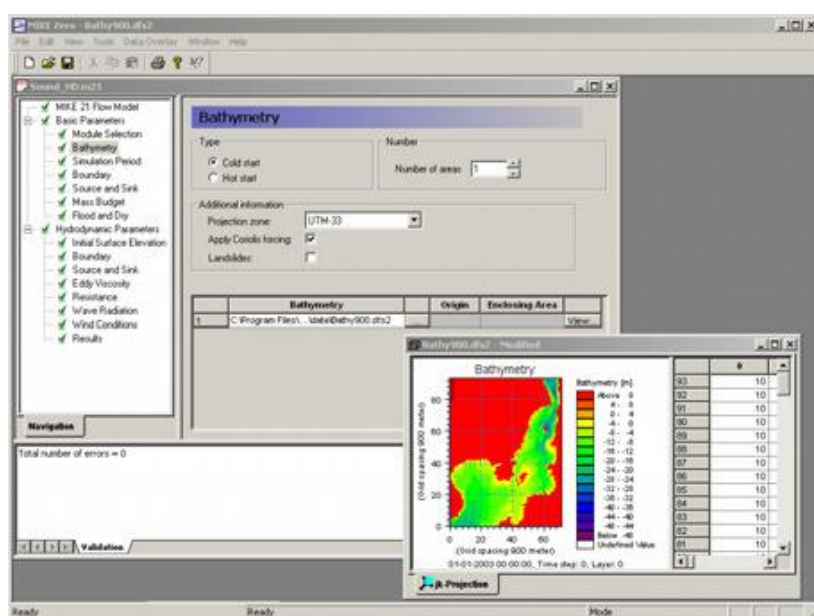
Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri.



INPUT AL MODELLO

Il modello MIKE 3 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo, durata della simulazione);
- fattori di calibrazione (es. scabrezza, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (es. livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (es. oscillazioni di marea, portate);
- altre forzanti (es. campi di vento, radiation stress, apporti puntuali di portata).



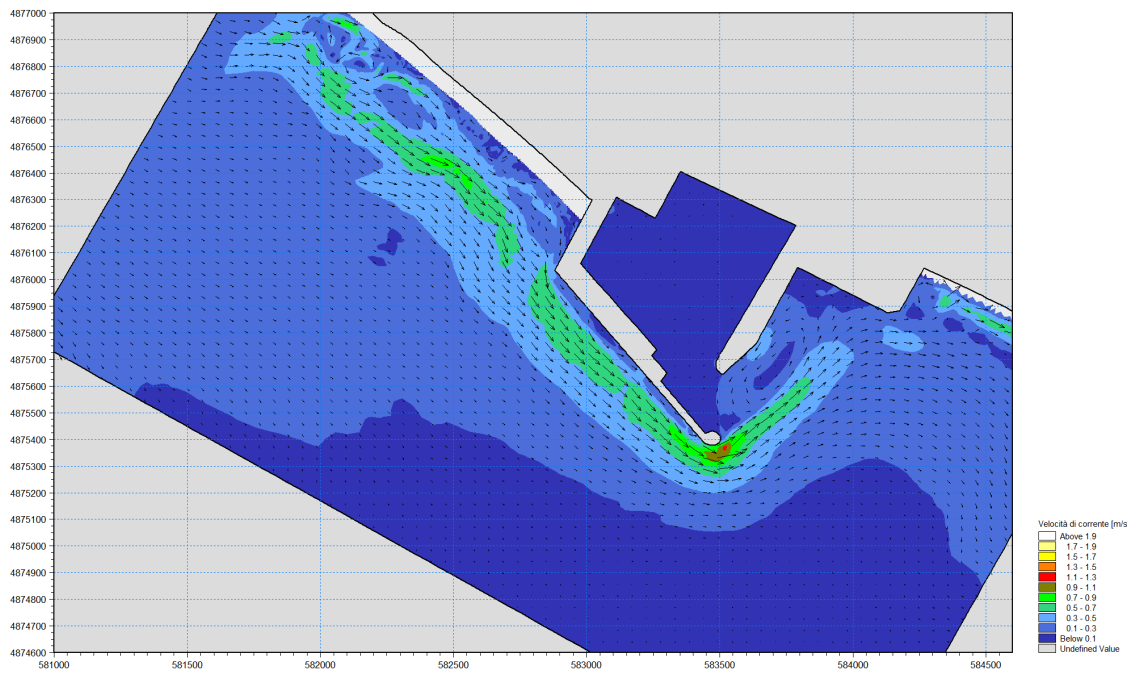
OUTPUT DEL MODELLO

I risultati di un'applicazione modellistica tridimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazioni da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo tridimensionale permette di indagare per l'intera colonna d'acqua non solo l'intensità delle correnti ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Per ciascuna cella/elemento di calcolo (griglia classica o flessibile), è possibile ottenere le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- densità, temperatura e salinità;
- velocità di corrente e direzione;

- velocità del vento;
- pressione atmosferica.



3 MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)

MT (Mud Transport) è il modulo di MIKE 3 che descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione di limi e misture sabbie/limi sotto l'azione di correnti e di onde.

