

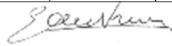


Trans Adriatic
Pipeline

TAP AG Project Title / Facility Name:
Trans Adriatic Pipeline Project

Document Title:
**Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico
per Batimetriche Inferiori a 50 metri**

Revisionato dove indicato

1	27/01/2020					
0	15/03/2019				G. Ardizzone	
Rev.	Revision Date (dd-mm-yyyy)	Reason for issue and Abbreviation for it, e.g.	IFR	Prepared by		
		<i>Contractor Name:</i>		Prof. Ardizzone		
		<i>Contractor Project No.:</i>				
		<i>Contractor Doc. No.:</i>		na		
		<i>Tag No's.:</i>				
<i>TAP AG Contract No.:</i> C30373				<i>Project No.:</i> na		
<i>PO No.:</i> na				<i>Page:</i> 1 of 27		
<i>TAP AG Document No.:</i>						
OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008						

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	2 of 27

Indice

1. INTRODUZIONE.....	4
2. INTERVENTI PROPOSTI	6
2.1 Finalità di Interventi.....	6
2.2 Significato ecologico dei substrati artificiali.....	7
3. PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI	9
3.1 Area di Studio.....	9
3.2 Caratteristiche tecniche degli interventi proposti	10
3.3 Il Materiale di Costruzione.....	11
3.4 Forma degli Elementi.....	11
3.5 Regime idrodinamico locale.....	15
3.6 Disposizione Spaziale	16
3.7 Costruzione e Posizionamento delle Strutture.....	19
4. EFFETTI ATTESI.....	22
5. MONITORAGGI.....	23
6. REFERENZE BIBLIOGRAFICHE	24

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	3 of 27

Figure

Figura 1 La carta delle biocenosi bentoniche dei fondali antistanti S. Foca (ridotta, originale in scala 1:2.000)	10
Figura 2 Il disegno del cubo di base utilizzato per l'intervento proposto. Le dimensioni sono pari a 2 m di lato.....	13
Figura 3 I massi cubici assemblati a piramide visti di lato e dall'alto.....	14
Figura 4 Visione tridimensionale di una piramide assemblata con 4 blocchi di base e uno di vertice	15
Figura 5 Planimetria delle strutture costituenti il lotto centrale di intervento.....	17
Figura 6 Dettaglio dimensioni e distribuzione spaziale di 4 piramidi	18
Figura 7 Visione tridimensionale del posizionamento delle piramidi costituenti il lotto centrale	18
Figura 8 Casseformi in un cantiere a terra per la realizzazione di strutture artificiali.....	19
Figura 9 Tipologia di pontone idonea per l'esecuzione delle installazioni.....	20

Appendici

Appendice 1 – Esperienze Pregresse (Casi Studio);

Appendice 2– Planimetria;

Appendice 3 – Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale - Doc. OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006 Rev. 0

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	4 of 27

1. INTRODUZIONE

In data 09/03/2018 con decreto n. prot. m_ amte.DVA.RegistroDecreti.R.0000116.09-03-2018 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nell'ambito della Verifica di assoggettabilità alla VIA del progetto del Microtunnel richiesto dalla prescrizione A.5 del D.M.223/2014 ha determinato:

*“l'esclusione dalla procedura di valutazione di impatto ambientale del progetto “Microtunnel di approdo al tratto italiano del gasdotto Trans Adriatic Pipeline, verifica di assoggettabilità presentata in ottemperanza alla prescrizione A5) del DM 223 dell'11.09.2014” della Società Trans Adriatic Pipeline AG Italia S.p.a., a condizione del rispetto delle seguenti condizioni ambientali:
[omissis]*

Art. 1. Comma 2): Installazione sul fondo del mare nell'intorno della condotta di dissuasori in materiale compatibile con l'ambiente marino volti ad inibire la pesca a strascico illegale per batimetriche inferiori a 50 m. La progettazione di tali manufatti deve contribuire alla creazione di rifugi adeguati per la fauna ittica e favorire il ripopolamento a beneficio della piccola pesca effettuata mediante mezzi e attrezzi tipici della sotto costa.“

Il presente progetto propone le modalità di realizzazione e installazione di quanto prescritto all'Art.1 comma 2 della sopra menzionata prescrizione. **Il progetto prevede, in particolare, interventi mediante dissuasori contro lo strascico a profondità comprese tra 16 e 43 metri.**

La progettazione degli interventi è stata svolta tenendo in considerazione le basi scientifiche e i dati di monitoraggio ottenuti dalle esperienze nazionali ed internazionali pregresse, i cui casi studio sono descritti in *Appendice 1*.

Il presente report è stato integrato per rispondere alle osservazioni avanzate da Ispra e Arpa Puglia all'interno della nota tecnica congiunta trasmessa con nota prot. 2019/30991 del 15.05.2019. Al fine di facilitare l'individuazione delle integrazioni apportate, le stesse sono state evidenziate in rosso nel testo del documento.

Inoltre, le integrazioni riportate all'interno del presente documento sono state sviluppate da TAP tenendo conto degli esiti della riunione effettuata in data 06.06.2019 presso Ispra; in particolare durante tale incontro la scrivente ha avuto modo di approfondire con Ispra i contenuti da produrre per rispondere a ciascuna delle singole richieste di chiarimenti avanzate circa il tema in oggetto.

Il documento si suddivide nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 1 – Introduzione;**
- **Capitolo 2 - Interventi Proposti** in cui si riportano le finalità e il significato ecologico degli interventi proposti;
- **Capitolo 3 – Progettazione degli Interventi** in cui si forniscono le informazioni per la predisposizione e installazione degli interventi proposti;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	5 of 27

- **Capitolo 4 – Effetti Attesi** in cui si sintetizzano gli effetti attesi sulla base dei casi studio analizzati;
- **Capitolo 5 – Referenze Bibliografiche.**

In aggiunta in allegato si riportano:

Appendice 1 – Esperienze Pregresse (Casi Studio);

Appendice 2– Planimetria;

Appendice 3 – Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale - Doc. OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006 Rev.0

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	6 of 27

2. INTERVENTI PROPOSTI

2.1 Finalità di Interventi

Gli interventi antistrascico, con parallele finalità di ripopolamento ittico, vengono realizzati con manufatti ed oggetti costruiti in diverse forme e materiali e immersi in mare dall'uomo al fine di realizzare meccanismi tecnico-ecologici o, come si usa dire, di "ingegneria ecologica", atti ad incrementare la produzione delle risorse biologiche marine, a proteggere i fondali dalla pesca a strascico. Tali interventi sono noti anche come "Barriere Artificiali". Il principio è quindi quello di utilizzare strutture appositamente immerse per attrarre, concentrare, sviluppare e proteggere risorse sfruttabili dall'uomo.

Le barriere artificiali possono essere annoverate fra gli interventi da attuare per una migliore gestione della fascia costiera poiché, essendo realizzate su fondali marini mobili, monotoni, costituiscono delle variazioni sostanziali all'habitat originario, determinando effetti positivi a livello biologico, ecologico ed economico.

Usi e scopi delle barriere artificiali possono essere così sintetizzati:

1) I substrati o barriere artificiali vengono spesso utilizzati come dissuasori contro la pesca a strascico svolta illegalmente entro le tre miglia dalla costa, per proteggere gli stock ittici e come metodo per risolvere contrasti con altre attività di pesca artigianale. Substrati artificiali appositamente progettati possono infatti rappresentare un efficace ostacolo all'azione delle reti a strascico in aree costiere.

2) Sviluppo delle attività di pesca. L'effetto di richiamo sulle specie ittiche esercitato dai substrati artificiali può essere utilizzato per concentrare o per formare nuova biomassa direttamente utilizzabile dai pescatori. In genere tutti i substrati esercitano un notevole potere attrattivo nei confronti del pesce, come sarà meglio descritto più avanti. La disponibilità dei nuovi substrati offre l'opportunità di insediamento specialmente per i bivalvi filtratori, quali mitili e ostriche, con un incremento delle biomasse edibili.

3) Protezione e/o creazione di aree di deposizione e accrescimento di specie vegetali ed animali. Il substrato solido in aree sabbiose o detritiche offre superfici di impianto alle spore o alle larve di organismi sessili bentonici che altrimenti non si potrebbero sviluppare. Tale complesso popolamento bentonico costituisce l'innescò per ulteriori e più complesse catene alimentari. Le cavità, gli interstizi e gli spazi creati dalla barriera stessa costituiscono inoltre un rifugio a tutte quelle specie che qui si riparano (riproduttori di diverse specie, Crostacei nel periodo della muta, ecc. o che nelle nicchie artificiali depongono sacche embrionali, uova, capsule ovigere (taluni cefalopodi, Gasteropodi vari, ecc. In questo modo si ottiene una riduzione della mortalità, sia naturale che da pesca, con risvolti positivi sugli stock ittici.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 7 of 27

4) Riduzione dello sforzo di pesca in determinate aree. Direttamente legato ai punti precedenti, è, infatti, possibile creare delle vere e proprie nuove aree di pesca verso le quali spostare l'attività di prelievo da zone sovrasfruttate o di particolare pregio ambientale (aree marine protette, ecc.).

5) Restauro di ambienti degradati. La presenza di strutture artificiali può facilitare il ripopolamento e il recupero rapido di zone degradate a causa di attività antropiche (sovrappesca).

6) Creazione di aree per ricerca scientifica. Strutture artificiali possono essere impiegate per particolari studi sull'insediamento e la colonizzazione delle specie animali e vegetali, sul loro comportamento e, più in generale, sulla loro ecologia, disponendo di un substrato di cui si conosce perfettamente il tempo di immersione.

7) Creazione di aree idonee per immersioni sportive. Strutture appositamente disegnate possono essere utilizzate per immersioni ricreative esercitando lo stesso fascino, ad es. di veri e propri relitti.

2.2 Significato ecologico dei substrati artificiali

Dal punto di vista ecologico le barriere artificiali determinano una diversificazione dell'habitat che, grazie alla realizzazione di gradienti spaziali di luce, temperatura e corrente, richiamano e danno nutrimento a specie bentoniche vegetali ed animali tipiche di substrati duri, altrimenti assenti su un fondale sabbioso. Le barriere artificiali sono quindi considerate come "isole" che costituiscono una interruzione della monotonia dei fondi mobili. L'effetto di queste strutture costituite da materiali duri inerti e con morfologia articolata è quindi quello di aumentare lo spazio a disposizione per le interazioni tra gli organismi, il fondale e la colonna d'acqua. L'aggiunta di tali strutture promuove il trasferimento energetico dal plancton al benthos e viceversa, aumenta la diversità ambientale (eterogeneità), crea nuovi microhabitat e accentua la diversità biotica mediante il reclutamento di nuove specie (pesci e organismi bentonici di substrato duro).

I fattori ecologici che operano sugli ambienti naturali, quali i fattori fisici, il reclutamento delle specie, la competizione e la predazione, operano anche su quelli artificiali.

Il concetto di incremento delle risorse ittiche è legato all'immediato effetto di attrazione che hanno i substrati artificiali già da appena immersi, e al conseguente aumento delle catture da parte della pesca. Questa attrazione dipende dal comportamento stesso dei pesci e può essere sintetizzato con una serie di risposte fisiologiche tipiche dei pesci, primo tra tutti il tigmotassismo ovvero la necessità del contatto fisico con substrati duri. Inoltre, i pesci trovano attrattivi i substrati artificiali grazie alla presenza di cibo (gli organismi che crescono sui substrati), di rifugi, cavità, ecc. e quindi essi tendono ad aggregarsi intorno e sopra i substrati artificiali. Le differenze tra i popolamenti ittici presenti sui substrati artificiali e quelli presenti su quelli naturali sono soprattutto numeriche (o in termini di biomassa) e sono più marcate a favore dei substrati artificiali se questi ultimi sono realizzati con una architettura complessa. Molti lavori scientifici sembrano, infatti, dimostrare un notevole potere di attrazione dei substrati artificiali complessi rispetto a quelli naturali. Questo sempre in accordo al livello di produzione delle acque ove i substrati artificiali sono installati.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	8 of 27

L'uso dei substrati artificiali è quindi uno dei sistemi più antichi per incrementare le risorse ittiche e i numerosi studi effettuati in diverse aree ne confermano l'idoneità. Nel Mediterraneo, in particolare, la bibliografia esistente conferma l'effetto di attrazione dei substrati artificiali nei confronti delle specie ittiche e il formarsi di comunità stabili che, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, sono paragonabili a quelle dei substrati duri naturali.

Anche se questo è vero in linea generale, numerosi fattori subentrano nei processi di colonizzazione e, in definitiva, determinano il risultato finale. Questi fattori possono essere sintetizzati in due grandi categorie, quelli legati a parametri "biologici", quali le competizioni che si instaurano tra le specie presenti (predazione, occupazione degli spazi, territorialismo, sviluppo del popolamento bentonico, ecc.) e quelli legati invece a parametri "abiotici" o "ambientali" quali la forma e la struttura dei substrati artificiali, il tempo di immersione, la profondità.

Un insieme di fattori condizionano in maniera determinante lo sviluppo dei popolamenti ittici sui substrati artificiali. Temperatura dell'acqua, profondità, livello di trofia delle acque, forma e dimensioni delle strutture, complessità dell'habitat, distanza e tipo di substrato naturale, abitudini e comportamenti delle diverse specie, ecc. sono tutti fattori che influiscono, interagendo tra loro, sullo sviluppo dei popolamenti ittici e su quello che si può considerare "il risultato finale" (insediamento delle specie, dominanze, rese quantitative, ecc.) di una struttura artificiale. Fondamentalmente però due sembrano essere le linee di sviluppo dei popolamenti dei substrati artificiali e queste linee possono considerarsi legate principalmente al livello di trofia delle acque e, secondariamente, alla forma e alle dimensioni dei substrati artificiali e alla loro profondità. Le strutture artificiali posizionate in acque a bassa trofia tendono ad una situazione di alta diversità specifica e bassa produttività biologica. Caratteristiche in queste condizioni l'assenza dei bivalvi filtratori ad alto valore economico (mitilo) e la dominanza delle alghe nel popolamento bentonico. Questo equivale a dire che le strutture artificiali nelle aree oligotrofiche non hanno alte rese immediate e un compenso alla bassa produzione di biomassa è dato comunque dall'alto livello qualitativo delle prede (saraghi, cernie, scorfani, ecc.) il cui valore di mercato è in genere elevato. Alla situazione opposta ritroviamo le strutture posizionate nelle acque eutrofiche dove alle abbondanti catture di specie ittiche fa riscontro anche lo sviluppo di un popolamento bentonico dominato, almeno in una prima fase, da bivalvi filtratori e gasteropodi necrofagi (*Nassarius*, ecc.) di sicuro interesse commerciale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	9 of 27

3. PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si precisa che la progettazione degli interventi proposti si basa su esperienze pregresse di successo dettagliate in *Appendice 1* al presente documento.

3.1 Area di Studio

L'area in cui sono previsti gli interventi è quella antistante il litorale di S. Foca nell'area circostante l'exit point del progetto TAP. **Il progetto prevede interventi mediante dissuasori contro lo strascico a profondità comprese tra 16 e 43 metri.**

Il fondale presenta due affioramenti rocciosi posti ai confini nord e sud dell'area che si estendono fino a 10-12 m di profondità sui quali si accresce anche *P. oceanica*. Due piccole chiazze di Posidonia insediata su matte/sabbia sono presenti intorno a questi due affioramenti. Più al largo il fondale si presenta sabbioso, con un prato di *C. nodosa* che presenta densità variabile. Chiazze di matte morta e di sparsi e occasionali residui di Posidonia ancora viva sono presenti tra i 22 e i 25 m di profondità. Queste chiazze rappresentano il margine inferiore di una prateria di *P. oceanica* che nel passato doveva essere ben più ampia, estendendosi dalla costa fino, appunto a questa profondità. Più al largo il fondale si presenta ancora monotono, con un sedimento sabbioso piuttosto fine. A partire da 32-35 m di profondità sono presenti affioramenti rocciosi di origine organogena. Queste strutture sono alte fino a 2-3 m ed hanno una circonferenza fino ad una decina di metri. La loro distribuzione è casuale, con affioramenti sparsi singoli o in piccoli gruppi.

In relazione alle rotte praticate dallo strascico nella zona, proprio per il carattere illegale dell'attività, non si hanno informazioni disponibili. Una testimonianza indiretta dello svolgimento di questa pratica illegale è data però dalla scomparsa nell'area della Posidonia oceanica di cui rimangono soltanto tracce isolate. La presenza di ampie zone di matte morta soprattutto in corrispondenza di quello che era il margine inferiore della prateria Posidonia, e la presenza della Cymodocea, che spesso si sostituisce alla Posidonia in caso di regressione di quest'ultima, lascia pensare ad un fenomeno regressivo di tipo traumatico e ripetuto nel tempo. Attualmente, in base alle informazioni reperite in loco, risulta che la pesca a strascico nell'area viene esercitata dalla marineria di Otranto, dove sono presenti 20 motopesca, di cui 6 registrati a Otranto e 14 registrati a Mola di Bari.

È ipotizzabile che parte di queste imbarcazioni possano praticare una pesca illegale sottocosta nel caso di maltempo al largo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 10 of 27

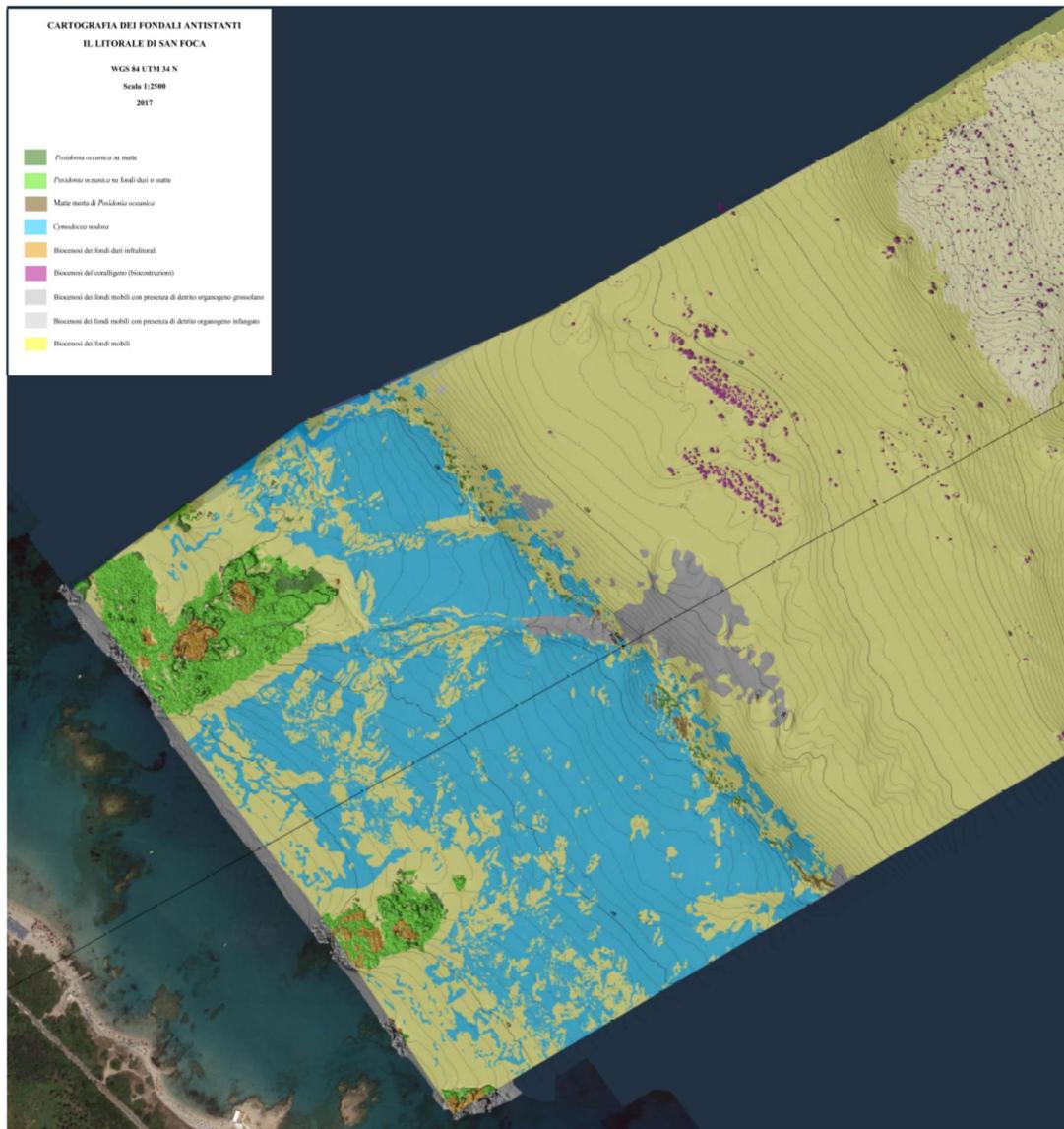


Figura 1 La carta delle biocenosi bentoniche dei fondali antistanti S. Foca (ridotta, originale in scala 1:2.000)

3.2 Caratteristiche tecniche degli interventi proposti

Le caratteristiche tecniche degli interventi proposti tengono conto delle finalità multiple dell'intervento stesso:

- Realizzazione di dissuasori antistrascico in grado di ostacolare l'azione delle reti sul fondale per proteggere le aree di nursery di specie costiere.
- Costituzione di un substrato idoneo per l'insediamento di un popolamento bentonico ricco e diversificato, con particolare riferimento al bioconcrezionamento tipico di questa zona e di queste profondità.
- Creazione di una vera e propria oasi di ripopolamento in grado di incrementare il popolamento ittico, soprattutto a carico delle specie di interesse per la piccola pesca costiera.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	11 of 27

3.3 Il Materiale di Costruzione

La scelta del materiale di costruzione ricade sull'impiego di materiali resistenti, non inquinanti e di facile utilizzo. Il calcestruzzo è oggi il materiale maggiormente utilizzato per questo tipo di strutture perché permette di realizzare moduli di qualsiasi forma e dimensioni, e si è dimostrato il più adatto alla colonizzazione da parte di organismi bentonici marini (mitili, ostriche, idrozoi, ecc.) per la sua tessitura eterogenea e porosità e per la sua non tossicità nei confronti soprattutto delle larve dei vari organismi. Inoltre, se modellato con opportune cavità e fori, fornisce rifugio a molte specie ittiche ed è abbastanza pesante da contrastare la pesca a strascico.

Il materiale che ha dato risultati interessanti in termini di attecchimento di biocostruzioni e aggregazione di biodiversità è risultato essere il calcestruzzo classe R'BK 350 (Calò e Scordella, 2013) poiché, oltre ad essere un materiale stabile, rappresenta quello maggiormente economico e facile da reperire.

Il calcestruzzo, nella miscela e nelle dimensioni opportune, possiede anche provata resistenza all'abrasione, alle correnti sottomarine, alle maree ed al moto ondoso.

In merito alla classe RBK 350 succitata, questa fa riferimento alla resistenza che dovrà essere non inferiore 350 decaNewton su centimetro quadrato, in maniera tale da assicurare la stabilità delle strutture una volta sovrapposte.

Le strutture previste saranno ecocompatibili e certificate sia per le qualità dei materiali che per le caratteristiche (art. 38 Reg. CE n. 1198/2006), secondo la norma UNI EN ISO 14001:2004 applicabile per il settore barriere marine. Il cemento quindi non sarà additivato con additivi migliorativi di resa o fluidificanti o caricato in ferro, per avere un pH vicino a quello dell'ambiente acquatico marino e comunque inferiore a 9. Inoltre, l'uso di elementi naturali (sabbia e ghiaia) e la rugosità delle superficie ottenuta meccanicamente e non chimicamente si traduce in un calcestruzzo, "seafriendly", che è quello che viene normalmente impiegato per costruzioni di questo tipo (vedi il volume ISPRA, 2012 "Le strutture sommerse per il ripopolamento ittico e la pesca (Barriere Artificiali)". La scheda tecnica del materiale potrà essere fornita una volta che verrà individuato l'appaltatore incaricato per l'installazione delle strutture.

3.4 Forma degli Elementi

La bibliografia disponibile evidenzia una grande varietà di strutture realizzate con blocchi di cemento delle forme più diverse: cubica, piramidale, tronco-conica, reticolare, cilindrica e semisferica. La scelta in alcuni casi è del tutto casuale mentre in altri casi è basata sulle conoscenze delle dinamiche di reclutamento delle specie e delle comunità bentoniche tipiche della zona, sulla capacità attrattiva nei confronti dei diversi organismi, il volume, la complessità, lo spazio utile in funzione della profondità di installazione, della distanza fra i moduli.

Nelle esperienze mediterranee, ed in particolare in quelle effettuate in ambienti simili a quello di S. Foca (Liguria, medio Adriatico, Fregene, Terrasini) l'elemento che sembra conseguire i migliori risultati in termini di biomassa ospitata, diversità biologica e reclutamento di novellame è rappresentato da un cubo di calcestruzzo di 2 m di lato, opportunamente forato con buchi e cavità passanti di vario diametro. Tali manufatti sono del tipo già sperimentato con successo in Adriatico e in altre località italiane.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	12 of 27

Si precisa che si è deciso di non proporre le classiche strutture a tetrapodi in quanto esteticamente discutibili e con elevato rischio di affondamento su substrati mobili vista la ridotta base di appoggio del singolo asse. A questo si aggiunge lo scarso o nullo effetto sul ripopolamento ittico. Strutture dotate di uncini o arpioni possono essere efficaci contro le reti a strascico, se del peso giusto, ma limitano l'utilizzo dell'area da parte degli addetti della piccola pesca con i loro attrezzi (tramagli, parangali, ecc.). A questo si aggiunge il rischio di potenziali infortuni per i subacquei. Per quanto riguarda gli altri tipi di strutture, impiegate in altri casi per ripopolamento e presentate in Appendice 1, si sono rilevate meno efficaci come antistrascico in considerazione del loro limitato peso.

La tipologia di barriera proposta a forma di cubo quindi, è quella che dalla letteratura scientifica si è rilevata tra le più efficaci sia a scopo antistrascico che di ripopolamento. Esse sono state utilizzate per esempio in Adriatico (Ancona, Senigallia, Recanati, ecc.) e alla foce del Tevere (Fregene) su fondali sabbio fangosi caratterizzati da elevata sedimentazione. La base di appoggio costituita da pietrame ha sostenuto le strutture, impedendo, a distanza di decine di anni, il loro affondamento. L'assenza di un basamento di pietrame, infatti, comporterebbe l'affossamento delle strutture artificiali, a causa del peso della struttura rispetto alla capacità di sostentamento offerta dal fondale.

La forma delle strutture proposte tiene anche in considerazione le tipologie di pesca praticate nell'area, con particolare riferimento alla marineria della piccola pesca artigianale di S. Foca, dove gli addetti operano prevalentemente con reti da posta e palangari. La complessa disposizione a piramidi delle strutture è idonea soprattutto per la cattura mediante rete tramaglio o parangali di specie bentoniche e necto-bentoniche, strettamente dipendenti dai substrati duri, alcune delle quali stazionano presso la barriera per tutto l'anno, altre hanno un carattere stagionale. L'altezza delle strutture è idonea anche per specie necto-bentoniche e pelagiche gregarie, che tendono a concentrarsi attorno a corpi sommersi che si elevano nella colonna d'acqua.

Mediante casseforme appositamente realizzate saranno quindi costruiti blocchi cubici (2m x 2m x 2m), con fori e cavità di diverso diametro ed ampiezza, alcune comunicanti, con superficie scabra, in cui il rapporto superficie/volume, a causa degli anfratti e delle cavità, viene notevolmente aumentato (Figura 2).

Il peso di un masso di queste dimensioni è pari a circa 13 tonnellate, più che sufficiente per resistere all'impatto di una rete a strascico.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 13 of 27

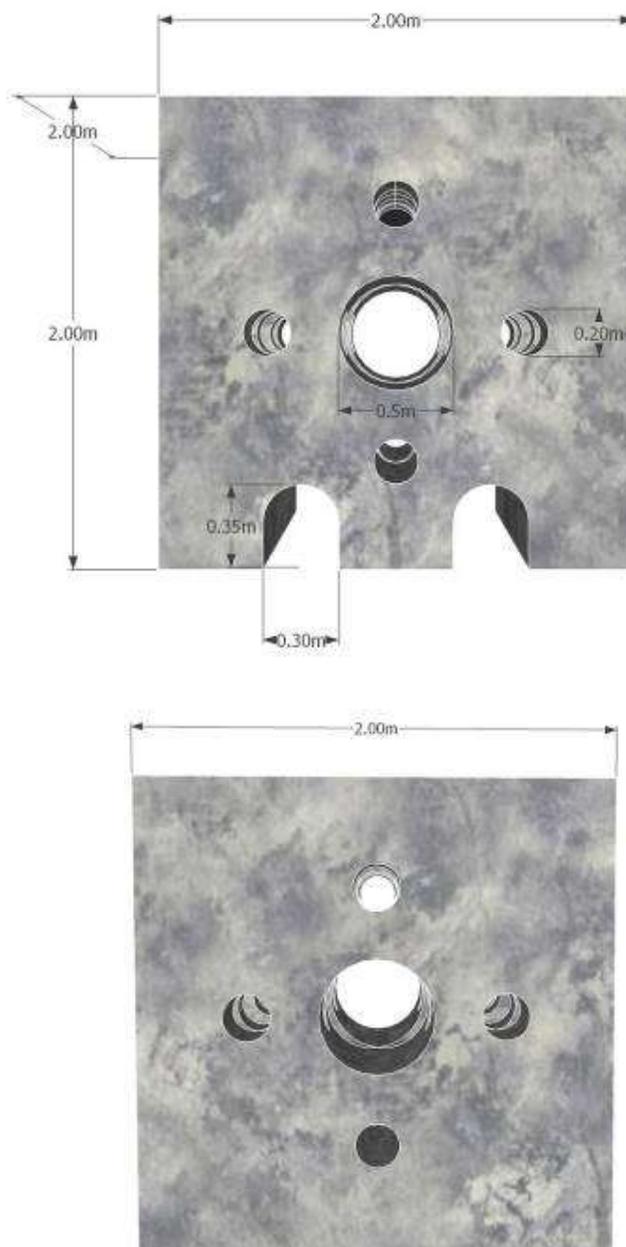


Figura 2 Il disegno del cubo di base utilizzato per l'intervento proposto. Le dimensioni sono pari a 2 m di lato

Il funzionamento ecologico di un tale blocco è basato sulla possibilità di ospitare un gran numero di specie grazie alla eterogeneità spaziale del substrato in termini di altezza, orientamento e cavità interstiziali. Estremamente importante è l'effetto bordo che si viene a creare in prossimità proprio dei bordi del cubo, dove, a causa di un maggior idrodinamismo locale, è facilitato l'insediamento di specie quali alghe filamentose e idrozoi, considerate specie pioniere nel processo di colonizzazione di un nuovo substrato.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	14 of 27

Tale eterogeneità viene aumentata se i blocchi vengono assemblati a forma di piramide, con quattro massi di base e uno di vertice (Figura 3). Si vengono così a formare vere e proprie grotte e passaggi con più aperture che aumentano la possibilità di ospitare specie con esigenze ecologiche diverse e di grandi dimensioni. Sviluppare questi blocchi in altezza significa non solo creare delle nicchie ecologiche diversificate secondo un gradiente verticale (luce, temperatura, correnti) ma soprattutto cogliere quell'energia (fitoplancton, particolato organico, ecc.) che in una colonna d'acqua si spegne via via che si procede dalla superficie verso il basso.

In conclusione quindi, il modello di struttura proposto per l'area di S. Foca, oltre a godere di evidenze scientifiche pluriannuali sulla loro efficacia, presenta i seguenti vantaggi: il primo è che, considerata una loro altezza di circa 4 m, si elevano dal fondale in maniera più che sufficiente per non essere interessate dalla deposizione di materiale sedimentario. Il secondo è che si verrebbe a creare una zona di ripopolamento che per il suo volume, sosterebbe l'attività di pesca artigianale e sportiva e offrirebbe una indubbia attrattiva anche per le immersioni subacquee. Il substrato di appoggio fornito da ogni struttura piramidale agli organismi bentonici sarebbe pari a circa 96 m² (il cubo è la forma geometrica che ha parità di volume ha la maggior superficie esterna). Senza contare i fori e le cavità appositamente create per aumentare le superfici e i nascondigli.

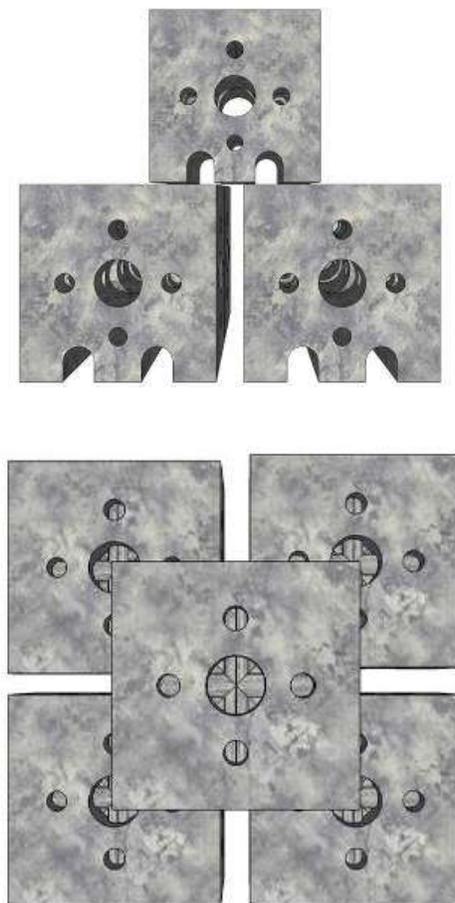


Figura 3 I massi cubici assemblati a piramide visti di lato e dall'alto

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	15 of 27

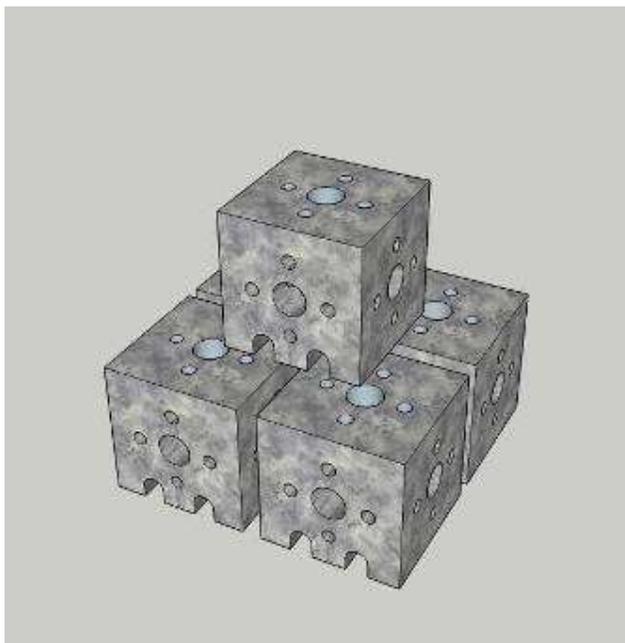


Figura 4 Visione tridimensionale di una piramide assemblata con 4 blocchi di base e uno di vertice

Le piramidi poggeranno su un basamento in pietrame che ha lo scopo di creare un opportuno substrato d'appoggio e aumentare la discontinuità del substrato. **Il materiale utilizzato sarà pietrame di cava proveniente dalla Puglia. Si tratta di materiale di forma e pezzatura variabile delle dimensioni di 15 – 25 cm, con una grossa componente calcarea che fornirà, oltre alla robustezza necessaria, anche la facilità all'insediamento di specie bentoniche.**

Per ogni piramide costituita da 4 blocchi di base più uno di vertice sarà previsto un substrato in pietrame di 6,5 m x 6,5 m per una altezza di 30 cm; il volume totale di pietrame richiesto per ogni piramide sarà quindi di circa 12,7 m³. Considerando un totale di 40 piramidi, si può stimare in circa 507 m³ il materiale che sarà dislocato sul fondo mobile per il sostegno delle strutture artificiali.

Per quanto concerne le caratteristiche del fondale marino, la maggior parte dei sedimenti presenti nell'area interessata dalla realizzazione delle strutture artificiali, come risulta dalle diverse campagne di campionamento realizzate da TAP, è di natura sabbiosa; si tratta quindi di un fondale dalle caratteristiche meccaniche idonee a sostenere il peso delle strutture stesse.

Le piramidi saranno posizionate a profondità comprese tra 16 e 43 m di profondità, ed il blocco di vertice dista quindi almeno 12 m dalla superficie dell'acqua. A questa profondità, oltre a non arrecare alcun disturbo alla navigazione, la struttura non subisce l'influenza e gli effetti del moto ondoso sono attenuati.

3.5 Regime idrodinamico locale

Al fine di valutare eventuali interferenze indotte dagli interventi previsti sull'idrodinamica locale, TAP ha incaricato la Società DHI Italia per l'esecuzione di uno studio modellistico di dedicato. I risultati di tale studio sono riportati nell'Appendice 3 *“Studio Modellistico per la Valutazione*

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	16 of 27

dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico in Progetto sull'Idrodinamica Locale” doc. id. OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006 Rev.0.

Lo studio ha messo in evidenza che, in condizioni tipiche ed ordinarie per la zona, le correnti presentano al fondo velocità assai ridotte e, di conseguenza, le tensioni tangenziali, sia in presenza che in assenza di dissuasori, sono in generale limitate e non tali da determinare l'innescò della movimentazione dei sedimenti. Solo in condizioni di corrente meno frequenti, ma più intense, si potrebbe attivare la movimentazione di sedimenti. In queste circostanze, il rallentamento della corrente indotto dalla presenza dei blocchi, e la conseguente diminuzione delle tensioni al fondo, provoca una minore capacità di movimentazione ed una maggiore capacità di deposizione. Nell'intorno dei blocchi pertanto si potrebbero verificare potenziali variazioni delle condizioni di trasporto solido in quantità limitata ed assai localizzata. Infatti, la corrente viene influenzata dalla messa in opera delle strutture solo in un intorno di alcune centinaia di metri dagli stessi e solo nei primi metri dal fondo si potrebbe verificare una limitata attenuazione delle velocità.

Da queste considerazioni si deduce che le modifiche sui campi idrodinamici indotte dalla presenza dei dissuasori siano trascurabili, risultando non significative sia a grande che a piccola scala.

Le stesse considerazioni valgono per le correnti indotte dalle onde. In questo caso, le correnti litoranee sono elevate nella fascia dei frangenti, ossia fino ad una profondità di circa 10-15 m, come dimostrato nel presente studio. Nella zona dove si prevede di installare i dissuasori, cioè a partire da profondità maggiori, le velocità delle correnti indotte dalle onde sono quindi modeste e, di conseguenza, anche le tensioni tangenziali al fondo e la capacità di trasporto sono limitate. La maggiore influenza dei dissuasori si ha in corrispondenza di quelli più prossimi a costa, dove comunque le tensioni tangenziali raramente raggiungono valori tali da innescare il trasporto di sedimenti.

In conclusione, date le esigue e locali variazioni potenzialmente indotte dalla presenza dei dissuasori e dell'oasi di ripopolamento sull'idrodinamica generale, sulla corrente litoranea generata dalle onde e, di conseguenza, sulle tensioni al fondo, si possono escludere modifiche significative del campo correntometrico del sito e, conseguentemente, dei tassi sedimentari.

3.6 Disposizione Spaziale

La scelta della disposizione spaziale dei moduli è stata fatta in base alle esperienze acquisite in altre località italiane e in base al contesto ambientale in cui si opera. La disposizione spaziale delle strutture ha come obiettivo principale quello di creare una ampia area, di dissuasori antistrascico (stazioni A-L) e una vera e propria oasi di ripopolamento ittico (stazioni P1-P20). Per maggiori dettagli sulla disposizione spaziale si faccia riferimento alla cartografia riportata in *Appendice 2*.

Per agire come dissuasori antistrascico, il posizionamento delle strutture deve creare un ostacolo alle rotte dello strascico, evitando di lasciare corridoi lunghi abbastanza da permettere la manovra degli attrezzi sul fondale. Calcolando che per stendere la rete a strascico una barca ha bisogno di qualche centinaia di metri di spazio, ecco che una disposizione di massi o piramidi distanti tra di loro anche

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	17 of 27

200 m, riesca di fatto ad impedire le manovre delle strascicanti, rendendo non conveniente lavorare in spazi assolutamente insufficienti per garantire un minimo di operatività dell'attività a fronte dell'alto rischio di perdere le reti.

Allo stesso tempo, la disposizione delle piramidi consente di avere un'area sufficientemente articolata da lasciare spazi operativi adeguati al calo degli attrezzi fissi.

Il progetto, per la creazione di un'oasi di ripopolamento, prevede l'utilizzo di 100 cubi di calcestruzzo (piramidi P1-P20 cartografate in *Appendice 2*) assemblati a formare 20 piramidi da disporre in 4 file composte ognuna da 5 piramidi. La distanza tra una piramide e l'altra è pari a 8,5 m. Questo blocco sarà posizionato in un'area caratterizzata da fondi mobili e localizzata in prossimità dell'exit point. L'ubicazione è stata definita al fine di garantire il normale svolgimento delle operazioni di manutenzione e controllo dell'opera nel corso della fase di esercizio.

La disposizione spaziale delle 20 piramidi del lotto centrale è riportata nella seguente Figura 5.

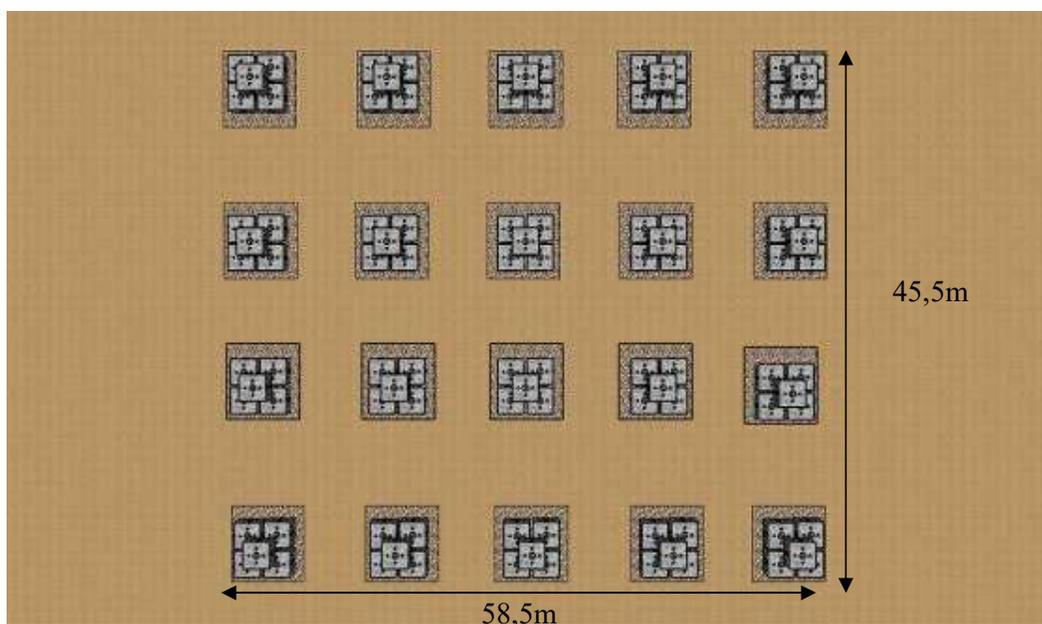


Figura 5 Planimetria delle strutture costituenti il lotto centrale di intervento

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 18 of 27

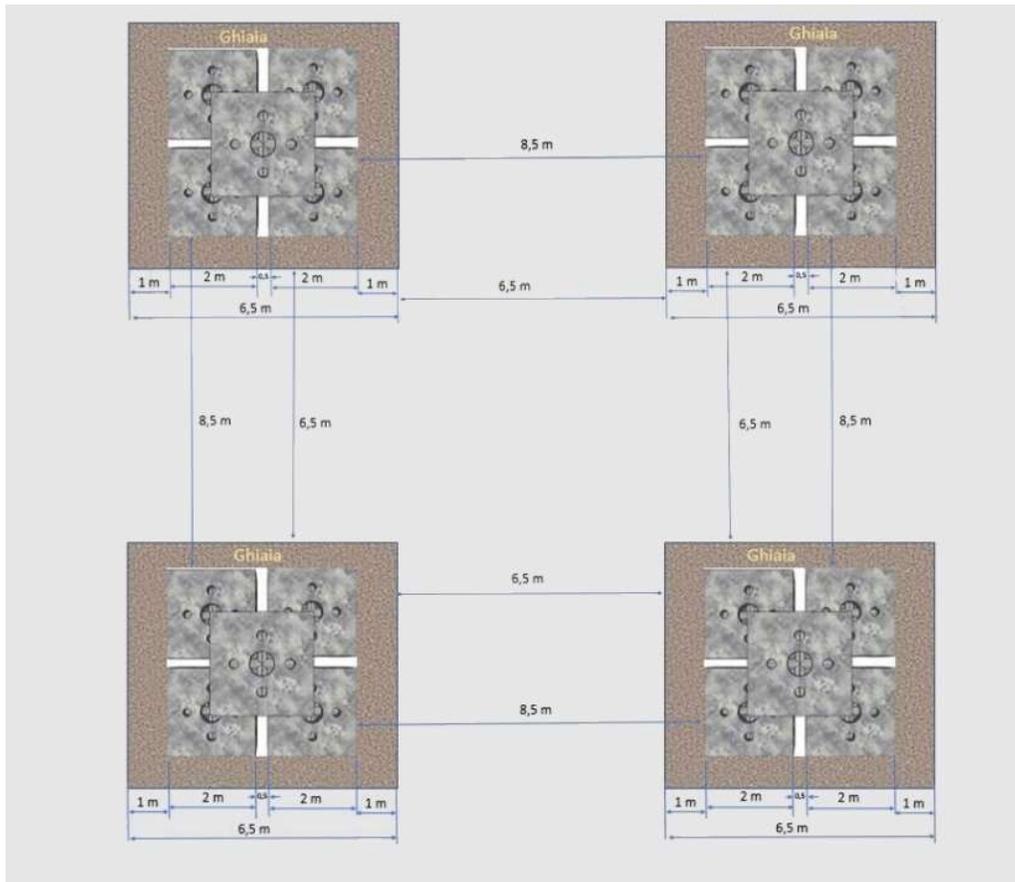


Figura 6 Dettaglio dimensioni e distribuzione spaziale di 4 piramidi

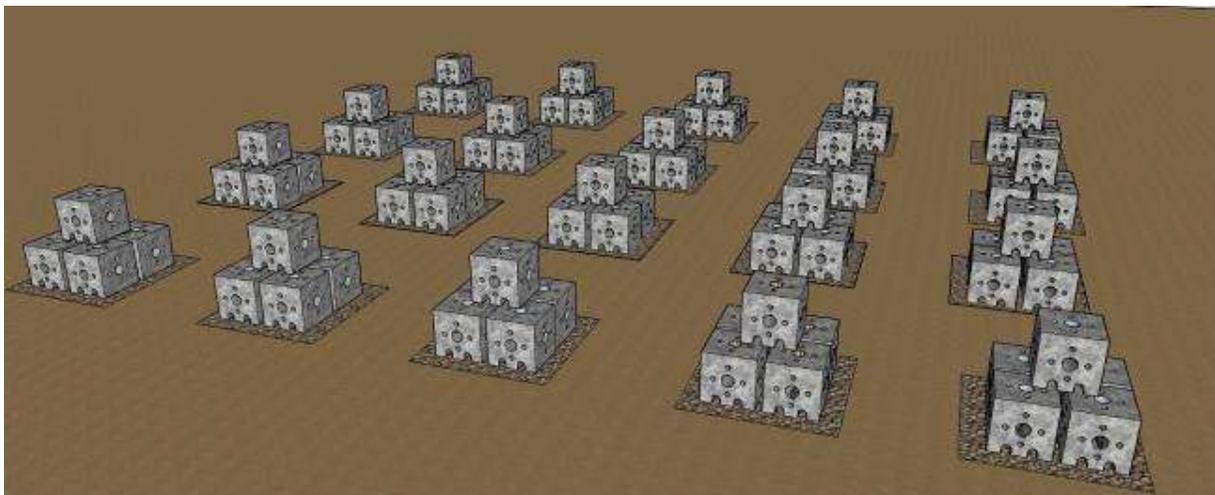


Figura 7 Visione tridimensionale del posizionamento delle piramidi costituenti il lotto centrale

In aggiunta, intorno a questo blocco saranno posizionate altre 10 coppie di piramidi (punti di installazione A-L cartografati in *Appendice 2*) per un totale di 20 piramidi che avranno principalmente la funzione di agire come dissuasori antistrascico.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	19 of 27

In conclusione il numero totale di massi cubici utilizzato sarà quindi pari a 200 per un totale di 1,600 m³ localizzati in corrispondenza di:

- 10 stazioni di installazione (denominati A-L in *Appendice 2*), ognuna costituita da una coppia di piramidi distanziate di circa 25m e il cui principale obiettivo sarà quello di agire da dissuasori antistrascico;
- 1 oasi di ripopolamento costituita da 20 piramidi (P1-P20) la cui funzione principale sarà quella di incrementare il popolamento ittico, soprattutto a carico delle specie di interesse per la piccola pesca costiera.

La distribuzione sul fondale delle strutture artificiali e le relative coordinate sono riportate in Figura 1 dell'*Appendice 2*.

3.7 Costruzione e Posizionamento delle Strutture

I blocchi potranno essere realizzati direttamente in prossimità del porto o in alternativa trasportati in loco mediante appositi mezzi. Le strutture saranno “modellate” mediante casseformi appositamente realizzate per la realizzazione delle strutture e per praticare i fori passanti e le cavità.



Figura 8 Casseformi in un cantiere a terra per la realizzazione di strutture artificiali

Le strutture saranno successivamente spostate via mare mediante un pontone o unità navale in grado di effettuare il trasferimento in sito; tali mezzi saranno inoltre dotati di una gru di sollevamento idonea per il posizionamento dei cubi sul fondale marino. La seguente figura riporta un esempio di un pontone idoneo da poter utilizzare come supporto per il posizionamento delle strutture in oggetto.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 20 of 27



Figura 9 Tipologia di pontone idonea per l'esecuzione delle installazioni

Il lavoro di posizionamento e controllo delle strutture sul fondo sarà affidato ad una ditta specializzata in lavori subacquei.

Il posizionamento delle piramidi verrà effettuato sotto il controllo costante di biologi subacquei che monitoreranno tutte le fasi dell'attività, determinando i tempi della realizzazione.

Si ribadisce che i moduli non saranno posizionati su fondali caratterizzati dalla presenza di biocenosi sensibili come ad esempio l'habitat a Coralligeno o gli erbari di *Posidonia oceanica* o *Cymodocea nodosa* eventualmente presenti. In particolare, le coordinate di ciascuna posizione sono state definite sovrapponendo la mappatura delle biocenosi eseguita dal Prof. Ardizzone (rif. Figura 10 sotto riportata) nell'ambito delle attività di monitoraggio del Progetto TAP.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.: 1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 21 of 27

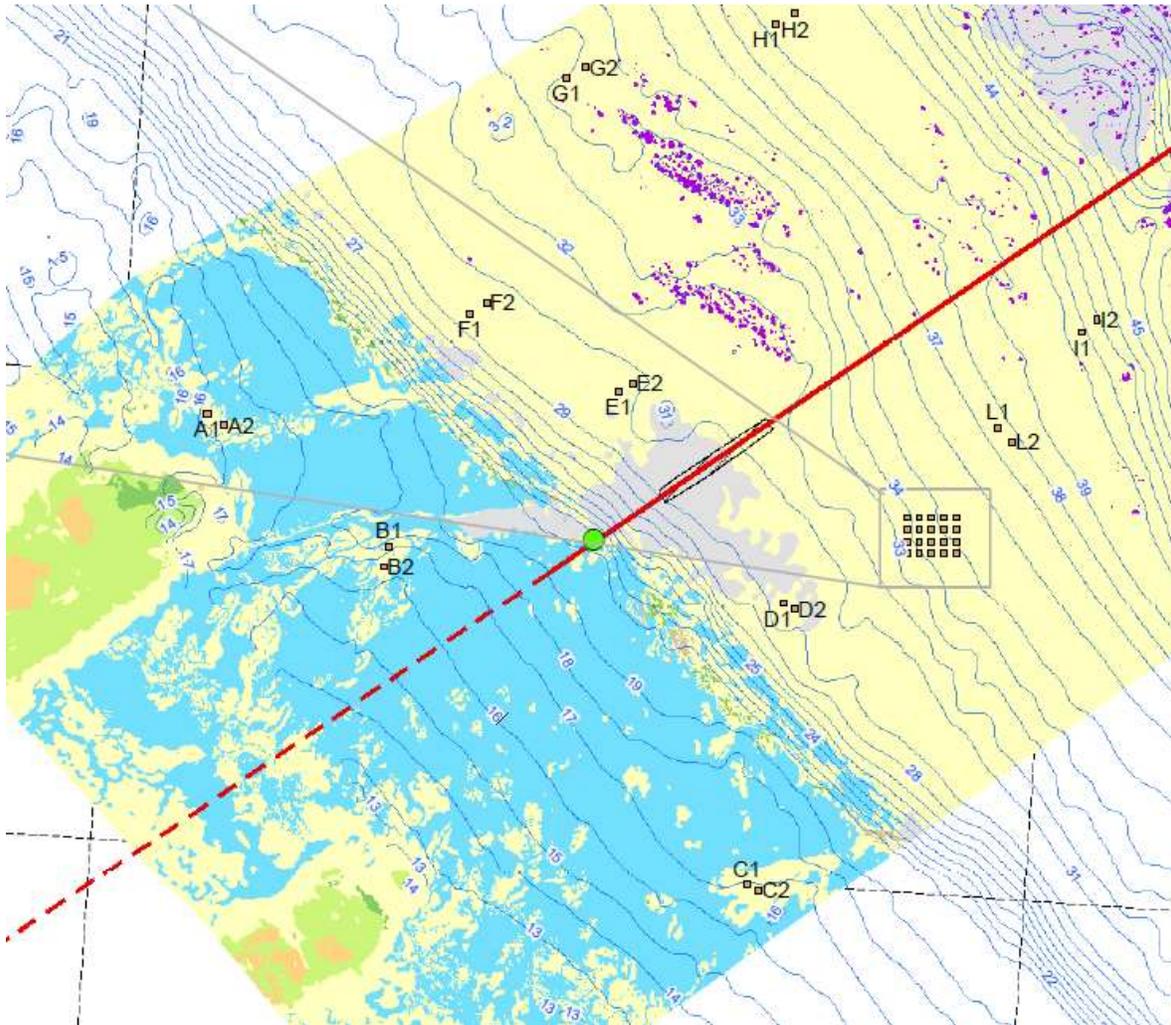


Figura 10: Sovrapposizione degli interventi previsti sulla mappatura delle biocenosi bentoniche mappate nell'ambito delle attività di monitoraggio eseguite dal Prof. Ardizzone.

Nella figura su riportata, è rappresentata la mappatura delle biocenosi effettuata dal Prof. Ardizzone. In particolare, i puntini viola rappresentano gli affioramenti di biocostruzioni, lo sfondo azzurro rappresenta il prato di *Cymodocea* mentre le superfici in verde verso costa sono quelle interessate dalla *Posidonia*. I dissuasori saranno localizzati in aree interessate dalla presenza di fondi mobili rappresentate nella mappa su riportata con le aree di colore giallo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	22 of 27

4. EFFETTI ATTESI

Alla luce delle esperienze pregresse in Mediterraneo e, in particolare, in Italia, riassunte in *Appendice I* a questo rapporto, è possibile fare delle previsioni sugli effetti attesi dal previsto intervento mediante dissuasori antistrascico nella zona di S. Foca.

L'ampia letteratura scientifica disponibile sulla efficacia delle strutture artificiali a scopo di deterrente per la pesca a strascico illegale e ripopolamento ittico (Rif. sintesi ISPRA, 2012) permette di prevedere con ragionevole certezza l'esito positivo dell'intervento, che visto le sue dimensioni ha una valenza prevalentemente locale.

Tali effetti si possono così sintetizzare:

a) Protezione dei fondali dalla pesca a strascico.