Il modulo MT calcola il trasporto solido sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo HD ed eventualmente delle simulazioni di moto ondoso effettuate con SW. Per effettuare simulazioni a fondo mobile è possibile includere il feedback degli effetti dell'idrodinamica sulla batimetria utilizzando i moduli HD, SW ed MT in maniera accoppiata.

Il Modulo MT può essere applicato in svariati casi, laddove si verificano fenomeni di erosione, deposizione e dispersione di sedimenti fini. In particolare: per studi di trasporto solido per materiali coesivi o per misture sabbie/limi in estuari o aree costiere, nelle quali sono importanti gli aspetti ambientali e può facilmente diminuire la qualità dell'acqua; insabbiamento nei porti, canali navigabili, fiumi, invasi; studi di dragaggio di fondali e del relativo plume.

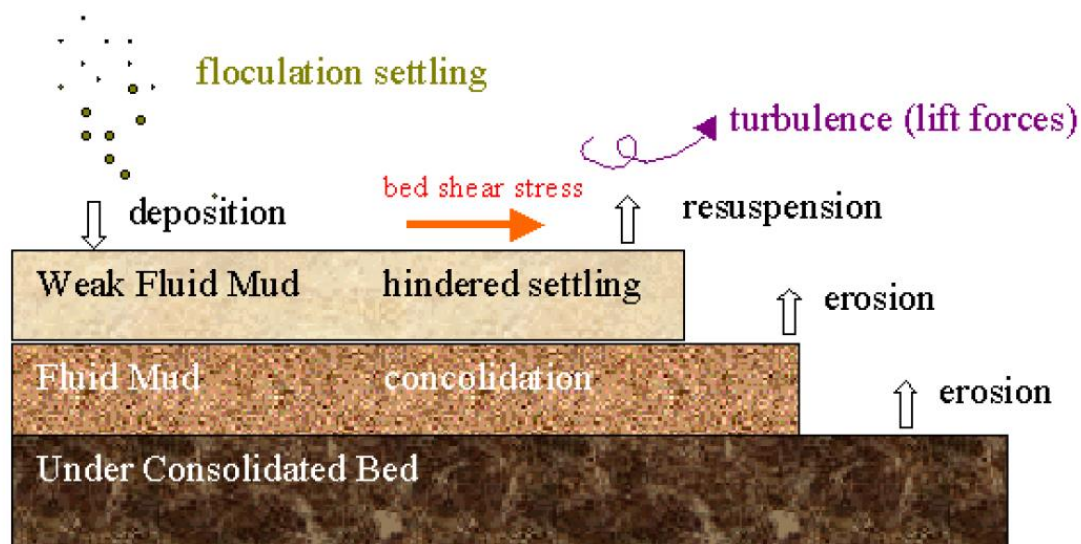
E' possibile includere in MIKE 3 MT:

- simulazione di frazioni multiple di sedimenti;
- simulazione di diversi "bed layers";
- flocculazione;
- inclusione di sedimenti non-coesivi;
- bed shear stress risultanti dall'azione combinata onde-correnti;
- update morfologico del fondale;
- consolidamento.



EQUAZIONI DEL MODELLO

Le equazioni del modulo MT sono basate essenzialmente su *Mehta et al.* (1989), che riguardano il movimento del sedimento fine in un fluido e la sua interazione con il fondo.



L'azione del moto ondoso è introdotta mediante il "bed shear stress". L'equazione del trasporto è descritta di seguito (*Teisson 1991*):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i$$

Symbol list

t	time
x, y, z :	Cartesian co-ordinates
u, v, w :	flow velocity components
D_v :	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
c^i :	the i 'th scalar component (defined as the mass concentration)
w_s^i :	fall velocity
σ_{Tx}^i :	turbulent Schmidt number
ν_{Tx} :	anisotropic eddy viscosity
S^i :	source term

La velocità di sedimentazione, descritta dal termine $\frac{\partial w_s c^i}{\partial z}$, può essere specificata come un valore costante se la concentrazione del sedimento risulta inferiore ad un determinato valore ($c < c_{floc}$). Al di sotto di tale valore di concentrazione, la flocculazione può essere ritenuta trascurabile e pertanto si può applicare un valore costante della velocità di sedimentazione ($w_s = k$).

Nel momento in cui $c > c_{floc}$, il sedimento inizia a flocculare e la velocità di sedimentazione viene descritta dalla relazione seguente (Burt 1986):

$$w_s = k \times \left(\frac{c}{\rho_{sediment}} \right)^\gamma$$

laddove k è una costante, $\rho_{sediment}$ è la densità del sedimento e γ è un coefficiente che regola la sedimentazione.

Nel momento in cui viene raggiunta una concentrazione di sedimenti relativamente alta ($c > c_{hindered}$) i fiocchi di sedimento iniziano ad ostacolarsi l'un l'altro, per tale motivo la velocità di sedimentazione si riduce. Tale riduzione è implementata nel codice secondo le formulazioni di Richardson e Zaki (1954) e Winterwerp (1999).

La Deposizione è descritta nel modo seguente (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b p_D$$

Dove w_s è la velocità di sedimentazione, c_b è la concentrazione di sedimento sospeso al fondo e p_D è espressione della probabilità di deposizione:

$$p_D = 1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}}$$

L'erosione è trattata nel modello in due modi differenti, in funzione della consistenza del fondale. Per fondali consolidati, il tasso di erosione S_E viene definito nel modo seguente (Partheniades, 1965):

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right)^n$$

Dove E è l'erodibilità, n rappresenta la potenza dell'erosione, τ_b è il "bed shear stress" mentre τ_c è il "bed shear stress" critico.

Nel caso di fondale parzialmente consolidato il tasso di erosione viene definito secondo Parchure e Mehta (1985):

$$S_E = E \left(e^{\alpha \sqrt{\tau_b - \tau_c}} \right)$$

Nel caso simulazioni a lungo termine la consolidazione di sedimenti depositati può ricoprire un ruolo importante. Nel caso in cui si utilizzino diversi "bed layers" è possibile applicare un tasso di transizione (T_i) che consente ai sedimenti degli strati superiori di passare agli strati inferiori (consolidamento).

TECNICHE DI SOLUZIONE

La soluzione delle equazioni del trasporto è strettamente legata alla soluzione delle condizioni idrodinamiche. La discretizzazione spaziale delle equazioni di base viene effettuata utilizzando un approccio ai volumi finiti. Il dominio spaziale è discretizzato da una suddivisione del continuo in celle non sovrapposte. Nel piano orizzontale viene utilizzata una mesh non strutturata mentre

nel dominio verticale (nel caso di modello 3D) viene utilizzata una mesh strutturata. L'integrazione temporale è effettuata utilizzando uno schema esplicito.

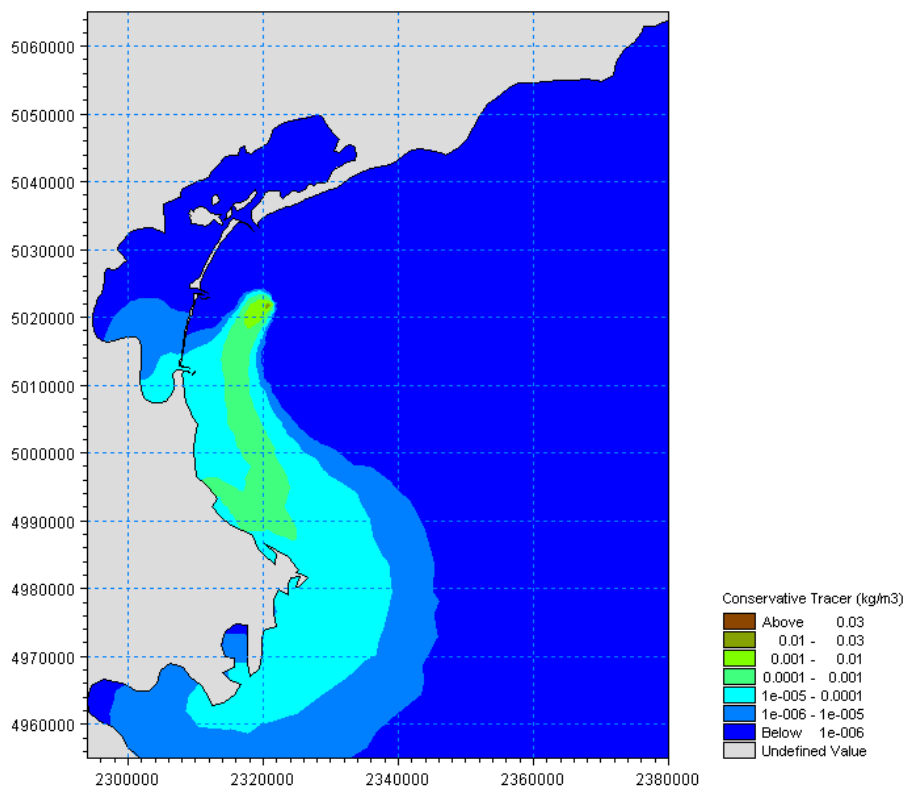
INPUT AL MODELLO

Premesso che la dinamica dei sedimenti coesivi è tale da richiedere sempre un grande lavoro di calibrazione, i principali parametri da inserire in input sono i seguenti:

- velocità di sedimentazione;
- “shear stress” critico per l’erosione e la deposizione;
- caratteristiche dell’erosione (coefficienti di erosione e potenza);
- concentrazioni dei sedimenti ai contorni aperti;
- coefficienti di dispersione;
- spessore dei “bed layers”;
- coefficienti di transizione tra i layers;
- densità dei “bed layers”

OUTPUT DEL MODELLO

I principali output che fornisce il modello sono: concentrazioni di sedimenti sospesi nel tempo e nello spazio; spessori o massa di sedimenti che costituiscono i “bed layers”; tasso di sedimentazione netta, ecc..