Il contrasto alla pesca a strascico illegale svolto da adeguate strutture artificiali è indiscutibile, in quanto esse impediscono di fatto il passaggio della rete a strascico sul fondale. Le esperienze effettuate in tutto il Mediterraneo ne sono testimonianza. In Italia, in particolare, a partire dalle prime installazioni sperimentali di Fregene e dell'Adriatico degli anni '80, sono state posizionate in questi ultimi anni strutture artificiali antistrascico in diverse Aree Marine Protette (ad es. le Isole Egadi) per proteggerne i confini e salvaguardare la Posidonia in particolare. Strutture antistrascico sono state posizionate lungo tutta la costa della Toscana (Baino e Serena, 2010, *Corpi dissuasori a protezione della fascia marina costiera e delle risorse ittiche locali* – MondoPesca, 26/28 Novembre 2018, Carrara) e in diverse località della costa adriatica pugliese (Frigole, Ugento, Gallipoli).

La protezione, ha un duplice meccanismo:

- I substrati artificiali impedirebbero di fatto l'impiego delle reti a strascico su questi fondali, favorendo la protezione di biocenosi bentoniche quali la Posidonia ancora presente e gli affioramenti con bioconcrezionamento.
- I fondali costieri tornerebbero ad assumere quella importante azione di nursery per i giovanili di specie ittiche che le ricerche finora condotte hanno rilevato presenti in questa zona: triglia di scoglio, scorfano rosso e scorfano nero, fragolino, ecc., permettendo loro di raggiungere la taglia di prima maturità sessuale e taglie commerciali.

b) Incremento risorse ittiche.

Per quanto riguarda l'azione di ripopolamento ittico, ancora una volta la vasta letteratura disponibile evidenzia come strutture artificiali idonee possano offrire rifugio e protezione a specie ittiche costiere, che qui hanno la possibilità di alimentarsi, accrescersi e riprodursi. Le specie interessate sono quelle tipiche dei fondi duri litorali: i saraghi (*Diplodus annularis*, *D. fasciatus*, *D. sargus*), gli scorfani (*Scorpaena porcus*, *S. scrofa*), il gronco *Conger conger* e la murena *Muraena helena*, l'aragosta *Palinurus elephas*, il polpo *Octopus vulgaris* oltre a specie di piccole dimensioni quali castagnole e labridi, a loro volta cibo per predatori quali la spigola *Dicentrarchus labrax*. La protezione offerta ai fondali mobili si ripercuote anche sulle specie che qui vivono, e che, grazie agli ostacoli meccanici, hanno maggiori possibilità di accrescimento: triglia di fango *Mullus barbatus* e triglia di scoglio *M. surmuletus*, rombi *Bothus podas*, ecc. Si tratta di specie di elevato valore economico per la piccola pesca costiera artigianale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	23 of 27

Le esperienze delle barriere artificiale adriatiche e quella di Fregene dimostrano come già dopo 2-3 anni dalla posa in opera delle strutture si ottiene un aumento delle rese della pesca artigianale di 3 – 4 volte superiori rispetto al periodo antecedente.

c) Insediamento di specie bentoniche.

I nuovi substrati verrebbero immediatamente colonizzati dalle cosiddette specie pioniere (alghe, filamentose, idrozoi, balani, serpulidi) che aprirebbro la strada alle prime specie biocostruttrici: poriferi, alghe incrostanti, serpulidi, tunicati. Il risultato finale atteso è la formazione di un bioconcrezionamento dominato da specie algali (alghe rosse incrostanti, Padina, Dictyotacee, ecc.), con poriferi e briozoi, nella parte più superficiale e sulle pareti orizzontali delle strutture artificiali e di un bioconcrezionamento dominato da specie incrostanti di alghe rosse, poriferi e briozoi nella parte più profonda e sulle pareti verticali.

La situazione del fondale nell'area interesse, è caratterizzata dalla presenza di substrati duri oltre ai substrati mobili. In particolare, la situazione di mosaico delle biocenosi di Coralligeno e Detritico Costiero che caratterizza l'area è già di per se un fondale con sovrapposizioni di specie (gusci e scheletri di organismi che forniscono elementi di fondo duro nel Detritico ed enclave di sedimenti fangosabbiosi sulle biocostruzioni del Coralligeno).

L'introduzione dei substrati artificiali previsti, quindi, non modificherà l'attuale condizione del fondale già caratterizzato dalla presenza di un complesso incrocio di biocenosi già presenti nell'area.

Inoltre, la disposizione spaziale delle strutture, sparpagliate e relativamente distanti tra di loro, farà sì che sia scongiurato qualsiasi rischio di frammentazione dell'habitat di fondo mobile

5. MONITORAGGI

Al fine di verificare l'efficacia delle strutture installate, verrà effettuato per una sola volta e a partire da un anno dal termine delle operazioni di posa dei manufatti, il monitoraggio della fauna ittica e lo stato di colonizzazione delle biocenosi bentoniche di fondo duro su di essa insediate. In particolare in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento, verrà eseguito il campionamento della fauna ittica attraverso l'utilizzo del tramaglio, rete da pesca usata localmente, ed il censimento mediante riprese video fotografiche. In aggiunta, sempre in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento, verranno effettuate riprese video-fotografiche per la valutazione dello stato del popolamento macro-bentonico.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei monitoraggi che verranno effettuati:

Tabella 1 – Sintesi delle attività di monitoraggio previste

Componente	Localizzazione	Frequenza/durata	Metodiche	Parametri
Fauna Ittica	Oasi di ripopolamento	1 volta, dopo 1 anno dall'attività di installazione	Riprese video- fotografiche e pesca con il tramaglio	Determinazione specie presenti, abbondanza, dimensioni, sesso e maturità sessuale
Organismi bentonici di fondo duro	Oasi di ripopolamento	1 volta, dopo 1 anno dall'attività di installazione	Riprese video- fotografiche	Struttura e composizione del popolamento del Macrobenthos

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	24 of 27

6. REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Di carattere generale sulle barriere artificiali

Baine M. (2001) - Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44: 241-259..

Bohnsack J. A, Sutherland D. L. (1985) – Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science*, 37: 573-591.

Bohnsack J. A., Johnson D. L., Ambrose R. F. (1991) – Ecology of artificial reef habitats and fishes. In: *Artificial habitats for marine and freshwater fisheries*. Seaman W. J. Sprague L. M. (eds) Academic Press, Inc: 61-107.

Bombace G. (1989) - Artificial reefs in the Mediterranean Sea. *Bull. of Mar. Sci.*, 44 (2): 1023-1032.

Seaman W. J., Sprague L. M. (1991) – Artificial Habitat Practices in Aquatic Systems. In: *Artificial Habitat for Marine and Freshwater Fisheries*. Seaman W. J. e Sprague L. M. (eds), Academic Press Inc.: 1- 29.

Sulle barriere artificiali in Italia

Ardizzone G. D., Bombace G. (1982) - Artificial reef experiments along a Tyrrhenian sea coast. *Journée d'Etude sur les Recifs Artif. et Maricult. Suspend.*, Cannes, Rapp. CIESMM, 49-51.

Ardizzone G. D., Chimenz C., Belluscio A. (1982) - Benthic community on the artificial reef of Fregene (Latium). *Journée Etud. Récifs artif. Et Maricult. Suspend.* - Cannes, C.I.E.S.M.: 55-57.

Ardizzone G. D., Bombace G., Pelusi P. (1982) - Settlement and growth of *Mytilus galloprovincialis* Lamk on an artificial reef in the Tyrrhenian sea. *Journée Etud. Recifs Artif. et Maricult. suspend.*, Cannes, Rapp. CIESMM: 59-61.

Ardizzone G. D., Gravina M. F., Gusso Chimenz C. (1994) - A ten years research on marine artificial habitat for fishery purposes. In: Argano R., Cirotto C., Grassi Milano E., Mastrolia L. (eds) *Contribution to Animal Biology*. Halocynthia Association, Palermo: 47-53.

Ardizzone G. D., Belluscio A., Gravina M.F., Somaschini A. (1994) - Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) population dynamics in relation to edaphic changes. Lavoro presentato al 29° Congresso European Marine Biology Society, Vienna, Sep. 1994.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	25 of 27

Ardizzone G. D., Belluscio A., Gravina M. F., Somaschini A. (1996) - Colonization and Disappearance of *Mytilus galloprovincialis* Lam. on an Artificial Habitat in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43: 665-676.

Ardizzone G. D., Belluscio A., Somaschini A. (1996) - Biodiversity on European Artificial Reefs. 1st European Artificial Reef Researcher Network Conference. 26th - 30th March 1996. Ancona: 39-60.

Ardizzone G. D., Somaschini A., Belluscio A. (1999) – Prediction of Benthic and fish colonization on the Fregene and other Mediterranean Artificial reefs. In: *Artificial Reef in European seas*. Jensen A., Collins K.J., Lockwood A. P. M. (eds). Kluwer Academic Press: 113-128.

Badalamenti F., D'Anna G., (1995) - Esperienze di barriere artificiali nel golfo di Castellammare (Sicilia Nord-Occidentale). *Biol. Mar. Medit.*, 2 (1): 165-173.

Baino R.T., Serena F., 2010 – Copi diuasori a protezione della fascia marino costiera e delle risorse ittiche locali. *Mondo Pesca, Carrara* 26-28/11/2010.

Beltrami G. e Tibulo G., Progetto Vivere il Mare. “Preservare e Sviluppare l’Ittiguna Autoctona”. Regione Sicilia: 43 pp.

Bombace G. (1981) – Note on experiments in artificial in Italy. *Studies and Reviews GFCM*, 58: 309-324.

Bombace G. (1982) – Il punto sulle barriere artificiali: problemi e prospettive. *Naturalista Siciliano*, IV (VI suppl.): 573-591.

Bombace G. (1995) - Le barriere artificiali nella gestione razionale della fascia costiera italiana. *Biol. Mar. Medit.*, 2 (1): 1-14.

Bombace G., Fabi G., Fiorentini F. (2000) – Artificial Reefs in the Adriatic Sea. In: *Artificial reefs in european seas*, Jensen A. C., Collins K. J., Lockwood (eds), Kluwer Academic Publishers: 31-64.

Cerfolli F., 2015 - Efficienza della conservazione attiva dell’habitat prioritario Prateria di Posidonia 1120: i risultati del Progetto LIFE09NAT/IT/00017 Poseidone. Expo Venice, Venezia, 20 ottobre 2015.

D’Anna G., Badalamenti F., Lipari R., Cuttita A., Pipitone C. (1995) - Fish assemblage analysis by means of a visual census survey on an artificial reef and on natural areas in the Gulf of Castellammare (NW Sicily). *Proceedings ECOSET’95*. Publ. by Japan International Marine Science and Technology Federation, 1: 221-226.

Fabi G., Fiorentini L., Giannini S. (1986) – Growth of *Mytilus galloprovincialis* Lmk on a suspended and immersed culture in the Bay of Portonovo (central Adriatic sea). *FAO Fisheries report*, 357: 144-154.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	26 of 27

Fabi G., Fiorentini L., Giannini S. (1989) – Experimental shellfish culture on an artificial reef in the Adriatic Sea. *Bulletin of Marine Science*, 44 (2): 923-933.

Kocak F., Zamboni N. (1998) – Settlement and seasonal changes of sessile macrobenthic communities on the panels in the Loano artificial reef (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Oebalia*, XXIV: 17-37.

Nicoletti L., Marzialetti S., Paganell D., Ardizzone G.D. (2007) - Long-term changes in a benthic assemblage associated with artificial reefs. *Hydrobiologia*, 580, 1: 233-240.

Palandri G., Beccornia E., Relini M., Relini G. (2006) – Sedici anni di osservazioni sui pesci della barriera artificiale di Loano. *Biol. Mar. Medit.*, 13 (1): 132-140.

Regione Veneto, ARPAV - Campo Sperimentale in Mare: prime esperienze nel Veneto relative a elevazioni del fondale con materiale inerte. 92 pp.

Relini G. (2000) – The Loano Artificial Reef. In: *Artificial reefs in european seas*, Jensen A. C., Collins K. J., Lockwood (eds), Kluwer Academic Publishers: 129-149.

Relini G., Orsi Relini L. (1989) – Artificial reefs in the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean): aims and results. *Bulletin of Marine Science*, 44: 743-751.

Relini G., Orsi Relini L. (1990) - Artificial reef in the Ligurian Sea: a report on the present situation. *FAO Fish Rep.*, 428: 114-119.

Relini G., Relini M., Torchia G. 1990 -Fishes of the Loano artificial reef (western Liguria Sea). *Fao Fish Rep.*, 428: 120-127.

Relini G., Relini M., Torchia G. 1995 - La barriera artificiale di Loano. *Biol. Mar. Medit.*, 2 (1): 21-64.

Relini G., Zamboni N., Tixi F., Torchia G. (1994) - Patterns of sessile macrobenthos community development on an artificial reef in the Gulf of Genoa (Northwestern Mediterranean). *Bull. Mar. Sci.*, 55 (2-3): 745-771.

Relini G., Ryland J. (2007) - Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats Proceedings of the 39th European Marine Biology Symposium, Genoa, Italy, 21–24 July 2004. *Hydrobiologia*, 580 (1).

Relini G., Relini M., Palandri G., Merello S., Beccornia E. (2007) - History, ecology and trends for artificial reefs of the Ligurian sea, Italy. *Hydrobiologia*, 580 (1): 193-217.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008	Rev. No.:	1
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	27 of 27

Riggio S. (1995) - Le barriere artificiali e l'uso conservativo della fascia costiera: risultati dei "Reefs" nella Sicilia N/O. *Biologia Marina Mediterranea*, 2(1): 129-164.

Riggio S., Badalamenti F., D'Anna G. (2000) – Artificial reefs in Sicily: an overview. In: *Artificial reefs in european seas*, Jensen A. C., Collins K. J., Lockwood (eds), Kluwer Academic Publishers: 65-73.

Riggio S., Gristina M., Giaccone G., Badalamenti F. (1985) - An eighteen months survey of the artificial reef of Terrasini (N/W Sicily): the Invertebrates. *Oebalia*, 11, N.S.: 427-437.

Romanelli M., Giovanardi O., Sabatini L., Francschini L., 2012 – Le strutture sommerse per il ripopolamento ittico e la pesca ("Barriere Artifiiali"). ISPRA, Quaderni – Ricerca Marina 3/2012: 116 pp.

Somaschini A., Ardizzone G. D., Gravina M. F. (1997) – Long-term changes in the structure of a polychaete community on artificial habitats. *Bullettin of Marine Science*, 60 (2): 460-466.

Appendice 1

Esperienze Pregresse (Casi Studio)

- Le esperienze nel mondo e in Mediterraneo
- Le esperienze in Italia

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	2 of 32

1. Le esperienze nel mondo e in Mediterraneo

L'origine delle barriere artificiali sembra essere molto antica, tanto che alcuni autori riferiscono della loro esistenza già intorno al 1650 quando semplici costruzioni di pietre sovrapposte vennero affondate nella baia di Urato, nell'isola di Shikoku (Giappone). Le prime barriere costruite erano molto artigianali, fatte con materiali di fortuna e le loro potenzialità furono scoperte casualmente. La storia vuole che nel 1795 un pescatore dell'isola Awaji (Kobe, Giappone) pescasse con una rete a circuizione diverse migliaia di *Plectorhynchus cinctus* (un pesce della Famiglia Haemulidae) nei pressi di una nave affondata. Quando dopo circa otto anni la nave si deteriorò, il pesce iniziò a scarseggiare. I pescatori del luogo, allora, costruirono delle strutture di legno e bamboo e le posero su un fondale di 40 m mediante delle zavorre di sabbia; dopo soli tre mesi il pescato era cresciuto ed essi ripresero a pescare grandi quantitativi di pesce. Dopo questa prima "barriera artificiale" molte altre ne furono create nelle aree vicine. Casi analoghi a quello descritto dimostrarono la relazione tra strutture sommerse e l'abbondanza del pescato; l'evidenza di tale relazione determinò un uso sistematico di barriere artificiali nelle aree costiere del Giappone. Geograficamente, circa il 10 % della platea continentale giapponese è interessata da interventi di "miglioramento" mediante strutture artificiali e in queste acque è concentrato il 90%, pari a più di 20 milioni di metri cubi di materiali, del volume delle strutture poste in mare nel mondo, contro il 5%, pari a più 1 milione di metri cubi di materiale degli USA ed il restante 5% per tutti gli altri Paesi.

Habitat artificiali sono realizzati negli Stati Uniti da più di 100 anni, ma è solo in questi ultimi anni che gli amministratori delle attività di pesca li riconoscono come una strada specifica per incrementare le risorse ittiche. La loro realizzazione era tradizionalmente effettuata con l'impiego di materiali di scarto (tra cui anche piattaforme petrolifere in disuso, pneumatici, automobili) ed era finalizzata all'incremento di attività ricreative, come la pesca sportiva e l'attività subacquea. Negli ultimi anni però si è abbandonato l'uso di materiali di risulta in quanto pneumatici e automobili hanno dato nel tempo pessimi risultati, con esfoliazione delle vernici, liberazione di sostanze tossiche, scarse capacità di insediamento degli organismi bentonici. Si è diffuso così l'utilizzo di strutture in cemento appositamente realizzate, di imbarcazioni, navi e chiatte che, una volta ripulite dagli olii e dalle vernici, sono appositamente affondate, specialmente ad uso dei pescatori sportivi e dei subacquei.

L'impiego di vecchie navi, opportunamente ripulite e messe in sicurezza, da affondare per creare strutture sommerse ha avuto un gran successo negli Stati Uniti.

Lungo la costa atlantica degli Stati Uniti nella sola Florida sono state così affondate fino al 2005 ben 380 navi, nel New Jersey 131, nel South Carolina 100 e altre 170 navi negli altri Stati, assieme a milioni di tonnellate di roccia e massi in cemento.

La più grande barriera artificiale del mondo è stata realizzata negli Stati Uniti, con l'affondamento nel 2006 della portaerei USS Oriskany, al largo della Florida (Figura 1). Nel 2009 è stata affondata un'altra nave, da trasporto, la USNS Hoyt S. Vanderberg, ad una profondità di circa 40 m, al largo dei Key West. Scopo di questo affondamento era la creazione di un nuovo habitat dove spostare le attività dei subacquei locali e proteggere così i reefs naturali vicini.

E' proprio la Florida lo Stato in cui, a partire dalla fine degli anni 1970, lo sviluppo dell'impiego di strutture artificiali ha avuto il massimo sviluppo. Attualmente, circa 70-100 strutture artificiali vengono realizzate annualmente al largo della Florida utilizzando fondi pubblici e privati. Dal 1996 al

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	3 of 32

2005 la costruzione di queste strutture è stata finanziata dallo Stato per 600.000 USD, saliti a 700.000 a partire dall'anno successivo (Figura 2). Negli ultimi 33 anni la Florida ha speso circa 20.233.000 USD per attività correlate alle strutture artificiali.

Strutture artificiali a fini di ripopolamento ittico sono state realizzate dapprima con materiali a bassa tecnologia e di basso costo e poi via via con strutture più complesse e diversificate, in Thailandia, Malesia, Brasile, Hong Kong, Taiwan, Messico, Israele, India, Australia e in varie altre località nel mondo.



Figura 1 La nave Oriskany saffondata per creare un habitat artificiale (a sinistra) e il ponte di controllo volo fotografato dopo due anni si immersione.



Figura 2 Subacquei immersi sul relitto della Gen. Hoyt S. Vandenberg nel Florida Keys National Marine Sanctuary al largo di Key West, Florida, un anno dopo l'affondamento

Il Programma di Strutture Artificiali della Luisiana è stato stabilito nel 1986 per trarre vantaggio dalle piattaforme petrolifere obsolete, riconosciute come un utile strumento per fornire habitat a specie ittiche costiere. Un anno dopo la cessazione dell'attività produttiva, le piattaforme devono essere rimosse, ma questa rimozione provoca una perdita di habitat per le specie ittiche. Così, dal 1986 le compagnie petrolifere partecipano al Programma donando le strutture immerse. Nel 1999, il Programma ha creato una delle più grandi strutture artificiali del mondo a partire dagli impianti per

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 4 of 32

l'estrazione dello zolfo di Freeport, al largo di Grand Isle Louisiana. La miniera, con più di 1,5 miglia di ponteggi sommersi, è composta da più di 29 strutture, intorno ai 16-18 m di profondità.

In Mediterraneo le prime strutture utilizzate al fine di attrarre e concentrare specie ittiche sono probabilmente gli 'incannizzati'. Si tratta di strutture galleggianti, costituite da fascine o foglie di palma, ancorate sul fondo mediante una cima e un corpo morto e utilizzate nelle acque di Malta e della Sicilia meridionale per la "pesca all'ombra". Esse sfruttano cioè l'abitudine che alcune specie ittiche (ricciola, corifena, pesce pilota) hanno nel periodo compreso tra l'estate e l'autunno di rifugiarsi sotto oggetti galleggianti che fanno ombra. Questi pesci sono poi catturati con reti a circuizione o con ami. Altre strutture galleggianti vengono da molti anni utilizzate in varie parti del Mediterraneo per la coltivazione di mitili e ostriche.

Le prime strutture artificiali con fine di restauro ambientale sono state realizzate nella Riserva Marina di Monaco, alla fine degli anni '60. Nonostante le ridotte dimensioni, i risultati furono incoraggianti e le strutture furono colonizzate da alghe e invertebrati bentonici come le Spugne e fornirono rifugio a numerose specie ittiche (Figura 3).



Figura 3 Specie ittiche (castagnole, perchie, scorfani) intorno le strutture artificiali di Montecarlo.

In Francia, dove moduli sperimentali furono impiantati a partire dal 1970 per incrementare le risorse ittiche, sono state realizzate una ventina di strutture di dimensioni variabili da 35 a 6.500 mc, per un totale di circa 40.000 metri cubi. Strutture artificiali sono state realizzate lungo la costa mediterranea nel Languedoc-Roussillon, sulla Costa Azzurra, alle Bocche del Rhone, nella Regione dei Paesi della Loira, nel dipartimento delle Alpi Marittime e nel Parco Marino di Port-Cros. Alle Bocche del Rhone furono impiegate 3.600 metri cubi di roccia naturale e piramidi in cemento, a scopo principalmente antistrascico. Nelle Alpi Marittime l'attenzione venne posta alla creazione di habitat per specie ittiche. Nel Languedoc-Roussillon furono posizionati 6.000 metri cubi di materiali sui fondali del Golfo del Leone.

Nel 2008 è stata realizzata nelle acque di Marsiglia il "recifs du Prado", una struttura artificiale del volume di 30.000 mc, una delle più grandi di Europa, per un investimento di 6 milioni di euro. La struttura è composta da quattrocento barriere artificiali di disegno diverso, suddivise in 6 "villaggi per pesci", posizionate tra 25 e 30 m di profondità (Figura 4e Figura 5)

A distanza di 10 anni le strutture appaiono colonizzate da un ricco popolamento bentonico e ittico

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	5 of 32



Figura 4 Diverse tipologie di substrato impiegate per la grande barriera artificiale di Marsiglia

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	6 of 32



Figura 5 Diverse tipologie di strutture artificiali utilizzate nella più grande barriera artificiale a fini multipli europea, a Marsiglia, Francia. Nella foto in bassa si può notare una rete a strascico rimasta incastrata tra le strutture artificiali

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 7 of 32

In Spagna, coordinate dal governo nazionale, sono state realizzate, a partire dal 1986 ad oggi, più di un centinaio di strutture artificiali (Figura 6). Una cinquantina di queste sono state realizzate principalmente a scopo di protezione dalla pesca a strascico illegale e/o incremento delle risorse ittiche.



Figura 6 Le barriere artificiali realizzate in Spagna, per lo più a protezione della fascia costiera dalla pesca a strascico

In particolare, sono state realizzate a scopo di ripopolamento, barriere artificiali mediante corpi in cemento armato nelle acque delle Baleari, nei pressi di Alicante (a protezione della prateria di *P. oceanica*), nella Murcia, nella Riserva Marina di Tabarca (a scopo antistrascico e a protezione delle praterie di Posidonia), in Galicia, alle Canarie (Figura 7e Figura 8).



Figura 7 Strutture antistrascico per la protezione della Posidonia (a sinistra) e per il ripopolamento ittico (a destra) utilizzate in Spagna

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 8 of 32



Figura 8 Strutture utilizzate in Spagna per la protezione dei fondali e l'incremento delle risorse ittiche. In primo piano è visibile una rete a strascico bloccata tra i massi

In Grecia un programma di sviluppo di strutture artificiali è iniziato a partire dal 1998 e la Turchia ha da pochi anni un piccolo programma di strutture artificiali sperimentali.

Al di fuori dell'area Mediterranea, ma sempre in ambito europeo, strutture artificiali sono state realizzate nel 1983 in Portogallo (Madeira) con automobili, pneumatici e barche in legno per incrementare le risorse ittiche e nel 1990 in prossimità di Olhao e Faro (Algarve), a scopo di protezione dei fondali e di ripopolamento. Lungo le coste dell'Inghilterra centro - meridionale (Poole Bay, 1989) è stata realizzata una piccola struttura artificiale sperimentale utilizzando elementi in carbone - cemento stabilizzato, un materiale di risulta delle centrali elettriche a carbone mischiato con cemento. Strutture artificiali sono in costruzione al largo della costa Est della Scozia.

Altre strutture per lo più sperimentali sono state realizzate in Germania, Olanda, Norvegia, Finlandia, Danimarca. La Polonia e la Russia hanno posizionato strutture artificiali sperimentali nel Mar Baltico, la Romania nel Mar Nero, ancora la Russia nel Mar Caspio.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	9 of 32

2. Le esperienze in Italia

L'Italia è stato uno dei primi Paesi europei ad intraprendere la realizzazione di strutture artificiali a fini multipli su base nazionale e in modo organizzato. Molti programmi sono stati finanziati con il contributo della Comunità Europea.

Una cinquantina di strutture artificiali sono state pianificate a tutt'oggi lungo la costa italiana, di questi progetti una trentina (per un totale di più di 15.000 ettari interessati e oltre 92.000 metri cubi di volume impiegati) sono stati realizzati e sono sostenuti scientificamente, gli altri sono in corso di realizzazione o ancora sulla carta.

I primi esperimenti di utilizzazione di substrati artificiali risalgono agli anni '70, quando fu realizzata a Varazze, nel Mar Ligure, la prima barriera artificiale italiana. Scopo di questa barriera era la protezione dei fondali dallo strascico illegale e l'incremento delle risorse ittiche. La barriera di Varazze è stata realizzata con 1.300 carcasse di automobili poste su fondali fangosi tra 30 e 50 m di profondità, su un'area di 15.000 metri quadri. Poco tempo dopo alcune vecchie chiatte di legno furono affondate nella stessa zona, nei pressi di Camogli e nel Golfo di Marconi. Questa prima iniziativa di Varazze non fu un grande successo in quanto le carcasse di automobili non si mostrarono adatte a tale scopo, essendo troppo leggere, inquinanti e deteriorabili nel tempo.

Sempre in Liguria, ad Andora, è stata realizzata una barriera artificiale che consiste in una serie di strutture artificiali ecocompatibili amovibili ottenute dall'assemblaggio di moduli elementari, alti circa 1.85 m con un diametro di circa 3.80 m, e posti in un'area interdetta alla pesca a strascico ad una profondità compresa tra i 23 ed i 27 metri, ad una distanza dalla costa di circa 1050 m, per una lunghezza complessiva di 1012 m ed una larghezza di circa 50 m. (Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

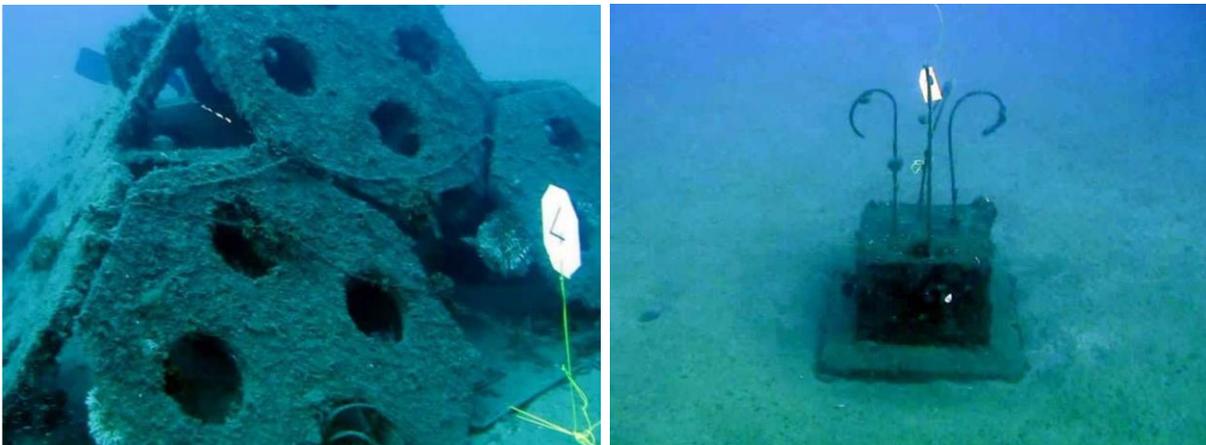


Figura 9 Massi di ripopolamento (a sinistra) e antistrascico (a destra) utilizzate nella barriera artificiale di Andora

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	10 of 32



Figura 10 Colonie di Briozoi colonizzano a distanza di 10 anni i substrati artificiali posizionati ad Andora



Figura 11 Colonie di Policheti colonizzano i substrati artificiali posizionati ad Andora

Sempre in Liguria, a Loano, è stata realizzata tra il 1986 e il 1989 una barriera artificiale estesa su 350 ha e tra 5 e 45 m di profondità, composta da un gruppo centrale di 30 piramidi costituite da blocchi in calcestruzzo cubici tra 17 e 25 m (per un totale di 1.740 metri cubi) e un gruppo di 450 singoli blocchi cubici di 1,2 e 2 m di lato, per un totale di 345 metri cubi) distribuiti intorno il gruppo centrale (Figura 12). I blocchi erano dotati di buchi di 20-30 cm di diametro. Scopo principale della struttura artificiale era quello di proteggere la prateria di *P. oceanica* presente nell'area. Il successo di questa iniziativa fu più che buono. In generale, sulle superfici illuminate il popolamento tende verso una associazione dominata dalle alghe *Cystoseira* e *Sargassum*, mentre nelle zone in ombra il popolamento evolve verso la comunità delle grotte, dominata da spugne, briozoi, serpulidi e madreporari. L'ostrica *Ostrea edulis* si è insediata ed è cresciuta in modo tale da rappresentare una risorsa sfruttabile dall'uomo. Nel complesso sono state ritrovate 67 specie di pesci, 4 di crostacei, e 5 di cefalopodi. Tra le specie commerciali: orate, spigole, aragoste, cernie.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	11 of 32

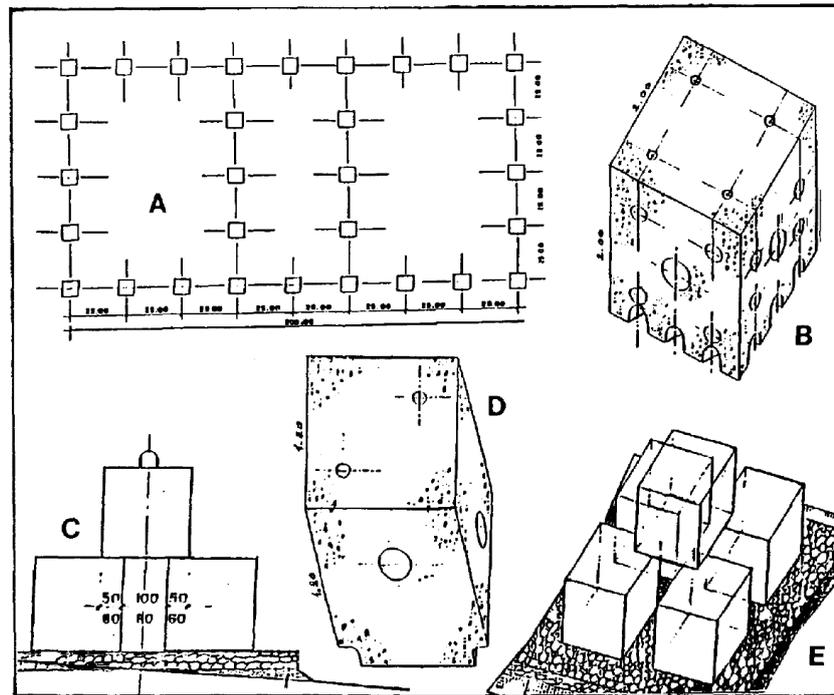


Figure 7. A: arrangement of pyramids composed of 5 blocks in the main reef; B: one pyramid block (2·2·2 m); C, E: block arrangement of the pyramids; D: protection block (1.2·1.2·1.2 m).

Figura 12 I massi utilizzati per la barriera artificiale a fini multipli (protezione antistrascico e ripopolamento) utilizzati a Loano A. disposizione spaziale delle piramidi composte da 5 blocchi del corpo principale, B. un blocco cubico di 2mx2mx2m, C-E posizione

Nel 1974 è stato realizzato il primo esperimento di barriere artificiali su scala semiprofessionale, a Sud-Est del Conero (Ancona), nella zona di Porto Recanati. La profondità è di circa 14 metri e il fondale è costituito da sabbia e fango compatti.

La barriera di Ancona è costituita da 200 cubi in calcestruzzo di due metri di lato (Figura 13). I cubi sono assemblati a formare delle piramidi di 14 elementi (9 blocchi di base, 4 al piano intermedio e uno al vertice) e poggiavano su un basamento di pietrame alto circa 50 cm, per cui ciascuna piramide raggiungeva una altezza di 6,50 m. Le piramidi erano posizionate a coppie distanti tra di loro circa 50 m. Tra coppie di piramidi vicine sono posizionate corde e reste per una mitilicoltura sospesa e sommersa. L'area interessata è di circa 3 ettari. All'interno del poligono delimitato dalle piramidi vennero immersi due battelli privati del motore e tra una piramide e l'altra furono posizionate cumuli di pietrame di grosse dimensioni in modo da dare continuità al sistema (Figura 14).

I cubi sono provvisti di buchi di forma e dimensioni differenti, per offrire rifugio a diverse specie di pesci, cefalopodi e crostacei. La loro superficie è rugosa per facilitare l'insediamento delle larve dei mitili. Lo scopo di questo schema era la protezione dei fondali dalla pesca a strascico illegale, il ripopolamento e lo sviluppo di nuova biomassa sessile, specialmente mitili e ostriche.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	12 of 32



Figura 13 La struttura dei cubi in calcestruzzo impiegati per la barriera artificiale di Ancona

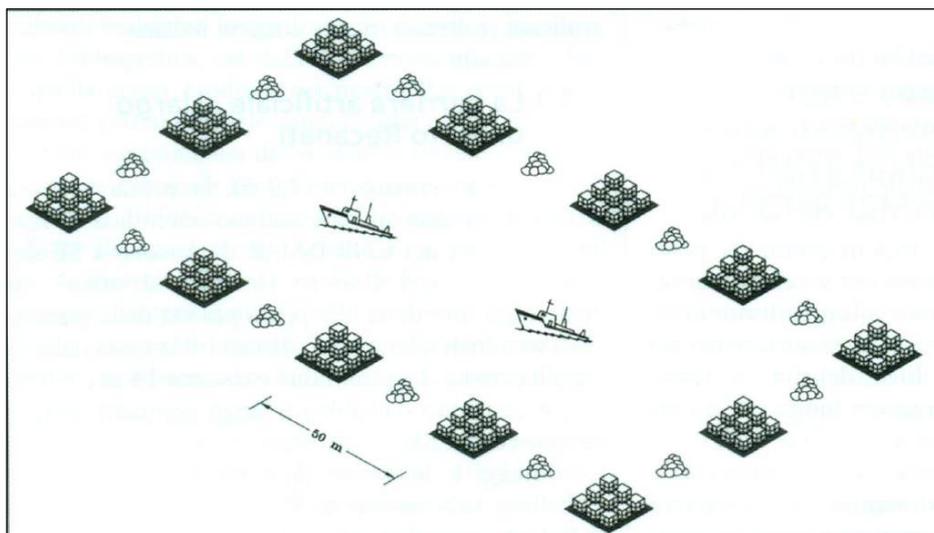


Figura 14 Il posizionamento delle piramidi che costituiscono la barriera artificiale di Ancona

In seguito, nel 1975, data la forte concentrazione di addetti alla piccola pesca e di attrezzi da posta, fu realizzata intorno a questa area una zona di risetto di circa 20 mq costituita da moduli cubici dispersi in modo casuale. Complessivamente furono utilizzati 453 blocchi di calcestruzzo per un volume di 3.624 mc e 396 mc di pietrame per un volume totale di oltre 4.000 mc di materiale.

I risultati ottenuti mostrano che il costo iniziale delle strutture fu recuperato tre volte in circa 4 anni attraverso i rendimenti della piccola pesca e la raccolta dei mitili insediati sui substrati artificiali (Figura 15).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	13 of 32



Figura 15 Una delle piramidi della barriera artificiale di Porto Recanati con specie ittiche attratte da nuovi substrati

Tra la metà e la fine degli anni '80 nel Mar Adriatico sono state realizzate altre barriere artificiali multiuso. Nel 1983 l'IRPeM-CNR di Ancona realizza la struttura artificiale sperimentale di Portonovo (denominata Portonovo 1). Essa è posizionata in circa 11 m di profondità, ed è realizzata da piramidi, ognuna di 5 cubi di cemento dello stesso tipo di quelli utilizzati a Porto Recanati (Figura 16). La struttura fu usata per impianti sperimentali di mitilicoltura sospesa e sommersa (mitili e ostriche). Le strutture artificiali di Porto Garibaldi (denominate Porto Garibaldi 1 e 2), Rimini, Cattolica, Senigallia (Figura 17) e Portonovo (2) furono costruite negli anni 1987-89. Cinque di loro (Porto Garibaldi 1 e 2, Rimini, Cattolica e Portonovo 2) furono realizzate dietro la spinta delle associazioni locali dei pescatori e rappresentano dei veri e propri sistemi produttivi su grande scala



Figura 16 Effetto antistrascico delle barriere artificiali: rete rimasta impigliata su una piramide della barriera artificiale di Porto Recanati (a sinistra). Spazi tra i moduli di una barriera: è visibile la spessa copertura di mitili (a destra)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 14 of 32

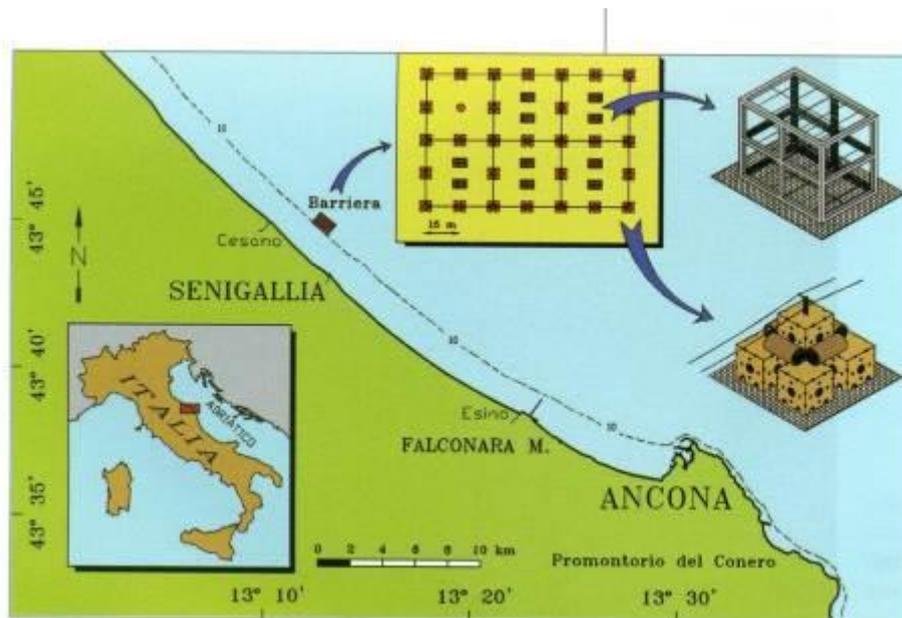


Figura 17 Disposizione spaziale della barriera artificiale di Senigallia, in Adriatico

I risultati scientifici ottenuti dalle ricerche condotte su queste strutture possono essere così sintetizzati: a) Gli effetti delle strutture artificiali sono più evidenti nei siti più lontani dai substrati duri naturali; b) La ricchezza di specie, la diversità di specie e l'abbondanza dei pesci aumenta dopo la posa in opera delle strutture; questo aumento è particolarmente evidente per le specie nectobentoniche di fondo duro (es. Sparidi e Scienidi). L'aumento dei rendimenti delle catture medie registrati per queste specie dopo tre anni dal posizionamento è stato 10-42 volte il valore iniziale. Questo incremento sembra essere direttamente correlato alle dimensioni delle strutture in termini di volume di materiale immerso e inversamente correlato alla distanza tra le oasi; c) Le catture più elevate di pesci sono state riportate per le strutture artificiali rispetto ad aree senza strutture; e) In acque eutrofiche i molluschi bivalvi (mitili e ostriche) si insediano sulle strutture artificiali trovando condizioni idonee per lo sviluppo, creando nuove opportunità di maricoltura.

Una nuova barriera artificiale a fini multipli è stata realizzata nel 2014 a Riccione (Figura 18).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	15 of 32



Figura 18 I materiali utilizzati per la barriera artificiale di Riccione

Nel 1978 fu realizzata la barriera artificiale del Parco di Miramare (Trieste), a fini di protezione e ripopolamento, assemblando a 18 m di profondità, su un fondale fango-sabbioso, elementi cilindrici di calcestruzzo, di lunghezza variabile da 1 a 6 metri, cavi all'interno e di diametro pari a 1,80 m. La forte sedimentazione dell'area ha limitato la colonizzazione del popolamento bentonico, caratterizzato da una bassa percentuale di copertura algale, mentre furono numerosi i pesci attratti dai massi. Dal 1988 piramidi di cemento sono state posizionate al largo del Laboratorio di Biologia Marina dell'Università di Trieste. Una ulteriore struttura è stata posizionata nel 1994 a Dosso Santa Croce (Golfo di Trieste), dove i substrati di cemento sono utilizzati per il ripopolamento ittico e per proteggere i fondali dalla pesca a strascico illegale.

Il caso della Piattaforma Paguro

Il Paguro era una piattaforma di perforazione dell'Agip, varata nel 1963 e affondata, a causa di un incidente tecnico, il 28 settembre 1965 mentre stava perforando il pozzo denominato Porto Corsini 7, posizionato a circa 14 miglia da Ravenna. Oggi il relitto del Paguro giace in un fondale circostante di -25 metri, che scende a -33 alla base della struttura (Figura 19).

Il 21 luglio 1995 la piattaforma ha ottenuto il riconoscimento di "zona di tutela biologica" da parte del Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, dell'area interessata dal relitto, vietando qualsiasi forma di pesca sportiva e professionale. È stato poi riconosciuto come sito di interesse comunitario (IT4070026) dalla regione Emilia-Romagna nel 2010.

Successivamente, vicino al relitto centrale, sono state aggiunte altre strutture provenienti da piattaforme smantellate, costituendo un reef artificiale di notevoli dimensioni (circa 1 Km quadrato). I subacquei che si immergono in questo relitto aumentano ogni anno, vista l'esplosione della flora e fauna.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 16 of 32

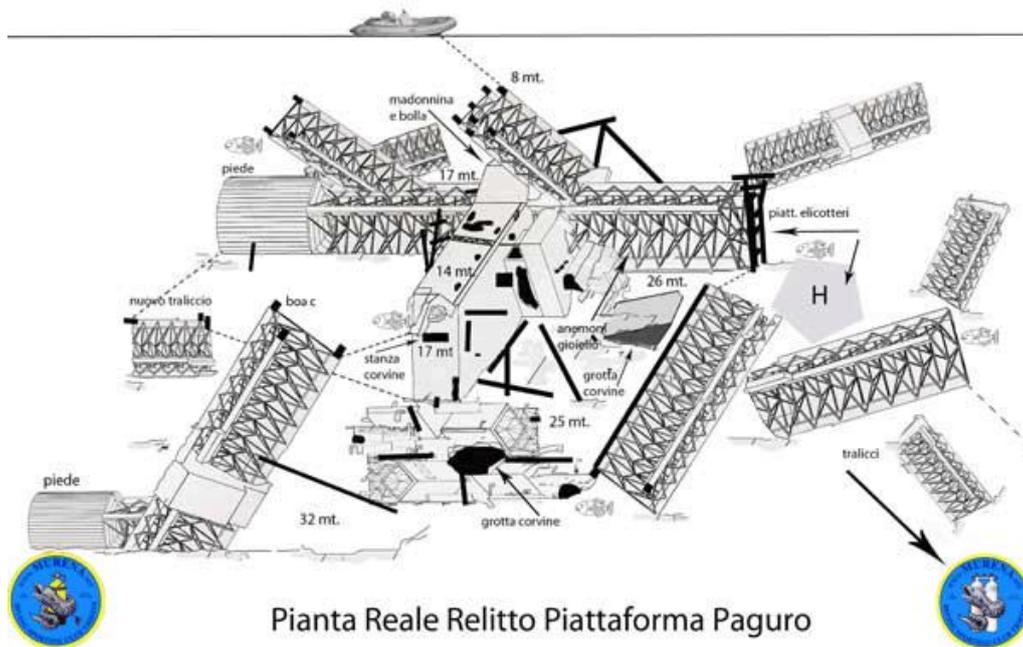


Figura 19 La piattaforma affondata “Paguro”

A partire dal 1980 nel Golfo di Castellammare, in Sicilia, fu realizzato il più grande sistema di strutture sommerse a fini di protezione e ripopolamento del Tirreno meridionale, con barriere immerse a Terrasini, Trappeto, Alcamo, Balestrate; altre strutture artificiali sono state realizzate nella Baia di Carini, a Vergine Maria, nel Golfo di Patti e, ancora, lungo la costa agrigentina. I risultati di questi esperimenti furono diversi a seconda del luogo in cui le strutture erano posizionate, soprattutto in funzione del livello di trofia delle acque. Il popolamento bentonico della prima struttura di Castellammare fu caratterizzato da una bassa copertura di alghe e un grande numero di filtratori. Un incremento nel numero di specie fu osservato nella comunità ittica della struttura artificiale rispetto ad aree di confronto (Figura 20). I rendimenti della pesca erano leggermente più alti nella zona con la struttura artificiale che nell'area senza le strutture. Ostriche e mitili furono abbondanti.

Nel 1981 a Terrasini è stata installata, in acque relativamente oligotrofiche a 18 metri di profondità, una barriera artificiale realizzata con massi cubici di 1,4 m di lato, assemblati a formare delle piramidi e con elementi cilindrici di 1 m di diametro. La struttura artificiale sviluppava un volume complessivo di circa 400 mc.

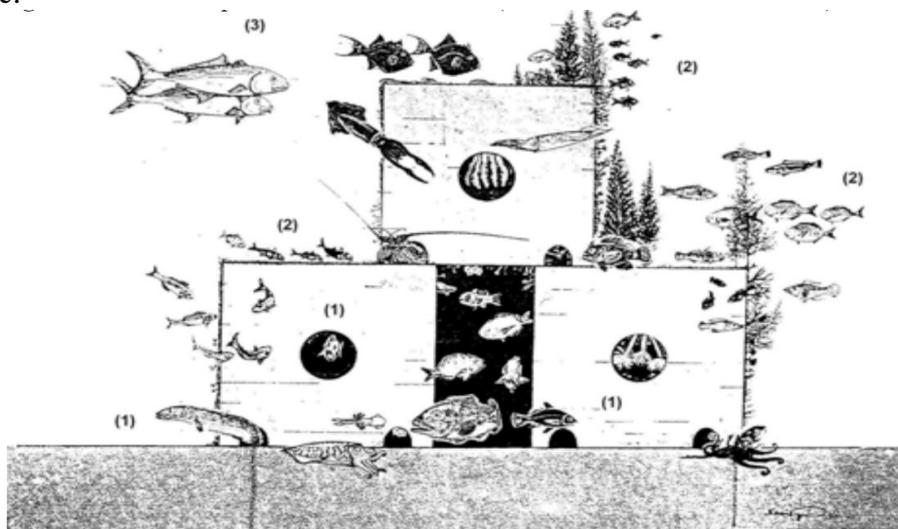


Figura 20 Moduli costituenti la struttura artificiale di Castellammare

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	17 of 32

Ad Alcamo Marina, su un fondale di 16-20 m, in acque eutrofiche, è stata realizzata una barriera costituita da 448 blocchi di cemento di 2 m di lato assemblati a formare 32 piramidi ognuna di 14 elementi su un'area di 30 ha, per un volume totale di 3.584 mc (Figura 21).

A Mazara del Vallo (Sicilia sud occidentale, una struttura artificiale fu realizzata con il posizionamento sul fondale di una nave. Scopo del progetto, iniziato nel 1989, era quello di investigare l'efficacia di un relitto quale struttura artificiale nel Mediterraneo. L'analisi della composizione in specie mostrò una alta diversità dovuta alla eterogeneità della struttura.



Figura 21 Strutture utilizzate per la barriera artificiale di Terrasini

Nel Tirreno centrale (Lazio), nel 1991, furono realizzate strutture artificiali sperimentali nelle acque dell'isola di Ponza, finalizzate alla verifica sul campo di una serie di iniziative a favore della pesca locale in vista dell'istituzione della Riserva Marina delle isole Pontine. In questo caso l'ottica era quella di creare delle vere e proprie "secche rocciose" su fondali monotoni, sabbiosi, verso le quali spostare parte delle attività di pesca praticate in aree ecologicamente sensibili. Nei tre siti esaminati, a profondità comprese tra 26 e 38 m, in acque oligotrofiche e trasparenti, i risultati furono interessanti, con la presenza sui substrati artificiali di cernie, saraghi e murene.

La più importante struttura artificiale del Tirreno centrale è sicuramente quella realizzata a Fregene e seguita sin dalla sua installazione, dai biologi del Dipartimento di Biologia Ambientale dell'Università di Roma La Sapienza.

La barriera di Fregene rappresenta il primo esperimento di "barriera a fini multipli" realizzata nel Mar Tirreno, con scopi quindi di protezione dei fondali dalla pesca a strascico, illegalmente svolta sottocosta, ripopolamento ittico e maricoltura (mitilicoltura sommersa e sospesa in particolare). Il progetto aveva, infatti, le seguenti finalità:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	18 of 32

- Possibilità di riciclaggio del surplus energetico costiero, mediante quegli accorgimenti di “ingegneria ecologica” (superfici, corde, braccioli, ecc.) atti a favorire l’insediamento degli organismi filtratori che si nutrono del materiale organico in sospensione nell’acqua, quali i molluschi bivalvi mitili e ostriche.
- Creazione di rifugi e di ambienti protetti per tutte quelle specie che vivono in prossimità di fondali rocciosi (pesci e crostacei) e che compiono, in anfratti e cavità, delicate fasi del loro ciclo biologico, quali la deposizione di uova e sacche embrionali (molluschi gasteropodi e cefalopodi) o muta dell’esoscheletro (crostacei).
- Protezione dei fondali e della piccola pesca locale dall’impatto della pesca a strascico che illegalmente opera dentro le tre miglia dalla costa, catturando esemplari giovanili di diverse specie commerciali (triglie, pagelli, polpi, ecc.), danneggiando talvolta gli attrezzi fissi della piccola pesca e sottraendo ad essa gli spazi operativi vitali.

La barriera artificiale di Fregene è situata tre miglia a nord della foce del fiume Tevere, di fronte l’abitato di Fregene, a poco più di un miglio dalla costa (Figura 22).

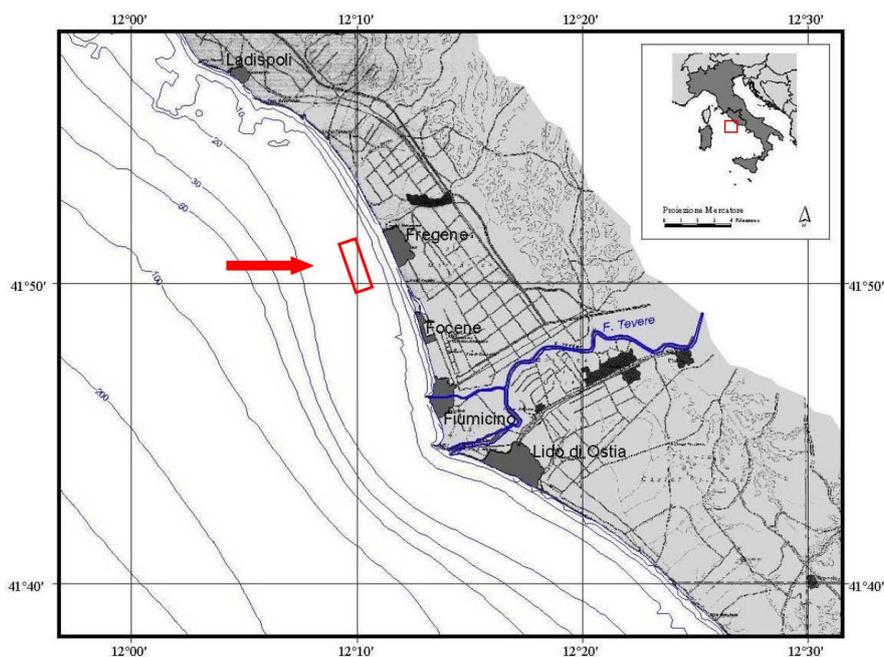


Figura 22 Localizzazione della barriera artificiale di Fregene, a Nord della foce del Tevere

La barriera artificiale è stata realizzata nel marzo del 1981. Essa è costituita da 280 blocchi di calcestrutto di forma cubica ognuno di 2 metri di lato assemblati a forma di piramide in gruppi di 5 (4 di base e 1 di vertice) o di 4 (3 di base e 1 di vertice). Il peso di ogni blocco è di circa 130 q. L’area coperta dalla barriera artificiale è di circa 6 ha (200 x 300 m di dimensioni) e la profondità del fondale varia tra 12 e 14 m (Figura 23).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	19 of 32

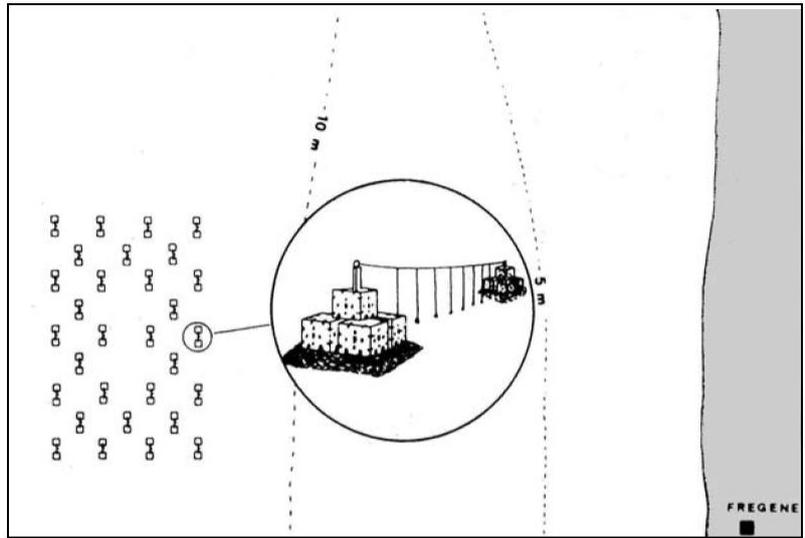


Figura 23 La disposizione spaziale della barriera artificiale di Fregene

Ognuna delle 60 piramidi così realizzate poggia su un basamento in pietrame realizzato per impedire l'affondamento della struttura nel sedimento sabbio-fangoso.

Il disegno del masso utilizzato è lo stesso messo a punto per la barriera artificiale di Ancona (Mar Adriatico) e prevede una serie di buchi e cavità, alcuni passanti da parte a parte, altri a fondo ceco, per aumentare il rapporto superficie/volume e offrire rifugio e protezione a specie bentoniche di invertebrati e pesci. La superficie dei massi è scabra per facilitare l'insediamento delle larve degli organismi sessili (Figura 24e Figura 25).

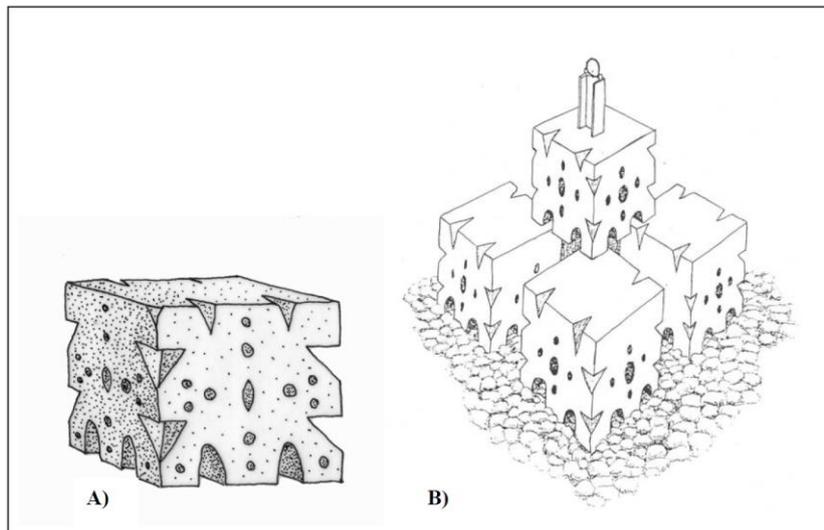


Figura 24 Il masso cubico utilizzato come modulo base per la realizzazione della barriera artificiale di Fregene

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	20 of 32



Figura 25 Una delle piramidi della barriera artificiale di Fregene pochi mesi dopo la messa in opera

La barriera di Fregene rappresenta il primo esperimento di “barriera a fini multipli” realizzata nel Mar Tirreno, con scopi quindi di protezione della pesca a strascico illegalmente svolta sottocosta, ripopolamento e maricoltura (mitilicoltura in particolare).

Il progetto aveva le seguenti finalità:

- Possibilità di riciclaggio del surplus energetico costiero, mediante quegli accorgimenti di “ingegneria ecologica” (superfici, corde, braccioli, ecc.) atti a favorire l’insediamento di mediatori biologici quali i filtratori sestonofagi, come mitili e ostriche.
- Creazione di rifugi e di ambienti protetti per tutte quelle specie che vivono in prossimità di fondali rocciosi (pesci e crostacei) e che compiono, in anfratti e cavità, delicati atti biologici, quali la deposizione di uova e sacche embrionali (molluschi gasteropodi e cefalopodi) o muta dell’esoscheletro (crostacei).
- Protezione dei fondali e della piccola pesca locale dall’impatto della pesca a strascico che illegalmente entra dentro le tre miglia dalla costa, catturando esemplari giovanili di diverse specie commerciali (triglie, pagelli, polpi, ecc.), danneggiando talvolta gli attrezzi fissi e da posta della piccola pesca e sottraendo ad essa gli spazi operativi vitali.

I popolamenti bentonici insediati sulla barriera di Fregene sono stati descritti nel corso di più di 30 anni di ricerche da numerosi Autori. Lo studio dell’insediamento degli organismi bentonici ed ittici sulle strutture artificiali di Fregene è iniziato nel 1981, subito dopo l’immersione dei nuovi substrati, sempre con le stesse metodiche.

E’ possibile descrivere l’evoluzione del popolamento bentonico di Fregene a partire da un substrato nuovo attraverso diversi processi, il reclutamento, la colonizzazione, la successione, processi che si sono succeduti nell’arco di oltre 30 anni.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	21 of 32

Il termine reclutamento si riferisce agli organismi che sopravvivono alla mortalità immediatamente dopo l'insediamento diventando potenzialmente parte della comunità. La colonizzazione è un fenomeno che si osserva ogni volta che un substrato nuovo si rende disponibile. Alla disponibilità di nuovo substrato segue una rapida colonizzazione da parte degli organismi. Una volta colonizzata l'intera superficie si osserva una successione ecologica, processo che implica un cambiamento della struttura del popolamento nel tempo.

L'evoluzione del popolamento bentonico di Fregene a partire da un substrato nuovo mostra diverse fasi caratterizzate ognuna da una particolare associazione bentonica. In particolare sono distinguibili 5 diverse fasi:

1. l'insediamento delle specie pioniere: da maggio a giugno 1981
2. la colonizzazione e la dominanza del mitilo *Mytilus galloprovincialis*: dall'estate 1981 al 1983
3. la regressione di *M. galloprovincialis*: il periodo compreso tra il 1984 e il 1985
4. l'abbondanza di specie di substrato mobile: tra il 1991 e il 1992
5. la prevalenza di biocostruzioni a briozoi: a partire dal 2001 e fino ad oggi.

Inizialmente sulla barriera si è instaurato un popolamento dominato da mitili, generalmente tipico di ambienti superficiali esposti e eutrofici, dove *M. galloprovincialis* può formare una "facies" stabile che normalmente permane nel tempo costituendo una comunità climax. L'aumento di sedimentazione di materiale fine, registrato negli anni '80, incide probabilmente su un equilibrio già precario in cui si trovava il popolamento, forse a causa della profondità in cui è posta la barriera, superiore a quella preferenziale di *M. galloprovincialis* (Figura 26).

Quando l'infangamento della barriera causa la morte dei mitili, altre specie, già presenti, ma con abbondanze irrilevanti, prendono il sopravvento e si sviluppano velocemente sul nuovo substrato infangato. Si instaura così un popolamento caratterizzato da abbondanti specie tipiche di substrato mobile che precedentemente vivevano rifugiate tra le valve dei mitili. Tale popolamento si rinviene generalmente in substrati duri dell'infralitorale sciafile infangato (Figura 26).

Successivamente, si sono sviluppati organismi sospensivori: specie come *Schizoporella errata*, presente negli anni '90 con piccole colonie laminari, e *Turbicellepora magnicostata*, trovano le condizioni ottimali per il loro sviluppo e ricoprono l'intera superficie delle barriere con estese colonie tridimensionali (Figura 27).

Queste specie, insieme ad altri organismi come serpulidi, balanidi e vermetidi, costituiscono una vera e propria biocostruzione che, con la sua morfologia articolata e la composizione carbonatica, riproduce un ambiente simile a quello che tipicamente caratterizza il "coralligeno", permettendo l'insediamento di numerose specie tipiche di questo habitat.

La scarsa illuminazione probabilmente causa in questa zona una risalita di specie tipiche di ambienti più profondi ma altre condizioni, come l'elevato idrodinamismo, l'eutrofia e la scarsa profondità che caratterizzano la barriera permettono la presenza anche di specie tipiche dell'infralitorale.

La coesistenza nel popolamento di molte specie del coralligeno con specie appartenenti a biocenosi infralitorali permette il mantenimento di una elevata diversità.

Le massicce biocostruzioni vengono spesso rimosse parzialmente dal forte idrodinamismo che periodicamente investe le barriere. Questo da una parte contribuisce al loro consolidamento, dall'altra crea nuovi spazi colonizzabili.

In accordo a quella che è stata l'evoluzione del popolamento bentonico prima descritto, anche l'insediamento del popolamento ittico ha seguito una precisa strada che, nel corso di questi anni, ha portato ad una ben determinata fisionomia. Le prime specie a frequentare i nuovi substrati artificiali sono stati il fragolino bastardo, *Pagellus acarne*, e il sugarello, *Trachurus trachurus*, con numerosi esemplari giovanili evidentemente attratti dalle possibilità di rifugio offerte dalle nuove strutture. Successivamente, con l'insediamento delle specie bentoniche sul substrato, ed in particolare con l'arrivo e il grande sviluppo dei mitili, sono arrivate quelle specie di pesci che proprio dei mitili si nutrono: il pesce balestra (*Balistes carolinensis*) e l'orata (*Sparus aurata*), che con il loro denti sono in grado di

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	22 of 32

spaccare le valve dei bivalvi per nutrirsi. Con la successiva complessificazione del substrato e grazie a tutti gli spazi che si venivano a creare per la presenza dei mitili, arrivavano le specie criptiche, quelle specie cioè in grado di nascondersi negli anfratti e nelle cavità: le bavose (*Blennius gattorugine*), i ghiozzi (*Blennius rouxii*). Abbondante in questo periodo la presenza di un altro predatore dei mitili, il polpo (*Octopus vulgaris*), oggetto di pesca da parte degli addetti locali. Sempre di questi primi due-tre anni è l'arrivo di altre specie ittiche che vanno ad occupare un po' tutti gli 'spazi' disponibili, anche se sono i "predatori" le specie più abbondanti: il gronco (*Conger conger*), cacciatore di altri pesci, dei polpi e dei piccoli crostacei che vivono tra i mitili; la musdea (*Phycis phycis*), la perchia (*Serranus cabrilla*), l'ombrina (*Ombrina cirrhosa*) e la cernia dorata (*Epinephaeleus alexandrinus*). Particolarmente abbondante nel periodo invernale è la spigola (*Dicentrarchus labrax*), un vorace predatore che tra i massi della barriera di Fregene, oltre a cercare nutrimento, trova rifugio proprio nel periodo della riproduzione. Con la scomparsa dei mitili molte di queste specie scompaiono o diventano più rare. Nel periodo successivo quindi non ritroviamo più la cernia dorata, l'orata e il pesce balestra. Nel frattempo arrivano altre specie, il re di triglie (*Apogon imberbis*), ma soprattutto lo sparaglione (*Diplodus annularis*), specie che sarà la più abbondante nel periodo estivo.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	23 of 32



Figura 26 Il popolamento bentonico insediato sulla barriera artificiale di Fregene nel periodo 1981 – 1991. Da notare l’abbondante presenza dei mitili fino al 1984 e dell’ostrica a partire dal 1985.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	24 of 32

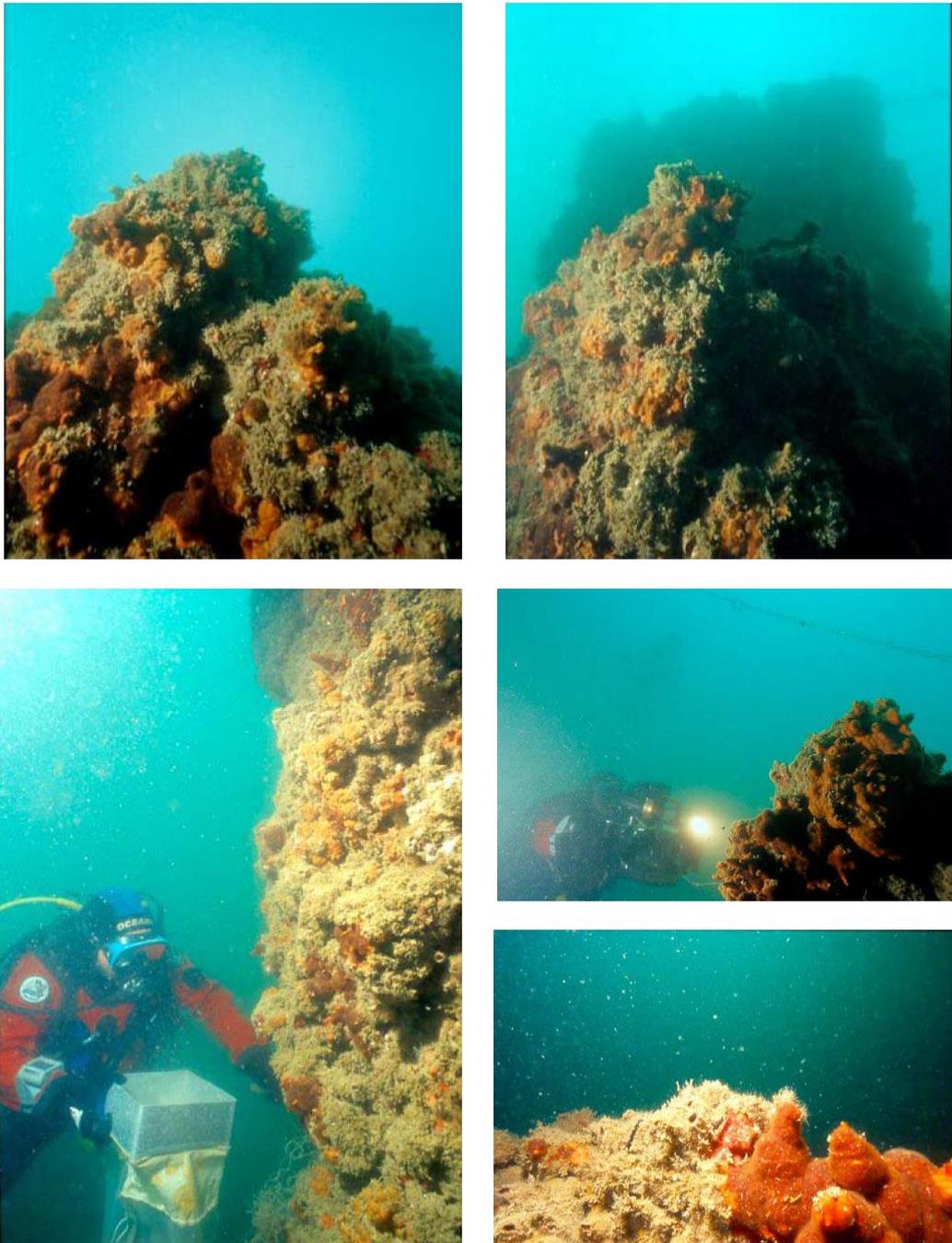


Figura 27 Il popolamento bentonico insediato sulla barriera artificiale di Fregene nel 2001. Nell'ultimo periodo il popolamento della barriera è caratterizzato dalla dominanza di diverse specie di Briozoi che vanno a costituire un vero e proprio bioconcrezionamen

Sempre nella regione Lazio, nel 2013 è stata realizzata una barriera artificiale antistrascico utilizzando come dissuasori 550 tetrapodi in cemento, del volume di 6,3 mc ciascuno e un peso di 14 tonnellate (Figura 28), sul litorale tra la foce del Chiarone e Morelle (Cerfolli, 2015) (Figura 29). In questa zona la pesca a strascico illegale provoca una continua erosione del margine inferiore della prateria di Posidonia.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	25 of 32



Figura 28 Le strutture antistrascico per la salvaguardia della P. oceanica posizionate tra la foce del Chiarone e Morelle (Lazio settentrionale)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	26 of 32

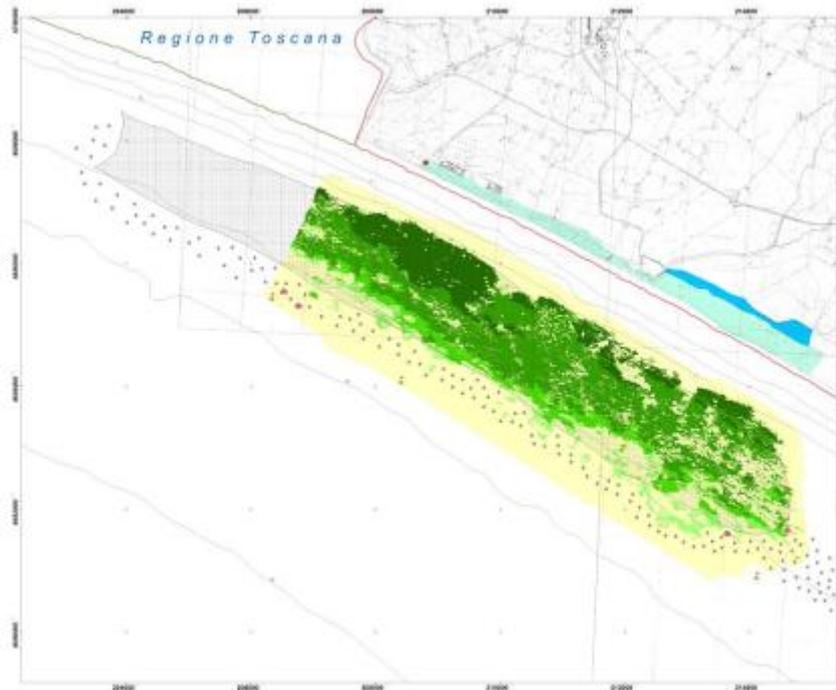


Figura 29 Posizionamento delle strutture antistrascico a protezione della prateria di Posidonia tra la foce del Chiarone e Morelle (Lazio settentrionale)

Dissuasori antistrascico sono stati posizionati praticamente lungo tutta la costa della Toscana dal 2001 al 2006. Le strutture utilizzate sono costituite da blocchi in cemento alti 1,5 m con base di 1,5 x 1,2 m, per un volume pari a 1,9 mc. Il peso in aria è pari a 4,5 tonnellate, in acqua è di 2, tonnellate (Baino e Serena, 2010) (Figura 30).



Figura 30 Il dissuasore antistrascico utilizzato lungo le coste della Toscana

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 27 of 32

I blocchi sono stati posizionati a coppie, per un peso complessivo in acqua pari a 5,2 tonnellate, tenuti insieme da cavi di acciaio del diametro di 14 mm, poggianti su un basamento di cemento (Figura 31).

Schema delle strutture di dissuasione antistrascico

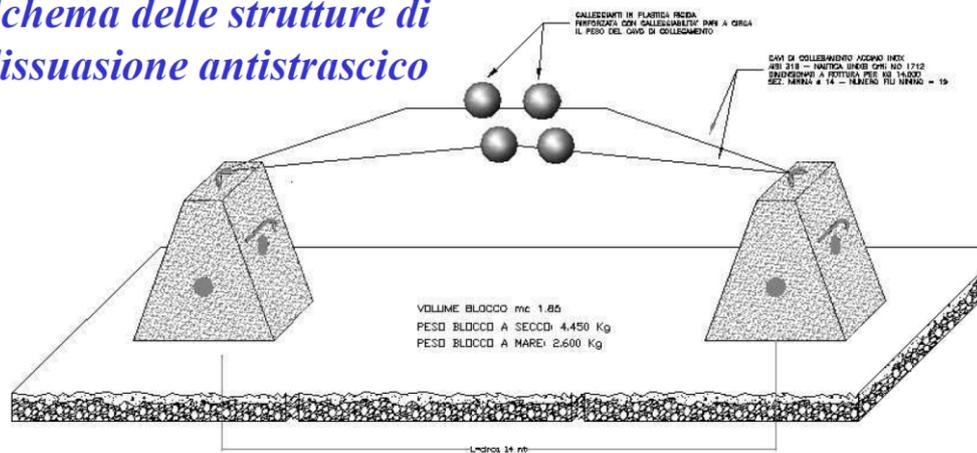


Figura 31 Coppia di dissuasori posizionati nelle acque toscane

Sono state così posizionate 149 unità costituite da 1, 2 o 3 blocchi lungo la costa che si estende da Piombino al Golfo di Ansedonia (Figura 32).



Figura 32 Le strutture di dissuasione a bordo del pontone prima della messa in mare

La programmazione POR 2000-2006 ed in particolare la misura 4.12A ha favorito e finanziato alcuni interventi sul territorio della regione Puglia. Tali interventi sono stati realizzati a Molfetta, Polignano a Mare, Gallipoli, Ugento, Lecce, Rodi Garganico, Manfredonia e Margherita di Savoia, che si sommano ad altre installazioni realizzate in passato a Taranto e Ischitella (Figura 33).

La figura seguente illustra la distribuzione delle strutture artificiali in Puglia:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	Rev. No.:
	Doc. Title: Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page: 28 of 32

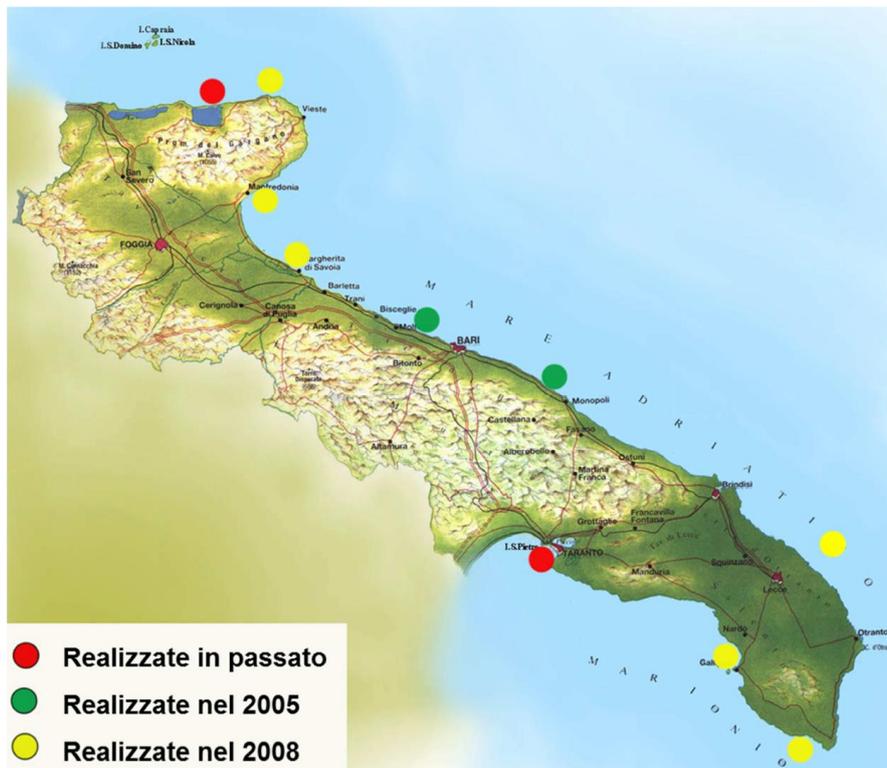


Figura 33 Strutture artificiali realizzate in Puglia

In particolare, lungo le coste del Salento sono state realizzate strutture artificiali a Frigole, Ugento e Lecce.

L'Oasi di Ripopolamento di Frigole, realizzata nel 2008, si trova 2,5 miglia al largo del porticciolo di Frigole, a sud di Lecce. È stata realizzata su una superficie di 15 ha mediante strutture piatte di cemento, a forma di scudo, forate (modulo TECNOREEF), assemblate a formare strutture delle dimensioni di circa 3 m (Figura 34).



Figura 34 Il modulo TECNOREEF utilizzato a Frigole, in Puglia

A distanza di tre anni le superfici dei moduli si presentano colonizzate soprattutto da organismi animali e vegetali incrostanti, quali alghe serpulidi, briozoi, poriferi ed idroidi. Tra i molluschi è stata registrata la presenza, in pochi esemplari, dell'ostrica *Ostrea edulis*, mentre in due casi sono state rinvenute le teche ovariche del calamaro comune, *Loligo vulgaris*. La fauna necto-bentonica conta la

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	29 of 32

presenza di specie di piccole dimensioni quali gobidi, piccoli serranidi e scorpenidi, tutte specie di grande valore commerciale per la piccola pesca costiera (Figura 35).

La tabella seguente illustra alcuni esempi di colonizzazione delle strutture nell' Oasi di ripopolamento di Frigole.



Teche ovariche di *Loligo vulgaris*



Esemplare di *Echinaster sepositus* e l'alga *Dictyota dichotoma*



Superficie colonizzata da organismi incrostanti



Il tunicato *Diplosoma spongiforme* sul bordo del modulo TECNOREEF



Esemplare di *Ostrea edulis* cresciuta sulla barra di acciaio a collegamento dei moduli



La superficie dei moduli è ormai colonizzata da organismi incrostanti

Figura 35 Esempi di colonizzazione delle strutture nell' Oasi di ripopolamento di Frigole.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	30 of 32

L'Oasi di ripopolamento di Ugento è stata realizzata nello stesso periodo tramite strutture multistrato di cemento (modulo WAFEER) posizionate su fondale sabbioso (Figura 36).



Figura 36 Il modulo di sviluppo AFEER (a sinistra) e di protezione utilizzato a Frigole

Queste strutture hanno determinato una diversificazione dell'habitat che ha richiamato numerose specie di pesci, alcune delle quali hanno preso dimora negli cavità come nel caso della musdea (*Phycis phycis*) o stazionano nelle vicinanze come il sarago maggiore (*Diplodus sargus*). Tra le specie occasionali si segnalano il dentice (*Dentex dentex*) e la ricciola (*Seriola dumerili*).

Gli organismi bentonici hanno colonizzato le strutture occupando buona parte delle superfici esposte, e creando nuove nicchie per altre specie di animali. La specie più abbondante è il mollusco bivalve *Neopycnodonte cochlear*, denominata anche "ostrica di profondità". Questa specie ha un elevato potere di fecondità che le permette di colonizzare in maniera massiva le superfici su cui aderisce, fino alla formazione di Facies (Figura 37 e Figura 38)

Il processo di colonizzazione si è esteso anche ad altri organismi quali spugne, idroidi, tunicati e briozoi, che a loro volta hanno richiamato altre specie animali, aumentandone la biodiversità.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	31 of 32



Superficie del modulo WAFEEER completamente colonizzata dall'ostreide *Neopycnodonte cochlear*, oltre ad una fitta rete di idroidi predati da nudibranchi del genere *Flabellina*



La spugna *Haliclona mediterranea* occupa uno degli spazi interstrato, dove è evidente la crescita dell'ostreide di profondità *Neopycnodonte cochlear*



Numerosi esemplari di crinoide *Antedon mediterranea* occupano l'apice dei moduli



Superfici interne ed esterne del modulo Wafeer completamente colonizzata dall'ostreide *Neopycnodonte cochlear*

Figura 37 Esempi di colonizzazione del modulo AFEER

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	32 of 32



Numerosi esemplari di sarago fasciato *Diplodus vulgaris* e sarago maggiore *Diplodus sargus*, si aggirano tra i moduli



Nelle cavità del modulo Wafeer trova rifugio un esemplare di mostella *Phycis phycis*



Un fitto branco di dentici *Dentex dentex* si aggira tra i moduli in cerca di prede



Un branco di ricciole a caccia tra i moduli Wafeer

Figura 38 Esempi di colonizzazione del modulo AFEER

Anche l'oasi di ripopolamento di Gallipoli è stata realizzata nel 2008, con la stessa tipologia di struttura utilizzata ad Ugento. Il popolamento bentonico si caratterizza per la massiva presenza dell'ostrica comune *Ostrea edulis*, che già dopo un anno dall'immersione aveva raggiunto la taglia commerciale di 5 cm. Gli esemplari sono presenti su tutti i moduli studiati, ma non colonizzano completamente le strutture, come accade per l'ostrica di profondità *Neopycnodonte cochlear*, dell'Oasi di Ugento. La taglia media raggiunta dopo quasi tre anni dall'affondamento delle strutture, si aggira intorno agli 8-9 cm. Questi dati appaiono decisamente interessanti nell'ottica di programmi di sviluppo della maricoltura, rivolta alla produzione di *Ostrea edulis*. La fauna necto-bentonica rinvenuta in immersione annovera la presenza della triglia di scoglio *Mullus surmuletus*, con esemplari di grandi dimensioni, il sarago fasciato *Diplodus sargus*, il pagello bastardo *Pagellus acarne* e la ricciola *Seriola dumerili*, oltre a diversi esemplari di scorfano rosso *Scorpaena scrofa* ed altri scorpenidi (Figura 39).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:		Rev. No.:	
	Doc. Title:	Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri	Page:	33 of 32



Esemplari di ostrica *Ostrea edulis*



Ostriche ed una colonia di anellidi all'apice del modulo



Le superficie esterne e la volta delle cavità interstrato coperte da *Ostrea edulis*



Un branco di triglie di scoglio *Mullus surmuletus* nei pressi dei moduli



Numerosi esemplari del tunicato *Halocynthia papillosa*



La spugna *Haliclona mediterranea* crea aggregati massicci



L'ostrica *Ostrea edulis* raggiunge tagli interessanti

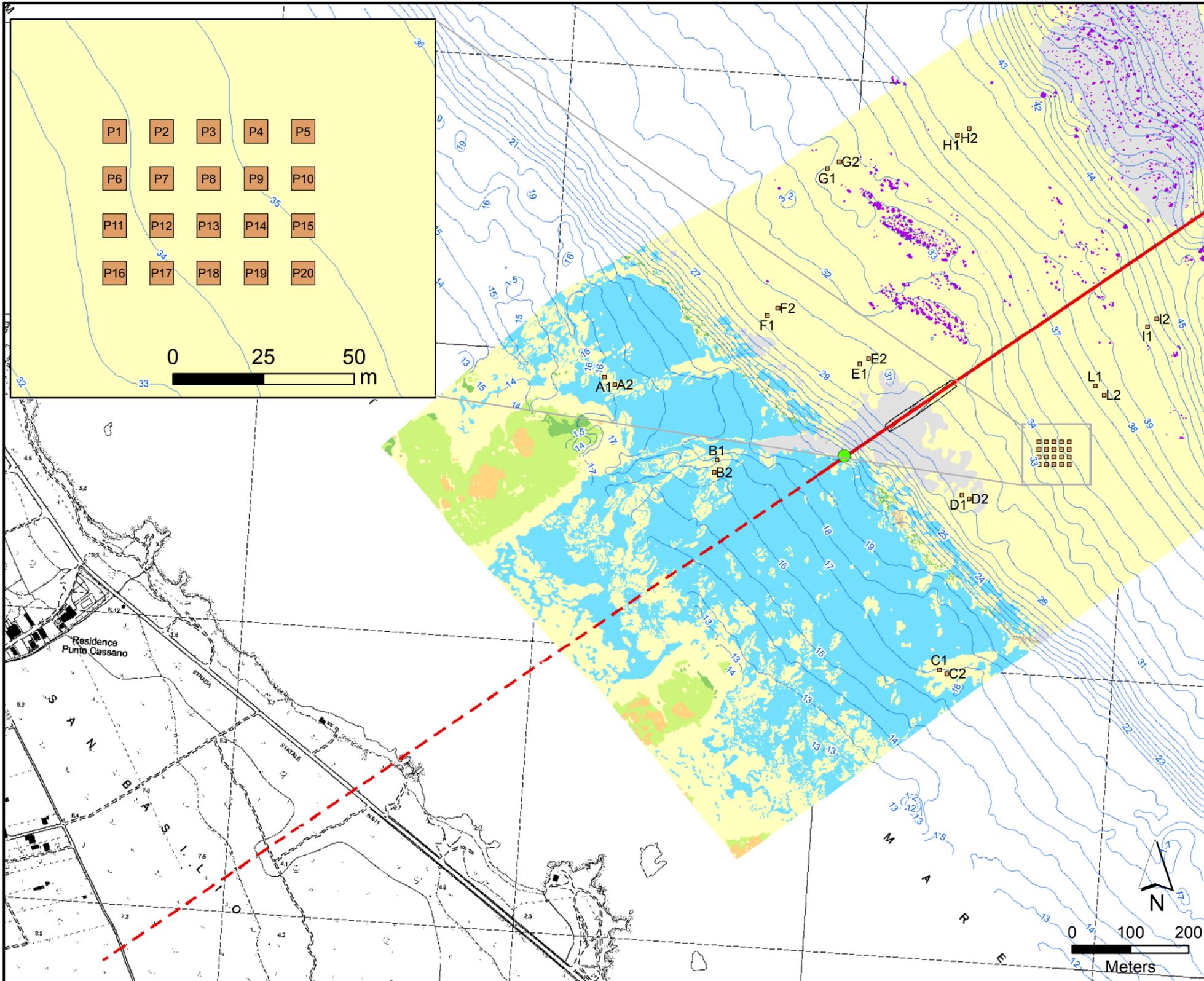


Esemplari di sarago fasciato *Diplodus vulgaris*, stazionano nei pressi dei moduli

Figura 39 Esempi di colonizzazione dell'oasi di ripopolamento di Gallipoli

Appendice 2

Planimetria



Legenda

- Tracciato di Progetto
- - - Microtunnel
- Exit Point
- Rilevato
- Dissuasori
- Batimetria
- Fondi duri
- Posidonia Oceanica su Matte
- Posidonia Oceanica su fondi duri o matre
- Matte morta di Posidonia oceanica
- Cymodocea nodosa
- Biocenosi dei fondi duri infralitorali
- Fondi mobili con presenza di detrito organogeno
- Fondi mobili

Tabella Coordinate Dissuasori

ID	Identificativo	X - WGS84 UTM 34N	Y - WGS84 UTM 34N
1	A1	278769	4466177
2	A2	278788	4466165
3	B1	278963	4466035
4	B2	278958	4466013
5	C1	279346	4465674
6	C2	279359	4465667
7	D1	279384	4465974
8	D2	279397	4465968
9	E1	279209	4466200
10	E2	279224	4466209
11	F1	279050	4466283
12	F2	279068	4466296
13	G1	279153	4466536
14	G2	279173	4466547
15	H1	279377	4466593
16	H2	279397	4466604
17	I1	279704	4466264
18	I2	279720	4466277
19	L1	279614	4466162
20	L2	279629	4466146
21	P1	279517	4466066
22	P2	279530	4466066
23	P3	279543	4466066
24	P4	279556	4466066
25	P5	279569	4466066
26	P6	279517	4466053
27	P7	279530	4466053
28	P8	279543	4466053
29	P9	279556	4466053
30	P10	279569	4466053
31	P11	279517	4466040
32	P12	279530	4466040
33	P13	279543	4466040
34	P14	279556	4466040
35	P15	279569	4466040
36	P16	279517	4466027
37	P17	279530	4466027
38	P18	279543	4466027
39	P19	279556	4466027
40	P20	279569	4466027

00	15-03-2019	Emesso per Informazione	G.Ardizzone	G.Ardizzone	G.Ardizzone			
REV. NO.	DATE DATA	PURPOSE OF ISSUE SCOPO DELL'EMISSIONE	CREATED BY PREPARATO DA	CHECKED BY VERIFICATO DA	APPROVED BY APPROVATO DA	DATE DATA	ACCEPTED BY ACCETTATO DA	
REV. NO.			CONTRACTOR APPALTATORE		COMPANY SOCIETA'			

TRANS ADRIATIC PIPELINE AG

TRANS ADRIATIC PIPELINE
GASDOTTO TRANS-ADRIATICO

CONTRACTOR APPALTATORE

CERTIFIED ENGINEER

Tavola 1 - Planimetria

DOCUMENT TITLE TITOLO DEL DOCUMENTO		Scale Scala		Sheet Foglio
		scala grafica		1 - 1
Company Representative : Rappresentante TAP		Document-No. Numero documento		at. all.
Company Reference : Rif. TAP		OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008		00
TSPE Representative : Rappresentante TSPE		Location Luogo	Originating Company Società creatrice	Attachment Allegato
Document Originator Autore del documento		System-code Codice	Discipline Disciplina	Rev. Rev.
Vendor Doc. ID Codice documento del fornitore		Document Type Tipo Documento	Sequence Number Numero progressivo	Revisione
		ORIGINAL SIZE FORMATO ORIGINALE		SIZE FORMATO
		420 mm x 297 mm		A3

Appendice 3

Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale

Doc. OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006 Rev. 0



Trans Adriatic
Pipeline

TAP AG

Progetto Trans Adriatic Pipeline

Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale

0	27.01.2020	Emesso per informazione	IFI	P. LETIZIA	A. PEDRONCINI	A. CROSTA
Rev.	Data Revisione (gg-mm-aaaa)			Preparato da	Verificato da	Approvato da

Paola Letizia *Andrea Pedroncini* *A. Crosta*

	<i>Contrattore nome:</i>	RSK - SHELTER
	<i>Contrattore Progetto No.:</i>	80635
	<i>Contrattore Doc. No.:</i>	RSK/H/P/P80635/04/01/01
	<i>Tag No's.:</i>	N/A

TAP AG Contratto No.: C5577	Progetto No.: WBS11D01F004
-----------------------------	----------------------------

PO No.: WBS11D01F004	Page: 1 of 75
----------------------	---------------

TAP AG Documento No.:

OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 75

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. SINTESI DELLO STUDIO	4
3. APPROCCIO E METODOLOGIA	6
4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	7
5. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO.....	11
5.1 BIOGENOSI.....	11
5.2 DATI BATIMETRICI	12
5.3 DATABASE DI ONDA: MEDITERRANEAN WIND WAVE MODEL (MWM).....	14
5.3.1 CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA	15
5.4 DATABASE OCEANOGRAFICO: MODELLO DI CIRCOLAZIONE AD ALTA RISOLUZIONE.....	18
5.4.1 CARATTERIZZAZIONE OCEANOGRAFICA	21
5.5 DATABASE ATMOSFERICO: CLIMATE FORECAST SYSTEM.....	25
6. SELEZIONE DEGLI SCENARI DI CORRENTE E DI MOTO ONDOSO	26
6.1 SELEZIONE DEGLI SCENARI DI CORRENTE	26
6.2 SELEZIONE DEGLI SCENARI DI ONDA	28
7. MODELLO IDRODINAMICO AD ALTA RISOLUZIONE.....	29
7.1 BATIMETRIA, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE.....	31
7.2 ANNIDAMENTO IDRODINAMICO: CONDIZIONI INIZIALI, DI CONTORNO APERTO E CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CIRCOLAZIONE	34
7.3 RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO DI CIRCOLAZIONE.....	36
8. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI INDOTTE DAL MOTO ONDOSO	57
8.1 BATIMETRIA, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE.....	57

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 75

8.2	MODELLO D'ONDA	59
8.2.1	RISULTATI DEL MODELLO D'ONDA	60
8.3	MODELLO DELLE CORRENTI GENERATE DAL MOTO ONDOSO	62
8.3.1	RISULTATI DEL MODELLO DI CORRENTE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO	63
9.	INTERFERENZE CON LE BIOCENOSI	69
10.	CONCLUSIONI.....	73
11.	BIBLIOGRAFIA.....	75
	ALLEGATO A	1
	ALLEGATO B	1
	ALLEGATO C	1
	ALLEGATO D	1
	ALLEGATO E	1
	ALLEGATO F	1

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 75

1. INTRODUZIONE

Con Determinazione Direttoriale n. 116 del 09/03/2018 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha escluso dalla verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale – presentata in ottemperanza alla prescrizione A.5 del D.M. n. 223 dell'11/09/2014 – il progetto del Microtunnel TAP subordinando tale esclusione al rispetto di alcune condizioni ambientali.

In particolare, fra le condizioni ambientali, la n. 2 di cui all'art. 1 sez. A, del suddetto provvedimento n. 116/2018 richiede *“l'installazione sul fondo del mare nell'intorno della condotta dissuasori in materiale compatibile con l'ambiente marino volti ad inibire la pesca a strascico illegale per batimetriche inferiori a 50 m. La progettazione di tali manufatti deve contribuire alla creazione di rifugi adeguati per la fauna ittica e favorire il ripopolamento a beneficio della piccola pesca effettuata mediante mezzi e attrezzi tipici della sotto costa.”*

In ottemperanza a tale richiesta, TAP, con nota prot. n. LT-TAPIT-ITG-00687 del 27/03/2019 (acquisita al prot. ISPRA n. 19153 del 28/03/2019 e al prot. ARPA Puglia n. 23065 del 28/03/2019), ha presentato il *“Progetto per l'installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri”*, doc. n. OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008 Rev.0, in cui sono descritte le caratteristiche del progetto proposto, supportato da una revisione delle esperienze pregresse, nel contesto sia italiano che internazionale, relativa all'utilizzo delle differenti tipologie di barriere artificiali utilizzate nei vari contesti ambientali con diverse finalità (ripopolamento, inibizione alla pesca a strascico, etc.).

A seguito della nota suddetta presentata da TAP, ISPRA e ARPA Puglia con nota tecnica congiunta trasmessa con lettera prot. 2019/30991 del 15.05.2019, hanno presentato alcune osservazioni. In una di queste, gli Enti indicano in particolare che *“il proponente dovrà effettuare opportune valutazioni in merito alle eventuali interferenze indotte dal posizionamento delle piramidi sull'idrodinamica locale. In particolare, esse dovranno essere realizzate in maniera tale da escludere modifiche significative del campo correntometrico del sito e, conseguentemente, dei tassi sedimentari.”*

In questo contesto, è stato richiesto a DHI di sviluppare uno studio modellistico di dettaglio per verificare eventuali modifiche sull'idrodinamica locale potenzialmente causate dall'installazione dei dissuasori antistrascico e, di conseguenza, sul trasporto e sedimentazione dei sedimenti, indotte dalla messa in opera di tali strutture.

2. SINTESI DELLO STUDIO

Lo scopo del presente lavoro è studiare alcuni scenari tipici di condizioni di corrente e di onda per il sito di approdo del gasdotto TAP, al fine di valutare l'effetto dei dissuasori in progetto sull'idrodinamica locale e, conseguentemente, sul trasporto sedimentario, nonché di quantificare l'estensione delle eventuali aree di influenza delle variazioni alla circolazione indotte dai manufatti.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 75

A valle di una dettagliata caratterizzazione della circolazione e del moto ondoso locale basata su affidabili database allo stato dell'arte, sono stati selezionati alcuni scenari rappresentativi del regime idrodinamico e di onda per la zona in studio. Successivamente, tali condizioni rappresentative sono state simulate, nella doppia configurazione in assenza e presenza dei dissuasori, attraverso l'implementazione di un sistema modellistico integrato 2D-3D (MIKE 21/3 HD di DHI - idrodinamico e MIKE 21 SW di DHI – modello d'onda).

Queste applicazioni modellistiche hanno permesso di simulare i campi idrodinamici relativi sia alla circolazione generale, sia alle correnti litoranee, e di valutarne le variazioni in seguito all'installazione dei dissuasori. Per stimare l'influenza dei blocchi sul trasporto di sedimenti, sono state inoltre analizzate le distribuzioni delle tensioni tangenziali al fondo indotte dalle correnti, principali responsabili della movimentazione dei sedimenti. Date le modeste e locali variazioni sulle correnti e sulle tensioni al fondo non si attendono alterazioni significative sul trasporto sedimentario rispetto allo stato ante operam.

Il progetto, descritto al capitolo 4, prevede la realizzazione di un'oasi di ripopolamento, costituita da 20 piramidi ciascuna formata da 5 blocchi in calcestruzzo, la cui funzione principale sarà quella di incrementare il popolamento ittico, e da 10 coppie di piramidi costituite anch'esse da 5 blocchi in calcestruzzo ciascuna, il cui principale obiettivo sarà quello di agire da dissuasori antistrascico. Per semplicità di trattazione, nel seguito entrambe le tipologie di strutture verranno indicate come "dissuasori".

Lo studio ha messo in evidenza che la presenza dei dissuasori interferisce parzialmente con i campi idrodinamici solo in un intorno di alcune centinaia di metri dagli stessi, inducendo una limitata attenuazione delle velocità di corrente in prossimità del fondo. La maggior interferenza attesa, seppur nel complesso non significativa, sia in termini di attenuazione delle velocità che di estensione dell'area di influenza, sarà determinata dalla presenza dell'oasi di ripopolamento. La corrente, infatti, risente della presenza dei dissuasori solo nello strato più profondo della colonna d'acqua, variabile tra circa 4 e 8 m dal fondo. Le modifiche nella distribuzione delle velocità di corrente si riflettono quindi nella variazione delle tensioni tangenziali al fondo, responsabili della movimentazione dei sedimenti. Tali correnti, tuttavia, in condizioni ordinarie presentano in corrispondenza del fondale marino velocità assai ridotte, quindi non tali da determinare valori di tensione tangenziale superiori a quelli critici per l'innescò della movimentazione dei sedimenti.

Per quanto riguarda le correnti da onda, i processi principali che intervengono nella generazione delle correnti litoranee sono il frangimento e la rifrazione. Lo studio ha dimostrato come questi fenomeni siano importanti fino ad una profondità di circa 10-15 m e, pertanto, come i dissuasori si trovino proprio al limite di tale fascia. In corrispondenza dell'area individuata per l'installazione dei dissuasori le correnti litoranee generate dalle onde presentano quindi velocità assai limitate, e l'area di influenza è molto ridotta, con estensione di circa 30-40 m. Le velocità in questa zona, in conseguenza all'installazione dei dissuasori, diminuiscono approssimativamente del 10%. Valutazioni del tutto analoghe possono essere fatte per le tensioni tangenziali al fondo, essendo strettamente correlate alle

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 75

velocità di corrente. Queste tensioni sono comunque in generale trascurabili, mantenendosi per lo più al di sotto del valore critico e non inducendo pertanto la movimentazione dei sedimenti al fondo.

L'approccio metodologico adottato e la caratterizzazione del sito sono illustrati rispettivamente nei capitoli 3 e 5. Il capitolo 7 tratta nel dettaglio il modello idrodinamico, mentre il modello di propagazione delle onde e delle correnti litoranee da esse generate sono descritti al capitolo 8. I risultati sono mostrati non solo in termini di campi di velocità di corrente e di altezze d'onda, ma anche di tensioni tangenziali (*shear stress*) indotte da tali forzanti sul fondo. Infine, le conclusioni generali del lavoro sono presentate nel capitolo 9.

Si sottolinea che la quantificazione delle variazioni al regime idrodinamico e di moto ondoso indotte dai dissuasori è stata possibile attraverso un confronto dei risultati ottenuti nelle due configurazioni in presenza e assenza dei manufatti, per ciascuno scenario meteomarinico di riferimento.

3. APPROCCIO E METODOLOGIA

Attraverso l'impiego di modelli numerici, è stato simulato il regime idrodinamico costiero, partendo dal largo, attraverso l'annidamento di un modello di circolazione di dettaglio in un modello a scala di bacino del Mar Adriatico. Il modello ad alta risoluzione, tridimensionale, acquisisce dal modello "padre" di larga scala le condizioni iniziali e le condizioni al contorno necessarie per risolvere in forma numerica le equazioni che governano l'evoluzione di correnti, temperatura e salinità nel tempo e nello spazio.

Al modello 3D ad alta risoluzione è stato a sua volta annidato un ulteriore modello di maggior dettaglio in grado di meglio rappresentare i campi idrodinamici in un'area di estensione limitata antistante S. Foca, dove si prevede di installare i dissuasori, e di valutare gli effetti di queste strutture sulla circolazione. In particolare, per garantire il confronto tra i campi idrodinamici che si creano in presenza ed in assenza dei dissuasori, l'idrodinamica di dettaglio (modello ad altissima risoluzione) è stata simulata, per alcuni scenari rappresentativi della circolazione locale, in entrambe le configurazioni geometriche del fondale.

Il modello ad alta risoluzione ha garantito una buona risoluzione (pari a circa 30 m nella regione intorno alla zona di maggior interesse), nonché la possibilità di ottimizzare l'estensione del dominio di calcolo del modello ad altissima risoluzione, in modo da minimizzare possibili interferenze tra i contorni aperti del modello locale e le macrostrutture di circolazione, quale ad esempio la Western Adriatic Coastal Current (WACC) [1], [2]. Dall'altro lato, tale modello più di larga scala ha consentito, con tempi di calcolo ragionevoli, di simulare l'andamento di un intero anno delle variabili oceanografiche di interesse. L'analisi dei risultati di questo modello, in termini di temperatura, salinità, velocità e direzione di corrente e relativa stratificazione termo-alina per un intero anno, ha infatti permesso di selezionare alcuni scenari di riferimento, ben rappresentativi del regime idrodinamico, di temperatura e salinità del sito, che sono stati successivamente oggetto di simulazione tramite il modello ad altissima risoluzione. Oltre all'idrodinamica generale, sono state inoltre analizzate le condizioni di corrente

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	7 of 75

generate dal moto ondoso, anche in questo caso facendo riferimento ad alcuni scenari rappresentativi per il sito in termini di altezza, direzione media e periodo delle onde. Infatti, durante la propagazione verso la costa le onde subiscono diverse trasformazioni, tra cui quelle dovute al frangimento, anche parziale, e al processo di rifrazione, ossia alla rotazione dei fronti d'onda che tendono a disporsi parallelamente alle isobate ed alla linea di costa. Questo fenomeno è in grado di determinare l'insorgenza di sforzi di taglio al fondo (*radiation stress*), i cui gradienti, massimi in corrispondenza del frangimento, sono i responsabili della generazione delle correnti litoranee.

Sulla base di queste informazioni sono stati pertanto implementati tre modelli ad altissima risoluzione: il modello idrodinamico MIKE 3 HD [3] di DHI, come descritto nel capitolo 7, ed il modello d'onda MIKE 21 SW [4] accoppiato al modello idrodinamico 2D MIKE 21 HD, come descritto al capitolo 8.

Per la posizione, la forma e le dimensioni dei dissuasori, si è fatto riferimento al “*Progetto per l'installazione dei Dissuasori Antistrascico per Batimetriche Inferiori a 50 metri*” doc. OPL00-C30373-150-Y-TRS-0008.

Come anticipato, il presente studio è stato condotto facendo riferimento ad alcune condizioni idrodinamiche ed ondose individuate come tipiche e rappresentative dell'intero anno per il sito interessato dall'installazione dei dissuasori. La scelta di studiare alcuni scenari deriva dall'obiettivo dello studio di verificare gli effetti delle strutture sull'idrodinamica locale: risulta pertanto di particolare interesse il confronto, in determinate condizioni idrodinamiche e meteomarine significative, dei campi di onde e correnti in presenza ed in assenza dei dissuasori. Inoltre, tale approccio consente di garantire la rappresentatività del modello indipendentemente dal periodo in cui le strutture verranno messe in opera e dalla loro permanenza in situ.

4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Le caratteristiche tecniche degli interventi proposti da TAP tengono conto delle seguenti multiple finalità: ostacolare l'azione delle reti a strascico sul fondale, favorire l'insediamento del popolamento bentonico ed incrementare il popolamento ittico.

Seguendo la bibliografia disponibile ed in particolare le esperienze in Mar Mediterraneo, l'elemento che sembra conseguire i migliori risultati in termini di biomassa ospitata, diversità biologica e reclutamento di novellame è rappresentato da cubi di calcestruzzo di 2 m di lato, disposti a piramide e opportunamente forati con buchi e cavità passanti di vario diametro.

Si prevede pertanto la costruzione di blocchi cubici (2m x 2m x 2m), mediante casseformi appositamente realizzate, con fori e cavità di diverso diametro ed ampiezza (Figura 4-1). Al fine di aumentare l'eterogeneità spaziale, e pertanto migliorarne il funzionamento ecologico, si prevede di assemblare i blocchi a forma di piramide, con quattro massi di base e uno di vertice (Figura 4-1).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	8 of 75

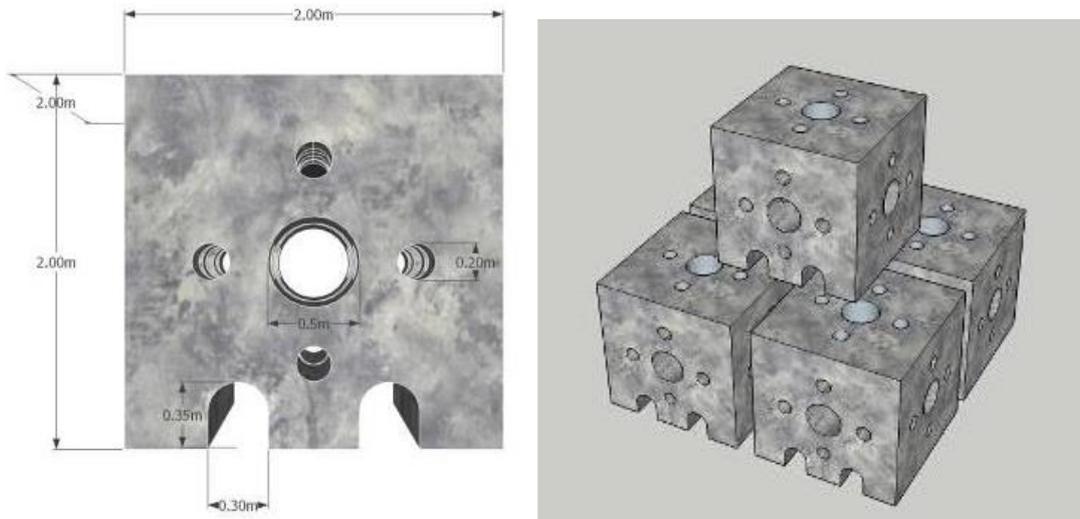


Figura 4-1 Rappresentazione del cubo di base utilizzato per l'intervento proposto (a sinistra) e visione tridimensionale di una piramide assemblata con 4 blocchi di base e uno al vertice (a destra)

Le piramidi poggeranno su un basamento in pietrame che ha lo scopo di creare un opportuno substrato d'appoggio e aumentare la discontinuità del substrato.

Il progetto per la creazione di un'oasi di ripopolamento prevede l'utilizzo di 100 cubi di calcestruzzo assemblati a formare 20 piramidi, distanziate tra loro 8.5 m, da disporre in 4 file composte ognuna da 5 piramidi (Figura 4-2).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	9 of 75

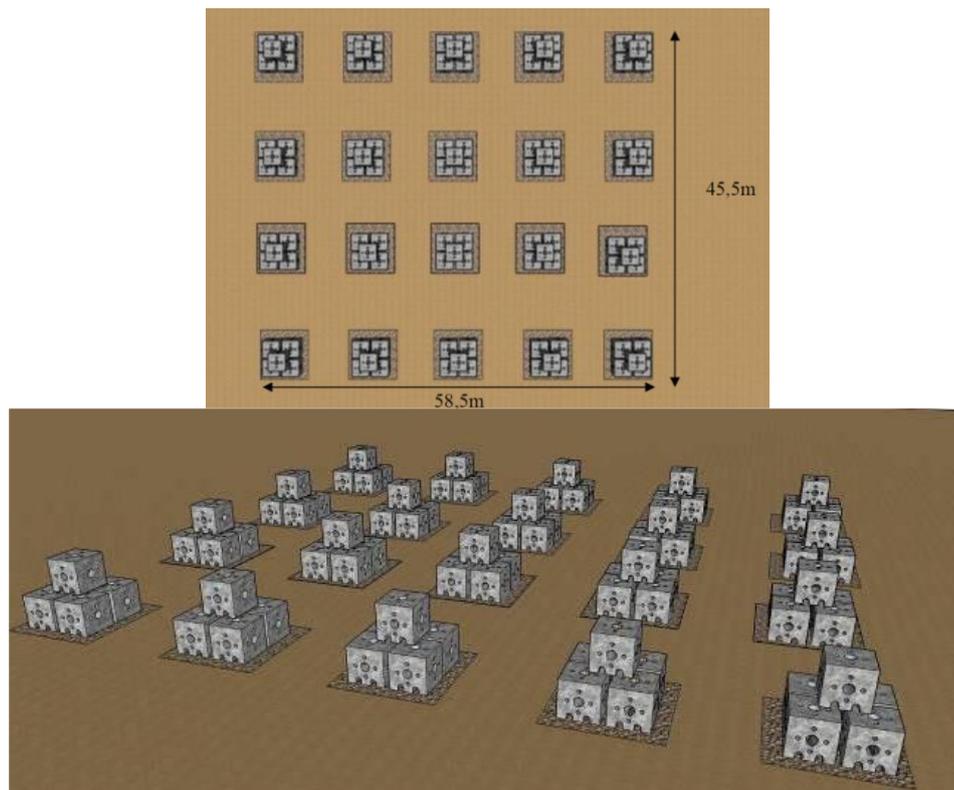


Figura 4-2 Planimetria (sopra) e visione tridimensionale (sotto) del posizionamento delle piramidi costituenti l'oasi di ripopolamento

In aggiunta, intorno a questo blocco saranno posizionate altre 10 coppie di piramidi per un totale di 20 piramidi (punti rossi in Figura 4-3) che avranno principalmente la funzione di agire come dissuasori antistrascico.

In conclusione, il numero totale di massi cubici utilizzato sarà quindi pari a 200 per un volume totale di 1600 m³ localizzati in corrispondenza di:

- 1 oasi di ripopolamento costituita da 20 piramidi la cui funzione principale sarà quella di incrementare il popolamento ittico, soprattutto a carico delle specie di interesse per la piccola pesca costiera;
- 10 stazioni di installazione, ognuna costituita da una coppia di piramidi distanziate circa 25 m e il cui principale obiettivo sarà quello di agire da dissuasori antistrascico.

In Figura 4-3 e Tabella 4-1 sono riportate rispettivamente la disposizione planimetrica dei dissuasori e le coordinate.