MIKE 21

Modello bidimensionale per fiumi, laghi,
aree costiere ed offshore





INDICE

1	PREMESSA	1
2	MODULO D'ONDA (SW).....	4

1 PREMESSA

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice, indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per applicazioni complesse in aree costiere, mare aperto e in corrispondenza di estuari. Tuttavia, essendo un codice di calcolo per la simulazione delle correnti a pelo libero, può essere anche applicato per la simulazione di fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi. I principali campi di applicazione sono:

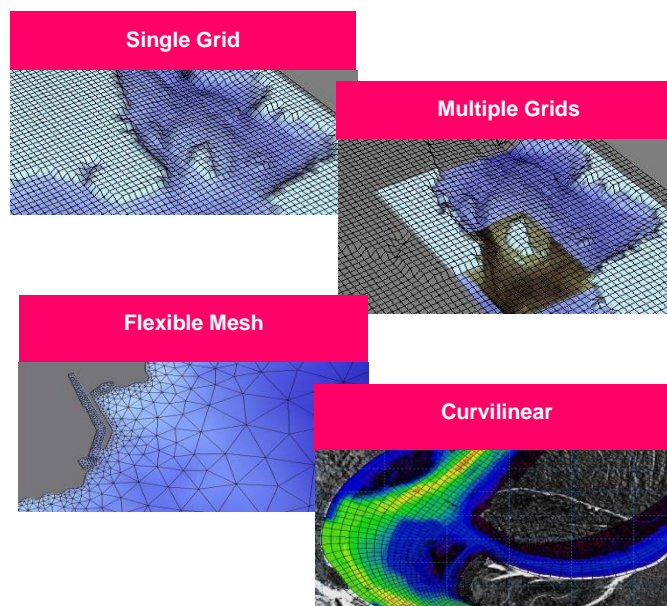
- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi,
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.



Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- **SINGLE GRID** (Griglia singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- **MULTIPLE GRID** (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- **FLEXIBLE MESH** (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- **CURVILINEAR** (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.



In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Breve descrizione dei moduli MIKE 21	
Modulo	Descrizione
PP (Pre and Post Processing)	Il modulo PP è l'ambiente di lavoro di base e fornisce un insieme di tool per l'importazione e processamento dei dati di input nonché l'elaborazione degli output e la preparazione di immagini ed animazioni. PP è necessario per tutti i moduli di MIKE 21.
HD (Hydrodynamics)	Il modulo idrodinamico simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici anche in presenza di strutture complesse.
AD (Advection – Dispersion)	Il modulo simula trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti o caratterizzati da decadimento lineare o eccesso di temperatura o salinità.
ST (Sand Transport)	E' il modulo avanzato per il trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale.
MT (Mud Transport)	Modulo multifrazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non. Particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggi dei fondali.
SM (Shoreline Morphology)	Questo modulo combina la modellistica di dettaglio 2D per onde e correnti in un modello morfologico, consentendo di simulare in modo stabile e robusto l'evoluzione della linea di riva in ambiente 2D.
OS (Oil Spill)	Simula la dispersione ed il trasporto di sostanze oleose in corpi idrici, considerandone i processi di trasformazione e decadimento.
PA/PT (Particle Tracking)	Simula il trasporto e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. E' utilizzato in particolare per analisi di rischio, versamenti accidentali e monitoraggio delle attività di dragaggio. Utilizza un approccio Lagrangiano.
SW (Spectral Waves)	Modulo di propagazione spettrale di onde <i>sea</i> ed onde <i>swell</i> in aree offshore e costiere. Permette di simulare rifrazione, diffrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento, riflessione semplice utilizzando un approccio con maglia FM. E' il modulo d'onda oggi più utilizzato per applicazioni costiere e offshore.
BW (Boussinesq Wave)	E' il modulo d'onda più completo, in grado di simulare anche gli effetti di riflessione in ogni direzione e di diverso ordine; per questo viene utilizzato per le analisi di agitazione ondosa all'interno di bacini portuali. Include i fenomeni idrodinamici ed utilizza una maglia quadrata.
MA (Mooring Analysis)	Questo modulo consente di calcolare le tensioni delle linee di ormeggio insieme con i movimenti che la nave ormeggiata può avere nei suoi 6 gradi di libertà (surge, sway, heave, roll, pitch e yaw), in relazione a diverse tipologie di forzanti: onda, vento e corrente.
ECOLab (Ecological Modelling)	Modulo avanzato per lo studio della qualità delle acque ed idro - ecologia in presenza di reazioni, decadimenti complessi, eutrofizzazione e trasporto di metalli pesanti.
ABMLab	Modulo avanzato per modellizzazione "agent based".

2 MODULO D'ONDA (SW)

MIKE 21 SW rappresenta lo stato dell'arte tra i modelli numerici spettrali di nuova generazione per vento ed onde sviluppato da DHI. Il codice di calcolo simula la crescita, la trasformazione e la dissipazione di onde corte e onde lunghe in aree costiere e offshore.