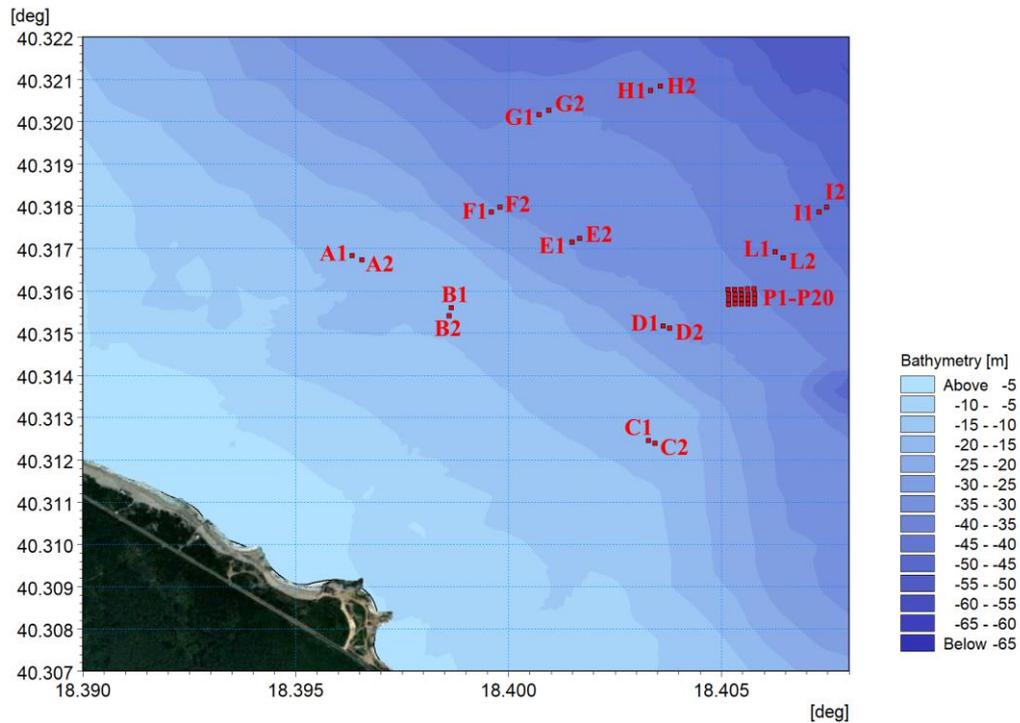


Figura 4-3 Ubicazione dell'oasi di ripopolamento (P1-P20) e delle 10 coppie (A1-A2÷L1-L2) di dissuasori (punti in rosso)

Tabella 4-1 Coordinate in WGS84 UTM34 delle posizioni dei dissuasori

ID	Identificativo	X - WGS84 UTM 34N	Y - WGS84 UTM 34N
1	A1	278769	4466177
2	A2	278788	4466165
3	B1	278963	4466035
4	B2	278958	4466013
5	C1	279346	4465674
6	C2	279359	4465667
7	D1	279384	4465974
8	D2	279397	4465968
9	E1	279209	4466200
10	E2	279224	4466209
11	F1	279050	4466283
12	F2	279068	4466296
13	G1	279153	4466536
14	G2	279173	4466547
15	H1	279377	4466593
16	H2	279397	4466604
17	I1	279704	4466264
18	I2	279720	4466277
19	L1	279614	4466162
20	L2	279629	4466146
21	P1	279517	4466066
22	P2	279530	4466066
23	P3	279543	4466066
24	P4	279556	4466066
25	P5	279569	4466066
26	P6	279517	4466053
27	P7	279530	4466053
28	P8	279543	4466053
29	P9	279556	4466053
30	P10	279569	4466053
31	P11	279517	4466040
32	P12	279530	4466040
33	P13	279543	4466040
34	P14	279556	4466040
35	P15	279569	4466040
36	P16	279517	4466027
37	P17	279530	4466027
38	P18	279543	4466027
39	P19	279556	4466027
40	P20	279569	4466027

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	11 of 75

5. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Nel presente capitolo vengono dapprima brevemente descritti i database utilizzati per la caratterizzazione del sito dal punto di vista batimetrico, granulometrico, ondametrico, oceanografico (correnti, temperatura e salinità) ed atmosferico (vento, temperatura dell'aria, umidità relativa, copertura nuvolosa, precipitazioni) ed in seguito viene presentata l'analisi di dettaglio sulla base dei dati disponibili, sia a carattere mensile che annuale, per le principali variabili di onda e corrente.

5.1 BIOCENOSI

Nell'area oggetto del presente studio sono presenti alcune biocenosi, la cui localizzazione, estensione e sensibilità rispetto ad interventi di tipo antropico sono stati considerati quali elementi di riferimento per la progettazione dei dissuasori oggetto del presente studio. In particolare, il progetto dei dissuasori prevede la loro installazione in aree e radure prive di biocenosi sensibili, quali *Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica* e biocostruzioni a coralligeno.

Si riporta di seguito (Figura 5-1) uno stralcio della mappa delle biocenosi rilevate dal Prof. Ardizzone nei fondali antistanti il litorale di San Foca.

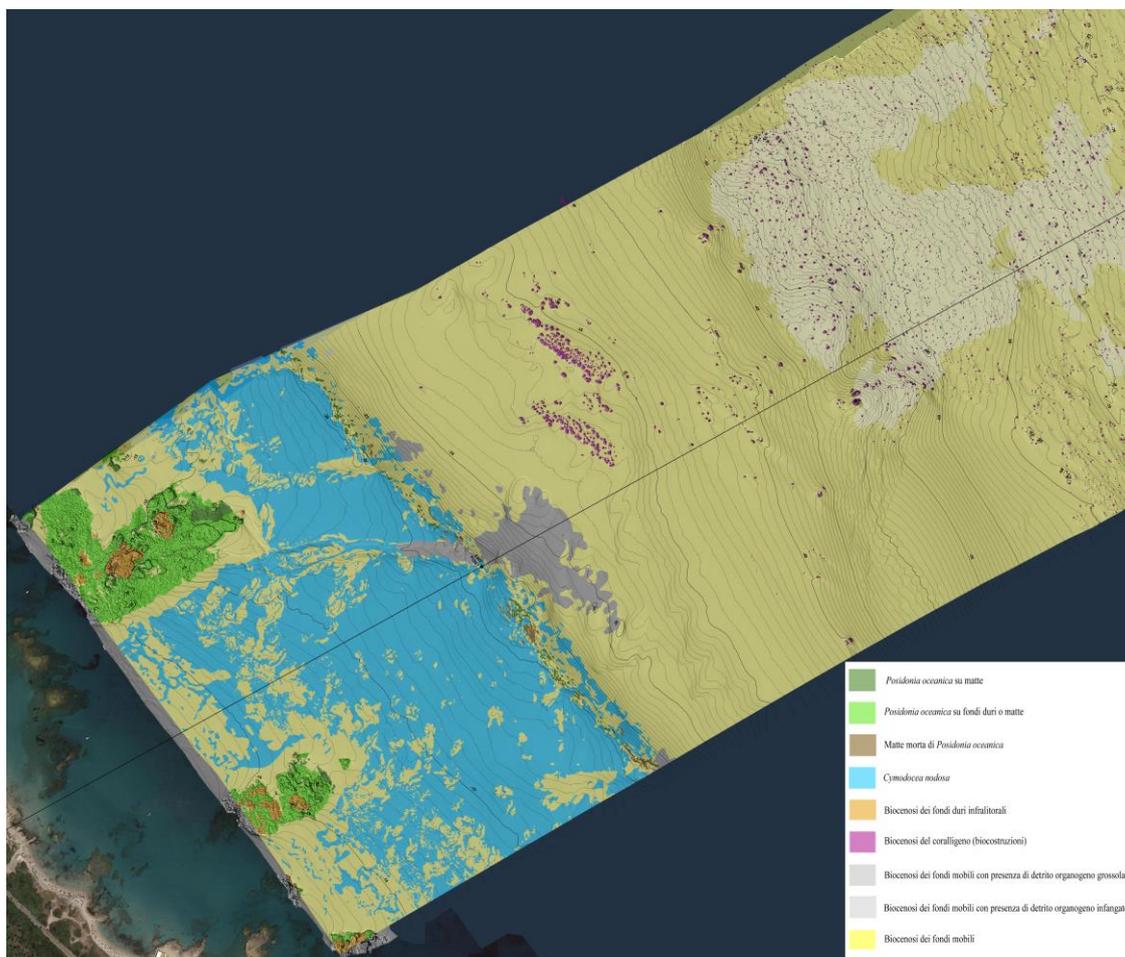


Figura 5-1 Cartografia dei fondali antistanti il litorale di San Foca, Prof. Ardizzone, 2017

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	12 of 75

5.2 DATI BATIMETRICI

I dati batimetrici a disposizione, utilizzati per la predisposizione del modello, provengono da tre distinte fonti:

- database di cartografia nautica digitale CM-93 [5]
- rilievo di dettaglio a copertura di un'area di forma rettangolare dalle dimensioni di circa 1000 x 1600 m, centrato lungo il tracciato della condotta (Contours_Alt4_1m_20160106);
- rilievo ad altissima risoluzione (0.5 m) in corrispondenza del tracciato della condotta (ST13573_DTM_TAP_kp104.24_kp100.27_20140108).

Il data-base CM-93, fruibile tramite il *tool* specifico MIKE C-MAP [6] di DHI, è stato creato e viene continuamente aggiornato dall'azienda *Jeppesen*, ed i suoi dati possono essere direttamente importati nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo di DHI, consentendo quindi un'adeguata caratterizzazione batimetrica dell'area.

In Figura 5-2 sono mostrati i dati batimetrici C-MAP disponibili per l'area di interesse, mentre in Figura 5-3 e in Figura 5-4 vengono mostrati rispettivamente i dati del rilievo di dettaglio (di cui al punto B sopraelencato) e del rilievo ad altissima risoluzione (di cui al punto C sopraelencato). Si evidenzia che i dissuasori sono previsti all'interno della zona in cui sono disponibili i rilievi di dettaglio, a profondità comprese tra 13 m e 45 m.

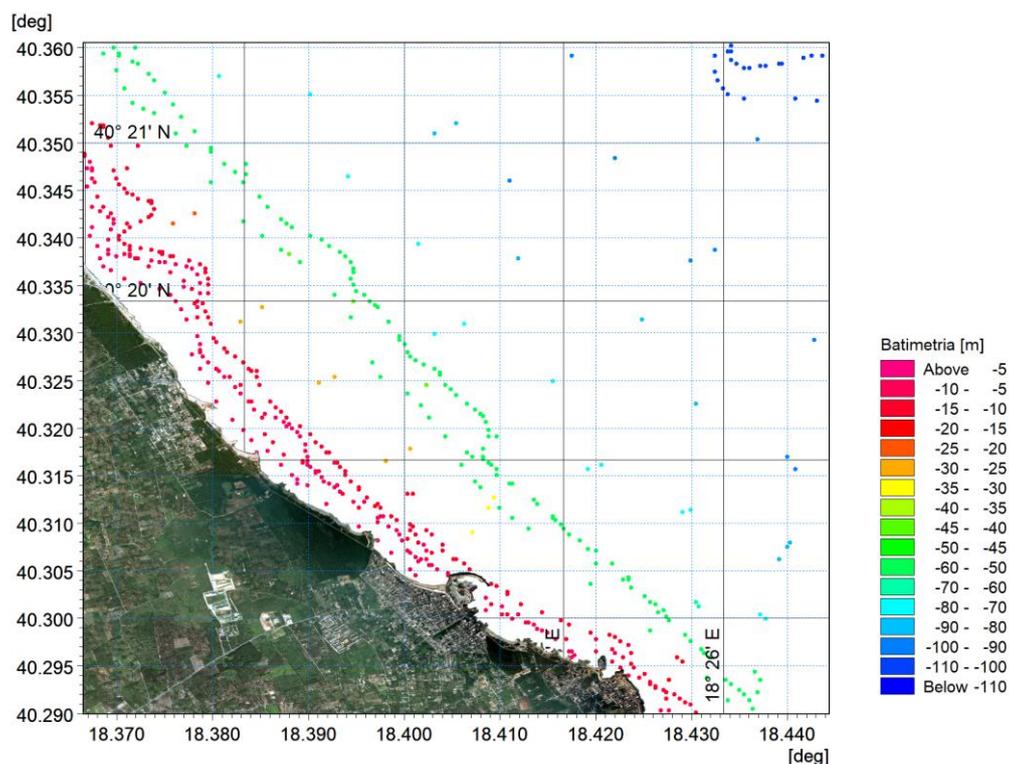


Figura 5-2 Dati batimetrici C-MAP disponibili per la zona di interesse

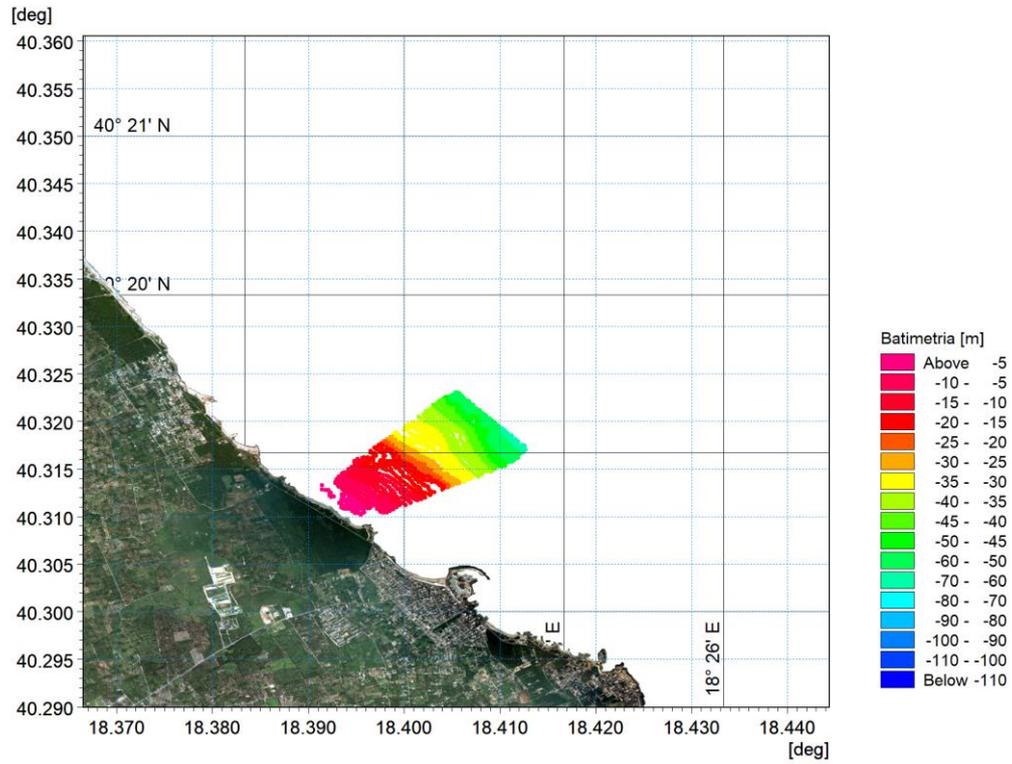


Figura 5-3 Dati di batimetria del rilievo di dettaglio

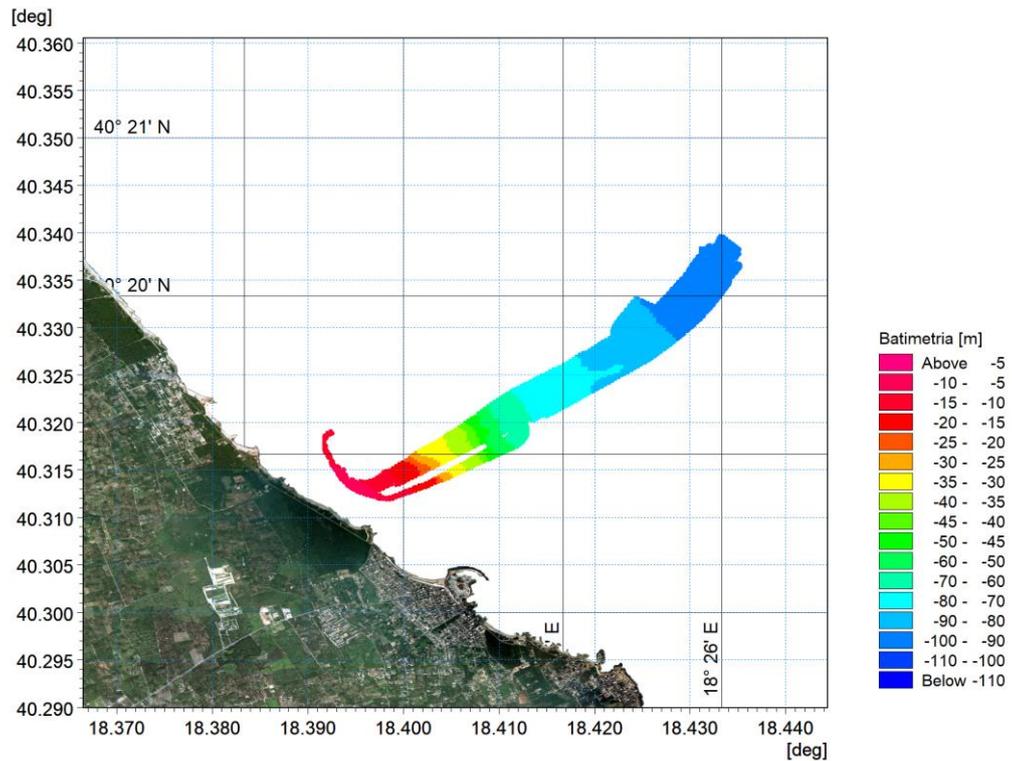


Figura 5-4 Dati di batimetrie del rilievo ad altissima risoluzione

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	14 of 75

5.3 DATABASE DI ONDA: MEDITERRANEAN WIND WAVE MODEL (MWM)

I dati di onda utilizzati nello studio provengono da un database di hindcast denominato MWM (*Mediterranean Wind Wave Model*) [7], frutto della collaborazione fra DHI e HyMOLab (Hydrodynamics and Met-Ocean Laboratory), struttura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Trieste. Esso è basato su due modelli allo stato dell'arte: WRF-ARW [8], [9] – modello non idrostatico ed *open source* largamente usato a livello internazionale – per quanto riguarda la parte atmosferica, e MIKE 21 SW – Spectral Waves [4] – sviluppato e distribuito da DHI, e largamente utilizzato a livello globale per numerose applicazioni costiere ed *offshore* - per quanto riguarda la parte di moto ondoso.

Il database contiene poco meno di 40 anni di dati ad una frequenza oraria sull'intero bacino del mar Mediterraneo ed alla risoluzione orizzontale di 10 km per quanto riguarda la componente atmosferica, e variabile per quanto riguarda la componente ondosa, da un minimo di circa 10 km nelle zone di mare aperto, ad un massimo di circa 3 km lungo le coste, in acque poco profonde ed intorno alle isole. Entrambe le componenti di onda e vento sono state ampiamente validate sia attraverso dati *in-situ* (anemometri e ondometri) sia attraverso dati satellitari.

A titolo esemplificativo si presenta in Figura 5-5 la qualità dei risultati della componente di onda. Il riquadro in alto della figura mostra il dominio del modello numerico e l'estensione e geometria dei sottodomini omogenei (contorni rossi) nei quali è stato suddiviso l'intero dominio a fini di validazione del database. I riquadri in basso mostrano gli *scatter plots* relativi all'altezza significativa d'onda (osservazioni in ascissa e modello in ordinata), rispettivamente per la regione del Sud Adriatico, a sinistra (dicitura ADS nel riquadro in alto della figura), e per la boa di Monopoli (longitudine 17.38° E, latitudine 40.97° N; batimetrica di circa 50 m) a destra. Le metriche calcolate sono il bias, la radice quadrata dello scarto quadratico medio (rmse), i valori medi, e l'indice di dispersione (scatter index). Il periodo di validazione copre 10 anni di dati.

I risultati mostrano una buona corrispondenza fra il modello e le osservazioni, soprattutto per onde con altezza significativa fino a 2 m, ovvero le più frequenti in questa zona dell'Adriatico. In generale il rmse si attesta intorno ai 20 cm, con un bias negativo di circa 5 cm, ad indicare una leggera sottostima dei dati da modello. La validazione comunque conferma la validità e solidità del dataset MWM, nonché la sua affidabilità.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	15 of 75

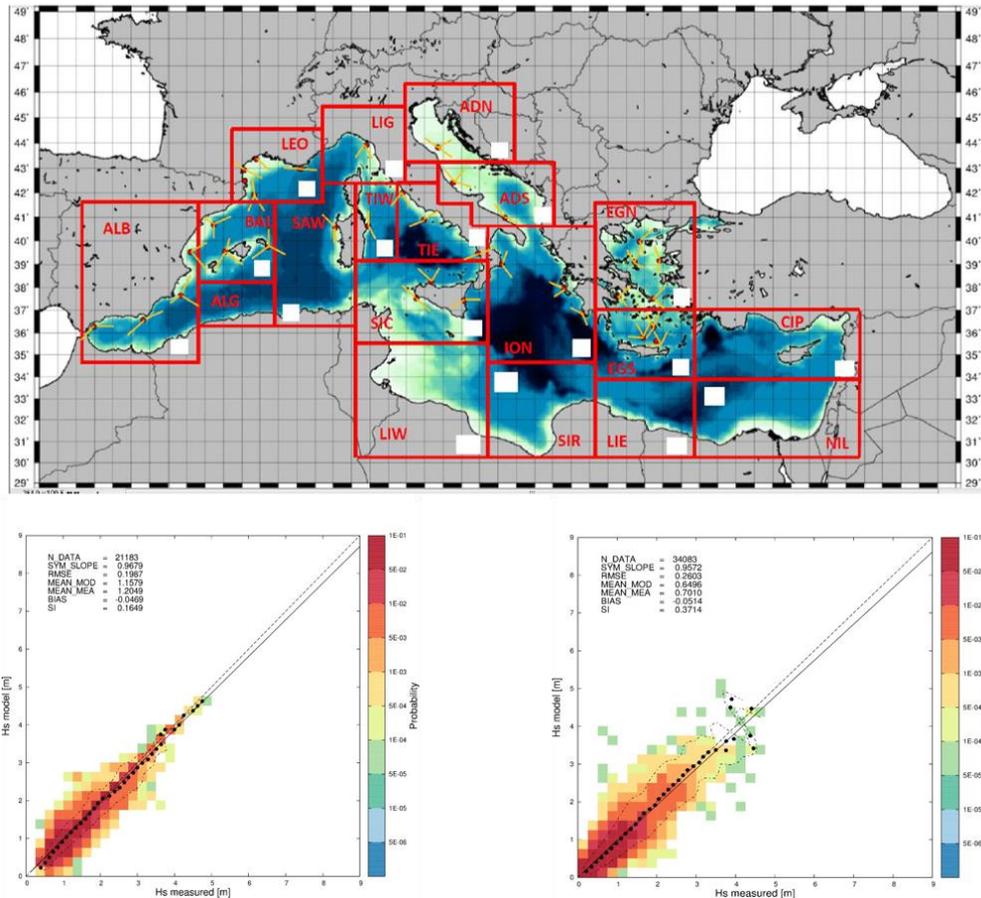


Figura 5-5 Dominio dei database di vento e onda (riquadro in alto), e *scatter plots* dell'altezza significativa d'onda per la sotto-regione dell'Adriatico del Sud (sinistra in basso; confronto tra dati modellati e dati da satellite) e per l'ondametro di Monopoli (destra in basso; confronto tra dati modellati e dati misurati *in-situ*)

Una descrizione completa del dataset MWM è riportata in Allegato D.

I dati di onda qui riportati sono stati utilizzati ai fini di un inquadramento del sito dal punto di vista ondoso (paragrafo 5.3.1) e la loro analisi ha permesso di individuare alcuni scenari tipici da studiare in dettaglio mediante l'applicazione di opportuna modellistica numerica.

5.3.1 CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA

Nel presente paragrafo sono presentati i risultati delle analisi della caratterizzazione meteomarina (onde) per il sito di interesse.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	16 of 75

In Tabella 5-1 sono riportate le caratteristiche principali del database utilizzato e la localizzazione del punto per il quale è stata effettuata l'analisi meteomarina. La profondità indicata in tabella si riferisce a quella del modello numerico alla base del dataset.

La Figura 5-6 mostra la posizione del punto di estrazione del database di onda (in arancione nella mappa), localizzato nel centro della cella di calcolo del database MWM più prossima all'*exit point* del gasdotto dal micro-tunnel, centrale alla zona interessata dai dissuasori.

Tabella 5-1 Caratteristiche del dataset e del punto di estrazione dei dati

Parametri	Dataset	Periodo di analisi	Longitudine	Latitudine	Quota	Freq.
onda	MWM	Gen 1979- Dic 2015	18.398°E	40.317°N	-26m	1 ora

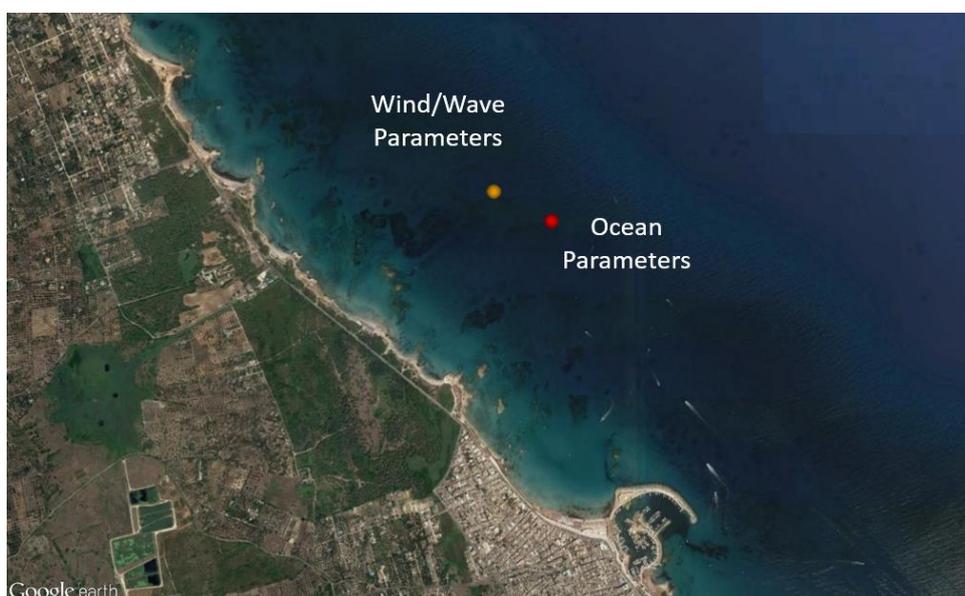


Figura 5-6 Posizione del punto di estrazione delle principali variabili meteomarine dal database di onda

La Figura 5-7 e la Tabella 5-2 mostrano rispettivamente la rosa delle onde e la tabella di frequenza delle altezze d'onda per classi direzionali, su base annuale nel punto rappresentato in Figura 5-6. Le direzioni delle rose si riferiscono alle direzioni di provenienza delle onde. L'altezza a cui si fa riferimento è l'altezza significativa.

Le rose e le tabelle di frequenza su base mensile sono presentate in Allegato E.

Come mostrano le figure, le direzioni più probabili per le onde sono lungo le direttrici N-S e SE-NO, ed i periodi più energetici sono inverno e tardo autunno. Nei mesi tardo autunnali e invernali (novembre-marzo), infatti, le onde presentano altezze significative decisamente maggiori rispetto al resto dell'anno, in particolare ai mesi di transizione tra inverno ed estate ed ai mesi estivi. Tra novembre e marzo le onde predominanti provengono da N e da SE, con altezze significative anche superiori ai 2 m e, in

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	17 of 75

alcuni rarissimi casi, con massimi dell'ordine dei 3.5 m. Seppur meno probabile, non è da trascurare il campo d'onda proveniente da NE (30°), che presenta frequenza e intensità massime da dicembre a marzo, riducendosi significativamente ad aprile, fino quasi a scomparire da maggio a settembre. Nei mesi estivi – giugno, luglio e agosto – l'unico segnale d'onda significativo proviene da N e, in misura assai minore, da NO. In questo periodo la “calma” (altezze d'onda qui assunte inferiori a 0.5 m) copre circa il 65% del tempo. Infine, nei mesi di transizione di settembre e ottobre comincia a ripresentarsi il campo d'onda proveniente da SE, dapprima moderatamente, per poi diventare predominante nel mese di ottobre.

Da notare che mentre quest'ultima direzione si presenta tra ottobre e aprile-maggio, la direzione di provenienza da N presenta una maggior persistenza durante tutto l'anno, alla quale è però associata una minore energia del moto ondoso.

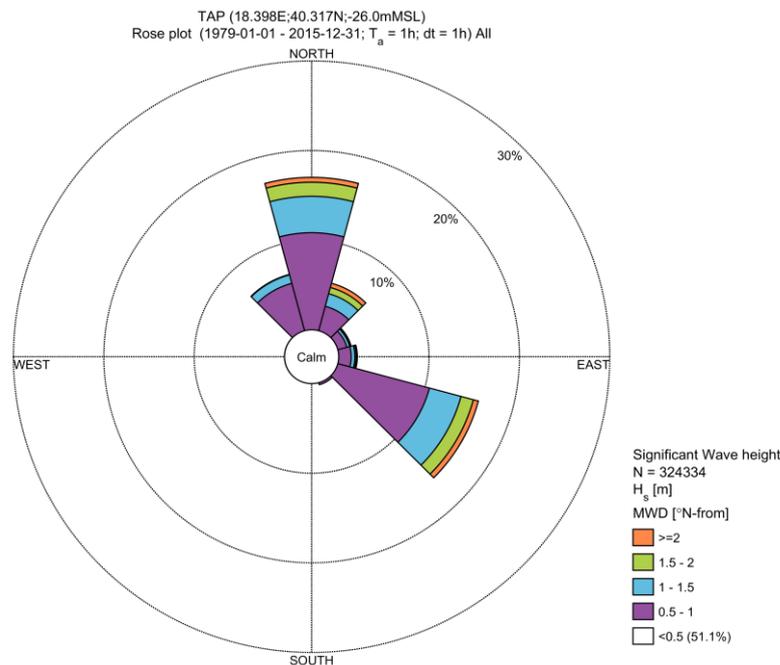


Figura 5-7 Rosa delle onde su base annuale (direzione di provenienza)

Tabella 5-2 Tabella di frequenza in termini di altezza significativa H_s (m) in funzione della direzione di provenienza MWD (°N)

	-15-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345	Total	Accum
3.5-4.0	-	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	100
3.0-3.5	0.006	0.014	0.002	0.009	0.008	-	-	-	-	-	-	0.001	0.041	99.999
2.5-3.0	0.050	0.113	0.019	0.027	0.085	-	-	-	-	-	-	0.032	0.326	99.958
2.0-2.5	0.235	0.363	0.032	0.087	0.483	-	-	-	-	-	-	0.220	1.421	99.632
1.5-2.0	0.655	0.720	0.106	0.150	1.415	-	-	-	-	-	-	0.973	4.019	98.211
1.0-1.5	1.645	1.447	0.326	0.407	3.612	0.002	-	-	-	-	0.000	3.392	10.831	94.192
0.5-1.0	3.638	2.826	1.038	1.379	10.503	0.236	0.000	0.000	0.002	0.002	0.006	12.676	32.308	83.361
0-0.5	4.785	3.943	2.211	3.055	15.786	1.648	0.051	0.034	0.028	0.034	0.100	19.378	51.054	51.054
Total	11.015	9.427	3.735	5.114	31.893	1.886	0.051	0.034	0.030	0.036	0.107	36.672	100	-

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	18 of 75

5.4 DATABASE OCEANOGRAFICO: MODELLO DI CIRCOLAZIONE AD ALTA RISOLUZIONE

Per lo studio dell'area di interesse, è stata condotta una caratterizzazione della circolazione locale per un intero anno di dati (finestra temporale adeguata a cogliere la variabilità stagionale del sito), predisponendo un modello numerico tridimensionale ad alta risoluzione spaziale, volto a simulare l'idrodinamica 3D. Il modello, implementato mediante l'applicazione di MIKE 3 HD, è annidato in un modello di circolazione generale a più bassa risoluzione, *l'Adriatic Forecasting System* (AFS) [10], [11], [12], sviluppato in modalità operativa dal 2003 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), e attualmente mantenuto e distribuito dal Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC). Il dataset AFS è a sua volta annidato nel più generale Mediterranean Forecasting System (MFS) [13] nell'ambito del Marine Environment Monitoring Service del programma Europeo Copernicus (CMEMS).

AFS è un modello tridimensionale di circolazione generale del Mare Adriatico che fornisce informazioni di previsione e di *hindcast* delle principali variabili oceanografiche, quali temperatura, salinità, elevazione della superficie libera del mare, campi di corrente e flussi di momento, calore e massa all'interfaccia aria-mare. In Tabella 5-3 vengono illustrate le principali caratteristiche del modello a scala regionale AFS.

Tabella 5-3 Caratteristiche del modello di circolazione a scala regionale AFS

Caratteristiche del modello AFS	
Modello numerico	<i>POM</i>
Risoluzione orizzontale	<i>1/45° (~2.2 km)</i>
Risoluzione verticale	<i>31 livelli σ</i>
Disponibilità temporale	<i>Settembre 2012-oggi</i>
Risoluzione temporale dei dati	<i>Medie orarie</i>
Forzante atmosferico	<i>ERAInterim:</i> – <i>Risoluzione orizzontale: 0.25°/0.12</i> – <i>Frequenza temporale: 6 ore</i>
Condizioni iniziali	<i>Istantanee da CMEMS (Coper Environment Monitoring Service)</i>
Condizioni al contorno aperto	<i>Realistiche dal modello CMEMS alla 1/16° in orizzontale, su 72 livelli verticali</i>
Assimilazione dati	<i>No</i>
Marea	<i>Sì</i>

La conoscenza della circolazione generale di macro-scala della regione in questione, derivante da un'attenta analisi sui dati idrodinamici del modello (AFS), ha permesso di individuare le necessarie dimensioni del dominio del modello ad alta risoluzione, nonché il suo esatto posizionamento, così da includere in maniera ottimale le strutture più importanti della circolazione generale. A titolo esemplificativo, in Figura 5-8 sono rappresentate le principali strutture di circolazione baroclinica nel Mar Adriatico.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	19 of 75

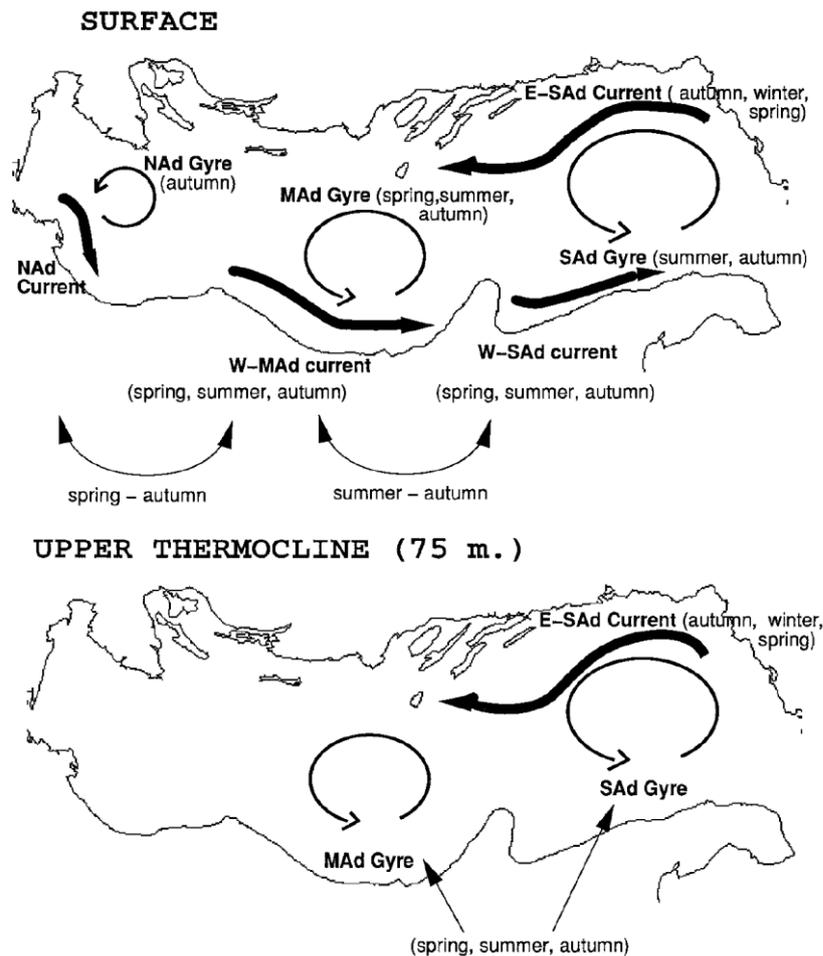


Figura 5-8 Schematizzazione della circolazione baroclinica nel Mar Adriatico [2]

Definito il modello a larga scala di riferimento (AFS) e l'estensione del dominio di calcolo, il modello ad alta risoluzione è stato sviluppato mediante l'applicazione del modulo idrodinamico ai volumi finiti a maglia non strutturata MIKE 3 HD. Il dominio di calcolo del modello presenta complessivamente un'estensione di circa 20 km verso il largo e di circa 30 km lungo costa. La maglia utilizzata lungo l'orizzontale è mista, a maglie triangolari per tutto il dominio, tranne che per un rettangolo posto al centro dell'area di studio, per il quale è stata prevista una maglia quadrata di lato 30 m; la risoluzione diminuisce via via fino a 1200 m nella zona di mare aperto dove avviene l'annidamento con il modello AFS. Per quanto riguarda la dimensione verticale, il modello è stato discretizzato su 12 livelli di tipo ibrido σ -z. I primi 9 seguono l'andamento del terreno (σ o *terrain-follow*) fino alla batimetria di 60 m. Da qui in avanti le coordinate verticali diventano di tipo z non equispaziate, con spessori pari a 20, 25 e 30 metri.

Attraverso il *downscaling* del modello operativo AFS, le simulazioni idrodinamiche nel modello di dettaglio MIKE 3 HD sono state condotte per un periodo di un anno (febbraio 2013-gennaio 2014), in forma realistica. Il periodo è stato selezionato in considerazione del fatto che per quei mesi sono

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	20 of 75

disponibili misure in situ che permettono di validare i risultati del modello. Inoltre, ulteriori dati correntometrici misurati, relativi al periodo novembre 2016- gennaio 2019, confermano come il periodo selezionato sia effettivamente rappresentativo delle condizioni del sito.

I risultati ottenuti da questo modello sono stati utilizzati nel presente studio per una caratterizzazione idrodinamica del sito in cui è prevista l'installazione dei dissuasori (paragrafo 0) e, successivamente, per individuare alcuni scenari tipici. Questi sono stati simulati con un ulteriore modello di dettaglio, ad altissima risoluzione (capitolo 7), finalizzato all'analisi comparativa della circolazione in assenza e presenza dei dissuasori.

In Tabella 7-1 vengono riportate le caratteristiche principali dell'implementazione del modello MIKE 3 HD.

Tabella 5-4 Principali caratteristiche del modello di circolazione ad alta risoluzione

Caratteristiche del modello MIKE 3 HD FM	
Modello Numerico	<i>MIKE 3 HD FM</i>
Risoluzione orizzontale (min/max)	<i>1200m / 30m</i>
Tipologia della griglia di calcolo	<i>Volumi finiti/maglia non strutturata</i>
Risoluzione verticale	<i>12 livelli ibridi così distribuiti:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>9 livelli σ (fino a 60m)</i> • <i>3 livelli z (non equi-spaziati, per profondità di 60m)</i>
Periodo di simulazione	<i>Febbraio 2013-Marzo 2014</i>
Frequenza dei risultati	<i>Oraria (istantanea)</i>
Forzante atmosferico	<i>CFS (Climate Forecast System):</i> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Risoluzione orizzontale: 0.2°</i> – <i>Frequenza: oraria</i> – <i>Dati disponibili: U, V, MSLP, T2m, Umidità relativa</i>
Condizioni iniziali	<i>Campi istantanei da AFS (U, V, T, S, SSH)</i>
Dati ai contorni aperti	<i>Realistici da AFS, modello a 1/45° di risoluzione su 31 livelli σ</i>
Condizioni al contorno aperto	<i>Flather [14]</i>
Fiumi	<i>No</i>
Flussi all'interfaccia aria-mare	<i>Momento: sì</i> <i>Calore: sì</i> <i>Massa: sì</i>
Assimilazione dati	<i>No</i>
Marea	<i>Sì</i>

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	21 of 75

5.4.1 CARATTERIZZAZIONE OCEANOGRAFICA

Nel presente paragrafo sono presentati i risultati delle analisi della caratterizzazione di circolazione (corrente, temperatura e salinità) per il sito di interesse.

In Tabella 5-4 sono riportate le caratteristiche principali del database utilizzato. La Figura 5-6 mostra la posizione del punto di estrazione (LONG 18.401224°, LAT 40.315719°N, in rosso nella mappa) del database di circolazione, localizzato centralmente alla zona interessata dai dissuasori.

5.4.1.1 CORRENTI

Nel punto individuato in Figura 5-6, al fine di caratterizzare l'area di interesse, sono state estratte le serie temporali di intensità (riquadro in alto) e direzione della corrente (riquadro in basso). Le serie temporali, che come detto sono state estratte dal modello a più ampia scala MIKE 3 HD, si riferiscono quindi al periodo compreso tra febbraio 2013 e gennaio 2014 e sono state rappresentate per tre profondità di riferimento: superficie, fondo, e metà della colonna d'acqua (rispettivamente linee nera, verde e rossa). Seguendo la convenzione sulle correnti (opposta a quella adottata universalmente per la rappresentazione dell'onda), le direzioni mostrate sono quelle verso cui la corrente scorre.

E' evidente dalla Figura 5-7 come le correnti più rappresentative dell'area soggetta all'installazione dei dissuasori siano dirette verso Sud, in direzione NNO-SSE. Inversioni della corrente sono frequenti, nonostante la risultante corrente sia mediamente meno intensa e duratura.

L'intensità della corrente si presenta generalmente piuttosto variabile, e raggiunge spesso valori compresi fra i 40 cm/s e gli 80 cm/s in superficie, e tra i 20 cm/s e i 40 cm/s negli strati più profondi, in prossimità del fondale. I valori medi della corrente sono di circa 19 cm/s, 14 cm/s e 11 cm/s rispettivamente in superficie, a profondità medie della colonna, e in prossimità del fondale.

I mesi maggiormente energetici sono marzo e giugno, mentre agosto, settembre e dicembre sono quelli meno energetici.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	22 of 75

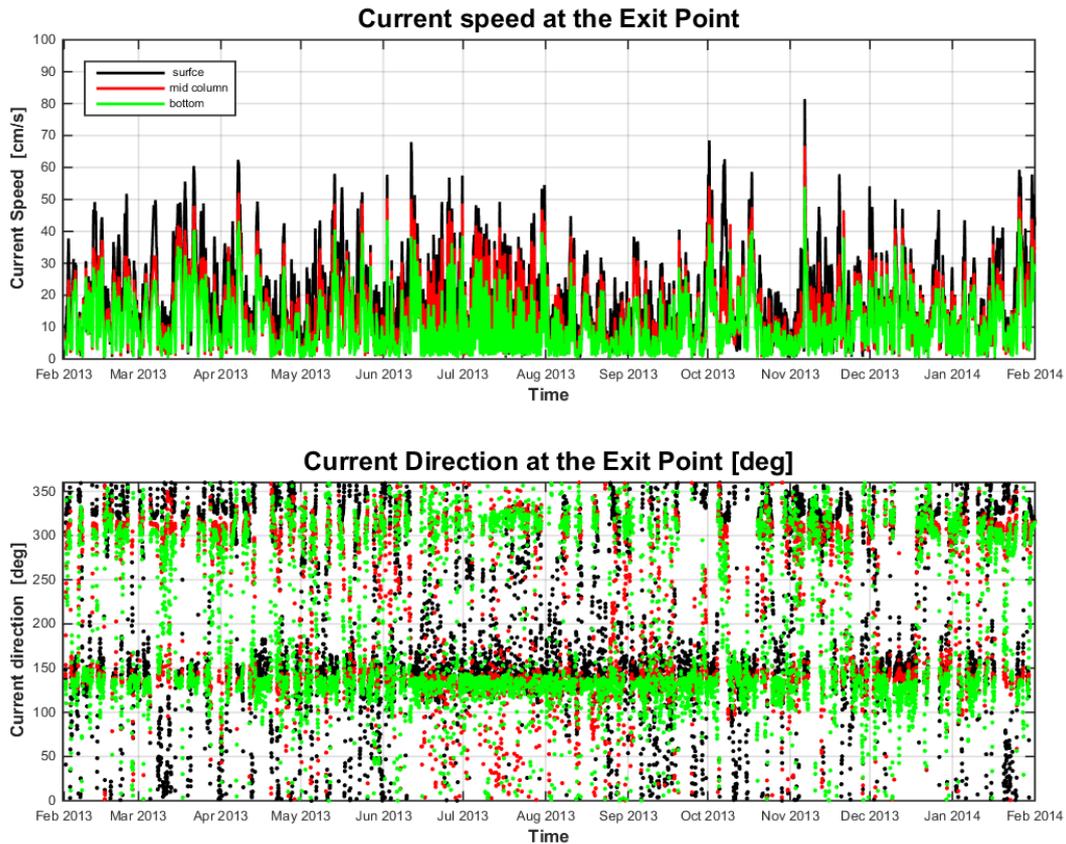


Figura 5-9 Serie temporale di intensità (riquadro in alto) e direzione (riquadro in basso) della corrente nel periodo Febbraio 2013 – Gennaio 2014 in superficie (nero), sul fondo (verde) e a metà della colonna d’acqua (rosso). Le direzioni mostrano il verso in cui la corrente è diretta

Le immagini sotto riportate mostrano, invece, le rose delle correnti lungo la colonna d’acqua, alle tre profondità di riferimento di cui sopra. Come per le onde, i dati sono stati analizzati sia su base annuale che su base mensile (per quest’ultime le tabelle e le rose sono riportate in Allegato F).

L’analisi delle rose delle correnti conferma quanto già evidenziato dall’analisi delle serie temporali di intensità e direzione delle stesse mostrata in Figura 5-10. In aggiunta, attraverso l’analisi delle rose emerge chiaramente una tendenza della corrente alla rotazione in senso antiorario a profondità crescenti lungo la colonna d’acqua. In prossimità del fondo essa si attenua sensibilmente rispetto alla superficie, e i flussi lungo la direttrice NNO-SSE tendono a disporsi in direzione più perpendicolare alla costa, con maggiore probabilità di flusso verso regioni di mare aperto.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	23 of 75

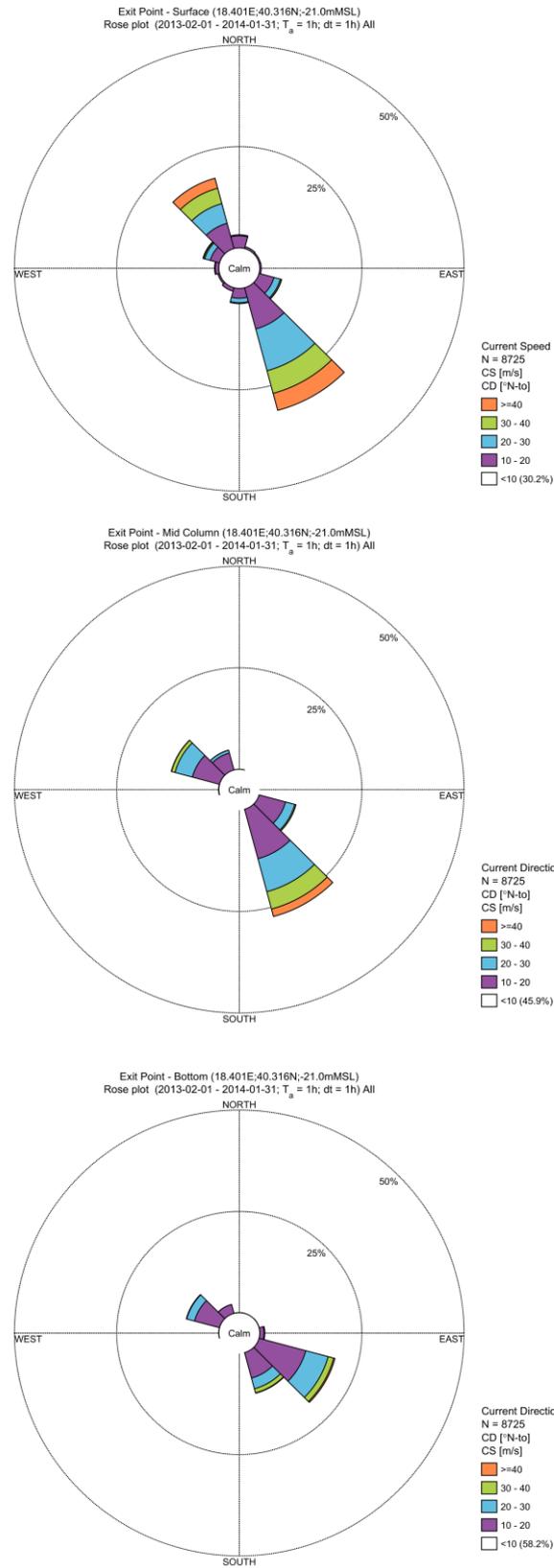


Figura 5-10 Rose delle correnti su base annuale alle tre profondità di riferimento (superficie, metà colonna, fondo)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	24 of 75

5.4.1.2 TEMPERATURA E SALINITA'

Per l'analisi della variabilità di temperatura e salinità nell'area interessata dalla messa in opera dei dissuasori sono state estratte le serie temporali nello stesso punto e per lo stesso periodo (febbraio 2013-gennaio 2014) considerati per l'analisi della corrente. Anche in questo caso le serie sono state rappresentate per tre profondità di riferimento (superficie, media colonna, fondo) ed i colori si riferiscono alle stesse profondità di cui alla sezione precedente.

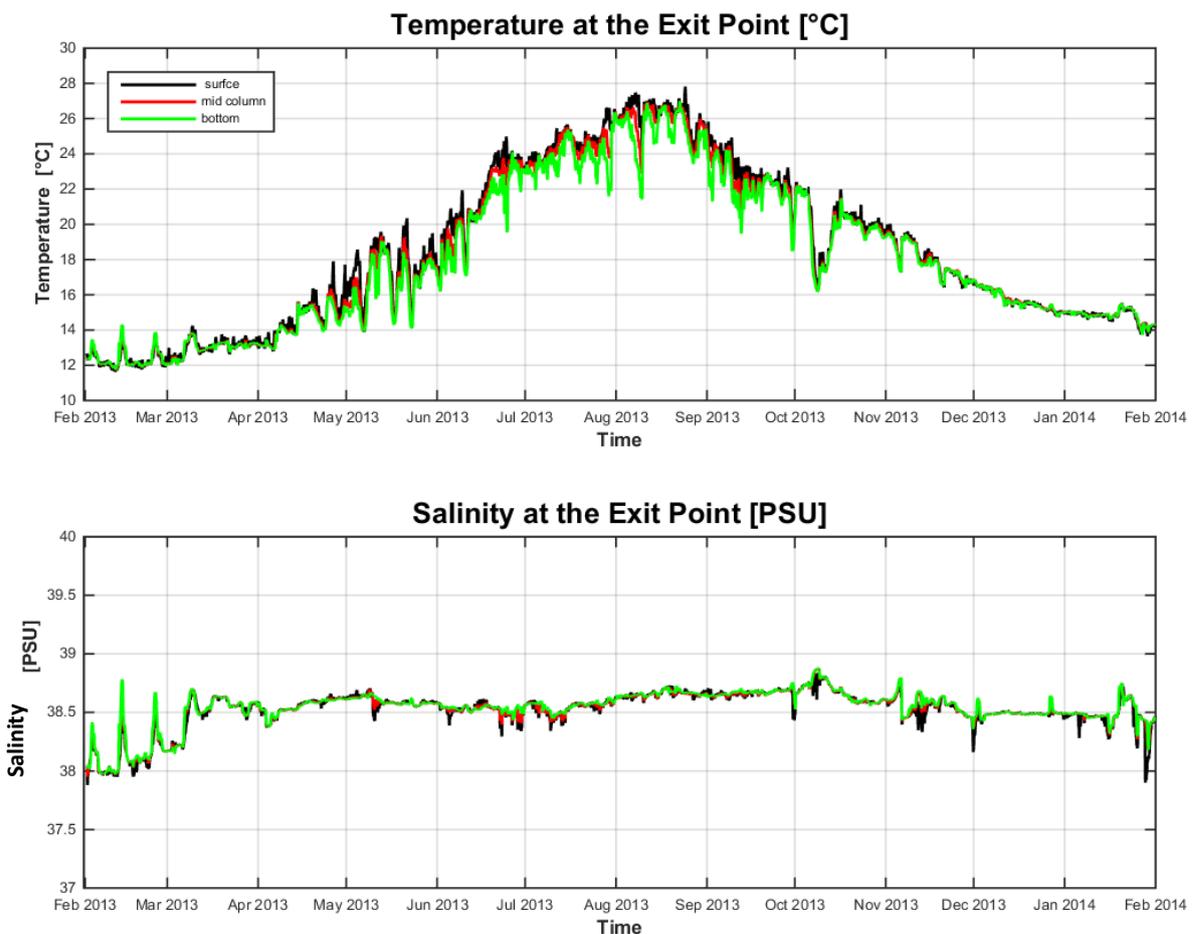


Figura 5-11 Serie temporali di temperatura (riquadro in alto) e salinità (riquadro in basso). I colori corrispondono alle tre profondità superficiale (nero), di media colonna (rosso), di fondo (verde)

Come mostrato in figura, i campi di temperatura presentano una variabilità piuttosto marcata nel periodo compreso tra maggio e ottobre (inclusi). Al contrario, a parte alcuni eventi di sporadica variabilità localizzata, il periodo compreso tra novembre e aprile appare poco variabile sulle brevi scale temporali. In questo periodo dell'anno la colonna d'acqua appare omogenea e molto ben rimescolata, mentre una stratificazione marcata si evidenzia a partire da fine aprile-inizio maggio, e continua a svilupparsi fino ad agosto inoltrato, persistendo anche per tutto il mese di settembre. Le temperature più alte si riscontrano durante il mese di agosto (28°C in superficie e quasi 26°C nello strato di fondo), mentre le

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	25 of 75

temperature più basse si riscontrano in febbraio (12°C circa, distribuiti in maniera pressoché uniforme lungo l'intera colonna d'acqua).

La salinità appare invece molto meno variabile rispetto alla temperatura, e si attesta in generale su valori di poco oscillanti intorno ai 38.5 PSU.

5.5 DATABASE ATMOSFERICO: CLIMATE FORECAST SYSTEM

I dati atmosferici utilizzati per il presente studio derivano dalle analisi operative del sistema Climate Forecast System (CFS), prodotti e distribuiti dal National Centre for Environmental Prediction (NCEP) [15].

In particolare, i dati a cui si è fatto riferimento nel presente studio come forzanti del modello numerico di circolazione sono quelli relativi a vento, precipitazioni, copertura nuvolosa, temperatura e umidità relativa dell'aria, nella modalità di analisi operativa. Il modello, implementato a scala globale (Figura 5-12), presenta una risoluzione orizzontale di circa 0.20°, corrispondente a circa 18 km, per vento, copertura nuvolosa e temperatura dell'aria, mentre una risoluzione di 0.5°, pari a circa 50 km, per precipitazioni ed umidità relativa.

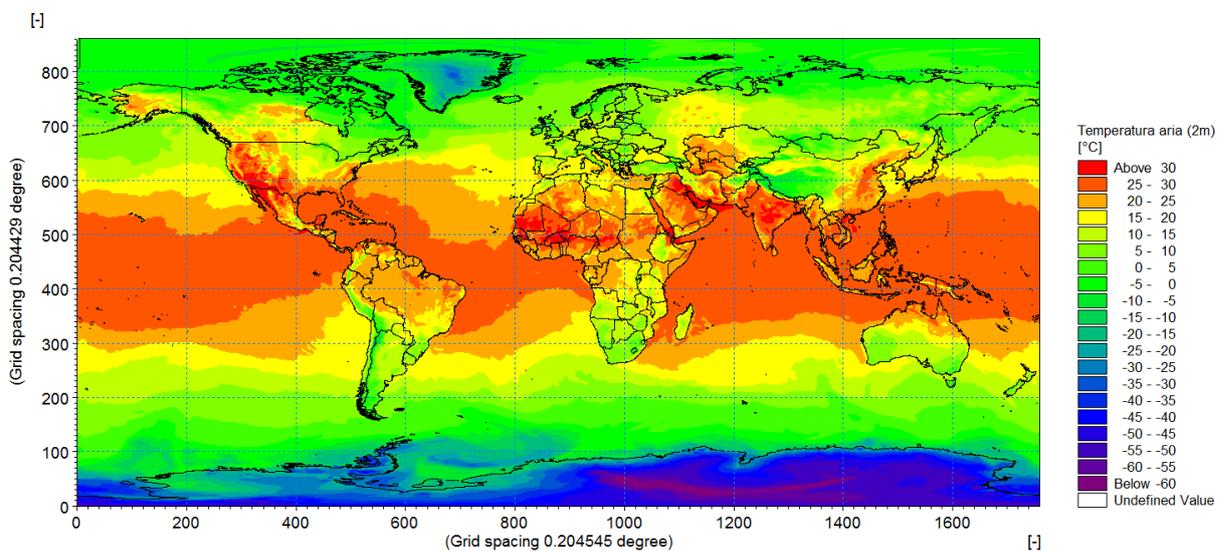


Figura 5-12 Esempio di campo di temperatura dell'aria a 2 m su tutto il dominio considerato dal sistema Climate Forecast System (CFS)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	26 of 75

6. SELEZIONE DEGLI SCENARI DI CORRENTE E DI MOTO ONDOSO

Lo studio degli effetti dei dissuasori sulla circolazione è stato condotto facendo riferimento ad alcune condizioni idrodinamiche ed ondose individuate come rappresentative per il sito interessato dall'installazione dei dissuasori. La scelta di studiare alcuni scenari tipici deriva dall'obiettivo dello studio di verificare gli effetti delle strutture sull'idrodinamica locale: risulta pertanto di particolare interesse il confronto, in determinate condizioni idrodinamiche e meteomarine significative, dei campi di onde e correnti in presenza ed in assenza dei dissuasori.

6.1 SELEZIONE DEGLI SCENARI DI CORRENTE

Per la selezione degli scenari idrodinamici rappresentativi si è fatto riferimento alle condizioni di corrente al fondo. Come illustrato al paragrafo 5.4.1.1, la corrente si sviluppa prevalentemente in direzione parallela a costa con verso da Nord-Ovest verso Sud-Est e, seppur con frequenza inferiore, con verso opposto, da Sud-Est verso Nord-Ovest. Per la scelta degli scenari si è pertanto deciso di differenziare le frequenze di occorrenza per settore: il primo compreso tra 50°N e 230°N (corrente principale da NO verso SE) ed il secondo compreso tra 230°N e 50°N (corrente principale da SE verso NO). All'interno del primo settore, che contiene gli eventi più frequenti e con le velocità maggiori, sono stati selezionati due scenari: uno rappresentativo delle correnti più intense (scenario 1) e uno rappresentativo delle correnti ad elevata frequenza, seppur caratterizzate da velocità più modeste (scenario 2). Nel secondo settore è stato selezionato un solo scenario, rappresentativo di condizioni di corrente frequenti (scenario 3). Al fine di agevolare l'individuazione degli scenari, le tabelle di frequenza (Tabella 6-1 e Tabella 6-2) sono state prodotte infittendo i settori, sia direzionali (ogni 10°N) sia di intensità di corrente (ogni 2.5 cm/s), rispetto all'analisi omnidirezionale effettuata nello studio precedente.

Da queste tabelle sono stati individuati tre scenari, in termini di velocità e direzione di corrente, che complessivamente risultano rappresentativi delle possibili condizioni idrodinamiche che si verificano in un intero anno tipico per la zona di studio. Questi scenari possono essere così schematizzati:

- **scenario 1:** velocità compresa tra 0.275 e 0.30 m/s e direzione da NO verso SE (in questo caso il settore di propagazione è ristretto alle direzioni comprese tra 110 e 140°N). Questa condizione presenta una percentuale di superamento pari a circa 2.26%, corrispondente a poco più di 1 settimana all'anno (Tabella 6-1);
- **scenario 2:** velocità compresa tra 0.075 e 0.10 m/s e direzione da NO verso SE (in questo caso il settore di propagazione è più ampio, compreso tra le direzioni di 50 e 160°N). Questa condizione presenta una percentuale di superamento pari a circa 48.9%, corrispondente a quasi 6 mesi all'anno (Tabella 6-1);
- **scenario 3:** velocità compresa tra 0.175 e 0.20 m/s e direzione da SE verso NO (in questo caso il settore di propagazione è ristretto alle direzioni comprese tra 290 e 320°N). Questa condizione presenta una percentuale di superamento pari a circa 7.53%, corrispondente a quasi 1 mese all'anno (Tabella 6-2).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	27 of 75

Tabella 6-1 Tabella di frequenza in termini di velocità di corrente (m/s) in funzione della direzione di propagazione (°N). Settore compreso tra 50°N e 230°N

	0-0.025	0.025-0.05	0.05-0.075	0.075-0.1	0.1-0.125	0.125-0.15	0.15-0.175	0.175-0.2	0.2-0.225	0.225-0.25	0.25-0.275	0.275-0.3	0.3-0.325	0.325-0.35	0.35-0.375	>0.375	Total
50-60	0.136	0.382	0.273	0.082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.872
60-70	0.354	0.409	0.436	0.109	0.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.417
70-80	0.245	0.463	0.518	0.191	0.136	0.027	0.027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.608
80-90	0.354	0.627	0.491	0.463	0.463	0.218	0.082	0.027	-	-	-	-	-	-	-	-	2.726
90-100	0.436	0.654	0.681	0.954	0.491	0.463	0.382	0.136	0.055	-	-	-	-	-	-	-	4.252
100-110	0.491	1.063	1.008	1.008	1.499	1.090	0.872	0.463	0.055	0.055	-	-	-	-	-	-	7.604
110-120	0.436	0.954	1.226	1.145	1.281	1.554	1.063	0.736	0.382	0.327	0.191	0.027	0.055	-	-	-	9.376
120-130	0.463	1.199	2.208	2.071	2.480	2.398	2.180	2.044	1.363	0.654	0.627	0.327	0.382	0.245	-	0.055	18.697
130-140	0.627	1.881	2.617	3.761	3.380	3.979	3.734	3.325	2.753	1.826	1.308	1.090	0.545	0.681	0.300	-	31.807
140-150	0.518	1.635	1.363	1.445	0.463	0.191	0.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.724
150-160	0.736	1.336	1.499	0.491	0.191	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.252
160-170	0.763	1.417	0.463	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.644
170-180	0.627	1.145	0.164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.935
180-190	0.818	0.654	0.245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.717
190-200	0.463	0.736	0.136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.336
200-210	0.654	0.627	0.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.390
210-220	0.627	0.654	0.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.336
220-230	0.654	0.600	0.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.308
Total	9.403	16.435	13.546	11.720	10.493	9.921	8.449	6.732	4.606	2.862	2.126	1.445	0.981	0.927	0.300	0.055	100
Accum	9.403	25.838	39.384	51.104	61.597	71.518	79.967	86.699	91.306	94.167	96.293	97.738	98.719	99.646	99.945	100	

Tabella 6-2 Tabella di frequenza in termini di velocità di corrente (m/s) in funzione della direzione di propagazione (°N). Settore compreso tra 0°N e 50°N e tra 230°N e 360°N

	0-0.025	0.025-0.05	0.05-0.075	0.075-0.1	0.1-0.125	0.125-0.15	0.15-0.175	0.175-0.2	0.2-0.225	0.225-0.25	0.25-0.275	0.275-0.3	0.3-0.325	0.325-0.35	0.35-0.375	>0.375	Total
0-10	0.486	0.577	0.121	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.214
10-20	0.395	0.273	0.243	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.941
20-30	0.364	0.364	0.182	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.941
30-40	0.273	0.182	0.121	0.061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.638
40-50	0.273	0.273	0.121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.668
230-240	0.789	0.546	0.061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.396
240-250	0.789	0.789	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.609
250-260	0.729	1.032	0.213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.973
260-270	0.698	1.093	0.334	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.125
270-280	1.123	1.032	0.789	0.273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.218
280-290	1.396	2.429	2.004	0.789	0.182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.800
290-300	1.093	3.218	3.097	2.672	2.064	0.789	0.486	0.121	0.091	0.030	-	-	-	-	-	-	13.661
300-310	1.123	3.491	4.189	3.248	3.309	5.039	4.220	3.855	3.127	2.186	0.971	0.213	-	-	-	-	34.973
310-320	1.123	3.734	4.038	2.884	2.277	1.032	0.304	0.273	0.213	0.455	0.152	0.091	-	-	-	-	16.576
320-330	1.093	2.095	1.639	1.214	0.304	0.091	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.466
330-340	0.729	1.063	1.032	0.516	0.152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.491
340-350	0.638	0.698	0.364	0.121	0.061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.882
350-360	0.455	0.729	0.152	0.091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.427
Total	13.570	23.619	18.731	11.961	8.349	6.952	5.039	4.250	3.430	2.672	1.123	0.304	-	-	-	-	100
Accum	13.570	37.189	55.920	67.881	76.230	83.182	88.221	92.471	95.902	98.573	99.696	100	-	-	-	-	

A partire dai risultati del modello di corrente all'interno della serie idrodinamica a disposizione (Tabella 5-4), sono state estratte finestre temporali nell'anno a disposizione per le quali le condizioni di intensità e direzione di corrente associate ai tre scenari rappresentativi si mantenessero per almeno 24 ore consecutive, così da individuare tre periodi reali da utilizzare per le simulazioni idrodinamiche del modello di dettaglio predisposto per la presente analisi comparativa.

La durata della simulazione di ciascuno scenario è pari a 72 ore, le prime 48 delle quali sono unicamente funzionali alla stabilizzazione del modello (periodo di *spin-up*).

Al fine di riprodurre condizioni assai prossime a quelle individuate per i tre scenari sopra elencati risultati sono stati individuati i seguenti periodi, della durata di 24 ore ciascuno:

- dal 07.04.2013 ore 06:30 all'08.04.2013 ore 06:30;
- dal 28.04.2013 ore 18:30 al 29.04.2013 ore 18:30;
- dal 24.03.2013 ore 12:30 al 25.03.2013 ore 12:30.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	28 of 75

6.2 SELEZIONE DEGLI SCENARI DI ONDA

Un procedimento analogo a quello utilizzato per la selezione degli scenari di corrente è stato seguito per l'individuazione degli scenari d'onda. Infatti, come illustrato al paragrafo 5.3.1, le direzioni di provenienza delle onde caratterizzate dalle maggiori frequenze sono lungo le direttrici N-S e SE-NO. Anche in questo caso, pertanto, per la scelta degli scenari si è deciso di predisporre due tabelle di frequenza, una rappresentativa del settore compreso tra 50°N e 230°N (onde provenienti prevalentemente da Sud-Est) e l'altro tra 230°N e 50°N (onde provenienti prevalentemente da Nord). Per meglio individuare gli scenari, le tabelle di frequenza (Tabella 6-3 e Tabella 6-4) sono state create infittendo i settori, sia direzionali (ogni 10°N) sia di altezza d'onda significativa (ogni 0.2 m), rispetto all'analisi omnidirezionale effettuata nello studio precedente.

Tabella 6-3 Tabella di frequenza in termini di altezza d'onda significativa (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Settore compreso tra 50°N e 230°N

	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	2.6-2.8	2.8-3.0	3.0-3.2	>3.2	Total
50-60	0.598	0.875	0.538	0.348	0.242	0.130	0.083	0.068	0.045	0.027	0.012	0.007	0.010	0.007	0.004	0.001	-	2.996
60-70	0.562	0.821	0.523	0.349	0.220	0.108	0.075	0.063	0.030	0.014	0.011	0.008	0.005	0.004	0.001	0.002	-	2.796
70-80	0.509	0.877	0.573	0.334	0.224	0.114	0.101	0.058	0.027	0.019	0.012	0.017	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	2.887
80-90	0.515	0.969	0.703	0.429	0.235	0.139	0.076	0.068	0.032	0.025	0.016	0.007	0.004	0.004	0.001	-	-	3.223
90-100	0.679	1.356	0.872	0.477	0.280	0.194	0.117	0.080	0.045	0.029	0.025	0.016	0.010	0.013	0.002	0.004	0.002	4.201
100-110	1.024	2.651	1.882	0.929	0.535	0.344	0.274	0.227	0.169	0.155	0.143	0.141	0.095	0.056	0.032	0.023	0.010	8.691
110-120	1.820	5.365	4.745	3.311	2.414	1.601	1.225	0.976	0.987	0.844	0.606	0.265	0.114	0.033	0.008	0.001	-	24.317
120-130	3.483	9.500	9.094	5.927	3.703	2.535	1.639	0.842	0.355	0.073	0.004	0.001	-	-	-	-	-	37.157
130-140	2.603	5.661	2.577	0.920	0.343	0.077	0.014	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.196
140-150	0.398	0.413	0.236	0.048	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.103
150-160	0.016	0.095	0.053	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.166
160-170	0.010	0.065	0.020	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.095
170-180	0.002	0.027	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.037
180-190	0.001	0.023	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.029
190-200	0.004	0.026	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.032
200-210	0.001	0.021	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.024
210-220	0.001	0.028	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.032
220-230	0.001	0.016	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.019
Total	12.228	28.791	21.835	13.076	8.205	5.241	3.604	2.384	1.692	1.186	0.830	0.461	0.249	0.123	0.051	0.032	0.013	100
Accum	12.228	41.019	62.854	75.930	84.134	89.375	92.979	95.363	97.055	98.241	99.071	99.532	99.781	99.905	99.955	99.987	100	

Tabella 6-4 Tabella di frequenza in termini di altezza d'onda significativa (m) in funzione della direzione di provenienza (°N). Settore compreso tra 0°N e 50°N e tra 230°N e 360°N

	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	2.6-2.8	2.8-3.0	3.0-3.2	>3.2	Total
0-10	1.548	3.095	2.466	1.855	1.314	0.946	0.707	0.387	0.273	0.211	0.127	0.099	0.047	0.023	0.011	0.001	-	13.109
10-20	1.057	2.068	1.978	1.527	1.106	0.901	0.637	0.496	0.387	0.276	0.206	0.108	0.074	0.037	0.018	0.009	0.003	10.887
20-30	0.794	1.234	1.064	0.786	0.622	0.541	0.391	0.303	0.220	0.175	0.157	0.099	0.062	0.043	0.019	0.016	0.006	6.532
30-40	0.537	0.783	0.605	0.416	0.312	0.210	0.167	0.110	0.093	0.085	0.071	0.043	0.021	0.008	0.012	0.002	-	3.473
40-50	0.477	0.643	0.453	0.276	0.201	0.131	0.093	0.064	0.034	0.023	0.014	0.014	0.012	0.010	0.003	0.001	-	2.447
230-240	0.001	0.012	0.002	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.015
240-250	0.002	0.018	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.020
250-260	0.001	0.012	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.015
260-270	0.001	0.018	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.021
270-280	0.003	0.019	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.026
280-290	0.004	0.019	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.026
290-300	0.007	0.029	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.041
300-310	0.010	0.045	0.012	0.002	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.069
310-320	0.028	0.090	0.028	0.001	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.149
320-330	0.583	0.233	0.096	0.009	0.002	0.001	-	0.001	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	0.925
330-340	2.742	3.896	2.128	0.971	0.436	0.131	0.022	0.006	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	10.332
340-350	3.087	7.870	7.944	5.687	3.634	2.020	0.978	0.520	0.270	0.100	0.030	0.008	0.003	-	-	-	-	32.151
350-360	2.188	5.018	4.010	2.813	1.859	1.203	0.849	0.638	0.504	0.285	0.191	0.112	0.062	0.022	0.006	0.002	-	19.762
Total	13.067	25.100	20.803	14.342	9.488	6.086	3.843	2.523	1.783	1.154	0.795	0.483	0.281	0.142	0.069	0.031	0.009	100
Accum	13.067	38.168	58.971	73.313	82.801	88.887	92.730	95.253	97.036	98.190	98.985	99.468	99.749	99.891	99.960	99.991	100	

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	29 of 75

Vista la finalità di questo studio, ossia di studiare le correnti indotte dal moto ondoso e le eventuali modifiche che esse subiscono nell'interazione con i dissuasori, si è cercato di selezionare onde alte e poco frequenti (circa 1 giorno / anno in media), tali da determinare l'insorgenza di correnti litoranee anche a profondità superiori ai 13 m, dove cioè iniziano ad essere posizionate le strutture in studio. Dall'analisi delle tabelle sopra riportate sono stati individuati i seguenti due scenari, in termini di altezza d'onda significativa e direzione media di propagazione:

- **scenario 4:** altezza d'onda significativa pari a 2.5 m e direzione da Sud-Est (in questo caso il settore di provenienza è ristretto alle direzioni comprese tra 50 e 120°N). Questa condizione presenta una percentuale di superamento pari a circa 0.22%, corrispondente a quasi 1 giorno all'anno (Tabella 6-3);
- **scenario 5:** altezza d'onda significativa pari a 2.5 m e direzione da Nord (in questo caso il settore di provenienza è ristretto alle direzioni comprese tra 340 e 50°N). Questa condizione presenta una percentuale di superamento pari a circa 0.25%, corrispondente a quasi 1 giorno all'anno (Tabella 6-4).

7. MODELLO IDRODINAMICO AD ALTA RISOLUZIONE

Come descritto al paragrafo 5.4, il modello ad elevatissima risoluzione predisposto in questo studio volto a quantificare gli effetti sul regime di corrente locale indotti dalla presenza dei dissuasori è stato costruito sulla base dell'annidamento al modello idrodinamico 3D già sviluppato nell'ambito dello "Studio modellistico dei processi di trasporto e deposizione dei sedimenti nelle fasi di dragaggio e successivo riempimento". Quest'ultimo a sua volta è annidato al modello operativo a scala regionale AFS-Adriatic Forecasting System.

Il modello numerico tridimensionale predisposto per questo studio ed utilizzato per il confronto tra la configurazione in assenza e presenza dei dissuasori è ancora il MIKE 3 di DHI, che si basa su un approccio a maglia flessibile (in Figura 7-1 viene presentato un esempio) ed è stato sviluppato per applicazioni in mare aperto, sotto costa ed in estuari.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 30 of 75

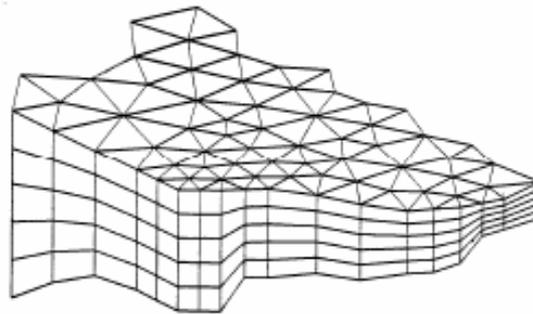
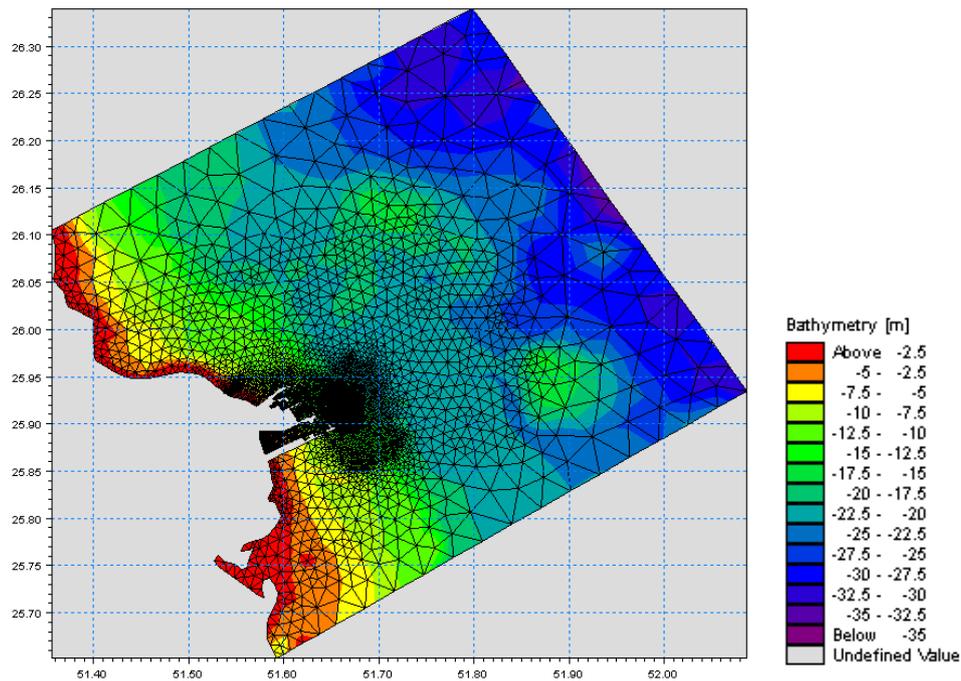


Figura 7-1 Esempi di griglia di calcolo di MIKE 3 FM

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, trasporto di temperatura, salinità e l'equazione di stato. La densità non dipende dalla pressione, ma esclusivamente da temperatura e salinità dell'acqua.

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.

Nella dimensione orizzontale 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 livelli σ (strati di spessore variabile in funzione della profondità locale), che un approccio basato su livelli orizzontali "z" che, infine, un approccio combinato sigma-zeta.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	31 of 75

All'interno del modello idrodinamico il calcolo della turbolenza [16] si basa sul concetto di *eddy-viscosity*, che è descritta separatamente per il trasporto orizzontale e verticale.

La turbolenza può essere modellata mediante diversi metodi: viscosità costante, viscosità verticale parabolica e modello standard $k-\varepsilon$ (Rodi, 1980) [17]. Nel presente studio la turbolenza è stata descritta mediante il modello standard $k-\varepsilon$, in cui i parametri di turbolenza k ed ε sono derivati da:

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

dove k è l'energia cinetica turbolenta per unità di massa (TKE), ε è la dissipazione di TKE e c_μ è una costante empirica.

Una descrizione completa del modulo idrodinamico 3D è riportata in Allegato A.

7.1 BATIMETRIA, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE

Come introdotto nel paragrafo 5.2 relativo ai dataset batimetrici disponibili, la digitalizzazione della batimetria e la relativa importazione in MIKE è avvenuta tramite l'unione dei tre dataset descritti. In particolare, laddove ci fosse sovrapposizione di dati tra più fonti, si è data priorità al dato di maggior dettaglio, quindi nell'ordine:

- Priorità 1: dataset ad altissima risoluzione (nome dataset: ST13573_DTM_TAP_kp104.24_kp100.27_20140108);
- Priorità 2: dataset di dettaglio (nome dataset: Contours_Alt4_1m_20160106);
- Priorità 3: dataset CM-93.

La scelta delle dimensioni e della forma del dominio è stata frutto di attenta analisi dei dati batimetrici e correntometrici disponibili unitamente. In particolare, si è considerato un dominio tale da minimizzare gli effetti di contorno (*boundary*) nell'area di interesse per il presente studio, e al contempo tale da garantire la sostenibilità in termini di risorsa di calcolo, pur garantendo una risoluzione massima spaziale di circa 13 m e verticale di circa 1 m nella regione interessata dal posizionamento delle strutture piramidali.

In Figura 7-2 viene mostrata la batimetria risultante dalla digitalizzazione dei dataset batimetrici sul dominio di calcolo, che presenta complessivamente un'estensione di circa 6700 m lungo costa e di circa 3300 m verso il largo, fino ad una profondità di circa 85 m.

La Figura 7-3 mostra la griglia di calcolo del modello, mentre la Figura 7-4 offre uno zoom di maggiore dettaglio sulla zona interessata dal posizionamento dei dissuasori.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	32 of 75

Come si evince dalle immagini, la maglia utilizzata lungo l'orizzontale è mista, a maglie triangolari per tutto il dominio, tranne che per un rettangolo che comprende l'area in cui verranno posizionati i dissuasori, per il quale è stata prevista una maglia quadrata di lato circa 13 m. La risoluzione via via diminuisce attraverso tre zone a risoluzione variabile tra i 45 m ed i 130 m (nella zona di mare aperto dove avviene l'annidamento con il precedente modello MIKE 3 HD).

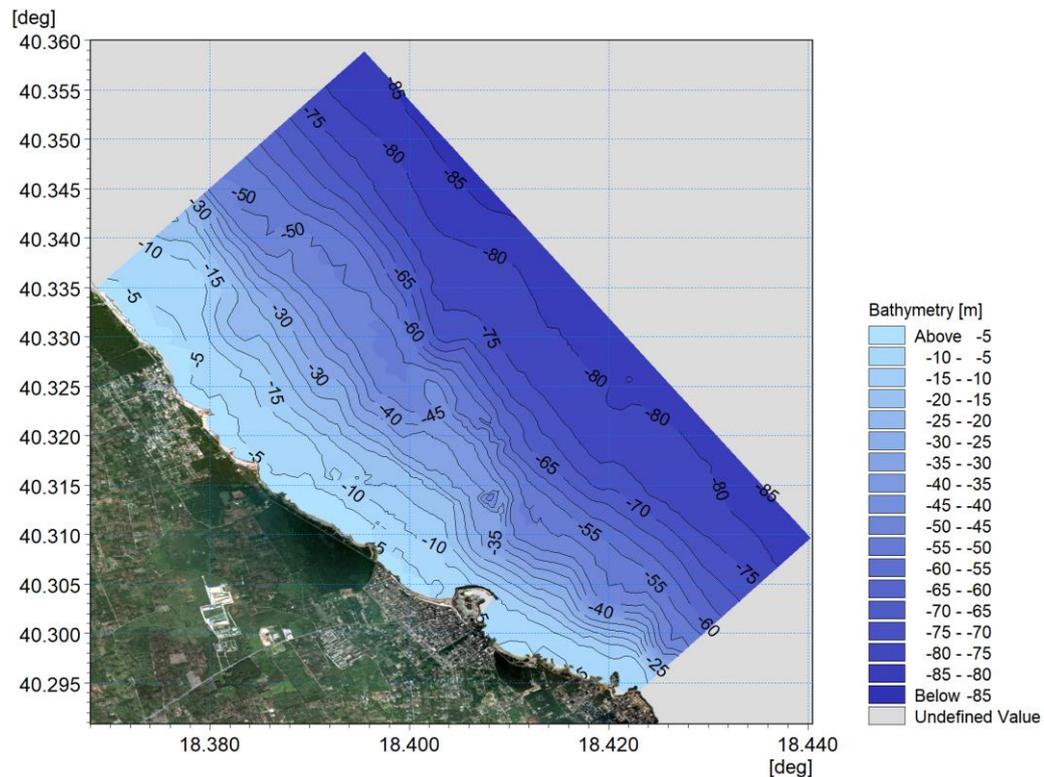


Figura 7-2 Batimetria del dominio di calcolo del modello MIKE 3 HD, con individuazione delle isolinee di profondità

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 33 of 75

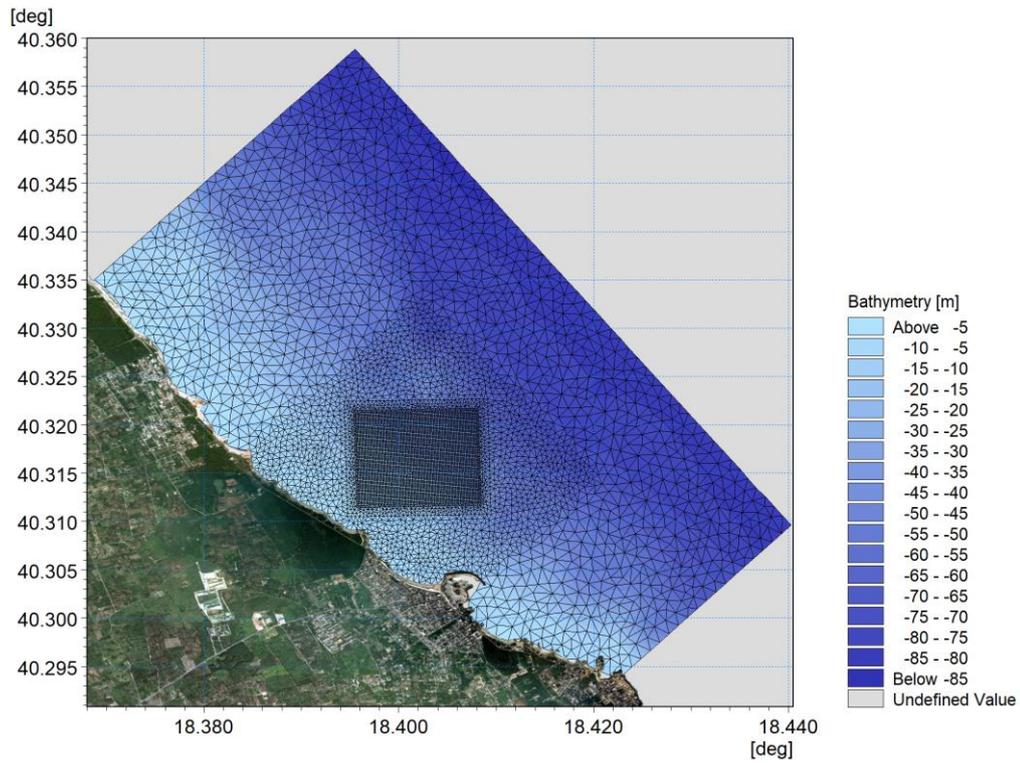


Figura 7-3 Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo

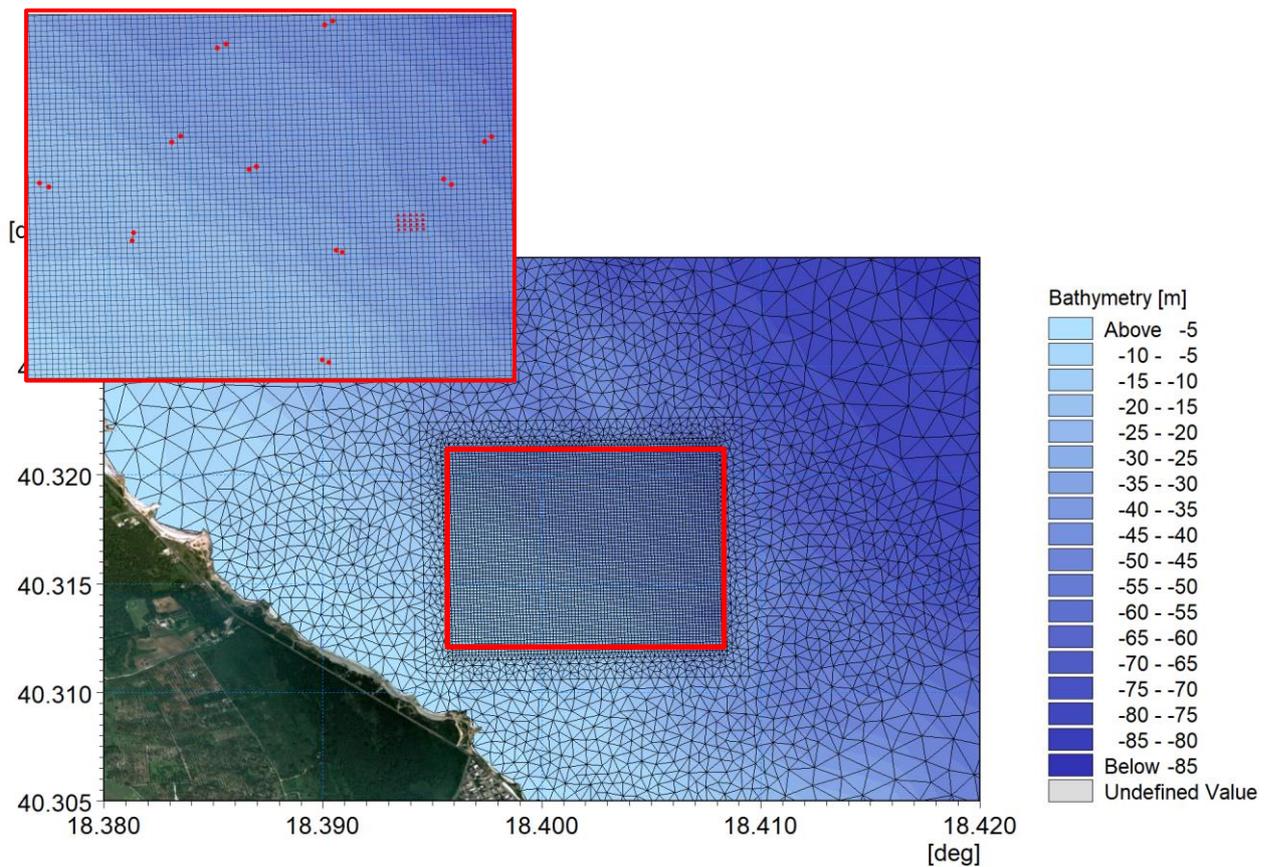


Figura 7-4 Dettaglio della discretizzazione spaziale del dominio di calcolo

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	34 of 75

Per quanto riguarda la dimensione verticale, il modello è stato discretizzato su 21 livelli di tipo ibrido σ -z. I primi 18 seguono l'andamento del terreno (σ o *terrain-follow*) fino alla batimetrica di 45 m, comprendendo così l'intera fascia in cui verranno posizionati i dissuasori. Per profondità maggiori le coordinate verticali diventano di tipo z non equi spaziate, con spessori maggiori.

In Figura 7-5 è presentata la componente σ della griglia verticale del modello.

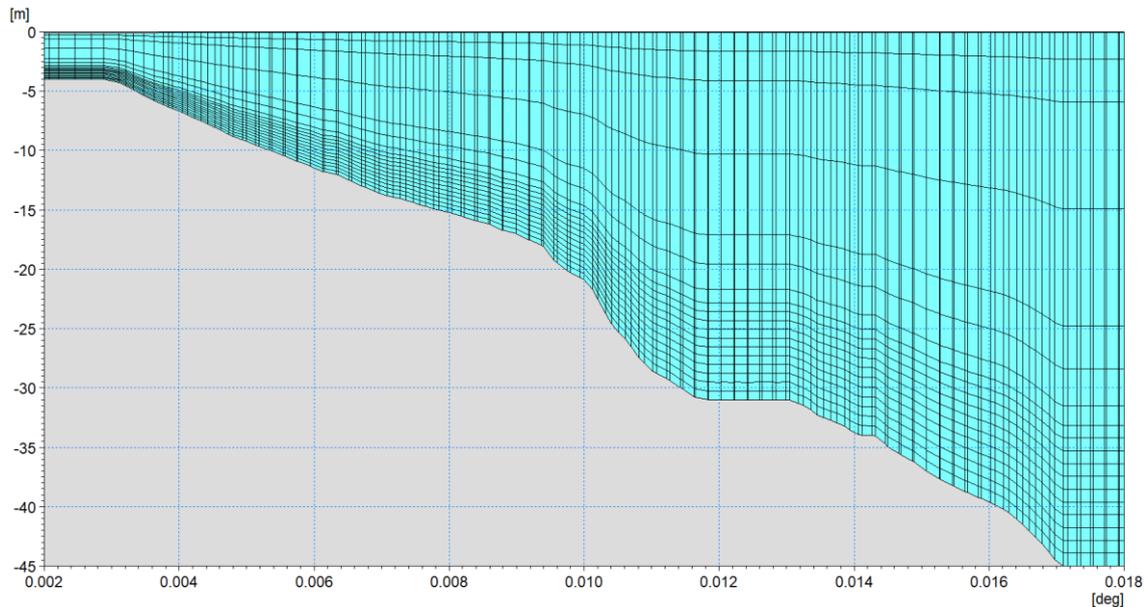


Figura 7-5 Componente σ della griglia verticale del modello numerico

Si evidenzia che i dissuasori sono stati inseriti nel modello idrodinamico come “strutture” esterne alla batimetria, ossia come elementi, anche di geometria complessa come nel caso specifico, aventi dimensione orizzontale inferiore alla risoluzione della cella di calcolo. Pertanto, l'effetto di queste strutture sull'idrodinamica è modellato a livello di sotto-griglia, ossia il modello considera la presenza di queste strutture imponendo una legge di resistenza al flusso proporzionale alla velocità di corrente. Questo approccio ha permesso di avere una discretizzazione della griglia orizzontale maggiore rispetto alle dimensioni delle strutture stesse.

7.2 ANNIDAMENTO IDRODINAMICO: CONDIZIONI INIZIALI, DI CONTORNO APERTO E CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CIRCOLAZIONE

Per simulare i tre scenari descritti al capitolo 6 sono stati costruiti tre modelli idrodinamici ad alta risoluzione, impostati tutti con gli stessi parametri di base, ma con diverse forzanti e condizioni iniziali e al contorno.

Come già detto, i modelli sono stati inizializzati ciascuno 48 ore prima rispetto al momento di inizio del periodo di interesse imponendo, su tutto il dominio di calcolo, i campi di:

- temperatura;
- salinità;
- componenti zonale e meridionale della corrente;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	35 of 75

- elevazione della superficie libera, comprensiva della componente mareale;

Questi campi sono stati estratti nei tre momenti di inizializzazione dei modelli dal modello di dettaglio MIKE 3 HD, già sviluppato in precedenza da DHI per la stessa area, come descritto al paragrafo 5.4.

Anche le condizioni al contorno provengono dal modello MIKE 3 HD dello studio precedente e sono imposte ai modelli ad alta risoluzione su base oraria per quanto riguarda le medesime variabili. La condizione al contorno aperto sulle velocità barotropiche e sui livelli sono quelle proposte da Flather nel 1976 [14].

Per quanto riguarda la componente atmosferica, i modelli vengono forzati dalle analisi operative del sistema *Climate Forecast System* (CFS) [15], descritto al paragrafo 5.5.

In Tabella 7-1 vengono riportate le caratteristiche principali dell'implementazione di MIKE 3 HD FM utilizzato per il presente studio.

Tabella 7-1 Principali caratteristiche dei modelli di circolazione ad alta risoluzione

Caratteristiche del modello MIKE 3 HD FM	
Modello Numerico	<i>MIKE 3 HD FM</i>
Risoluzione orizzontale (min/max)	<i>130m / 13m</i>
Tipologia della griglia di calcolo	<i>Volumi finite/maglia non strutturata</i>
Risoluzione verticale	<i>21 livelli ibridi così distribuiti:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>18 livelli σ (fino a 45m)</i> • <i>3 livelli z (non equi-spaziati, per profondità maggiori di 45m)</i>
Periodo di simulazione	<i>05.04.2013 ore 06:30 - 08.04.2013 ore 06:30</i> <i>26.04.2013 ore 18:30 - 29.04.2013 ore 18:30</i> <i>22.03.2013 ore 12:30 - 25.03.2013 ore 12:30</i>
Frequenza dei risultati	<i>Oraria (istantanea)</i>
Forzante atmosferico	<i>CFS (Climate Forecast System):</i> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Risoluzione orizzontale: 0.2°</i> – <i>Frequenza: oraria</i> – <i>Dati disponibili: U, V, MSLP, T2m, Precipitazione, Umidità relativa</i>
Condizioni iniziali	<i>Campi istantanei dal modello di dettaglio MIKE 3 HD (U, V, T, S, SSH)</i>
Dati ai contorni aperti	<i>Realistici dal modello di dettaglio MIKE 3 HD</i>
Condizioni al contorno aperto	<i>Flather [14]</i>
Fiumi	<i>No</i>
Flussi all'interfaccia aria-mare	<i>Momento: sì</i> <i>Calore: sì</i> <i>Massa: sì</i>
Assimilazione dati	<i>No</i>
Marea	<i>Sì</i>

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	36 of 75

7.3 RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO DI CIRCOLAZIONE

I risultati ottenuti dal modello idrodinamico sono riportati nel seguito come:

- mappe di intensità e direzione delle correnti al fondo. Queste mappe sono state rappresentate per l'intero dominio di calcolo e per un dettaglio del dominio in corrispondenza dell'area interessata dall'installazione dei dissuasori, al fine di rendere meglio visibile l'effetto delle strutture sull'idrodinamica locale. I campi di corrente sono rappresentati per il solo strato di fondo, altrove l'influenza dei dissuasori è generalmente trascurabile;
- profili verticali delle velocità di corrente, estratti lungo il flusso principale di corrente. L'analisi è stata condotta in riferimento a 3 profili: uno in prossimità dell'oasi di ripopolamento e due in corrispondenza di due stazioni di installazione (quella localizzata alle profondità più basse – A1-2 – e quella alle profondità più elevate – I1-2). La lunghezza di questi profili è stata scelta in modo da comprendere l'intera area di influenza. Le tracce delle sezioni lungo le quali sono state estratti profili verticali sono rappresentati in Figura 7-6.

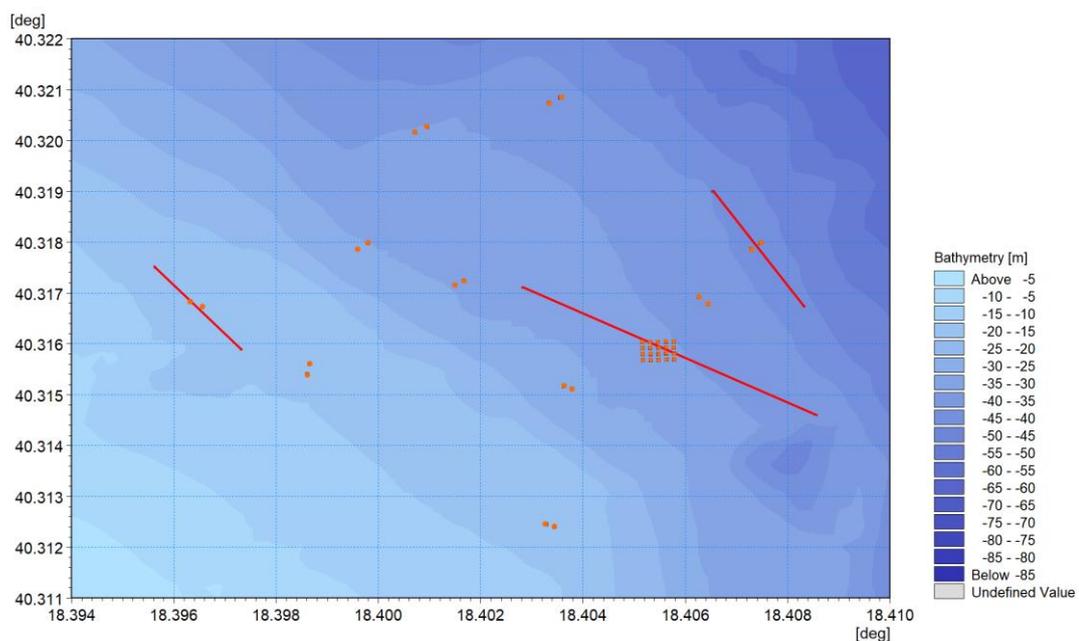


Figura 7-6 Individuazione (linee rosse) delle tracce delle sezioni lungo le quali sono state estratti profili verticali. I punti arancioni indicano le posizioni dei dissuasori

- mappe delle tensioni tangenziali esercitate dalla corrente sul fondo. I valori delle tensioni al fondo sono direttamente correlabili ai tassi sedimentari, come spiegato nel seguito.

Si osserva che tutte le immagini sopra descritte sono state rappresentate sia in presenza che in assenza delle strutture. Il loro confronto ha permesso infatti di valutare l'influenza dei dissuasori sull'idrodinamica locale, obiettivo del presente studio.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	37 of 75

Si evidenzia che nella rappresentazione delle varie grandezze non sono stati mantenuti gli stessi intervalli di valori (scala cromatica) per i diversi scenari; questa assunzione è stata adottata con l'obiettivo di rendere il più evidente possibile l'effetto dei dissuasori.

In generale le immagini mostrano che i campi idrodinamici risultano pressoché identici sia in presenza sia in assenza dei dissuasori: anche sullo strato di fondo, dove l'interferenza con le strutture è massima, le differenze sull'idrodinamica generale sono assai modeste, tanto da non essere quasi visibili nella rappresentazione dell'intero dominio di calcolo (Figura 7-7 e Figura 7-8 per lo scenario 1, Figura 7-11 e Figura 7-12 per lo scenario 2, Figura 7-15 e Figura 7-16 per lo scenario 3). Le condizioni di corrente che si verificano nel dominio ben rappresentano gli scenari selezionati, presentati nel capitolo 6.

Per poter quantificare l'influenza delle piramidi sulla corrente è necessario analizzare il campo idrodinamico in una ristretta area in prossimità dei singoli gruppi di dissuasori. In generale, per tutti e tre gli scenari, si verifica una diminuzione delle velocità al fondo in corrispondenza delle stazioni di installazione di circa il 10%, e per un'estensione limitata, pari a circa 100-150 m, che si estende nella direzione del flusso (quindi verso Sud-Est negli scenari 1 e 2 e verso Nord-Ovest nello scenario 3). In corrispondenza dell'oasi di ripopolamento, caratterizzata da un numero elevato di piramidi, le velocità localmente diminuiscono maggiormente, per un massimo di circa il 40% rispetto allo stato attuale, e l'area di influenza è più estesa, pari a circa 200-250 m. Se si analizzano i profili verticali, si osserva che l'influenza è massima in corrispondenza dell'oasi (Figura 7-19 e Figura 7-20 per lo scenario 1, Figura 7-25 e Figura 7-26 per lo scenario 2, Figura 7-31 e Figura 7-32 per lo scenario 3), dove le velocità di corrente si ripristinano uguali a quelle della configurazione attuale ad una distanza dal fondo di circa 8 m. In corrispondenza delle stazioni di installazione, sulle alte profondità (Figura 7-21 e Figura 7-22 per lo scenario 1, Figura 7-27e Figura 7-28 per lo scenario 2, Figura 7-33 e Figura 7-34 per lo scenario 3), le velocità cambiano solo nello strato interessato dalle strutture, ossia fino a circa 4-5 m dal fondo, mentre sulle profondità più basse (Figura 7-23 e Figura 7-24 per lo scenario 1, Figura 7-29 e Figura 7-30 per lo scenario 2, Figura 7-35 e Figura 7-36 per lo scenario 1) lo strato influenzato dalla presenza delle strutture è ampio circa 6 m.

Si evidenzia che nelle immagini a seguire i dissuasori sono stati rappresentati nelle mappe che mostrano i campi idrodinamici sia in assenza (cerchietti neri) sia in presenza (pallini neri) delle strutture al solo scopo di rendere più agevole il confronto dei risultati ottenuti nelle due configurazioni.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	38 of 75

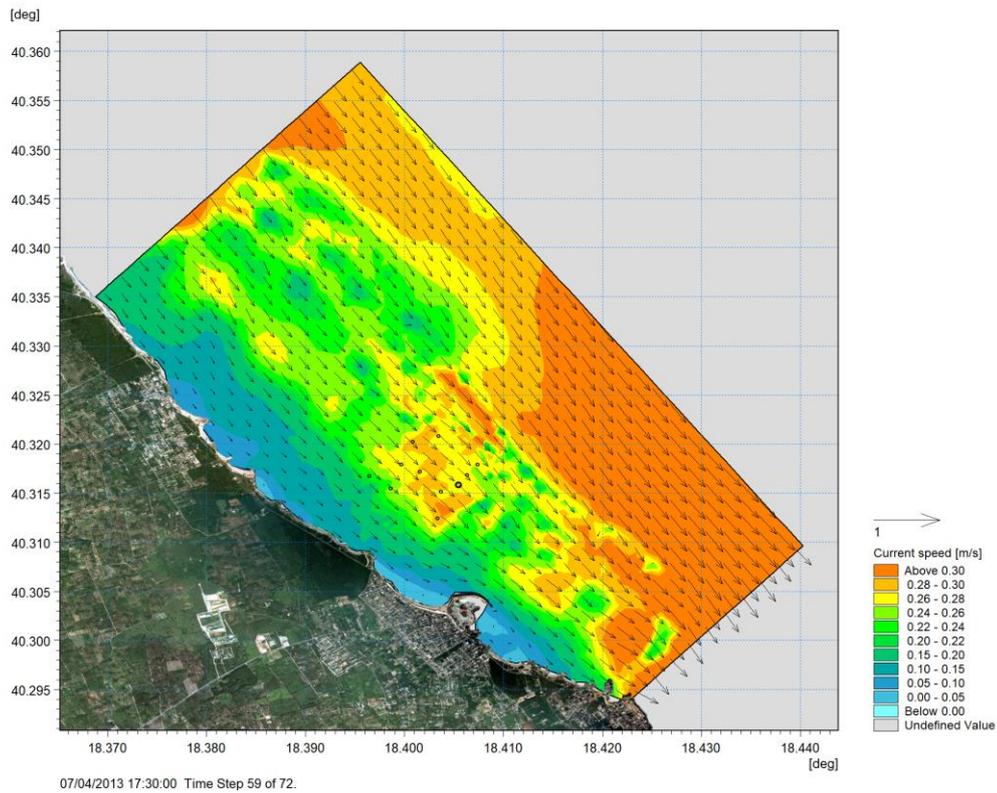


Figura 7-7 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in assenza dei dissuasori

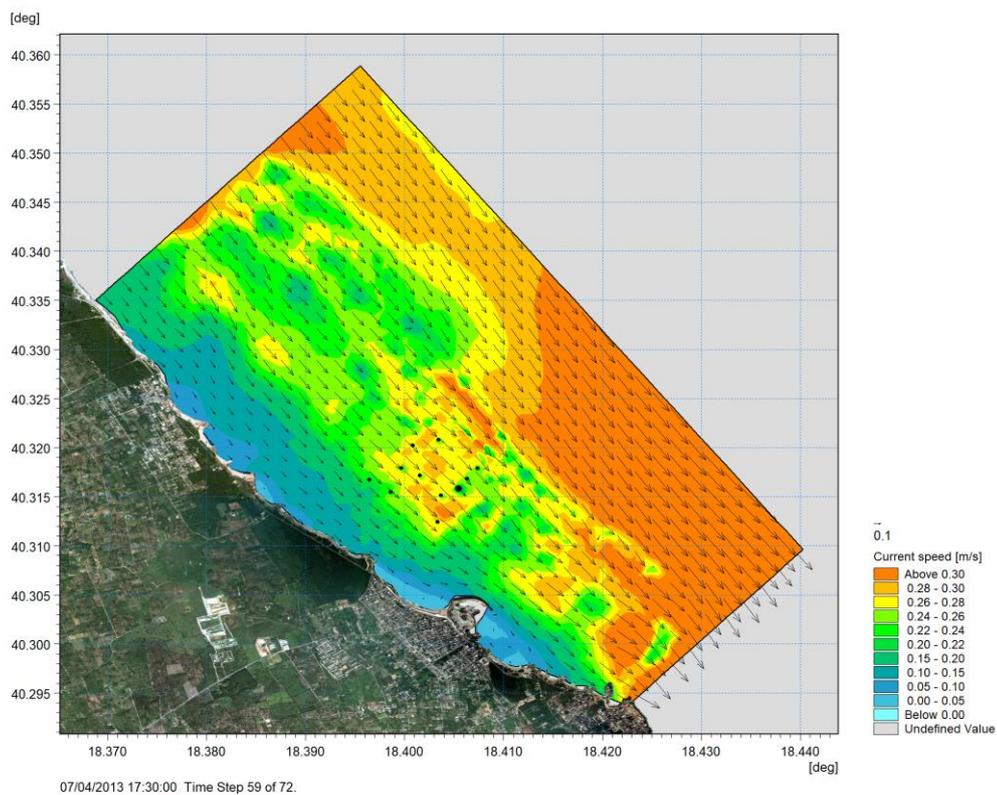


Figura 7-8 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	39 of 75

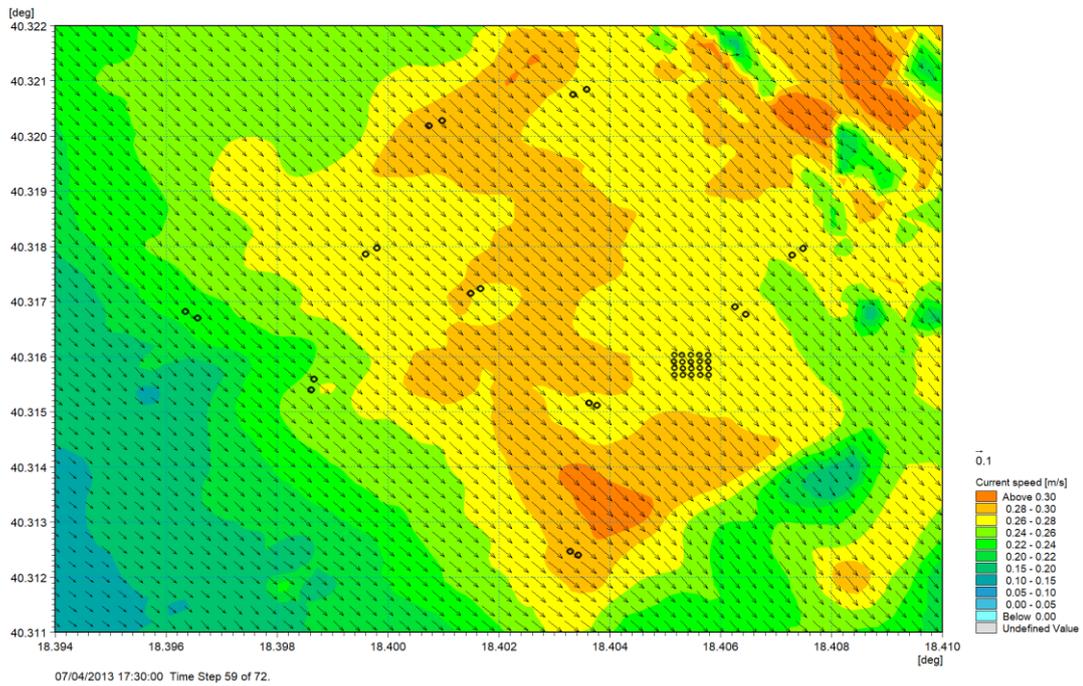


Figura 7-9 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in assenza dei dissuasori

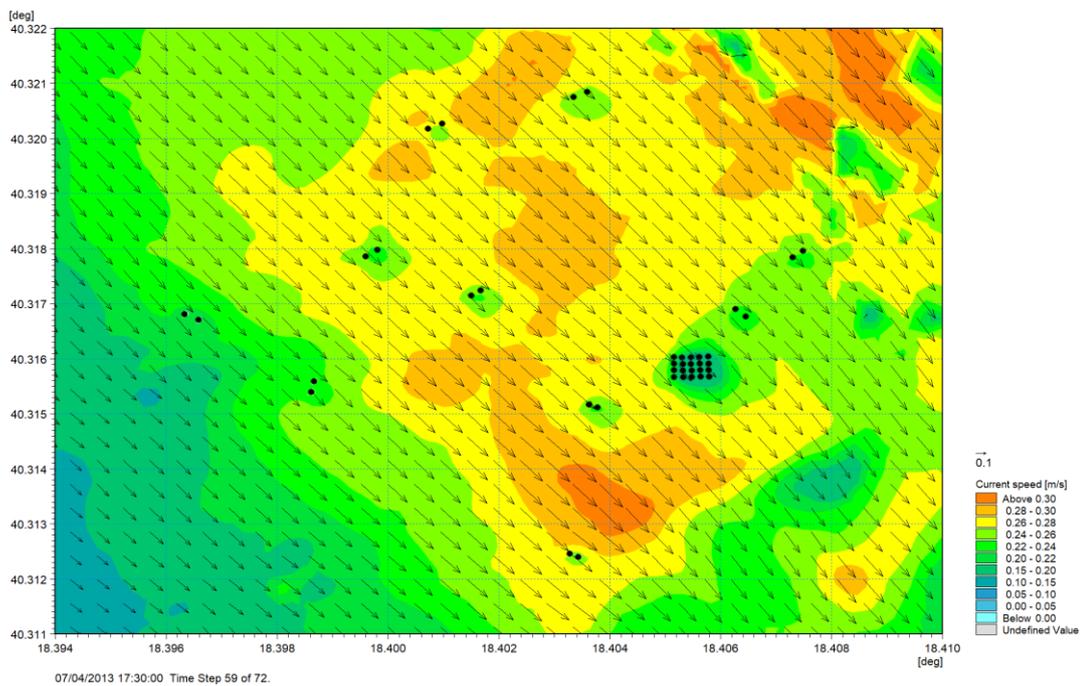


Figura 7-10 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	40 of 75

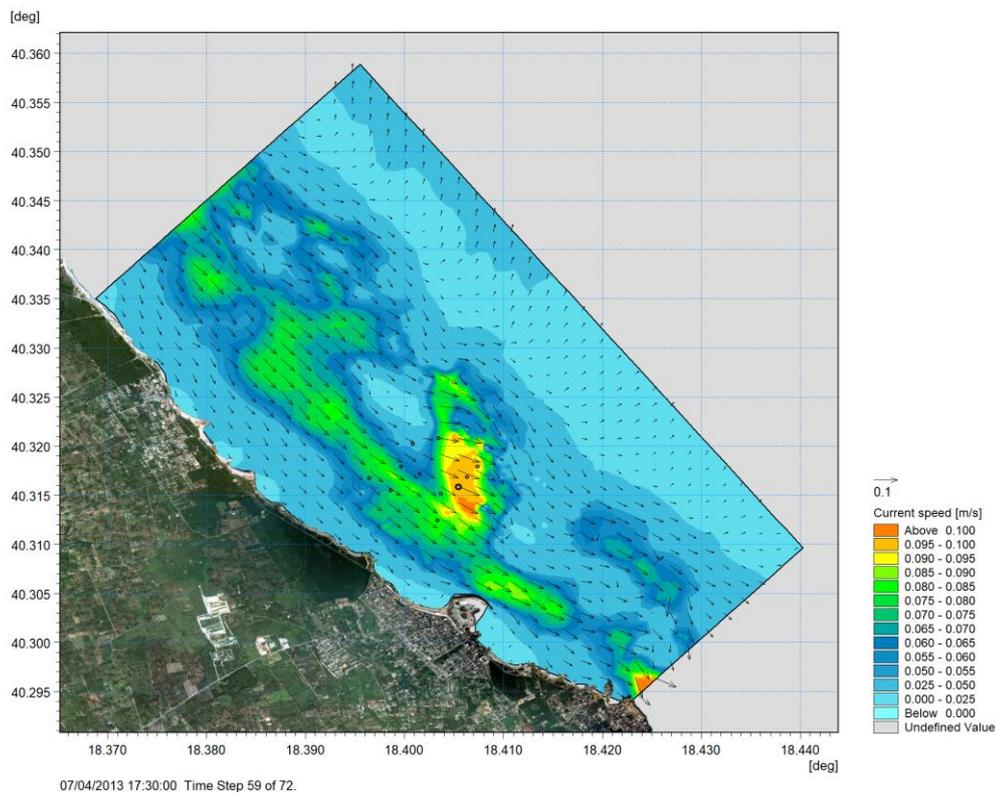


Figura 7-11 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in assenza dei dissuasori