MIKE 21 SW comprende due differenti formulazioni:

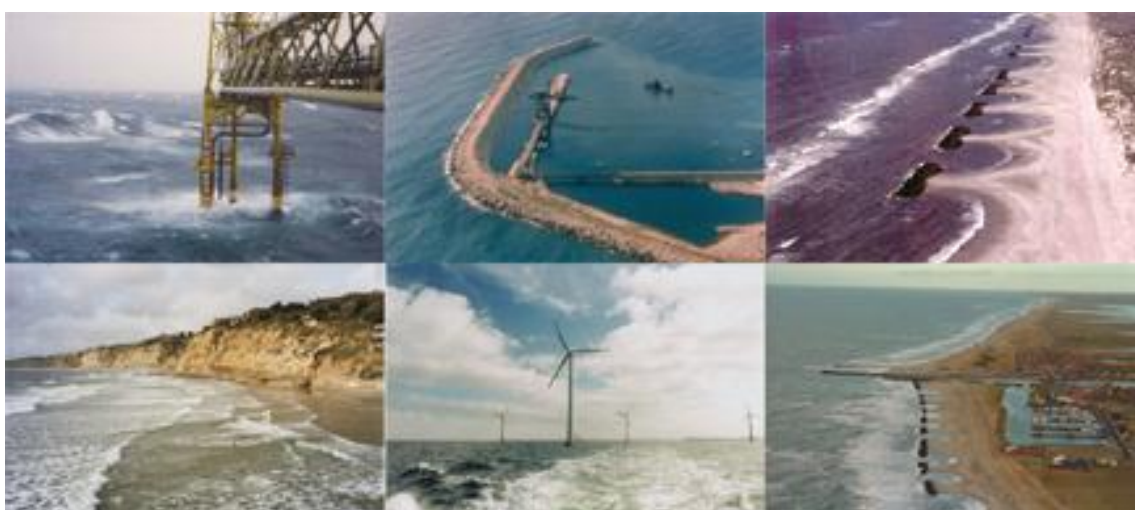
- fully spectral formulation;
- directional decoupled parametric formulation.

La prima è basata sulla “wave action conservation equation” sviluppata da Komen et al. (1994) e Young (1999). La seconda, è basata su una parametrizzazione della “wave action conservation equation” introdotta nel dominio delle frequenze. Le equazioni di base sono formulate sia nelle coordinate cartesiane, per domini di calcolo a scala limitata, sia nelle coordinate polari per applicazioni a larga scala. La discretizzazione spaziale delle equazioni di base è effettuata utilizzando l'approccio ai volumi finiti, attraverso l'utilizzo di una mesh di calcolo non strutturata.

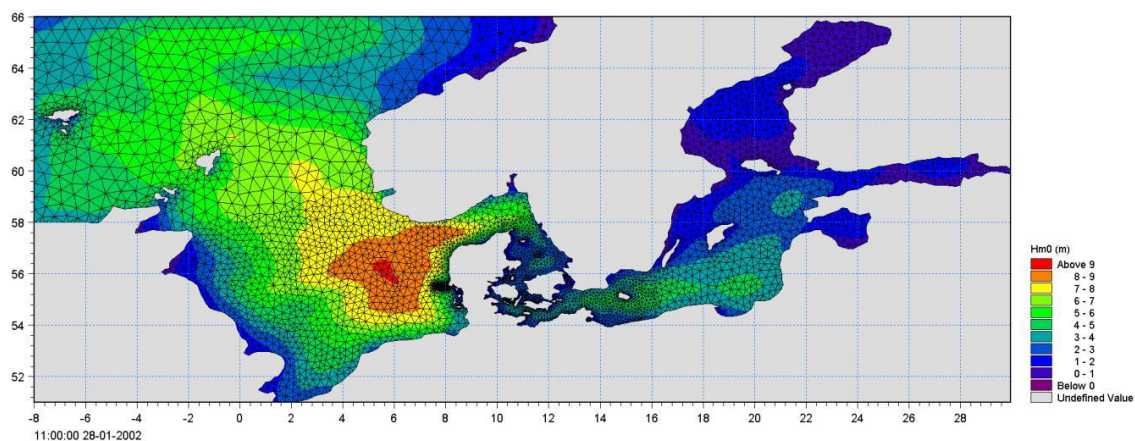
Il modello, nella formulazione “fully spectral”, include i seguenti fenomeni fisici:

- crescita dell'onda per effetto del vento;
- interazione non lineare tra onde;
- dissipazione dovuta al white capping;
- dissipazione dovuta all'attrito col fondo;
- frangimento dell'onda su profondità limitate;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni batimetriche;
- effetto delle variazioni del fondale;
- diffrazione;
- riflessione semplice;

MIKE 21 SW è utilizzato per la valutazione del clima ondoso off-shore ed in aree costiere, per scopi previsionali e analisi storiche. Una tipica applicazione di SW è il supporto alla progettazione di un'opera costiera o portuale, partendo dalla disponibilità di dati meteo marini off-shore (boe ondometriche o modelli a larga scala) individuando il clima ondoso ordinario sotto costa o le condizioni estreme di progetto.



MIKE 21 SW è inoltre utilizzato, sempre a supporto della progettazione di un'opera costiera, come strumento di base del calcolo sia delle correnti sia del trasporto solido litoraneo indotti dall'azione del moto ondoso. I campi di corrente e di trasporto sono infatti determinati, a partire dai campi di radiation stress forniti in output da MIKE 21 SW, mediante l'utilizzo di altri moduli del pacchetto MIKE21.



EQUAZIONI DEL MODELLO

Fully spectral formulation

L'equazione alla base di MIKE 21 SW è la "wave action balance equation", sviluppata in coordinate cartesiane e sferiche. Tale equazione, in coordinate cartesiane, è indicata di seguito:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

dove $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ è la "density action", t è il tempo, $\bar{x} = (x, y)$ rappresenta le coordinate cartesiane, $\bar{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ è la velocità di propagazione di gruppo delle onde in quattro dimensioni (x, y, θ, σ) . S è il termine di generazione di energia. Le celerità dell'onda sono date dalle equazioni della cinematica lineare:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right) - c_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right)$$

dove s ed m sono le coordinate spaziali rispettivamente parallele e perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda θ , d è la profondità, \bar{k} è il vettore del numero di onde di magnitudo k , \bar{U} è il vettore di velocità di corrente.

Il termine di generazione, S , a secondo membro della “ wave action balance equation” è dato da:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Dove S_{in} rappresenta il trasferimento di quantità di moto dovuta al vento, S_{nl} il contributo dovuto all'interazione non lineare tra onde, S_{ds} la dissipazione dovuta al white capping, S_{bot} la dissipazione dovuta all'attrito col fondo e S_{surf} la dissipazione dovuta al frangimento.

Il contributo del vento è basato sulla quasi-linear theory of wind-wave generation (Janssen's 1989, 1991), dove la quantità di moto trasferita dal vento alla superficie libera non dipende solo dalle tensioni del vento ma anche dallo stato di mare stesso. Il contributo legato all'interazione non lineare tra onde è approssimato mediante l'approccio DIA (Hasselmann et al. 1985). Il termine di generazione relativo alla dissipazione da white capping è basato sulla teoria di Hasselmann (1974) e Janssen (1989). La dissipazione dovuta all'attrito col fondo è modellata usando l'approccio di Johnson e Kofoed-Hansen (2000), che dipende dal moto ondoso e dalle caratteristiche dei sedimenti. Il frangimento è basato sull'approccio di Battjes e Janssen (1978) e Eldeberky e Battjes (1996).

Directional decupled parametric formulation

Questa formulazione del modello è basata su una parametrizzazione della “ wave action balance equation” (Holthuijsen 1989) nel dominio delle frequenze introducendo come variabile dipendente il momento di ordine zero e di ordine uno. Le equazioni quindi diventano le seguenti:

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1$$

dove $m_0(x, y, \theta)$ e $m_1(x, y, \theta)$ sono rispettivamente i momenti di ordine zero e ordine uno della “action spectrum” $N(x, y, \sigma, \theta)$. $T_0(x, y, \theta)$ e $T_1(x, y, \theta)$ sono i termini di generazione basati sulla action spectrum. I momenti $m_n(x, y, \theta)$ sono definiti dall'equazione:

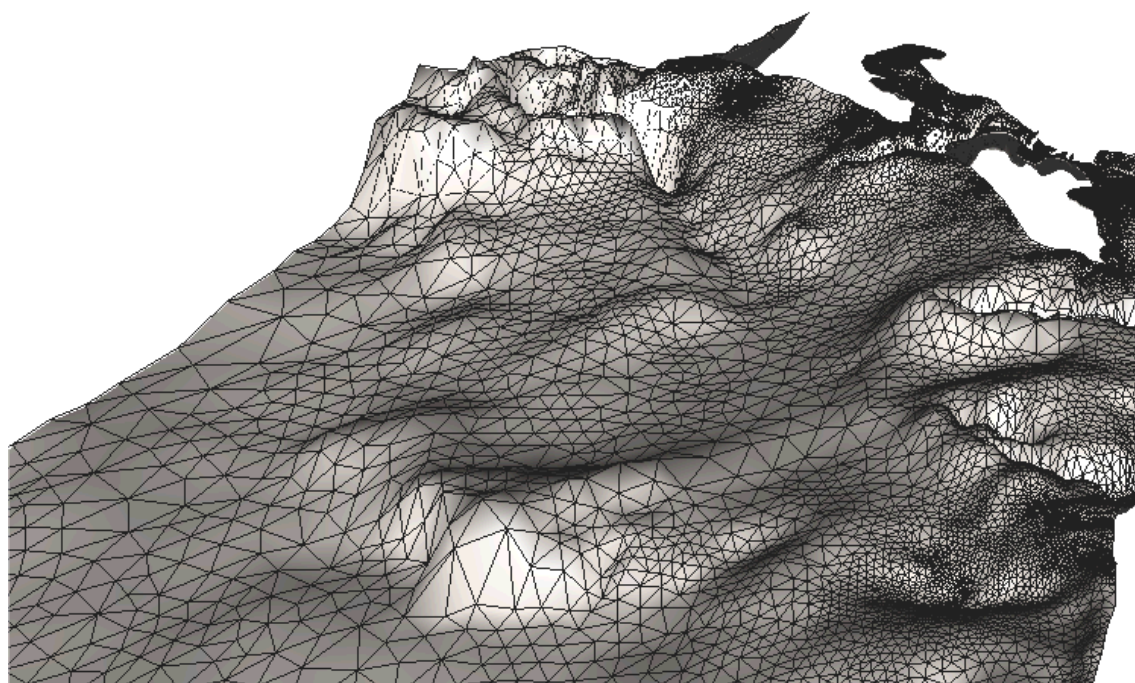
$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^{\infty} \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega$$

I termini di generazione T_0 e T_1 tengono conto dell'effetto del vento (solo per la modalità stazionaria) attraverso una relazione empirica (Johnson 1998) della dissipazione di energia dovuta all'attrito col fondo e al frangimento, e dell'effetto di interazione onde-correnti.