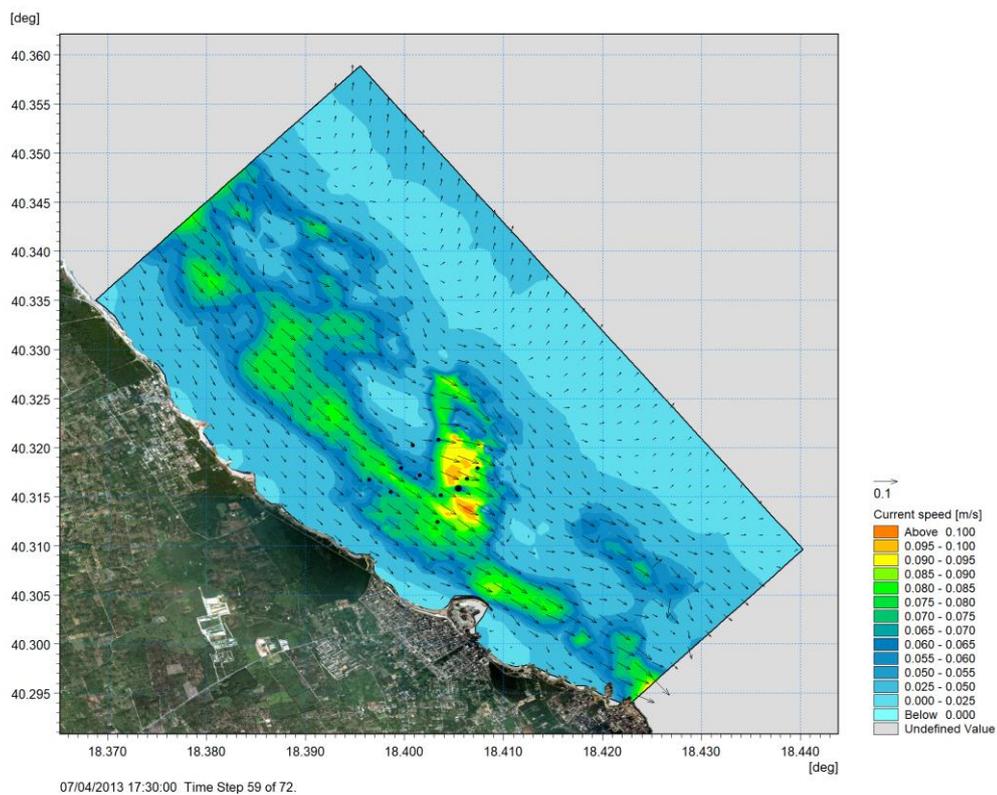


Figura 7-12 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 41 of 75

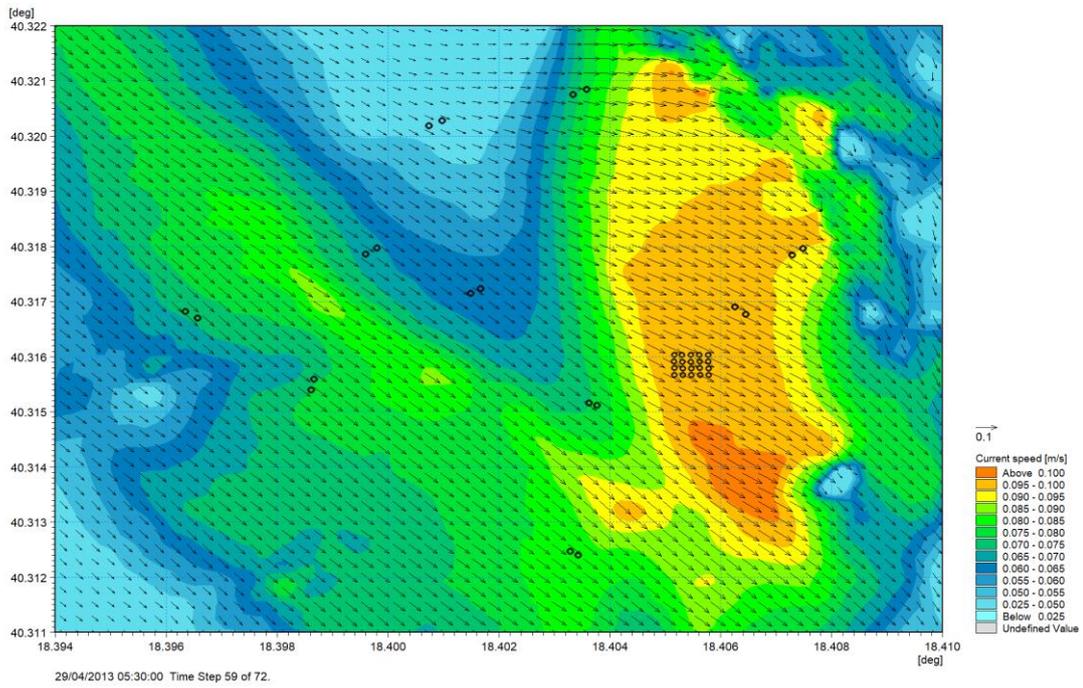


Figura 7-13 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in assenza dei dissuasori

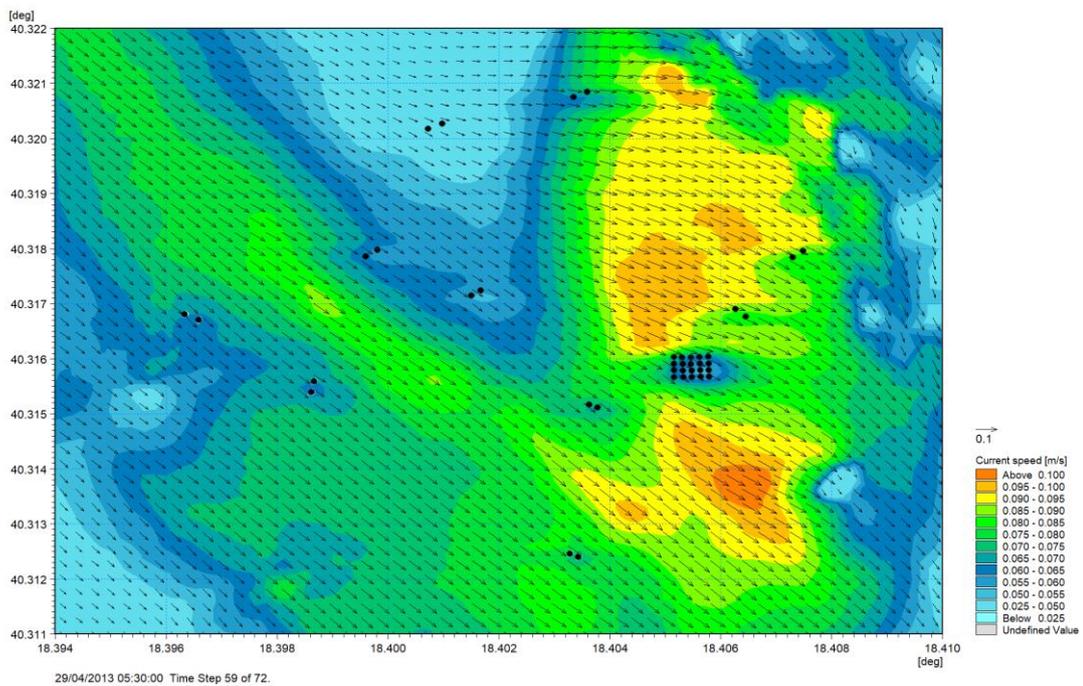


Figura 7-14 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	42 of 75

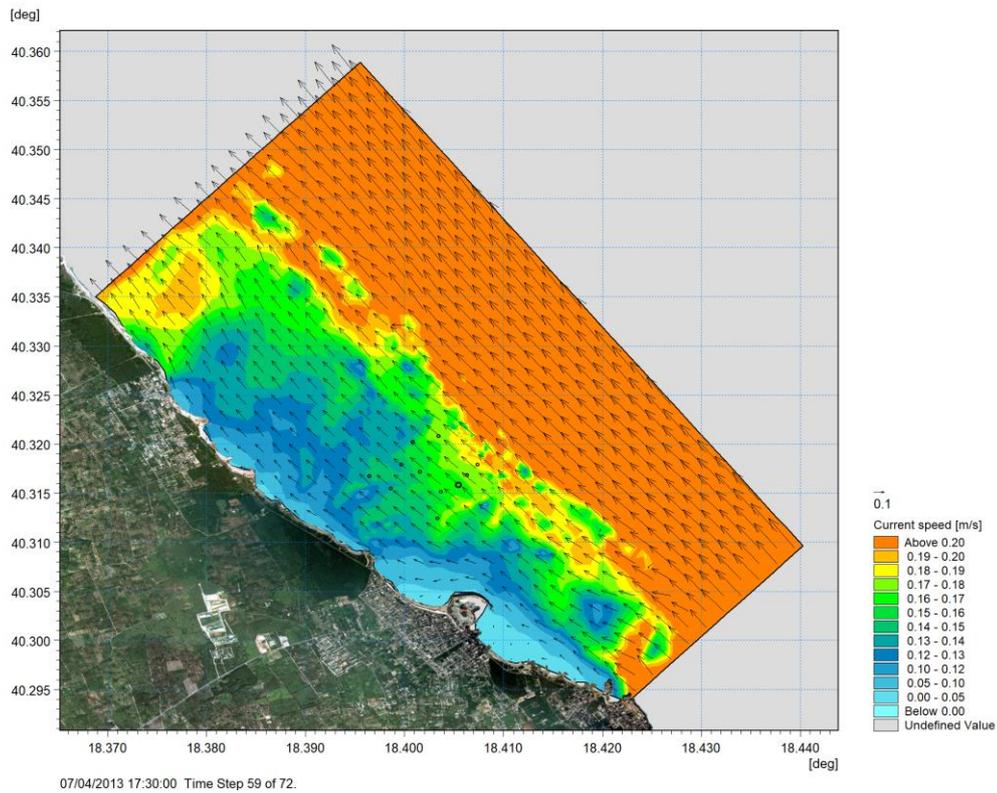


Figura 7-15 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in assenza dei dissuasori

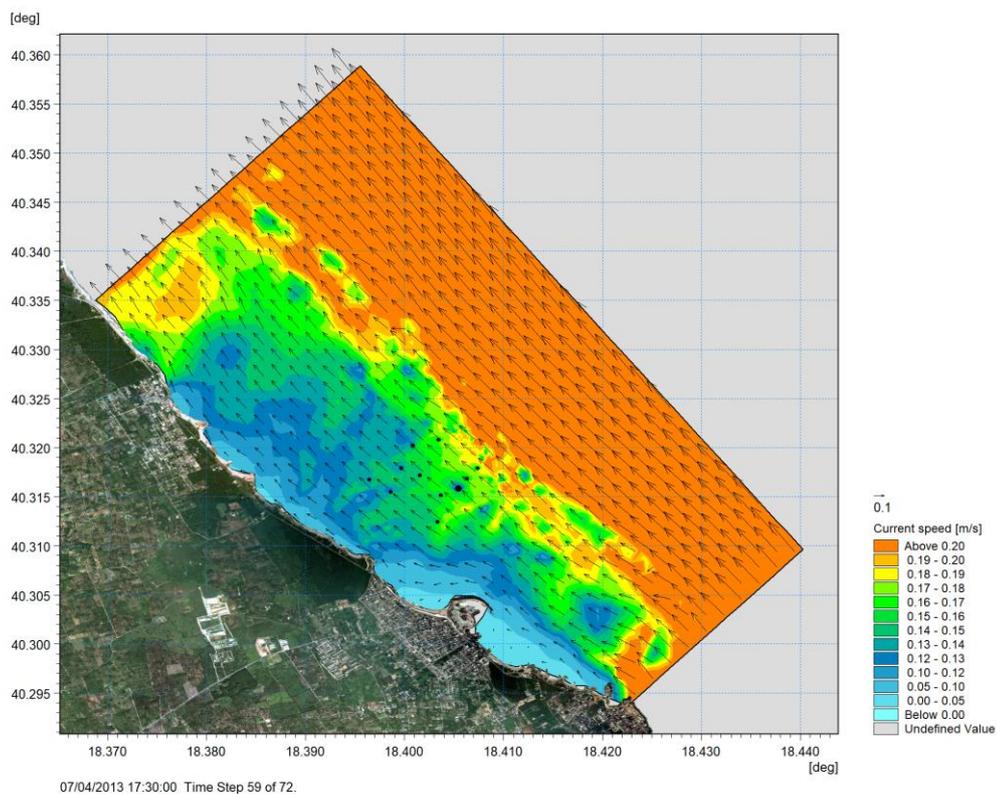


Figura 7-16 Campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 43 of 75

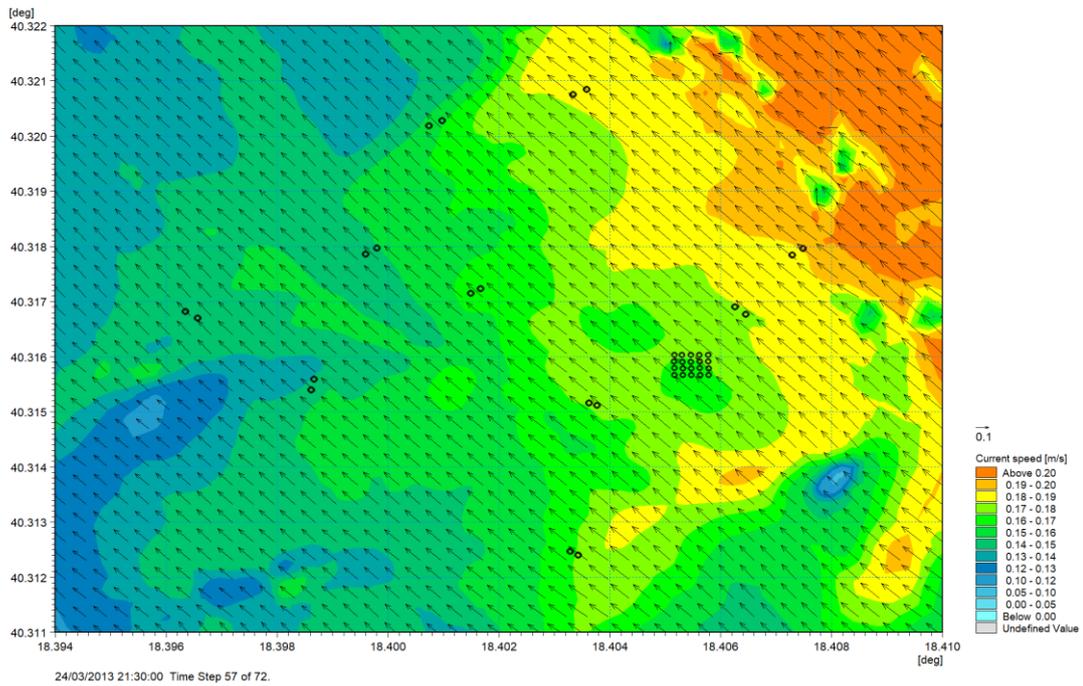


Figura 7-17 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in assenza dei dissuasori

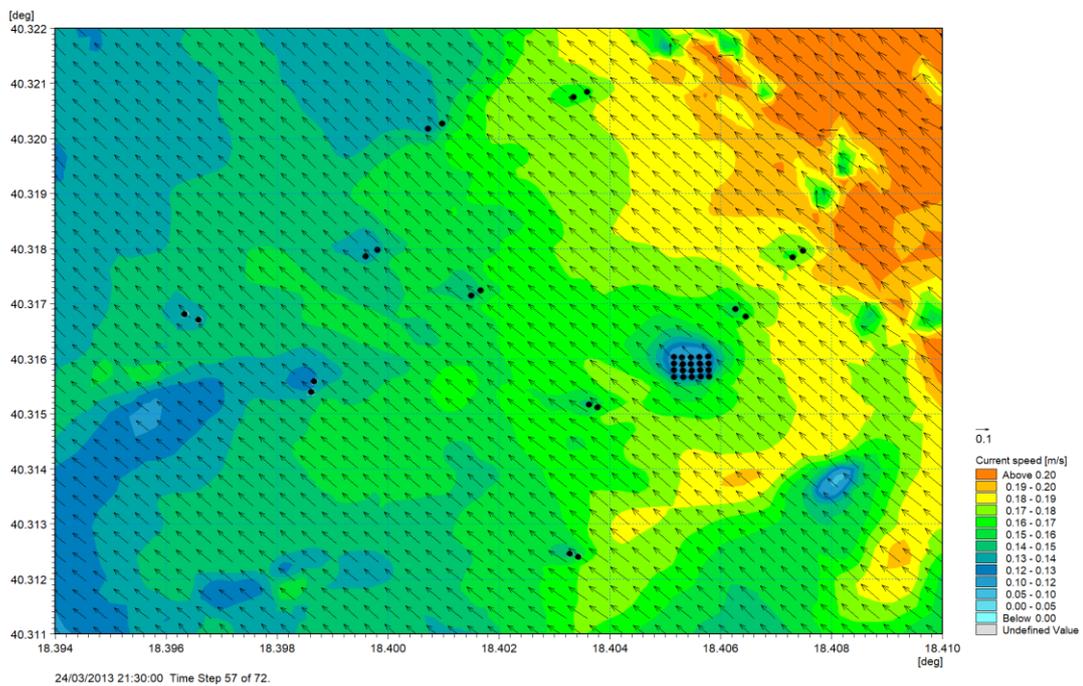


Figura 7-18 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 44 of 75

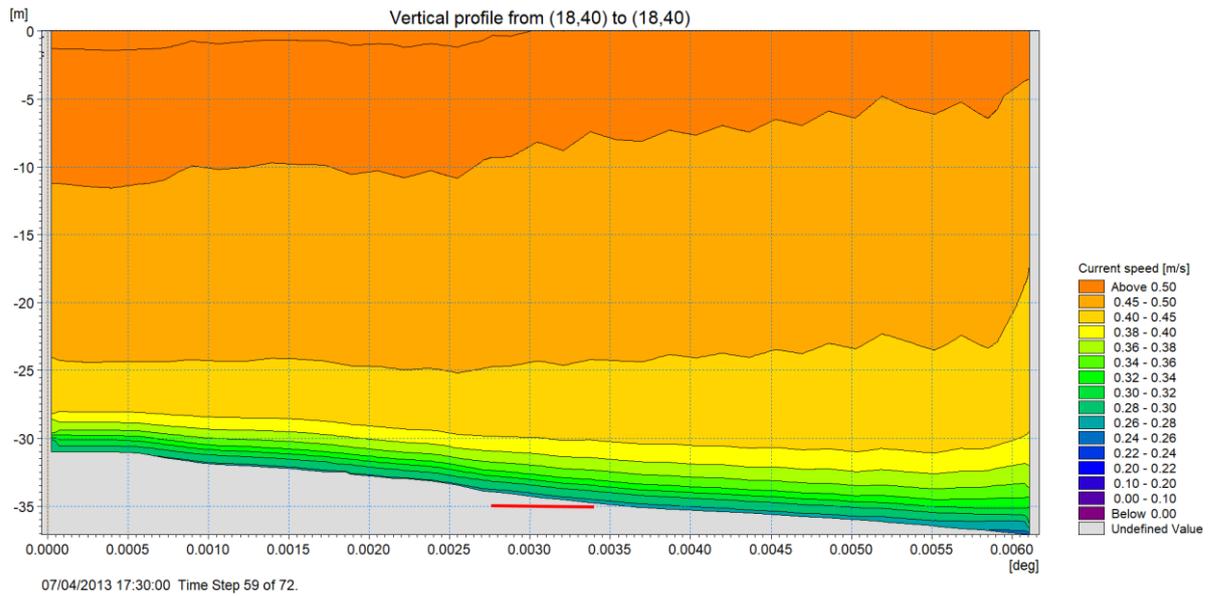


Figura 7-19 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

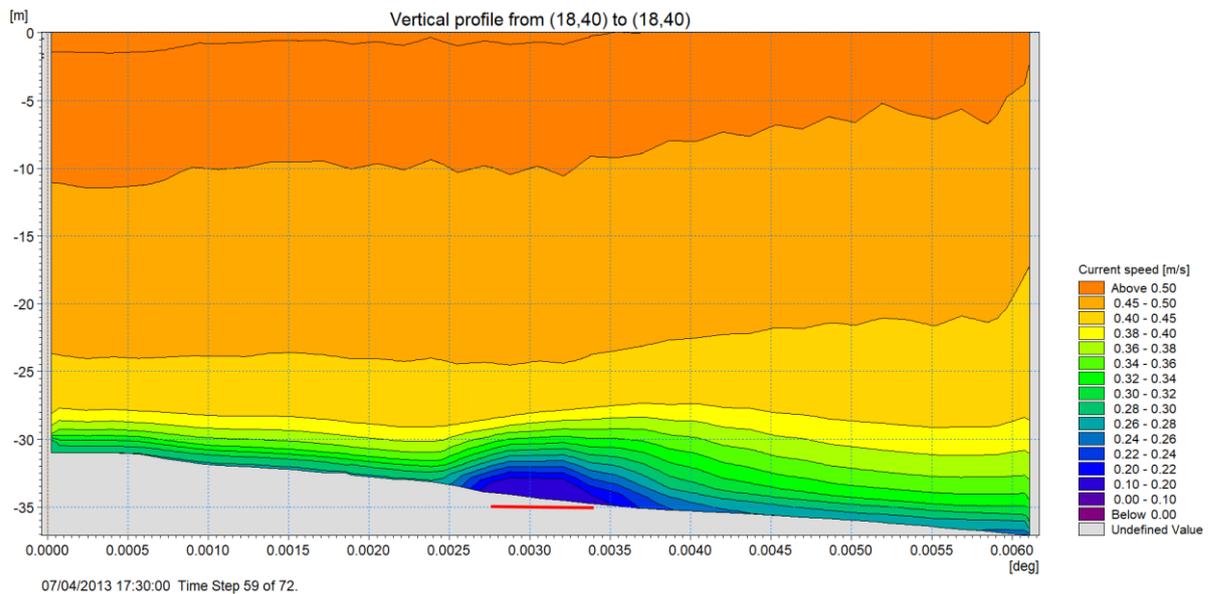


Figura 7-20 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 45 of 75

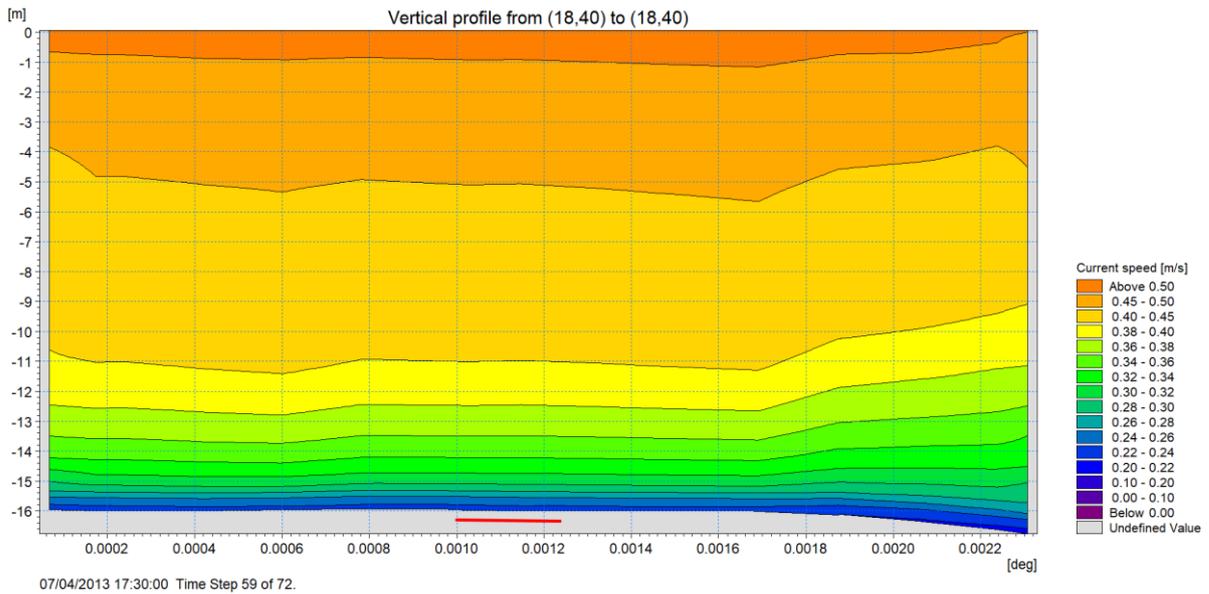


Figura 7-21 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-A2. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

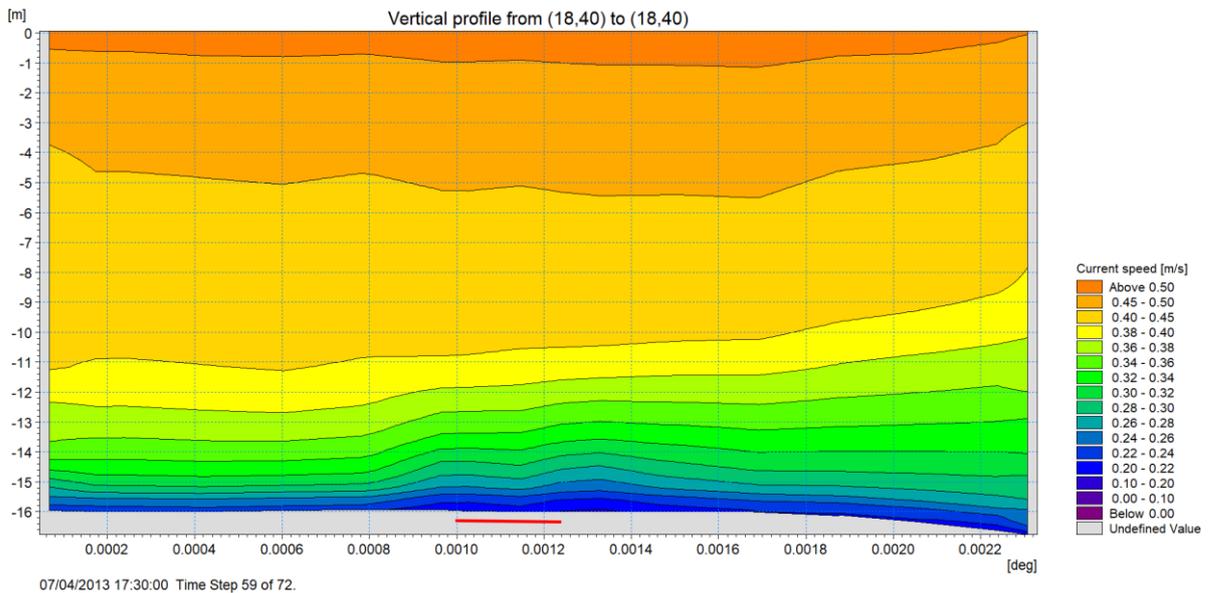


Figura 7-22 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

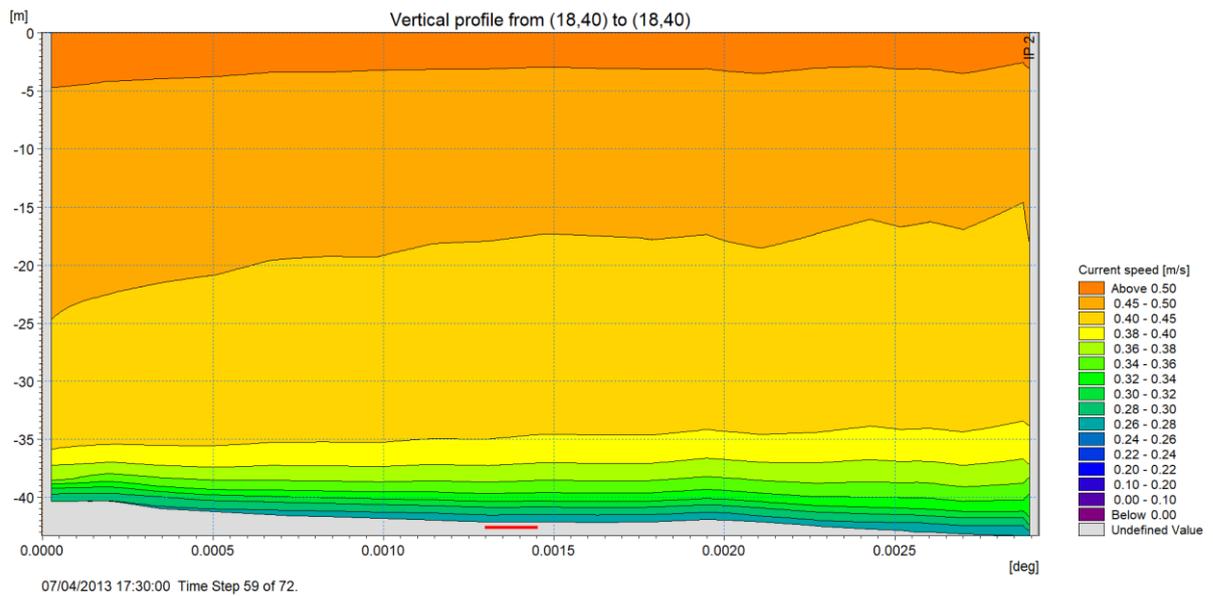


Figura 7-23 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-2. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

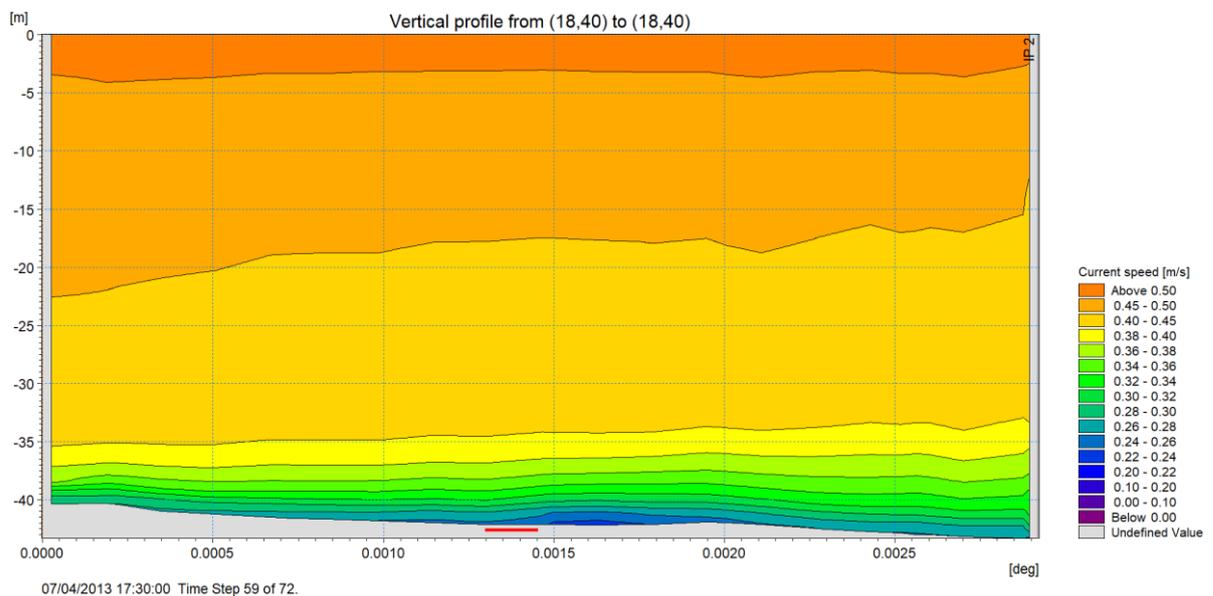


Figura 7-24 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-I2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 47 of 75

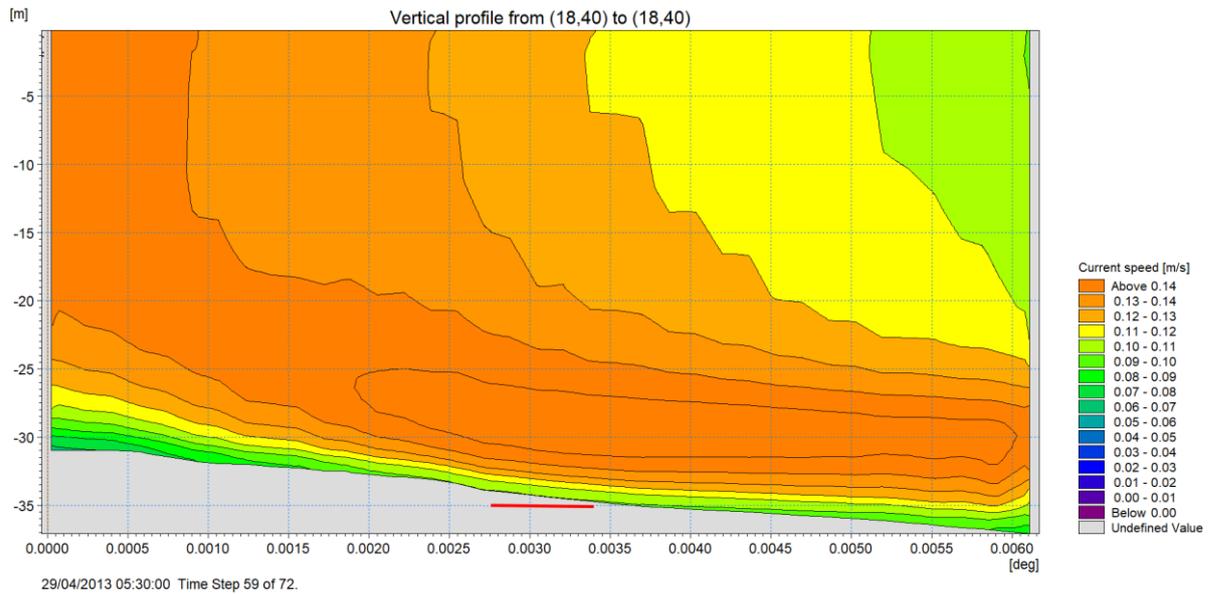


Figura 7-25 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

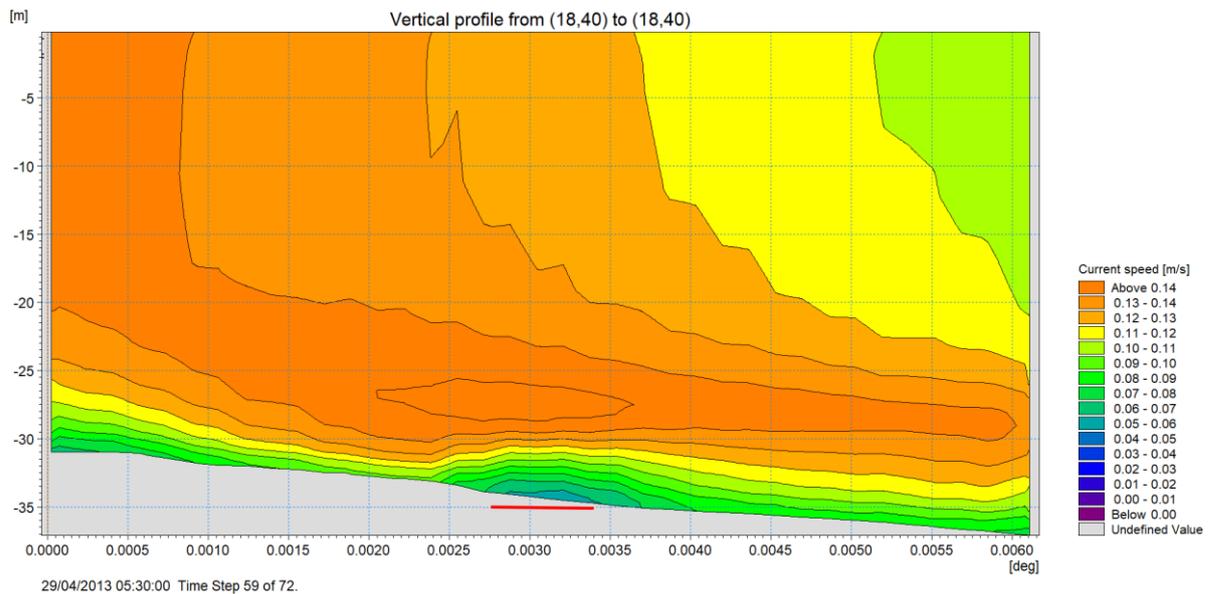


Figura 7-26 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

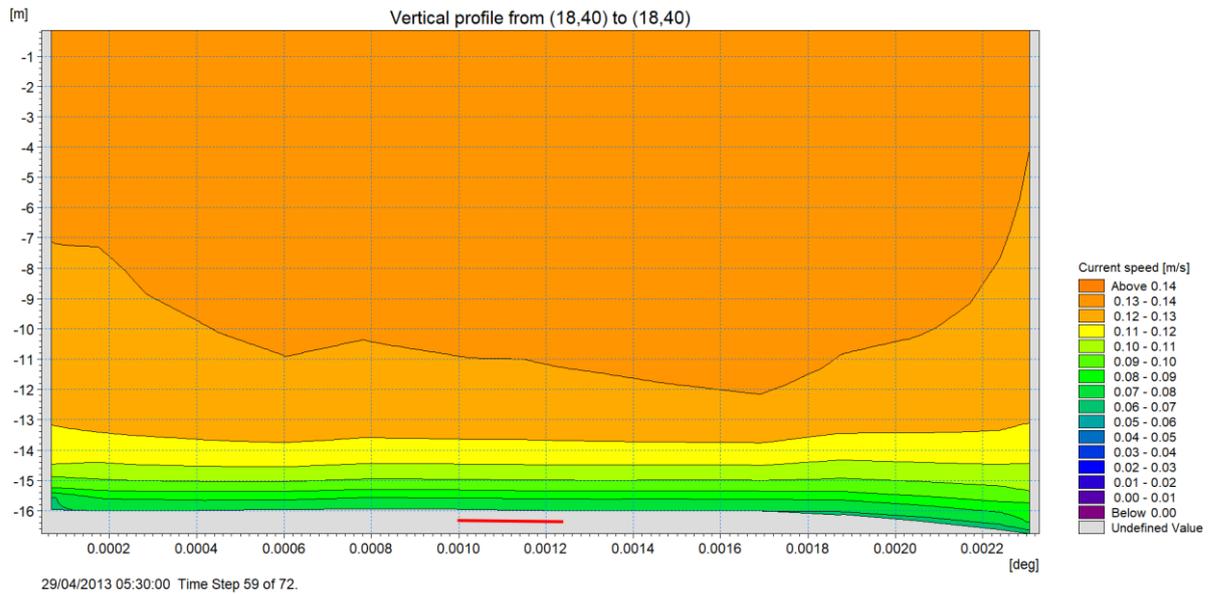


Figura 7-27 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-A2. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

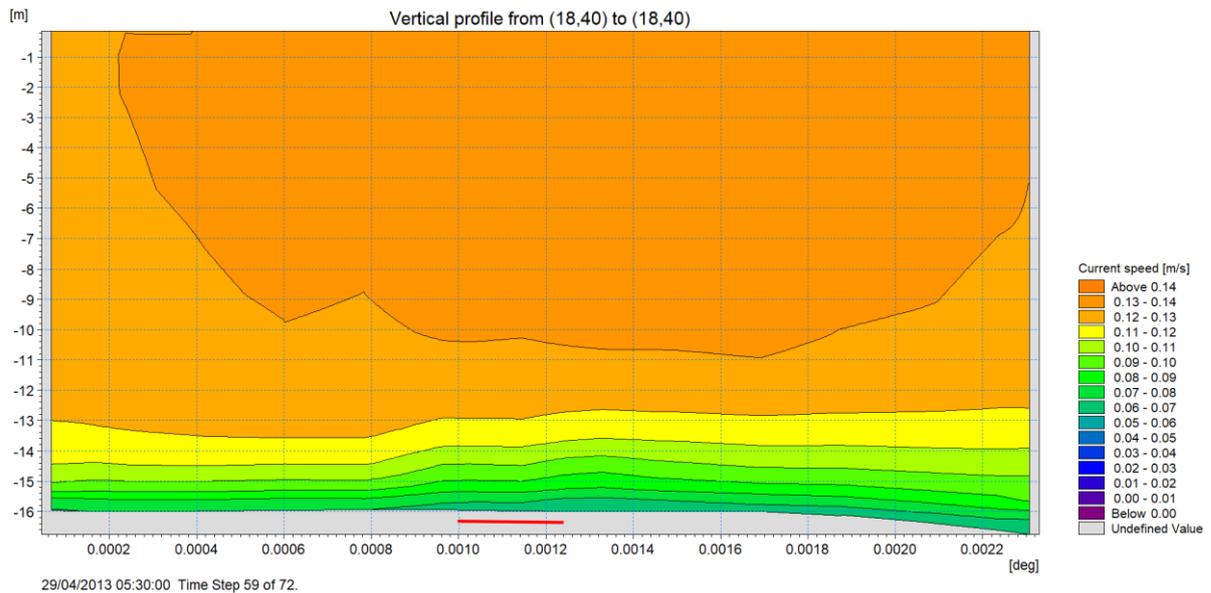


Figura 7-28 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 49 of 75

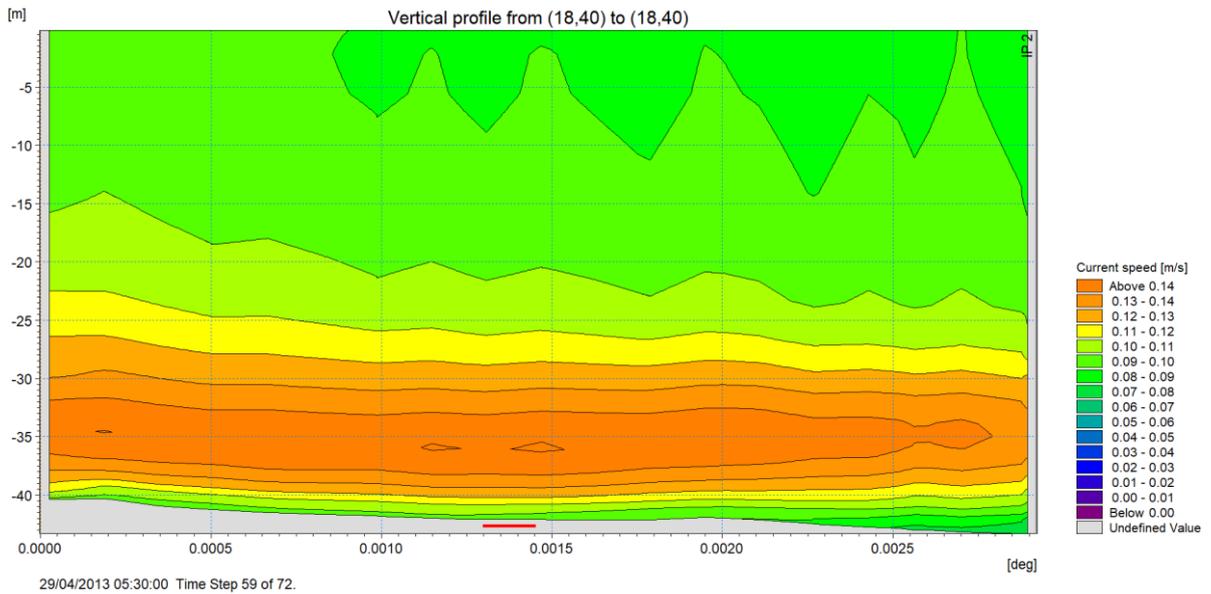


Figura 7-29 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-I2. Scenario attuale. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

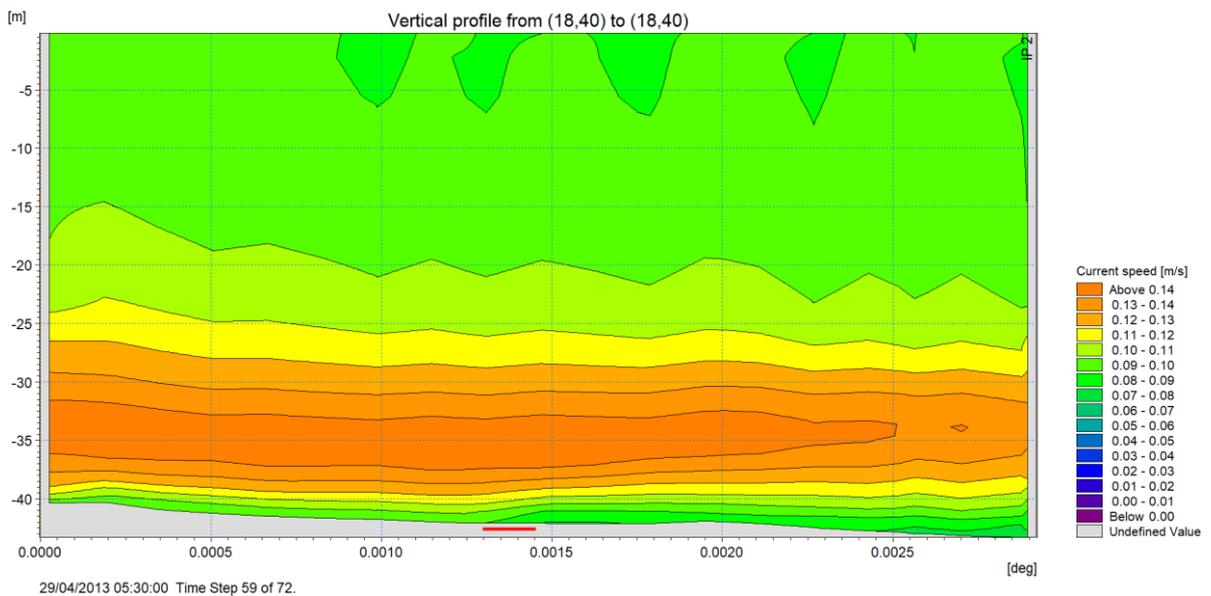


Figura 7-30 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-I2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 50 of 75

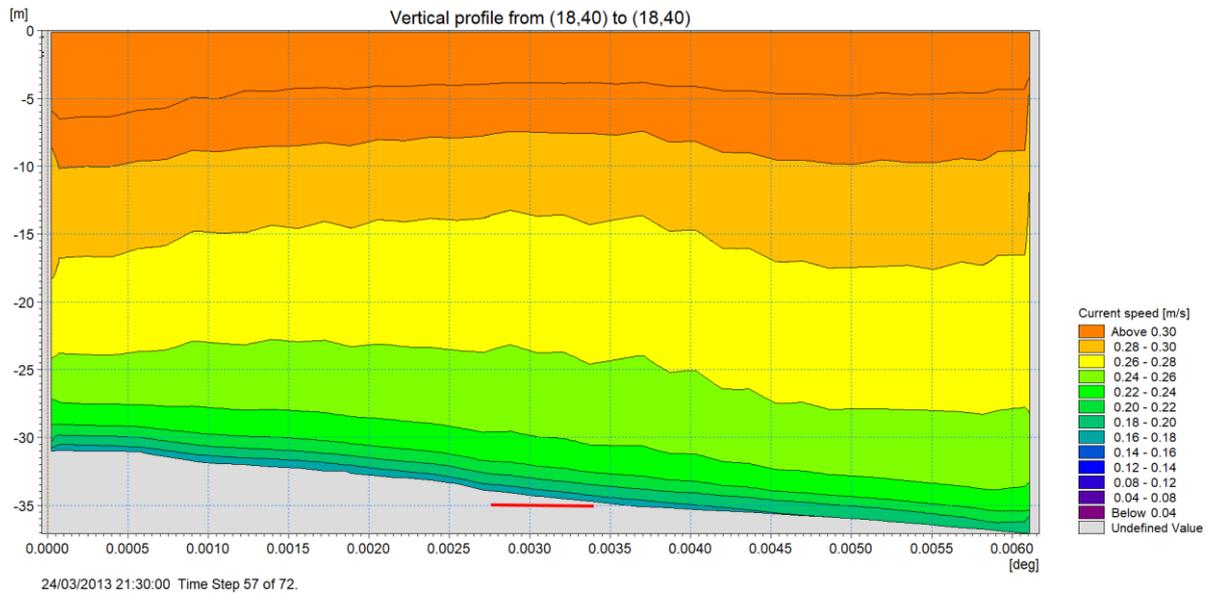


Figura 7-31 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

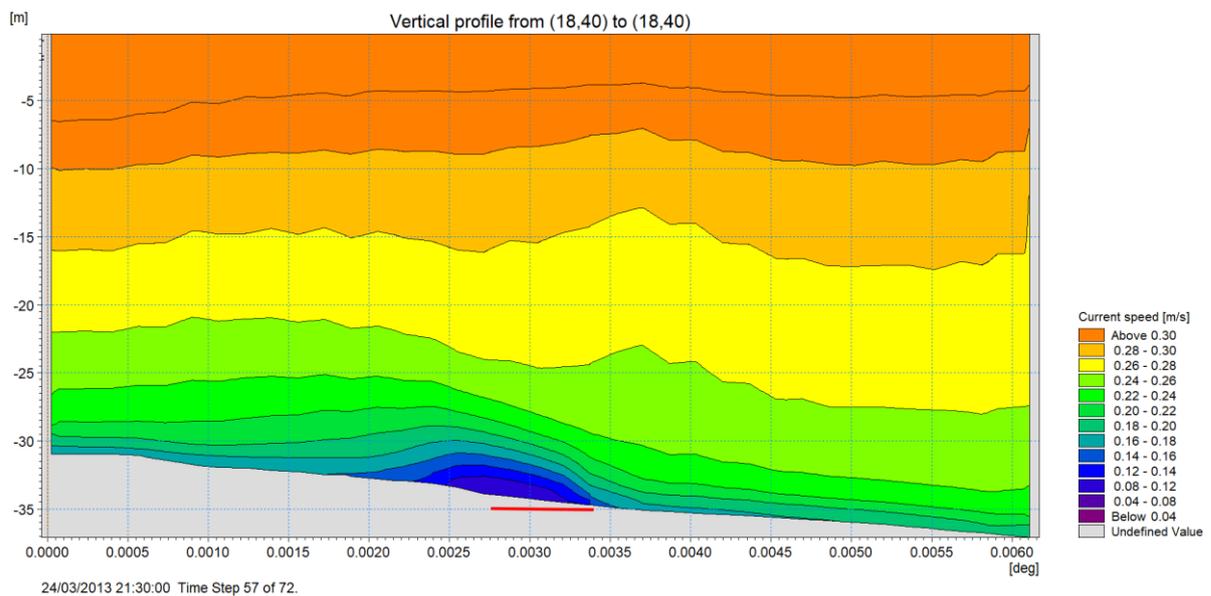


Figura 7-32 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 51 of 75

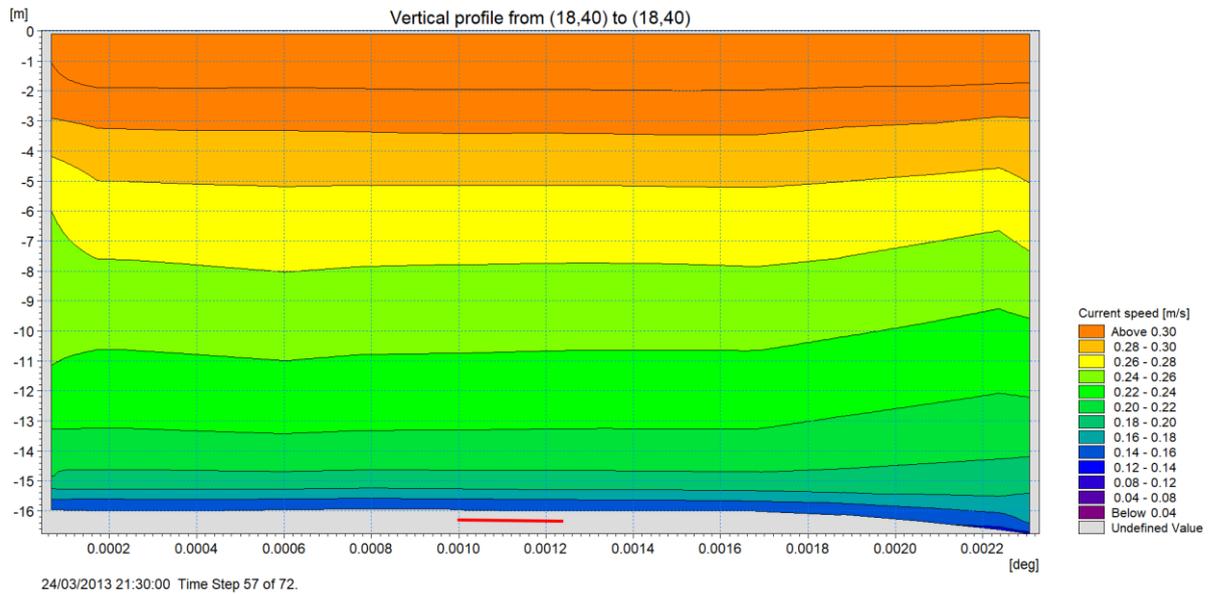


Figura 7-33 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-A2. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

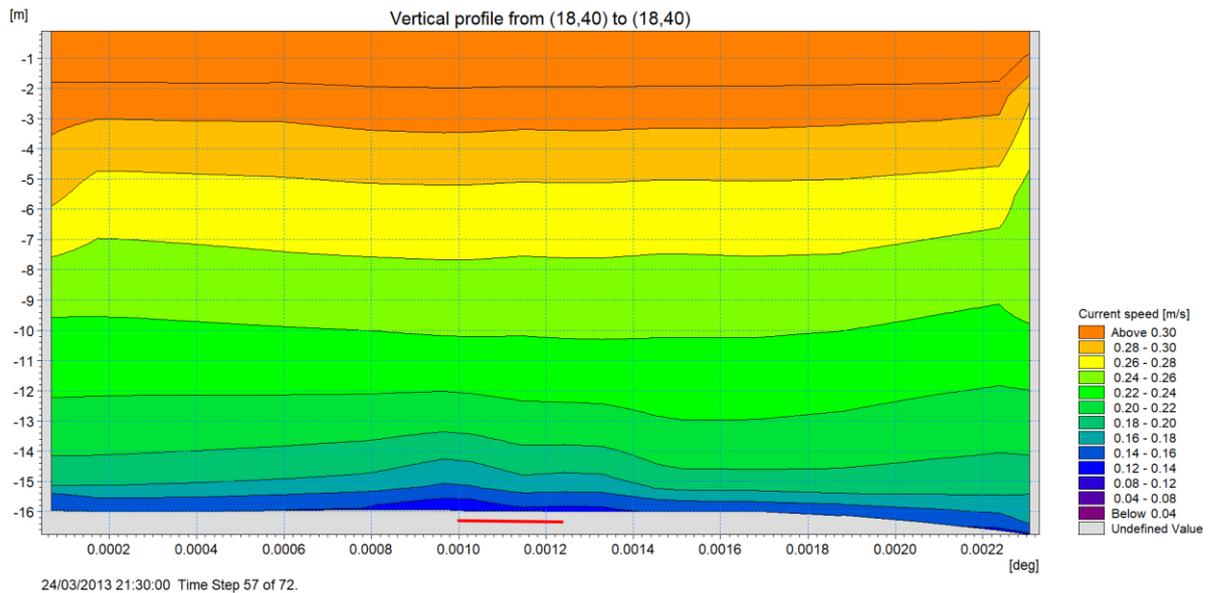


Figura 7-34 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione A1-A2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 52 of 75

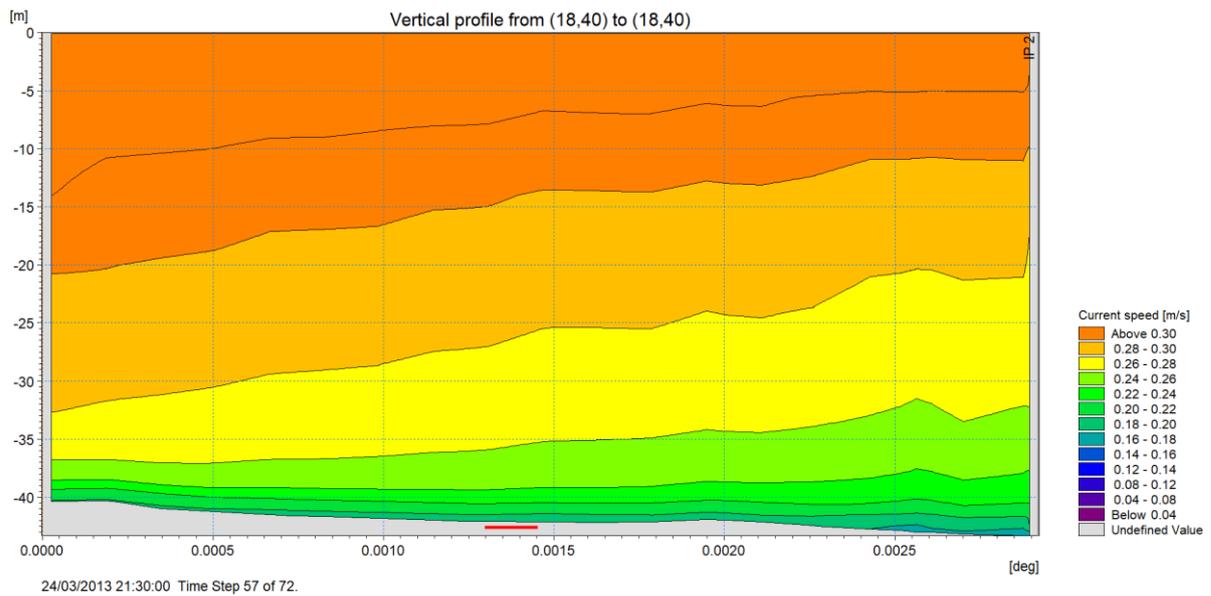


Figura 7-35 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-I2. Scenario attuale senza dissuasori. Il tratto rosso indica la zona dove sono previsti i dissuasori

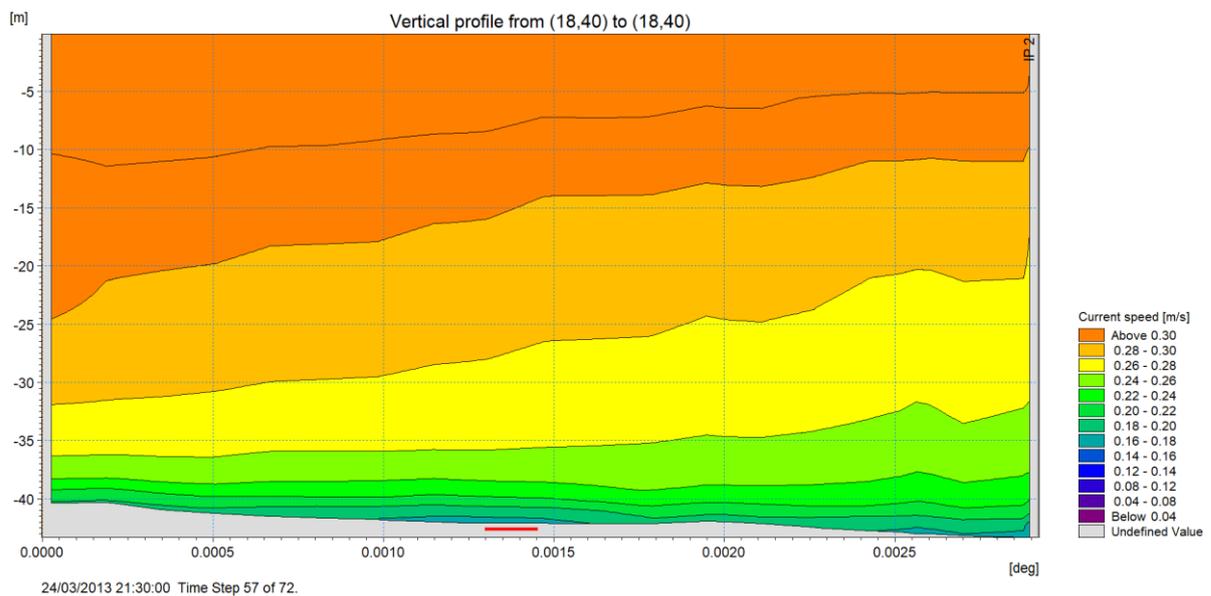


Figura 7-36 Profilo verticale di velocità di corrente in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) lungo una sezione parallela al flusso in corrispondenza della stazione di installazione I1-I2. Scenario di progetto. Il tratto rosso indica la zona dove sono presenti i dissuasori

I sedimenti delle zone costiere sono soggetti a continue modificazioni della loro conformazione a causa delle sollecitazioni al fondo, le tensioni tangenziali, prodotte da diverse forzanti, tra cui le correnti. Per

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	53 of 75

queste sollecitazioni esiste un valore critico, ossia un valore della tensione tangenziale esercitata dal fluido sul fondo al di sopra del quale il sedimento viene messo in sospensione. La tensione tangenziale critica τ_c dipende da vari fattori quali il grado di compattamento del terreno, il diametro medio dei granuli d_{50} , la loro densità ρ_g (approssimativamente pari a 2650 kg/m^3), la densità dell'acqua di mare ρ (approssimativamente pari a 1025 kg/m^3) e un coefficiente di proporzionalità adimensionale A compreso, per il trasporto subacqueo, tra 0.03 e 0.05. Per sedimenti di diametro uguale o superiore a 0.1 mm, come nel presente caso, si può assumere la formula:

$$\tau_c = A[gD_{50}(\rho_g - \rho)]$$

Da questa formula si deduce che il valore “critico” della tensione tangenziale per la zona in studio è approssimativamente pari a 0.1 N/m^2 . Questo significa che, finché le tensioni tangenziali restano al di sotto di questo valore critico, non si verifica alcuna movimentazione di sedimenti e quindi eventuali variazioni non sono di interesse. Superato tale valore critico, all'aumentare delle tensioni aumenta il volume di sedimenti potenzialmente movimentato.