TECNICHE DI SOLUZIONE

La discretizzazione spaziale e spettrale è effettuata utilizzando un metodo ai volumi finiti con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Il dominio delle frequenze può essere discretizzato sia in maniera lineare che logaritmica.

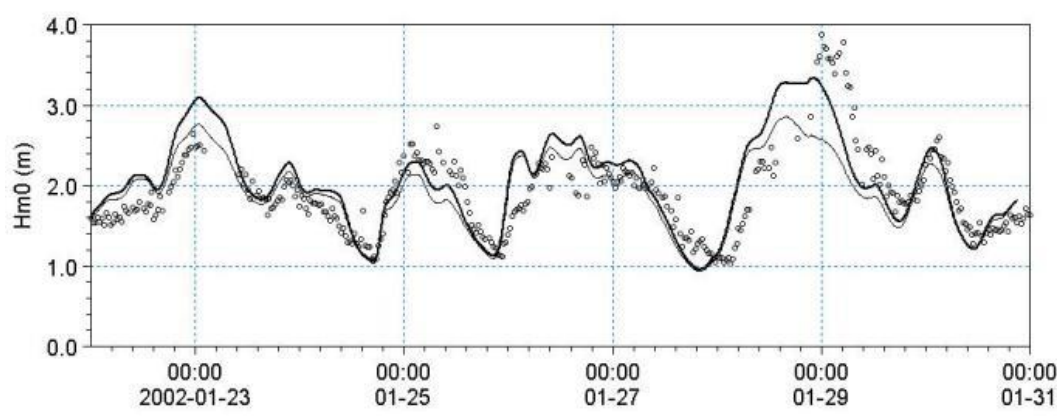
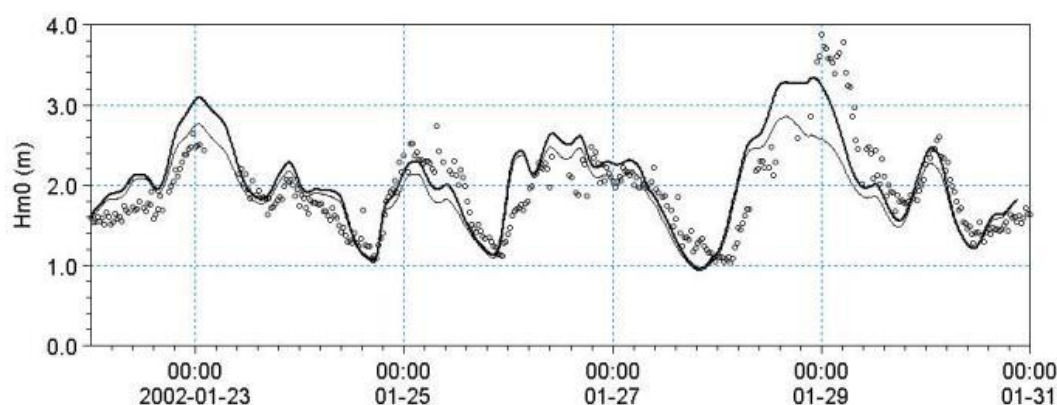
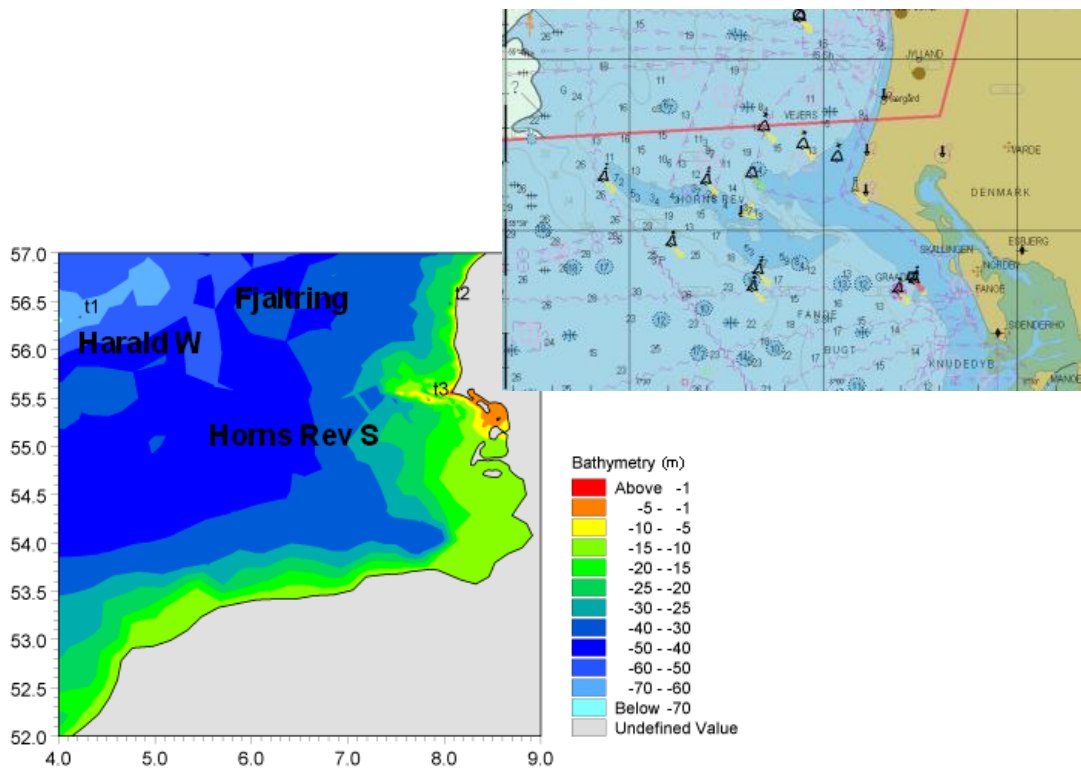
La discretizzazione nel dominio temporale è fatta mediante time-steps, la propagazione della "wave action" è fatta attraverso un metodo esplicito in multi frequenza.



INPUT AL MODELLO

I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

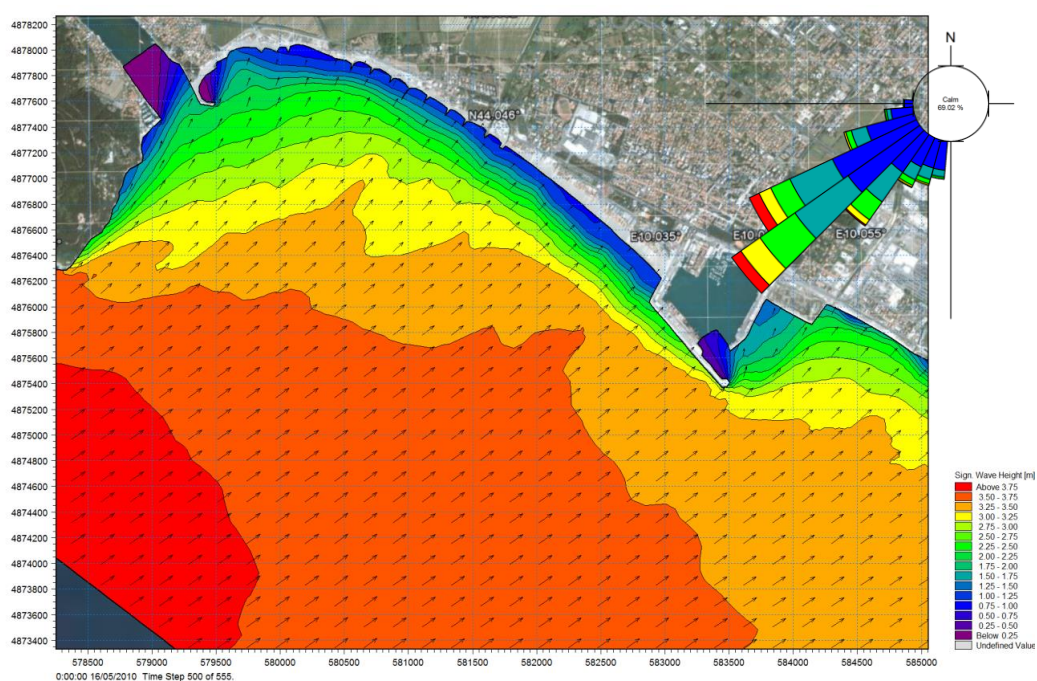
- parametri di base (es. mesh di calcolo, durata della simulazione);
- scelta del tipo di formulazione, discretizzazione nel dominio delle frequenze e delle direzioni, tecniche di soluzione
- forzanti (livelli, vento, correnti);
- parametri di dissipazione (frangimento, white-capping, attrito al fondo);
- condizioni iniziali (stato di mare iniziale);
- condizioni al contorno (onde al largo o alternativamente contorno chiuso).



OUTPUT DEL MODELLO

I risultati ottenuti, per ognuno degli elementi della mesh e per ciascun time step, si dividono essenzialmente nelle seguenti categorie.

- parametri caratteristici dell'onda: altezza d'onda significativa H_m0 , periodo di picco T_p , Periodo medio T_{01} , periodo di zero up crossing T_{02} , Periodo dell'energia T_{-10} , Direzione di picco PWD , Direzione media MWD , Deviazione standard direzionale σ , Tensore dei radiation stress S_{xx} S_{xy} S_{yy} . Se il modello è utilizzato in modalità fully spectral, ciascuna delle variabili sopra riportate possono essere suddivise in componente swell e wind sea. La divisione può essere effettuata mediante l'introduzione di una soglia fissa o dinamica;



- output spettrali: spettro combinato frequenza-direzione, spettro direzionale, spettro di frequenza.