Nelle mappe a seguire si riportano i valori di tensione al fondo (shear stress) indotta dalla corrente nei vari scenari considerati.

Per lo scenario 2 (Figura 7-39 e Figura 7-40), rappresentativo di condizioni ordinarie (che si verificano per circa 1 mese e mezzo all'anno), le velocità di corrente non sono tali da generare tensioni tangenziali al fondo in grado di mettere in movimento i sedimenti al fondo.

Facendo riferimento agli altri due scenari, le tensioni tangenziali al fondo nella zona interessata dall'installazione dei dissuasori si presentano in generale ovunque superiori a 0.1 N/m^2 , con valori massimi pari a circa $0.5\text{-}0.6 \text{ N/m}^2$ nello scenario 1 e $0.20\text{-}0.22 \text{ N/m}^2$ nello scenario 2. Come visto per la corrente, l'influenza dei dissuasori rimane confinata nei 150-200 m circa dalle piramidi, dove si verificano diminuzioni delle tensioni tangenziali (minore risospensione del sedimento) di circa il 20-30%. Le modifiche, sia in termini di estensione che di valore di tensione, sono più accentuate in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	54 of 75

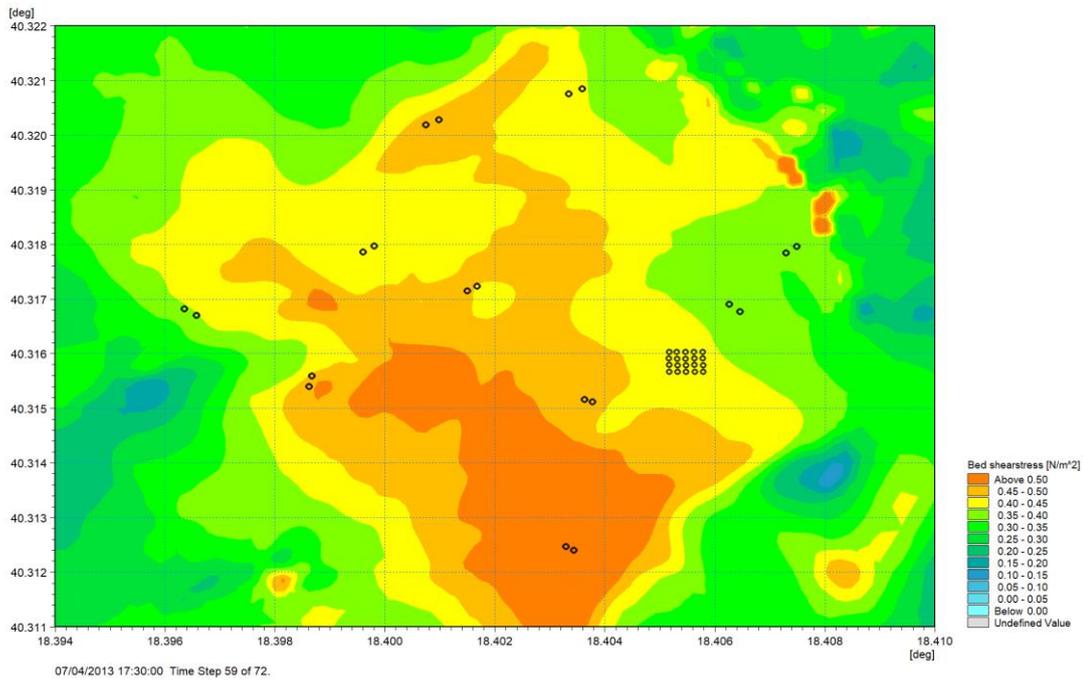


Figura 7-37 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in assenza dei dissuasori

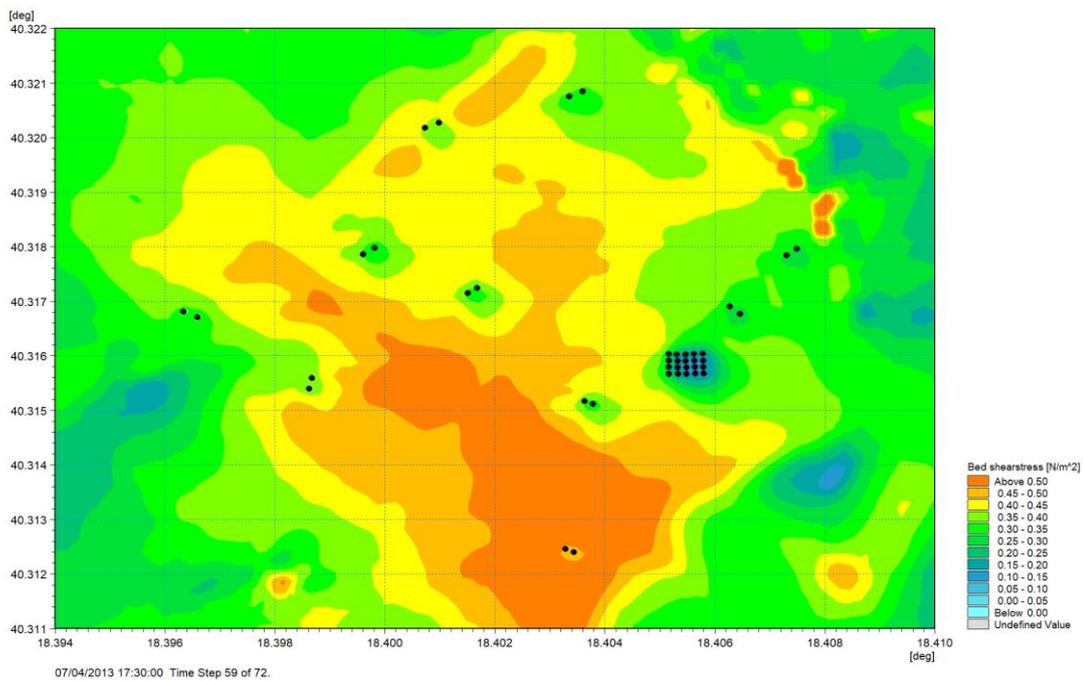


Figura 7-38 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	55 of 75

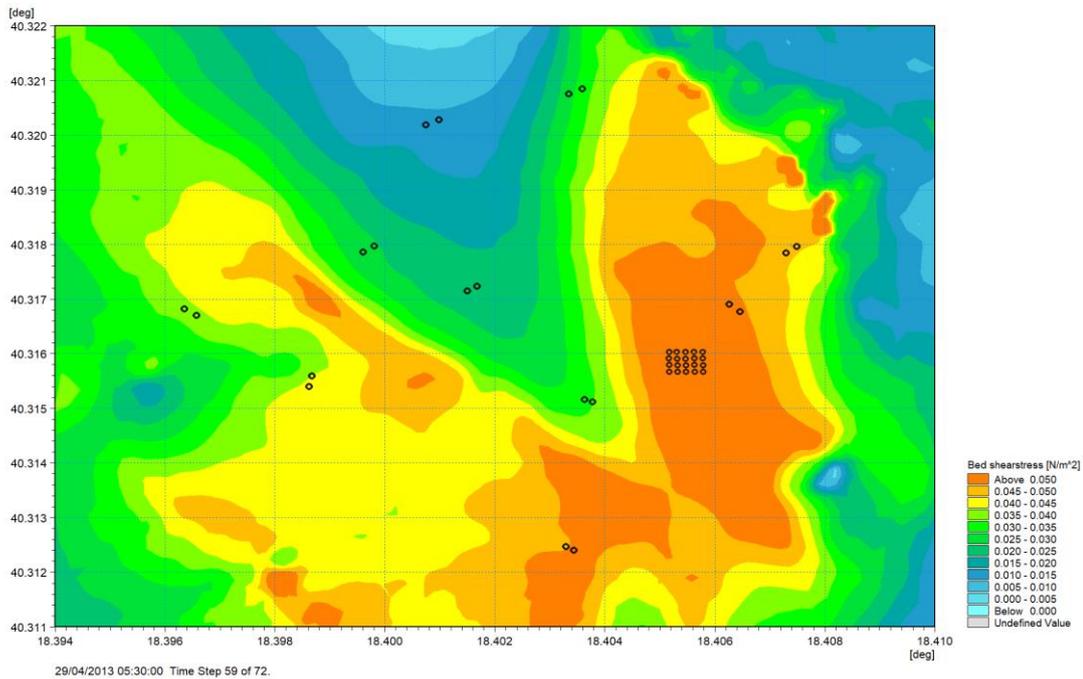


Figura 7-39 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in assenza dei dissuasori

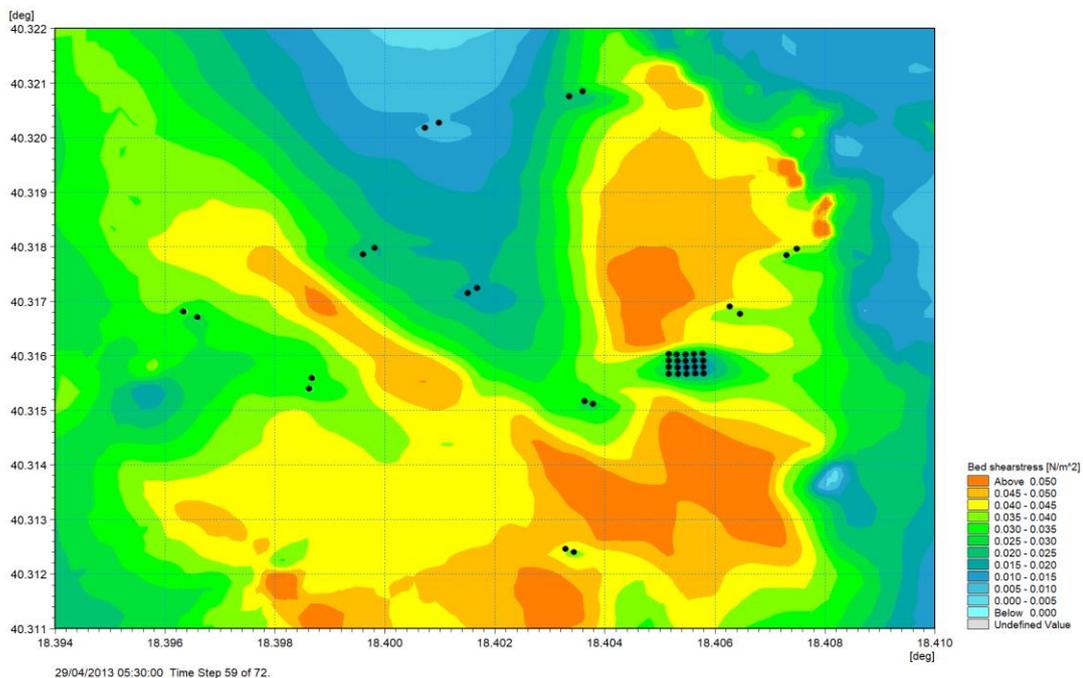


Figura 7-40 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	56 of 75

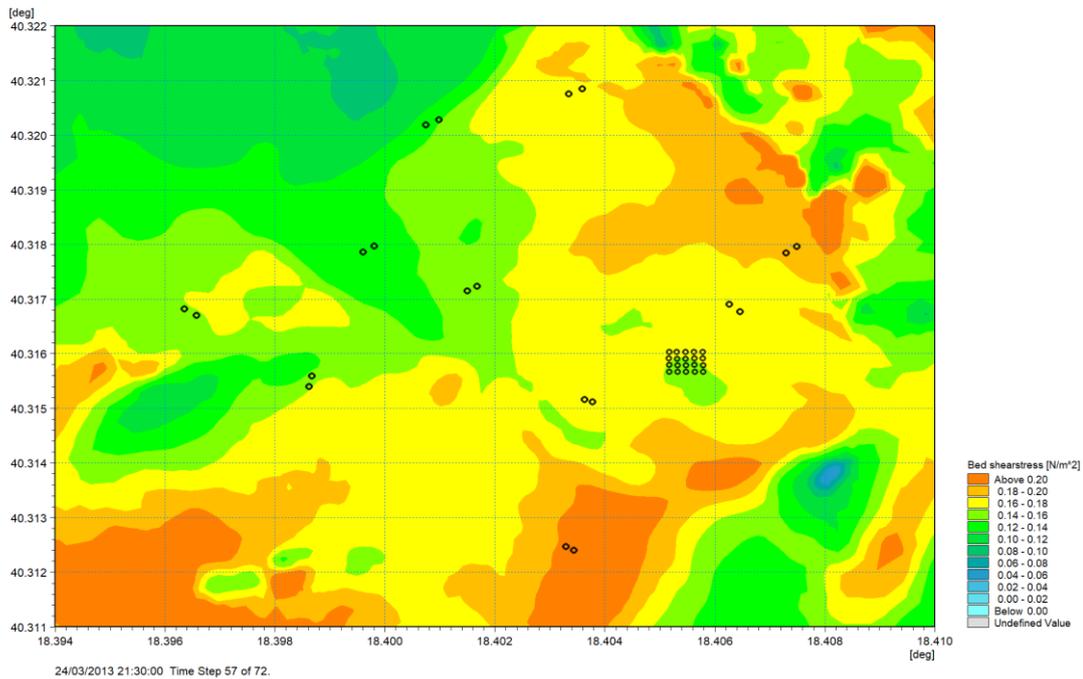


Figura 7-41 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in assenza dei dissuasori

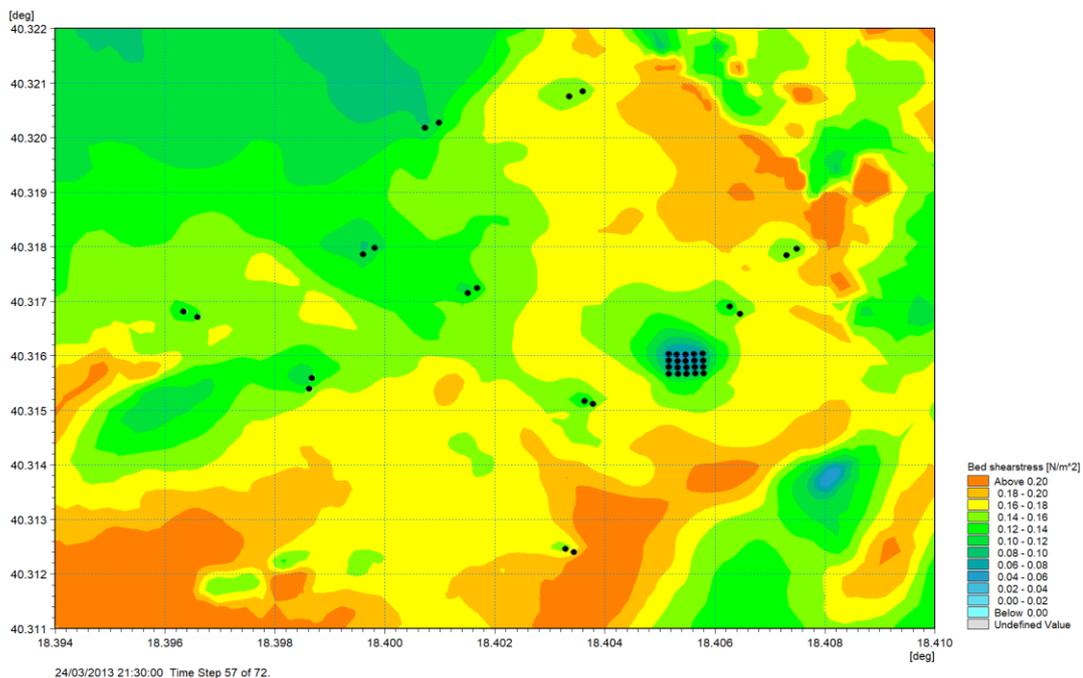


Figura 7-42 Dettaglio del campo di tensioni tangenziali al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in presenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	57 of 75

8. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI INDOTTE DAL MOTO ONDOSO

Le onde, durante la propagazione verso la costa, subiscono diverse trasformazioni energetiche, tra cui quelle dovute ai fenomeni di frangimento, anche parziale, e al processo di rifrazione, ossia alla rotazione dei fronti d'onda che tendono a disporsi parallelamente alle isobate ed alla linea di costa. Questi fenomeni sono in grado di determinare l'insorgenza di sforzi di taglio al fondo (*radiation stress*), i cui gradienti, massimi in corrispondenza del frangimento, sono i responsabili della generazione delle correnti litoranee. A parità di direzione di incidenza dell'onda, i gradienti di *radiation stress*, e quindi le correnti litoranee, sono tanto più elevati quanto maggiore è l'altezza d'onda al frangimento. A parità di altezza d'onda al frangimento, i gradienti di *radiation stress*, e quindi le correnti litoranee, sono tanto più elevati quanto maggiore è l'angolo di incidenza tra il fronte d'onda e le isobate.

Attraverso l'applicazione del modello d'onda MIKE 21 SW – Spectral Waves sono stati studiati i campi d'onda, in presenza ed in assenza di dissuasori, per i due scenari d'onda individuati come rappresentativi per il presente studio (descritti al capitolo 6). Questo modello, oltre ai campi di altezza d'onda, fornisce in tutto il dominio di calcolo le tre componenti di *radiation stress* (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy}) che, come detto, rappresentano le principali forzanti nella generazione delle correnti litoranee. Questi campi sono stati pertanto utilizzati come forzanti per un modello idrodinamico bidimensionale, costruito con MIKE 21 HD, che ha permesso di definire l'influenza dei dissuasori sulle velocità di corrente generate dalle sole onde.

8.1 BATIMETRIA, DOMINIO DI CALCOLO E RISOLUZIONE

I dati batimetrici utilizzati per il modello d'onda sono gli stessi descritti al paragrafo 5.2 e sono stati utilizzati come descritto al paragrafo 7.1.

Il dominio di calcolo è stato predisposto con la medesima estensione utilizzata per il modello di circolazione generale (paragrafo 7.1, Figura 7-2), ma la risoluzione adottata è diversa. Questa differenziazione è dovuta al fatto che, come anticipato, nella generazione delle correnti litoranee risulta di particolare importanza il fenomeno del frangimento che, per essere correttamente rappresentato, necessita di una griglia di calcolo ad elevata risoluzione in grado di rappresentare dettagliatamente anche le più piccole variazioni batimetriche. Inoltre, in questo caso, trattandosi di un modello bidimensionale, non è possibile inserire i dissuasori come strutture esterne alla griglia di calcolo, come nel caso del modello di circolazione generale, in quanto non sarebbe possibile tenere conto del loro sviluppo verticale. I dissuasori sono stati pertanto rappresentati direttamente nella batimetria di calcolo, dove ne è stata riprodotta la geometria, come estensione sia orizzontale che verticale. Questa rappresentazione ha indotto ad utilizzare, nelle zone in cui si prevede di posizionare i dissuasori, una griglia quadrata di lato 1 m. Le strutture sono quindi state inserite innalzando il fondale di 2 m su un'area di 4x4 celle contigue; la cella centrale, che rappresenta il vertice della piramide, è stata invece innalzata di 4 m sulla quota del fondale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 58 of 75

La Figura 8-1 mostra la griglia di calcolo del modello, mentre la Figura 8-2 offre uno zoom di maggiore dettaglio sulla zona interessata dal posizionamento dei dissuasori. In Figura 8-3 è rappresentata la batimetria in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento.

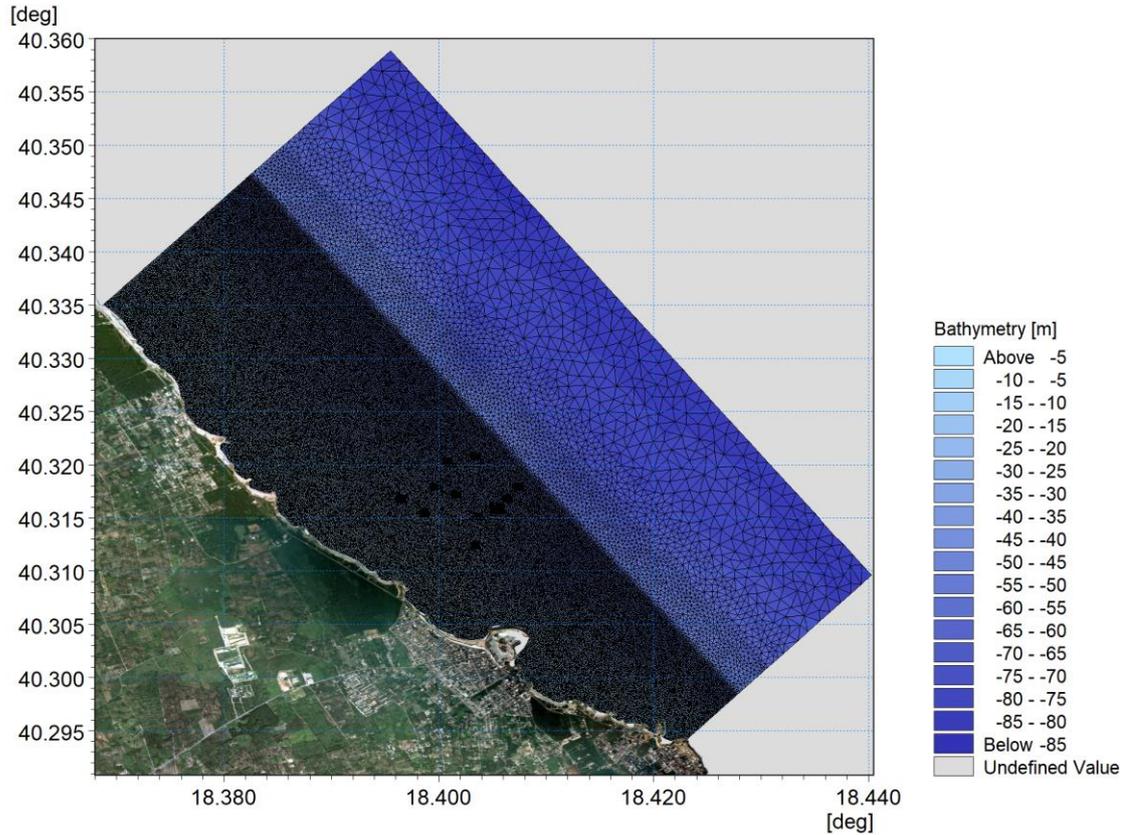


Figura 8-1 Discretizzazione spaziale del dominio di calcolo

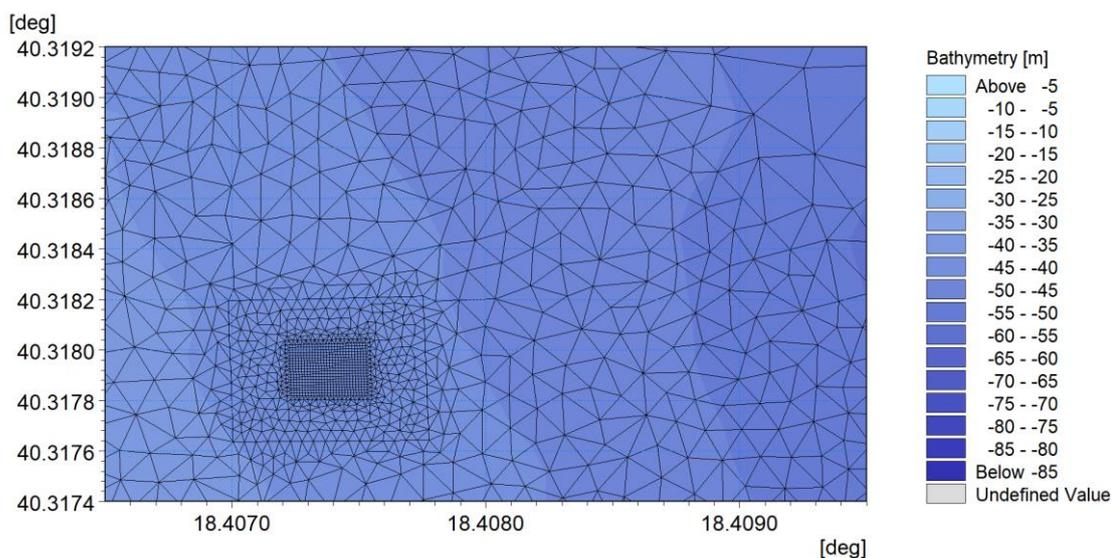


Figura 8-2 Dettaglio della discretizzazione spaziale del dominio di calcolo

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	59 of 75

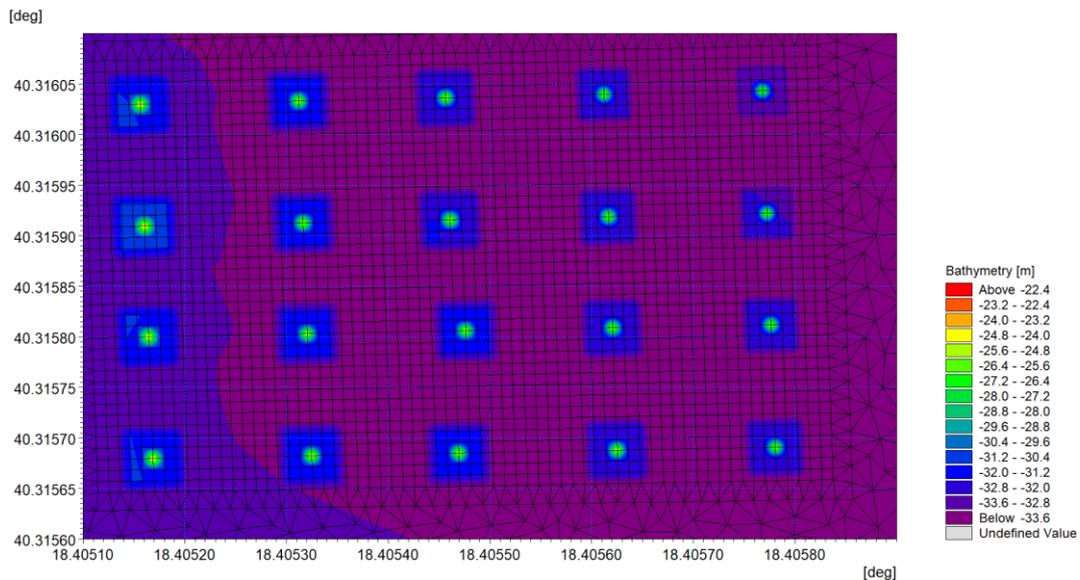


Figura 8-3 Batimetria di dettaglio in corrispondenza dell'oasi di ripopolamento

Come si evince dalle immagini, la maglia utilizzata lungo l'orizzontale è mista, a maglie triangolari per tutto il dominio, tranne che per alcuni rettangoli che includono i dissuasori, per le quali la maglia è quadrata di lato circa 1 m. La risoluzione via via diminuisce attraverso 2 zone a risoluzione pari a circa 4 m e 14 m fino all'isobata dei 50 m e successivamente in ulteriori 3 zone a risoluzione variabile fino a 130 m nella zona di mare aperto.

8.2 MODELLO D'ONDA

Le condizioni ondose nella zona di interesse per i due scenari selezionati (capitolo 6) sono state simulate mediante l'applicazione del modello MIKE 21 SW – Spectral Waves [4].

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;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	60 of 75

- 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 C 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 al paragrafo 8.1);
- scelta del tipo di formulazione e tecniche di soluzione (per lo specifico modello è stata utilizzata la formulazione parametrica stazionaria);
- discretizzazione nel dominio delle direzioni (nel caso specifico sono state utilizzate 24 direzioni);
- parametri di dissipazione (frangimento, white-capping, attrito al fondo);
- condizioni al contorno (parametri – H_s , T_p , MWD e dispersione direzionale dell’onda rappresentativa dello scenario).

I risultati ottenuti per ciascuno degli elementi della mesh, sono costituiti essenzialmente dai parametri caratteristici dell’onda (altezza d’onda significativa, periodo medio e di picco, direzione media di propagazione) e dalle tre componenti di *radiation stress*.

8.2.1 RISULTATI DEL MODELLO D’ONDA

Il modello MIKE 21 SW ha fornito come risultati i campi d’onda, ossia le variazioni nel dominio di calcolo dei parametri principali che descrivono l’onda (altezza d’onda significativa, periodo medio e di picco e direzione media di propagazione).

In Figura 8-4 e Figura 8-5 sono rappresentati i campi di altezza d’onda, rispettivamente per lo scenario 5 e 6. La scala cromatica indica la variazione di altezza d’onda, mentre i vettori rappresentano in ogni punto la direzione media di propagazione e presentano una lunghezza proporzionale all’altezza d’onda. I campi d’onda non sono stati rappresentati sia in presenza che in assenza dei dissuasori, perché l’influenza di tali strutture sul moto ondoso è assai modesta e non percepibile in queste rappresentazioni.

In corrispondenza della fascia dei frangenti si verifica una rapida diminuzione dell’energia e, di conseguenza delle altezze d’onda. Questa zona è individuabile nelle mappe a seguire da una variazione repentina della scala cromatica. Si osserva che i dissuasori posti alle maggiori profondità sono in generale localizzati più al largo della fascia dei frangenti.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	61 of 75

Nelle immagini è inoltre possibile osservare il fenomeno della rifrazione, ossia la tendenza dei vettori (che rappresentano gli ortogonali d'onda) a disporsi perpendicolarmente a costa. Questo fenomeno è particolarmente visibile per l'onda dello scenario 5, in quanto si presenta al largo molto inclinata rispetto alla costa.

Si evidenzia che, come precedentemente accennato, i principali fenomeni che intervengono nella generazione delle correnti litoranee sono il frangimento e la rifrazione: la fascia interessata da questi processi sarà pertanto quella maggiormente soggetta alla creazione delle correnti litoranee descritte nel seguito.

Nelle immagini a seguire i dissuasori sono stati rappresentati nelle mappe che mostrano i campi di altezza d'onda sia in assenza sia in presenza delle strutture al solo scopo di rendere più agevole il confronto dei risultati ottenuti nelle due configurazioni.

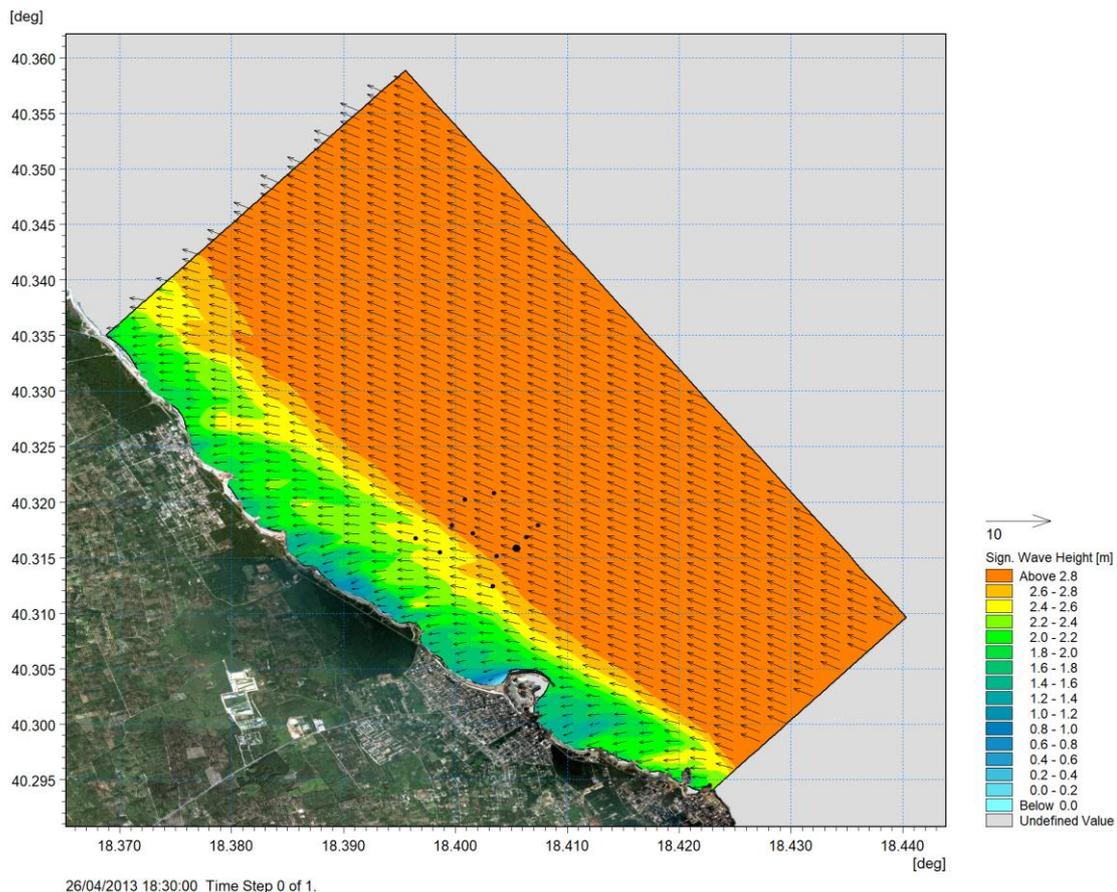


Figura 8-4 Campo di altezze d'onda ottenuto per lo scenario 4. I punti neri indicano la localizzazione dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	62 of 75

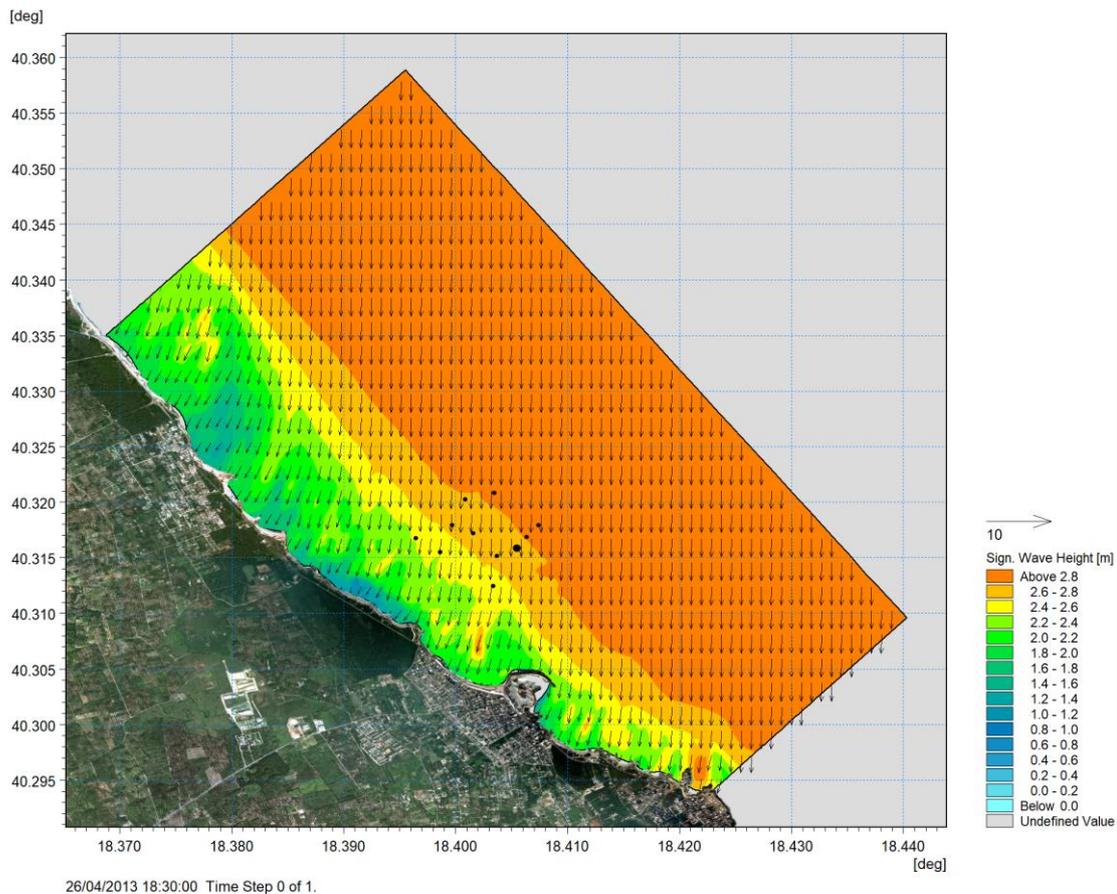


Figura 8-5 Campo di altezze d'onda ottenuto per lo scenario 5. I punti neri indicano la localizzazione dei dissuasori

8.3 MODELLO DELLE CORRENTI GENERATE DAL MOTO ONDOSO

I risultati del modello d'onda MIKE 21 SW (Spectral Waves), descritto al paragrafo 8.2, sono stati utilizzati quali forzanti del modulo idrodinamico MIKE 21 HD (Hydrodynamics). Quest'ultimo, cuore del codice bidimensionale MIKE 21, simula le variazioni di livello e di corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes mediate (Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) sotto le ipotesi di Boussinesq e in condizioni di pressione idrostatica. La versione Flexible Mesh utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento.

Il dominio spaziale, al pari del modello d'onda, è discretizzato attraverso una maglia non strutturata, mista triangolare e quadrangolare. Il modulo necessita di una serie di dati di input, che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo, uguale a quella utilizzata per il modello d'onda, descritta al paragrafo 8.1);

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	63 of 75

- parametri di calibrazione (es. scabrezza, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (es. livelli e intensità iniziale di corrente, qui imposta pari a zero);
- condizioni al contorno (es. oscillazioni di marea, qui non considerata);
- altre forzanti (es. campi di vento, *radiation stress*, apporti puntuali di portata. In questo caso sono stati considerati i soli campi di *radiation stress*, responsabili della formazione delle correnti da onda).

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno, ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Per ciascun elemento di calcolo, è possibile ottenere le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- velocità di corrente e direzione;
- tensioni al fondo
- densità, temperatura e salinità (non considerati nel presente studio).

Una descrizione di dettaglio del modulo idrodinamico HD del codice di calcolo MIKE 21 è disponibile in Allegato B.

8.3.1 RISULTATI DEL MODELLO DI CORRENTE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO

Il modello MIKE 21 HD ha fornito come risultati i campi idrodinamici, ossia le variazioni nel dominio di calcolo di velocità e direzione di propagazione delle correnti. In Figura 8-4 e Figura 8-5 sono rappresentati i campi di corrente litoranea indotti dalle onde considerate per lo scenario 4 e 5. La scala cromatica indica la variazione di velocità, mentre i vettori rappresentano in ogni punto la direzione di propagazione della corrente e presentano una lunghezza proporzionale alla velocità.

Come per le onde, anche i campi di corrente sono stati rappresentati solo in assenza dei dissuasori, perché l'influenza di tali strutture sulle correnti litoranee è trascurabile e non percepibile nelle rappresentazioni sviluppate. Infatti, come anticipato, i processi principali che intervengono nella generazione delle correnti litoranee sono il frangimento e la rifrazione. Come osservabile in Figura 8-4 e Figura 8-5, questi fenomeni sono importanti fino ad una profondità di circa 10-15 m e pertanto i dissuasori si trovano proprio al limite di tale fascia. In corrispondenza dell'area individuata per l'installazione dei dissuasori le correnti litoranee generate dalle onde presentano pertanto velocità assai limitate, con valori massimi in corrispondenza delle strutture più vicine a costa di circa 0.2 m/s.

Si osserva che la corrente litoranea generata dall'onda considerata per lo scenario 4 ha direzione principale di propagazione da Sud-Est verso Nord-Ovest (Figura 8-6), mentre la corrente relativa allo scenario 5 ha verso opposto, da Nord-Ovest verso Sud-Est (Figura 8-7). In generale le velocità di corrente si presentano più elevate per lo scenario 5.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 64 of 75

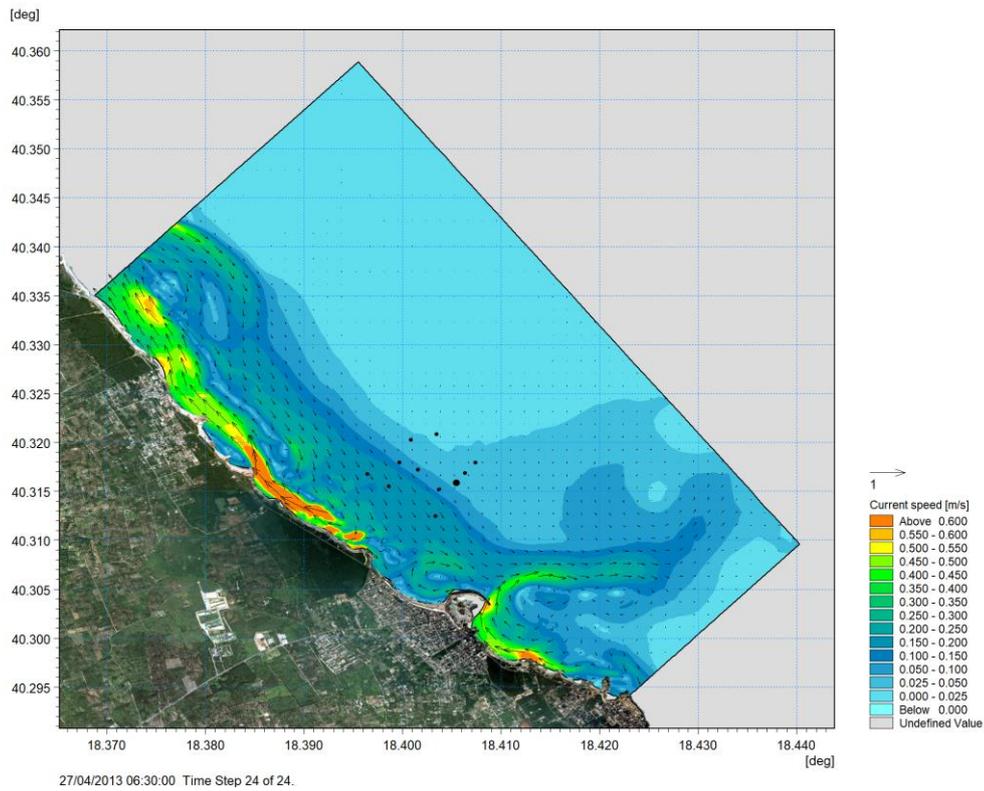


Figura 8-6 Campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 4. I punti in arancione indicano la localizzazione dei dissuasori

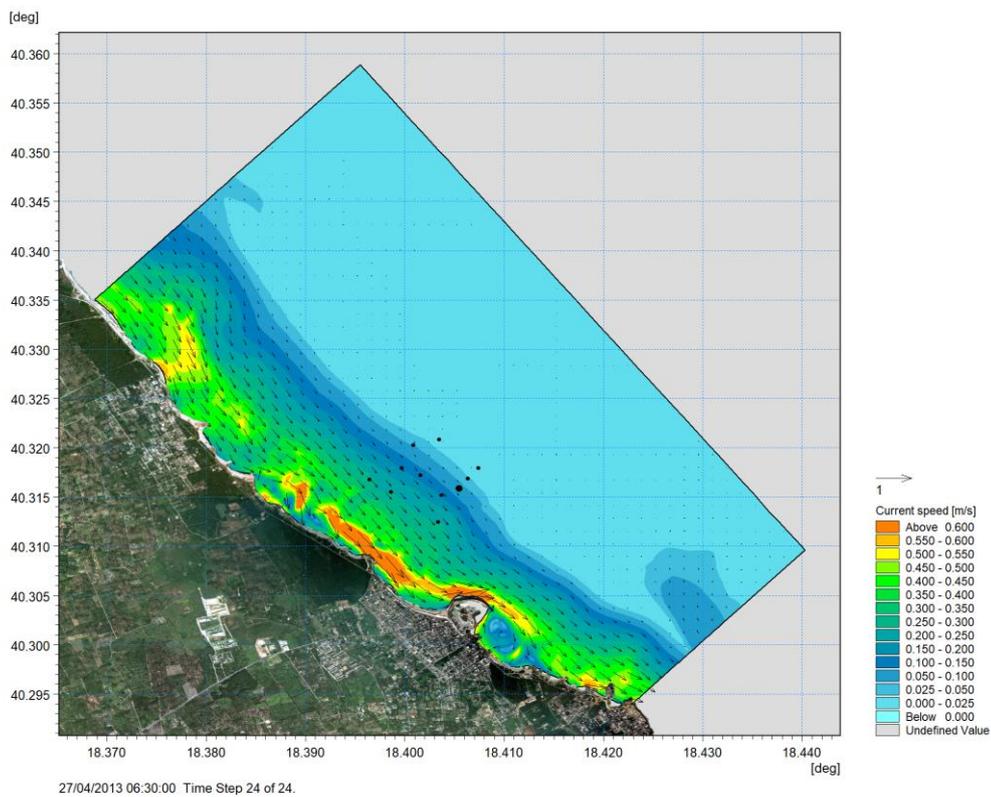


Figura 8-7 Campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 5. I punti in arancione indicano la localizzazione dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	65 of 75

Per poter valutare l'influenza dei dissuasori sulla corrente litoranea, è stato rappresentato un dettaglio del campo di corrente nell'intorno di una delle stazioni di installazione, quella più prossima a costa (C1-C2), dove cioè la corrente litoranea presenta velocità massime. Queste mappe (Figura 8-8 e Figura 8-9 per lo scenario 4 e Figura 8-10 e Figura 8-11 per lo scenario 5) mostrano come i dissuasori agiscano come rallentatori della corrente per un'area molto ridotta, con estensione di circa 30-40 m. Le velocità in questa zona diminuiscono approssimativamente del 10%, passando da valori di circa 0.18 m/s a 0.16 m/s nello scenario 4 e da 0.24 m/s a 0.26 m/s nello scenario 5.

Valutazioni del tutto analoghe possono essere fatte per le tensioni tangenziali al fondo, essendo strettamente correlate alle velocità di corrente. Si evidenzia inoltre che nello scenario 4 le tensioni tangenziali nell'area dove è previsto il posizionamento dei dissuasori sono molto basse, ovunque inferiori al valore critico (introdotto nel precedente capitolo). Nello scenario 5 queste tensioni sono più elevate, con valori massimi, in corrispondenza dell'area in studio, di circa 0.27 N/m², e quindi superiori al valore critico. Nell'intorno del dissuasore più vicino a costa le tensioni tangenziali si abbassano da circa 0.18 N/m² a circa 0.14 N/m², come mostrato in Figura 8-14 e Figura 8-15.

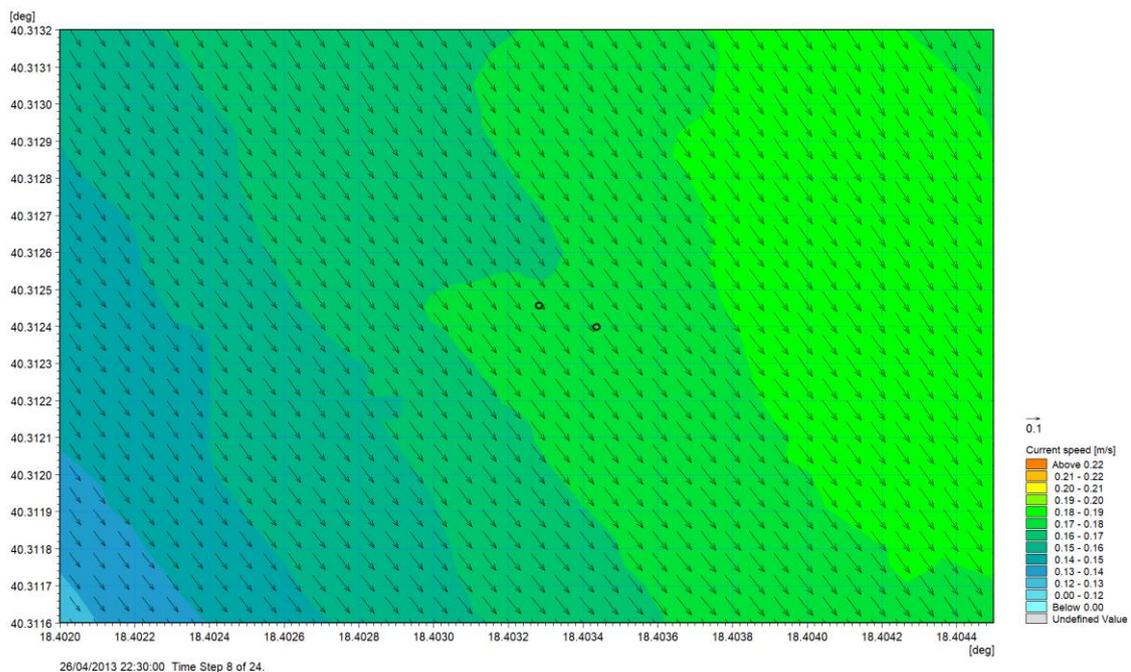


Figura 8-8 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 4 in assenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 66 of 75

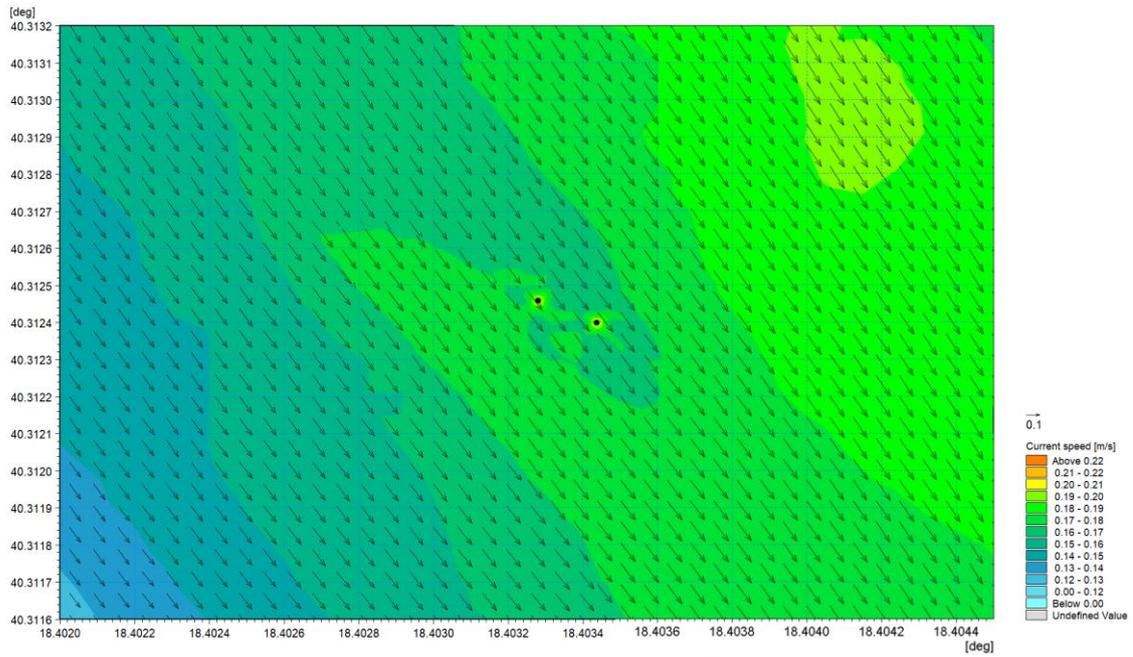


Figura 8-9 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 4 in presenza dei dissuasori

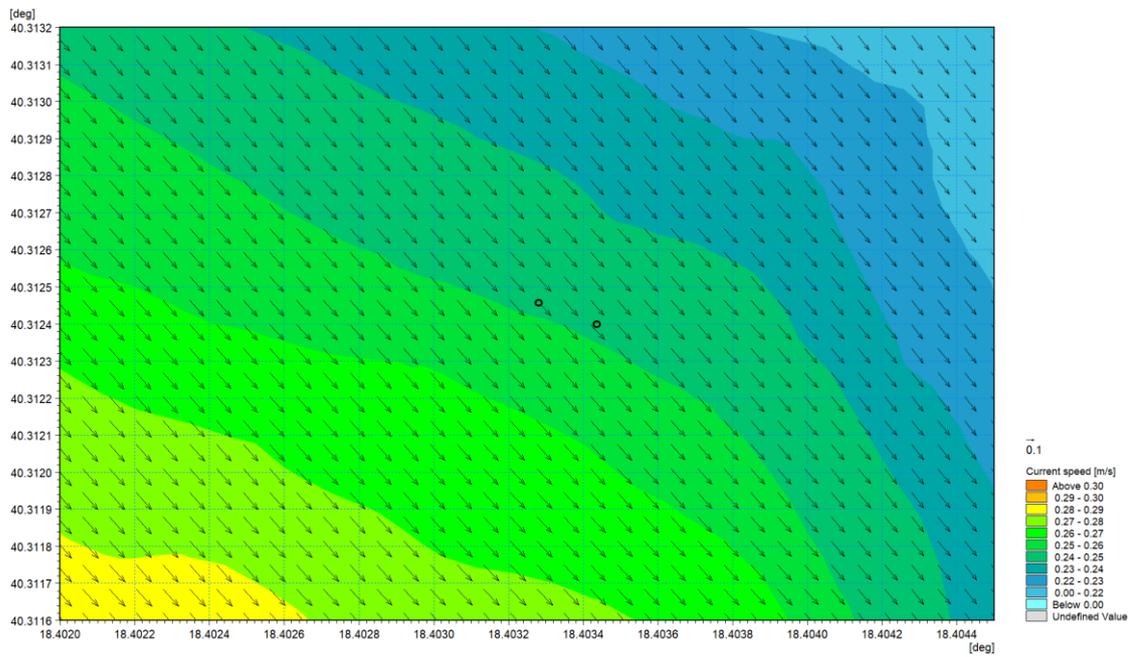


Figura 8-10 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 5 in assenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 67 of 75

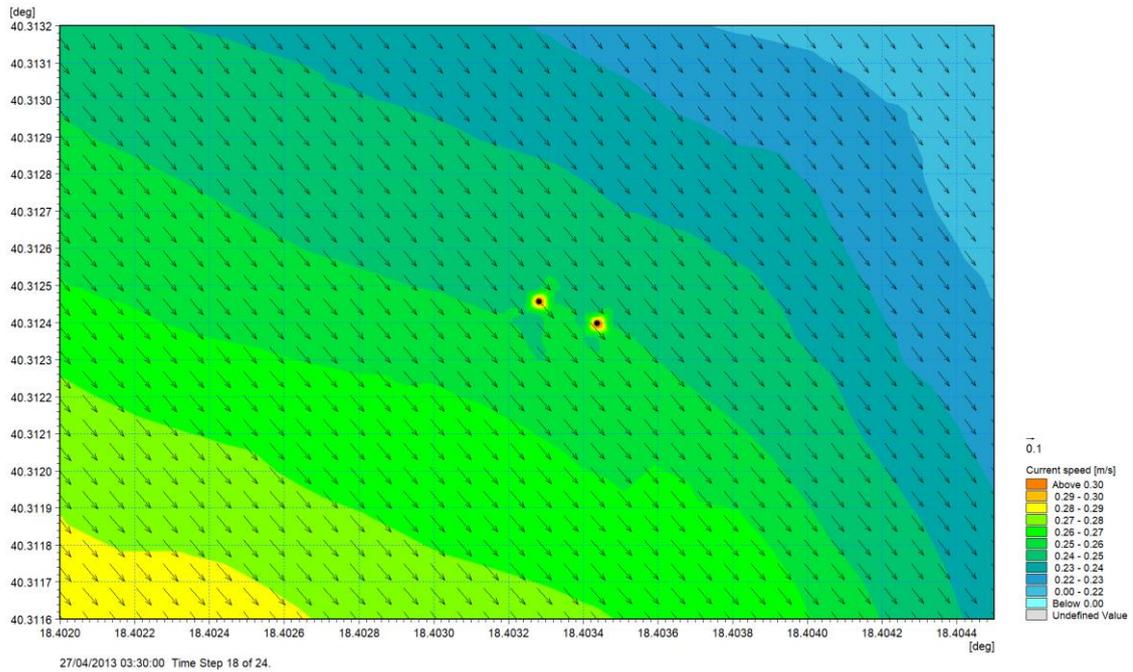


Figura 8-11 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di corrente generato dall'onda relativa allo scenario 5 in presenza dei dissuasori

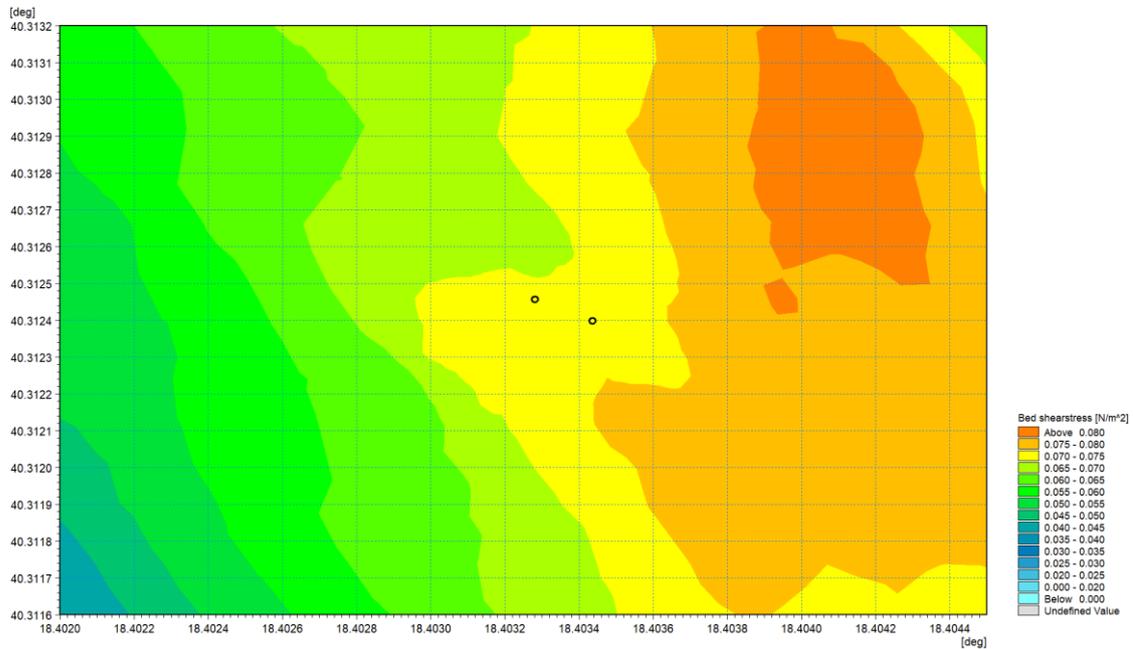


Figura 8-12 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di tensioni tangenziali al fondo generato dalle correnti relative allo scenario 4 in assenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 68 of 75

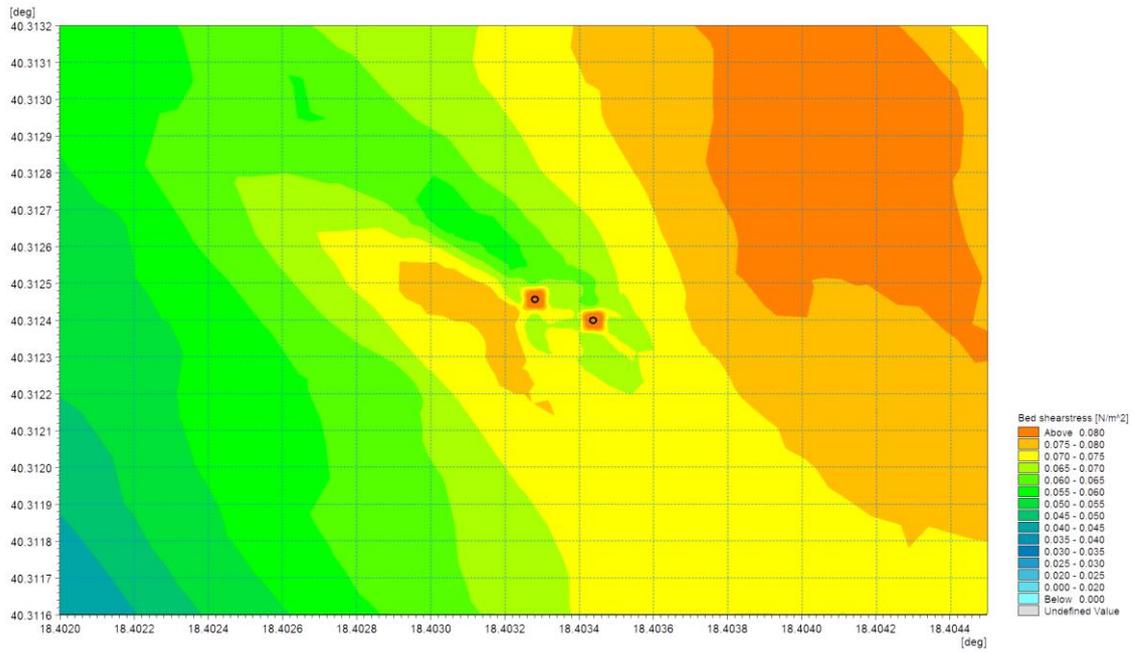


Figura 8-13 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di tensioni tangenziali al fondo generato dalle correnti relative allo scenario 4 in presenza dei dissuasori

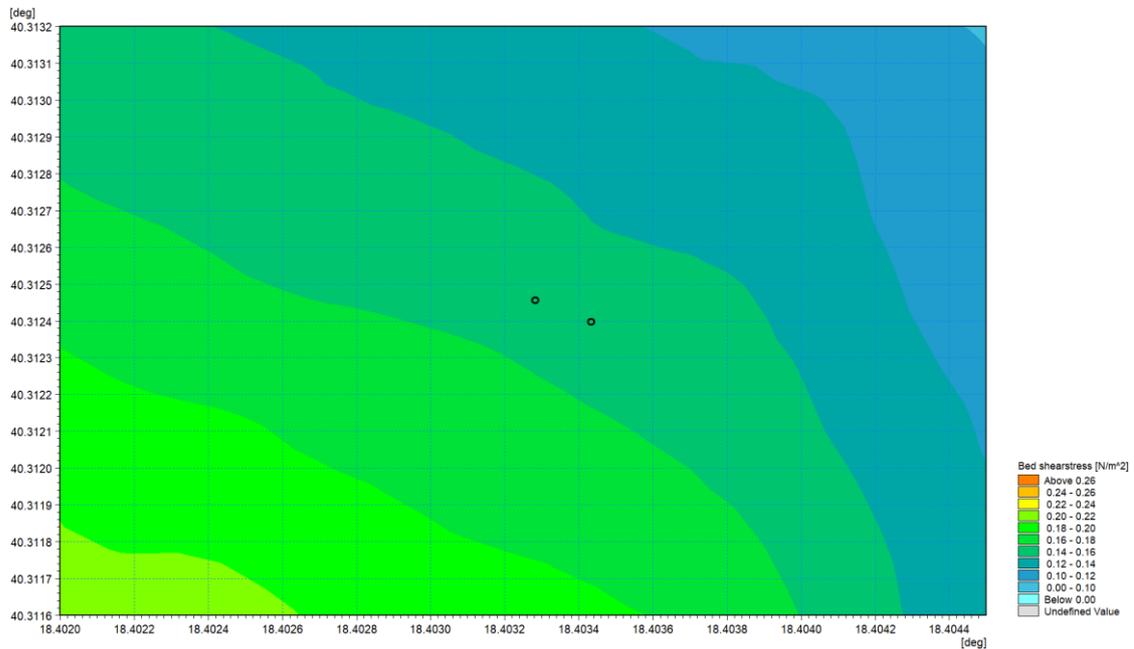


Figura 8-14 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di tensioni tangenziali al fondo generato dalle correnti relative allo scenario 5 in assenza dei dissuasori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	69 of 75

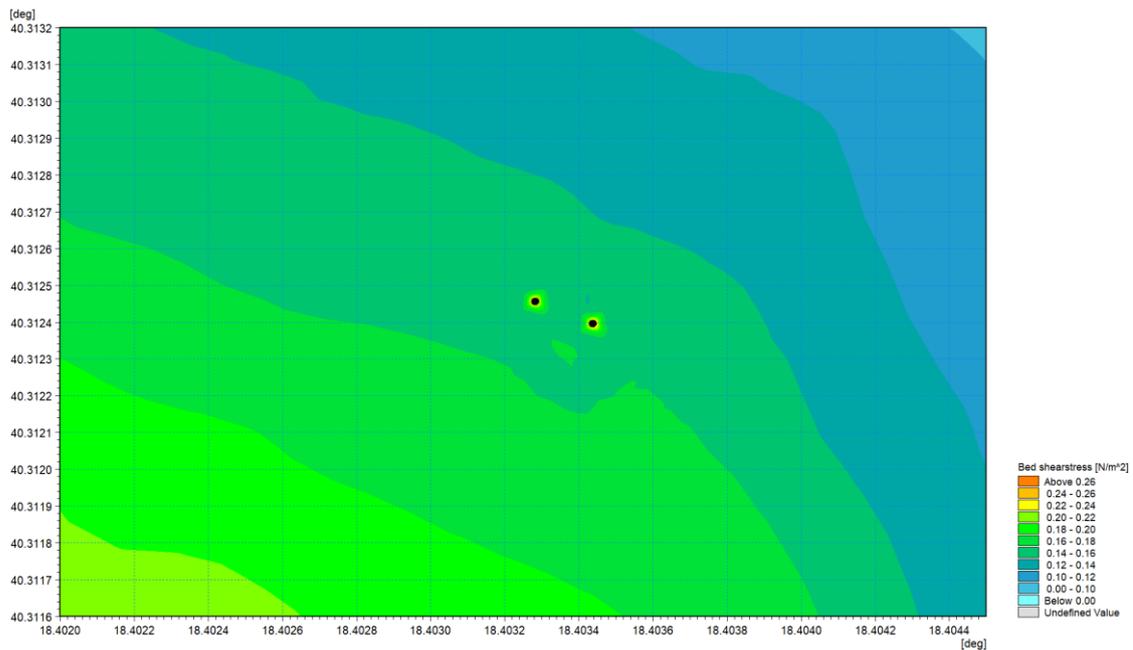


Figura 8-15 Dettaglio, in corrispondenza della stazione C1-C2, del campo di tensioni tangenziali al fondo generato dalle correnti relative allo scenario 5 in presenza dei dissuasori

9. INTERFERENZE CON LE BIOCENOSI

Come anticipato al paragrafo 5.1, l'installazione dei dissuasori è stata prevista laddove gli habitat più sensibili, quali *Cymodocea nodosa*, *Posidonia Oceanica* e biocostruzioni non sono presenti in modo da non interferire su queste biocenosi, sia durante la fase di messa in opera, sia in fase di esercizio dei dissuasori.

Come evidenziato nei precedenti paragrafi, i campi di corrente e, di conseguenza, le tensioni tangenziali al fondo, sono influenzate dall'installazione delle strutture solo in un intorno di alcune centinaia di metri dalle stesse e solo nei primi metri dal fondo, con una limitata attenuazione delle velocità. Poiché le variazioni dei campi idrodinamici e dei tassi sedimentari sono trascurabili e confinate nelle aree circostanti i dissuasori, si deduce che la potenziale interferenza con le biocenosi presenti sia non significativa. Si sottolinea inoltre che seppur l'interferenza maggiore sull'idrodinamica locale sia determinata dalla presenza dell'oasi di ripopolamento, in quanto copre un'area più vasta, in tale area, le biocenosi più sensibili sono del tutto assenti.

Per completezza di analisi, i dettagli dei campi di corrente al fondo generati nei 3 scenari idrodinamici in studio, sia in assenza che in presenza di dissuasori, sono riportati di seguito con indicate anche le aree dove è stata rilevata la presenza di *Cymodocea nodosa* (in magenta), chiazze di *Posidonia Oceanica* (in verde) e biocostruzioni (in blu). Da queste immagini risulta immediato concludere come le modifiche dei campi idrodinamici indotte dalla presenza dei dissuasori siano trascurabili nelle zone coperte da biocenosi.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 70 of 75

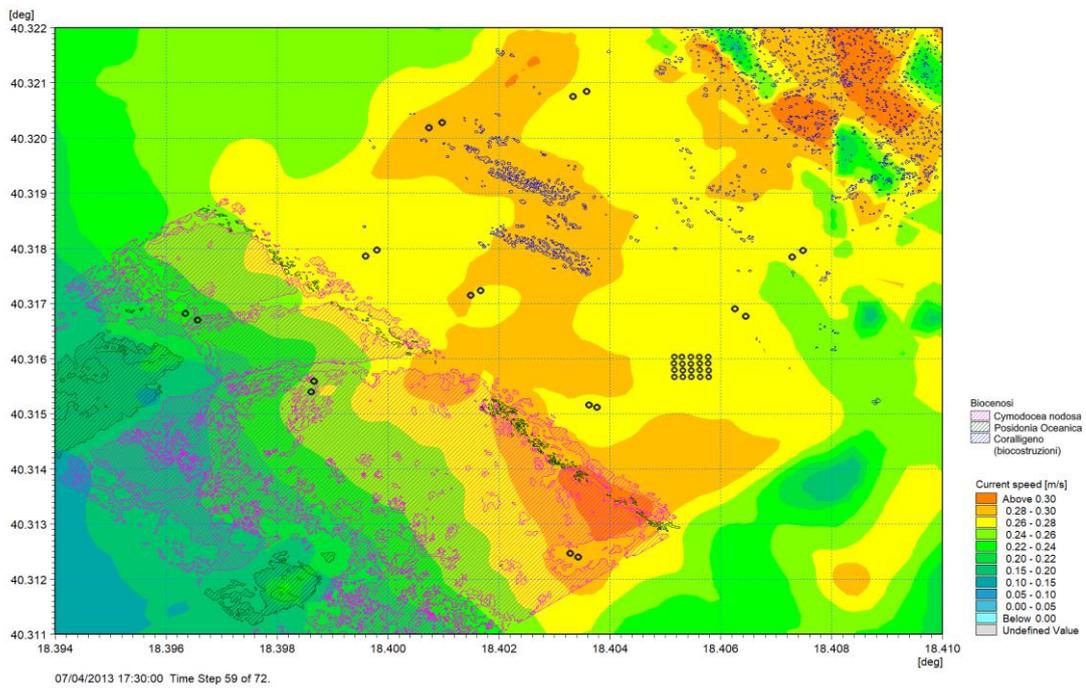


Figura 9-1 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in assenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

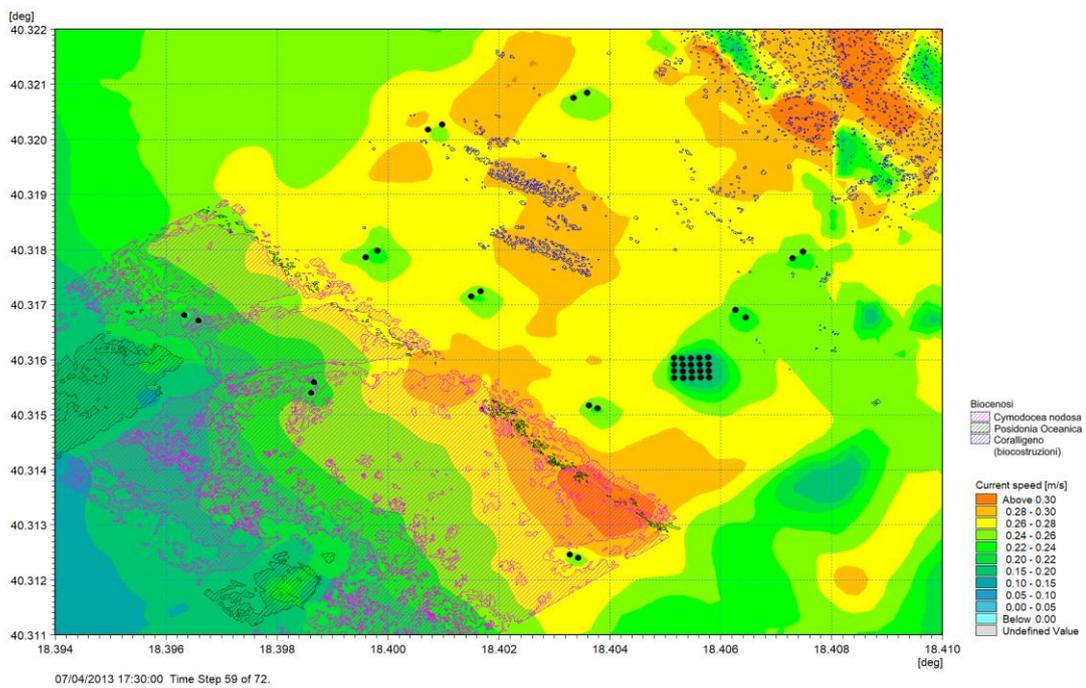


Figura 9-2 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 1 (07.04.2013 h. 17:30) in presenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 71 of 75

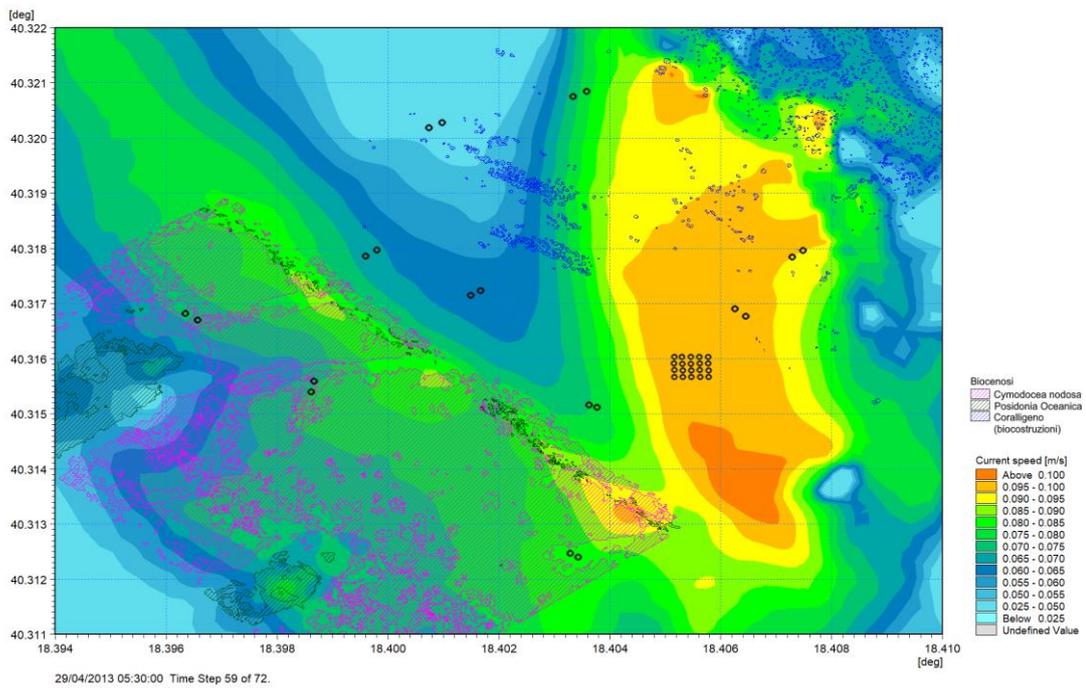


Figura 9-3 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in assenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

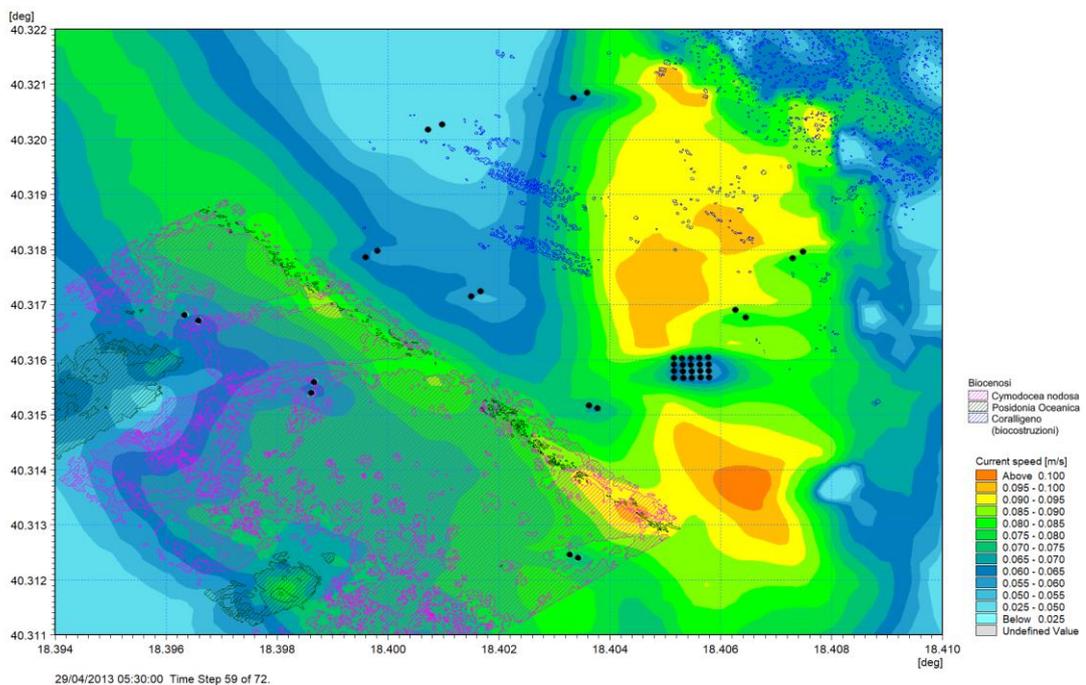


Figura 9-4 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 2 (29.04.2013 h. 05:30) in presenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 72 of 75

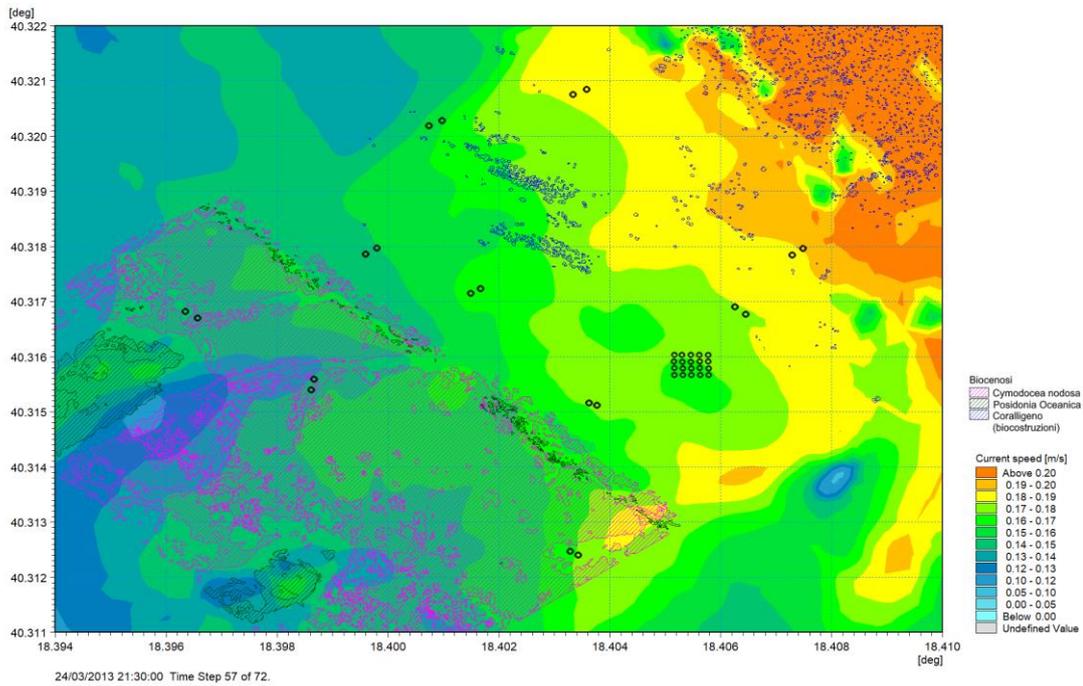


Figura 9-5 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in assenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

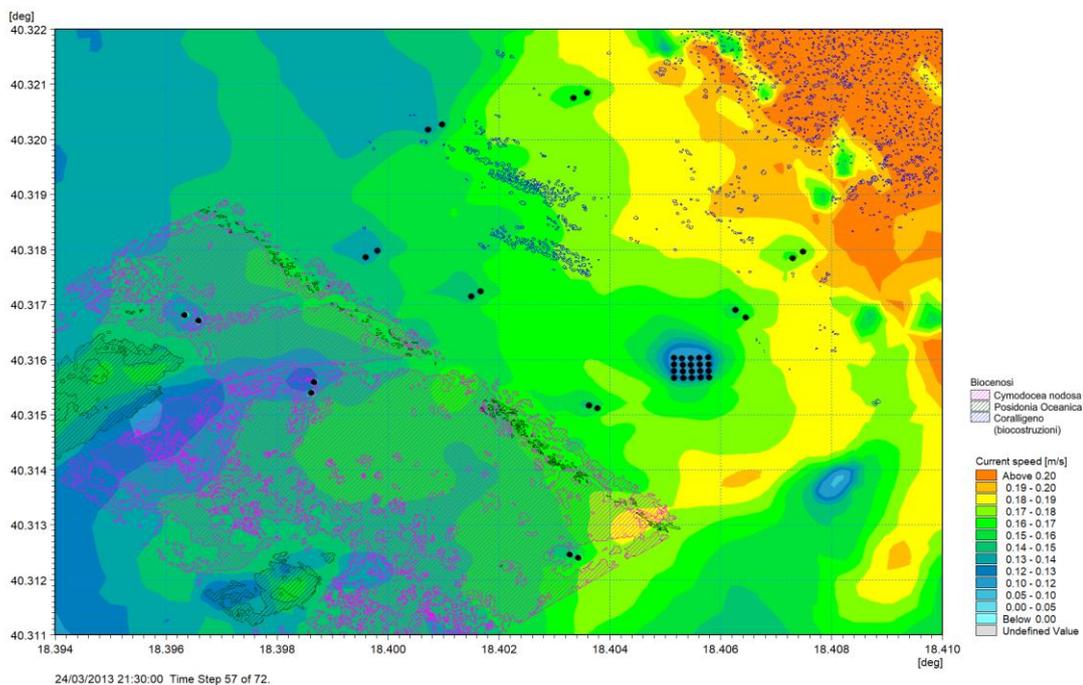


Figura 9-6 Dettaglio del campo di corrente al fondo in un istante temporale dello scenario 3 (24.03.2013 h. 21:30) in presenza dei dissuasori ed indicazione delle biocenosi presenti nella zona di interesse

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	73 of 75

10. CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di quantificare, attraverso la predisposizione di un sistema modellistico integrato, le variazioni sull'idrodinamica locale e, di conseguenza, sul trasporto di sedimenti, indotte dal posizionamento sul fondale di una serie di blocchi cubici di lato 2 metri nell'area interessata dall'approdo del gasdotto TAP (Trans Adriatic Pipeline), con funzione di dissuasori antistrascico e ripopolamento ittico.

In particolare, la presente relazione è stata redatta in risposta alla specifica richiesta da parte di ISPRA e ARPA Puglia (nota tecnica congiunta trasmessa con lettera prot. 2019/30991 del 15.05.2019) di *"..effettuare opportune valutazioni in merito alle eventuali interferenze indotte dal posizionamento delle piramidi sull'idrodinamica locale. In particolare, esse dovranno essere realizzate in maniera tale da escludere modifiche significative del campo correntometrico del sito e, conseguentemente, dei tassi sedimentari"*.

Lo studio ha previsto inizialmente una dettagliata caratterizzazione della circolazione e del moto ondoso locale basata su affidabili database allo stato dell'arte. Questa analisi preliminare ha permesso di selezionare alcuni scenari rappresentativi dell'idrodinamica tipica di un intero anno, che sono stati presi a riferimento nelle simulazioni di dettaglio, effettuate nelle due configurazioni in presenza ed assenza dei blocchi.

In particolare, mediante l'applicazione del modello idrodinamico tridimensionale MIKE 3 HD, sono stati studiati 3 scenari di circolazione per la zona in studio, ben rappresentativi delle condizioni che si verificano nell'area. Con il modello bidimensionale MIKE 21 SW sono stati studiati i campi d'onda generati da due condizioni di moto ondoso rappresentative della zona. Infine, è stato applicato il modello MIKE 21 HD per lo studio delle correnti litoranee generate dal moto ondoso.

Queste applicazioni modellistiche hanno quindi permesso di simulare i campi idrodinamici relativi sia alla circolazione generale, sia alle correnti litoranee, e di valutarne le variazioni in seguito all'installazione dei dissuasori. Per stimare l'influenza dei blocchi sul trasporto di sedimenti, sono state inoltre analizzate le distribuzioni delle tensioni tangenziali al fondo indotte dalle correnti, principali responsabili della movimentazione dei sedimenti.

Lo studio ha messo in evidenza che, in condizioni tipiche ed ordinarie per la zona, le correnti presentano al fondo velocità assai ridotte e, di conseguenza, le tensioni tangenziali, sia in presenza che in assenza di dissuasori, sono in generale limitate e non tali da determinare l'innesco della movimentazione dei sedimenti. Solo in condizioni di corrente meno frequenti, ma più intense, si potrebbe attivare la movimentazione di sedimenti. In queste circostanze, il rallentamento della corrente indotto dalla presenza dei blocchi, e la conseguente diminuzione delle tensioni al fondo, provoca una minore capacità di movimentazione ed una maggiore capacità di deposizione. Nell'intorno dei blocchi pertanto si potrebbero verificare potenziali variazioni delle condizioni di trasporto solido in quantità limitata ed assai localizzata. Infatti, la corrente viene influenzata dalla messa in opera delle strutture solo in un

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	74 of 75

intorno di alcune centinaia di metri dagli stessi e solo nei primi metri dal fondo si potrebbe verificare una limitata attenuazione delle velocità.

Da queste considerazioni si deduce che le modifiche sui campi idrodinamici indotte dalla presenza dei dissuasori siano trascurabili, risultando non significative sia a grande che a piccola scala.

Le stesse considerazioni valgono per le correnti indotte dalle onde. In questo caso, le correnti litoranee sono elevate nella fascia dei frangenti, ossia fino ad una profondità di circa 10-15 m, come dimostrato nel presente studio. Nella zona dove si prevede di installare i dissuasori, cioè a partire da profondità maggiori, le velocità delle correnti indotte dalle onde sono quindi modeste e, di conseguenza, anche le tensioni tangenziali al fondo e la capacità di trasporto sono limitate. La maggiore influenza dei dissuasori si ha in corrispondenza di quelli più prossimi a costa, dove comunque le tensioni tangenziali raramente raggiungono valori tali da innescare il trasporto di sedimenti.

In conclusione, date le esigue e locali variazioni potenzialmente indotte dalla presenza dei dissuasori e dell'oasi di ripopolamento sull'idrodinamica generale, sulla corrente litoranea generata dalle onde e, di conseguenza, sulle tensioni al fondo, si possono escludere modifiche significative del campo correntometrico del sito e, conseguentemente, dei tassi sedimentari.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	75 of 75

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Artegiani, D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raicich e A. Russo, «The Adriatic Sea general circulation. Part I: Air-sea interactions and water mass structure,» *J. Phys. Oceanogr.*, pp. 27(8), 1492–1514, 1997.
- [2] A. Artegiani, D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raicich e A. Russo, «The Adriatic Sea general circulation. Part II: Baroclinic circulation structure,» *J. Phys. Oceanogr.*, pp. 27(8), 1515–1532, 1997.
- [3] DHI, «MIKE 3 Flow Model HD FM, Hydrodynamics Flexible Mesh, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2017.
- [4] «MIKE 21 SW - Spectral Wave Module, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2019.
- [5] Jeppesen Marine, «CM-93, Global Electronic Chart Database Professional+,» Jeppesen Marine, Norway, 2019.
- [6] DHI, «MIKE C-MAP, Extraction of World Wide Bathymetry Data and Tidal Information, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2019.
- [7] A. Pedroncini, G. Contento, L. Donatini, L. Cusati, G. Lupieri, H. Hansen e 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.
- [8] J. Michalakes, S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff e W. Skamarock, «Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model,» in *Proceedings of the 9th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology.*, 2001.
- [9] J. Michalakes, J. Dudhia, D. Gill, T. Henderson, J. Klemp, W. Skamarock e W. Wang, «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*, 2004.
- [10] A. Guarnieri, P. Oddo, G. Bortoluzzi, M. Pastore, N. Pinardi e M. Ravaioli, «The Adriatic Basin Forecasting System: new model and System development. Coastal to Global Operational Oceanography: Achievements and Challenges.,» in *International Conference on EuroGOOS*, Exeter (UK), 2008.
- [11] P. Oddo e A. Guarnieri, «A study of the hydrographic conditions in the Adriatic Sea from numerical modelling and direct observations (2000–2008),» *Ocean Science*, pp. 7, 549–567, 2011.
- [12] A. Guarnieri, N. Pinardi, P. Oddo, G. Bortoluzzi e M. Ravaioli, «Impact of tides in a baroclinic circulation model of the Adriatic Sea,» *Journal Of Geophysical Research, Oceans*, pp. Vol. 118, 166–183, doi:10.1029/2012JC007921, 2013.
- [13] M. Tonani, N. Pinardi, S. Dobricić, I. Pujol e C. Fratianni, «A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea,» *Ocean Science*, pp. 4, 1–14, 2008.
- [14] R. Flather, «A tidal model of the northwest European continental shelf,» *Memories de la Societe Royale des Sciences de Liege*, vol. 6, n. 10, p. 141–164, 1976.
- [15] Saha, Suranjana e Coauthors, «The NCEP Climate Forecast System Reanalysis,» *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, pp. 91, 1015.1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1, 2010.
- [16] DHI, «MIKE 21 & 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2017.
- [17] W. Rodi, «Turbulence models and their applications in hydraulics,» IAHR, Delft, the Netherlands, 1984.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 10

ALLEGATO A

MIKE 3 HD Flow Model

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 10

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):

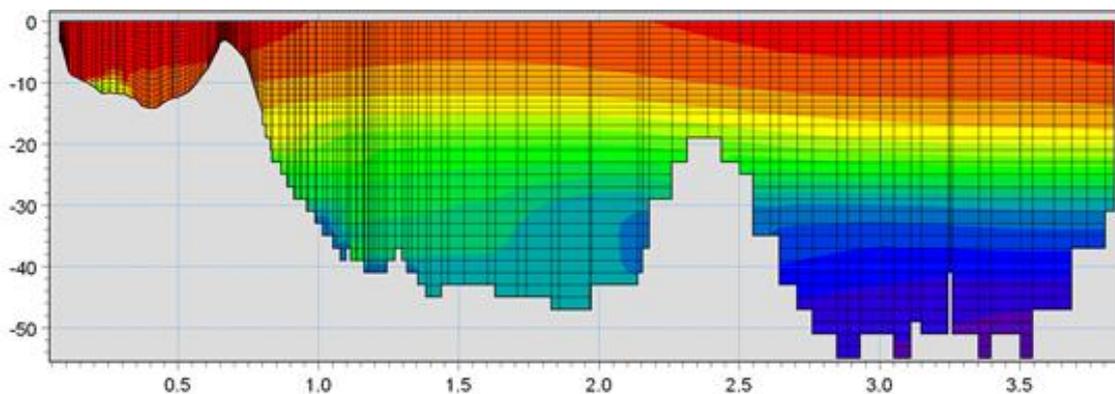
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 10

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 10

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 10

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.
TR (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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 10

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 idroecologia (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).

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	7 of 10

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:

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

Equazione della quantità di moto lungo la componente y:

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

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:

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

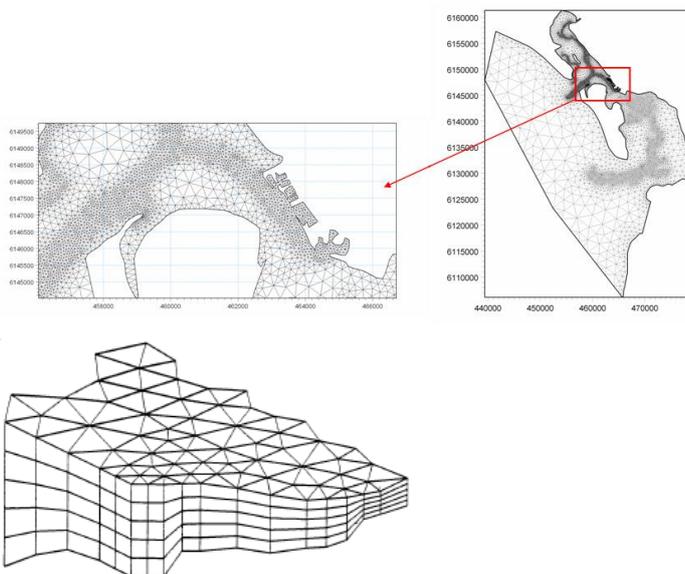
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	8 of 10

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
\bar{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_b, 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.

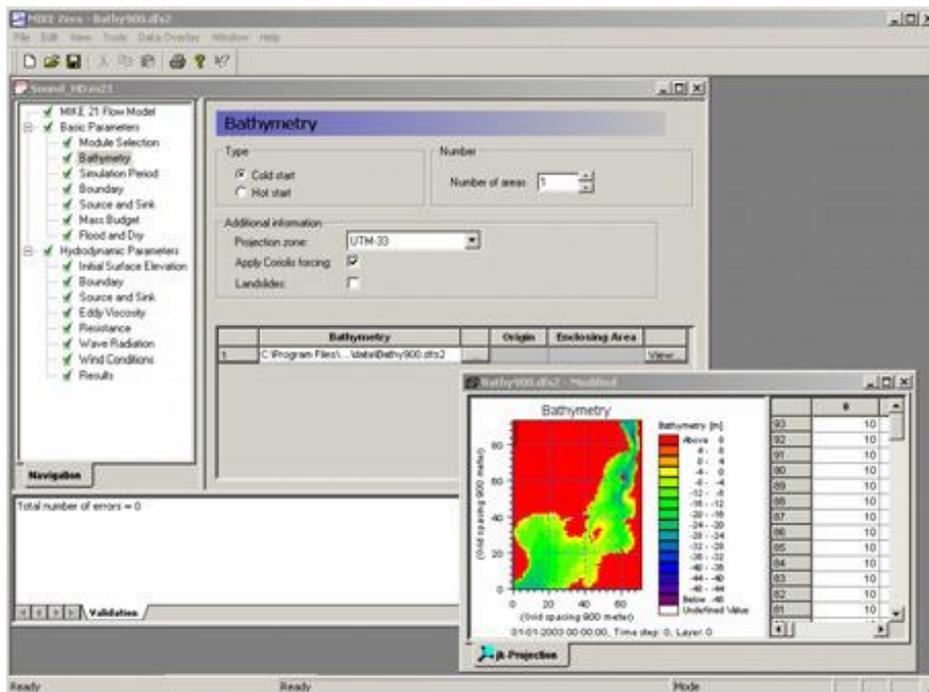


 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	9 of 10

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

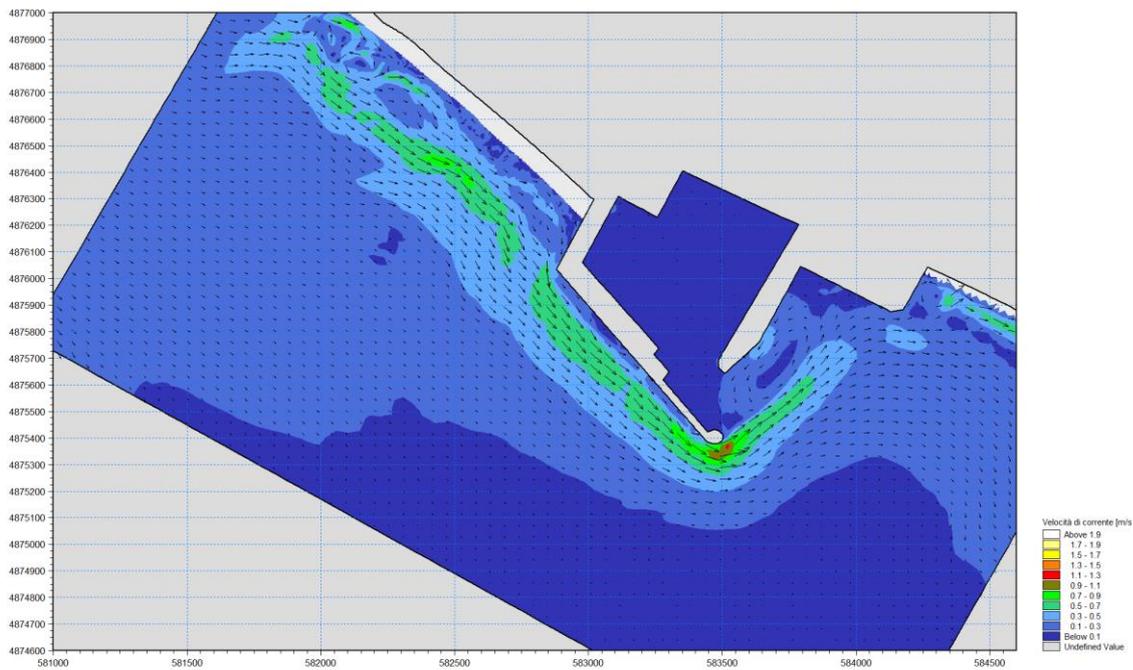
I risultati di un'applicazione modellistica tridimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazioni da esportare ed utilizzare in ambiente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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	10 of 10

(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.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 9

ALLEGATO B

MIKE 21 HD Flow Model

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 9

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 9



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).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 9

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	
<i>Modulo</i>	<i>Descrizione</i>
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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 9

Breve descrizione dei moduli MIKE 21	
Modulo	Descrizione
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".

MODULO IDRODINAMICO (HD FM)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. MIKE 21 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 21 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).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 9

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 idroecologia (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:

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

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:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	7 of 9

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

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

I termini di diffusività orizzontale sono definiti da:

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

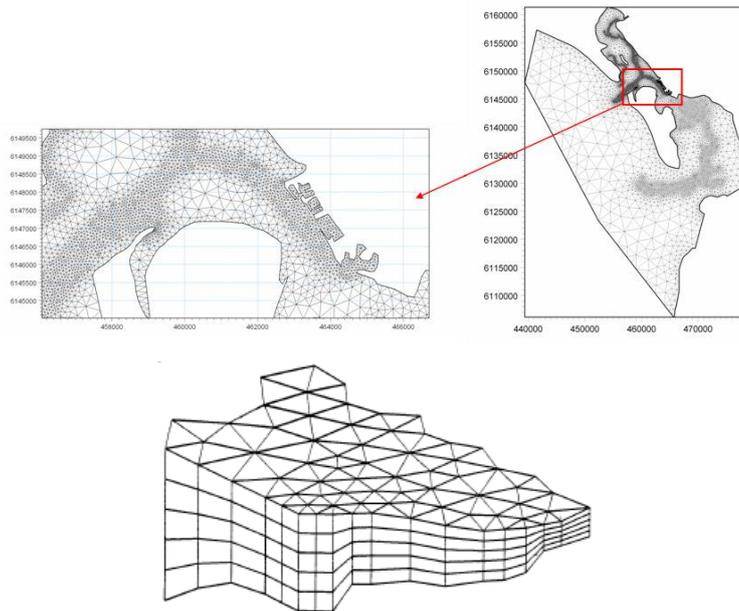
Le equazioni per l'idrodinamica bidimensionale sono ottenute integrando le equazioni lungo la verticale. Possono essere considerati anche gli scambi termici con l'atmosfera.

Symbol list	
t	<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>
\hat{H} :	<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</i>

TECNICHE DI SOLUZIONE

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	8 of 9

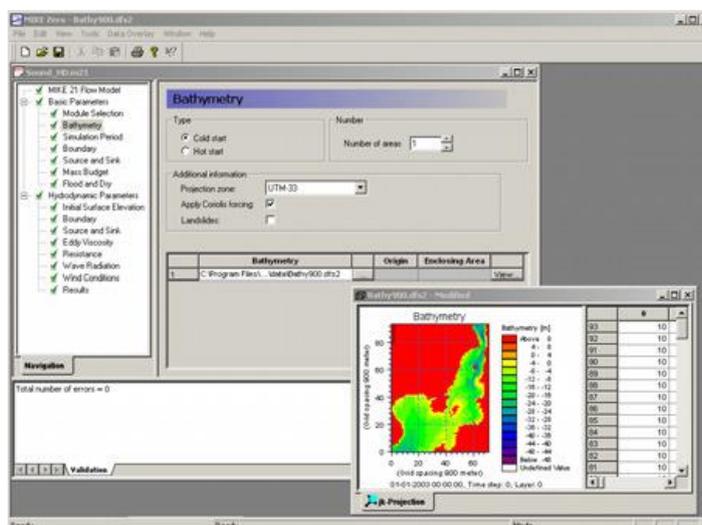


Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri.

INPUT AL MODELLO

Il modello MIKE 21 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).



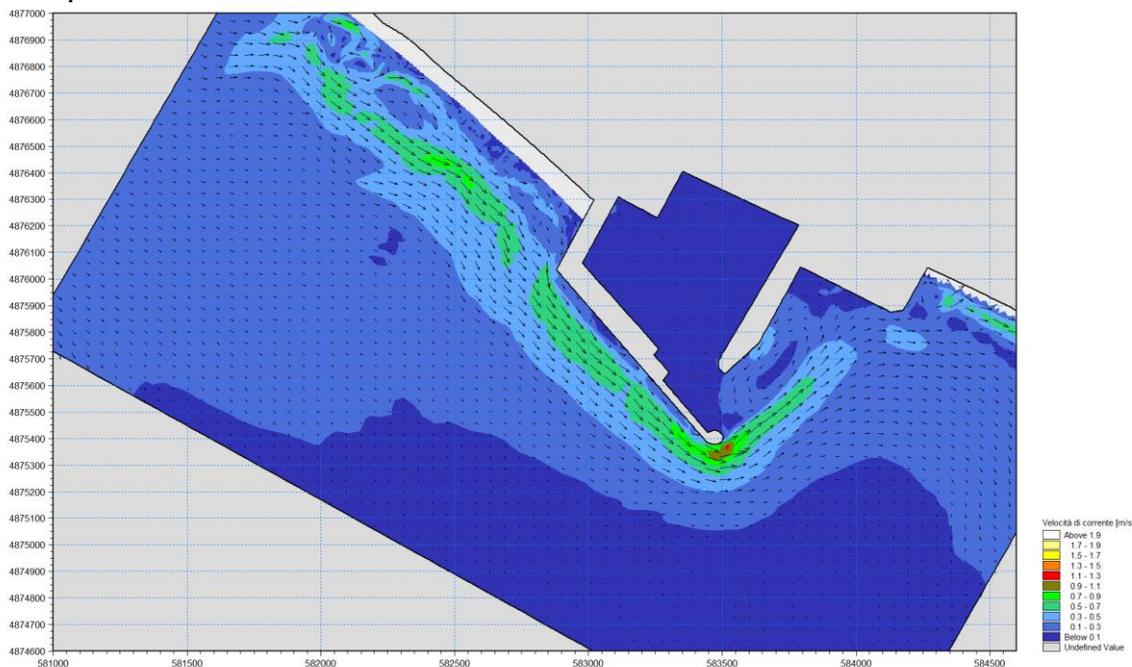
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	9 of 9

OUTPUT DEL MODELLO

I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale 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 bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno 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.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 8

ALLEGATO C

MIKE 21 SW Spectral Waves

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 8

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:

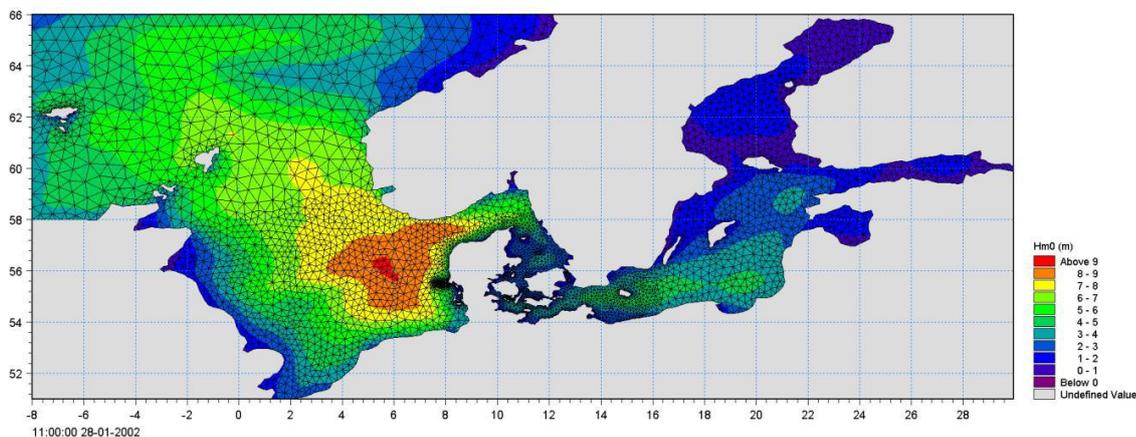
- crescita dell'onda per effetto del vento;
- interazione non lineare tra onde;
- dissipazione dovuta al white capping;
- dissipazione dovuta all'attrito col fondo;
- frangimento dell'onda su profondità limitate;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni batimetriche;
- effetto delle variazioni 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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 8



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:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 8

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, σ, θ) . 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 \bar{k} , 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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 8

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:

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^\infty \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega$$

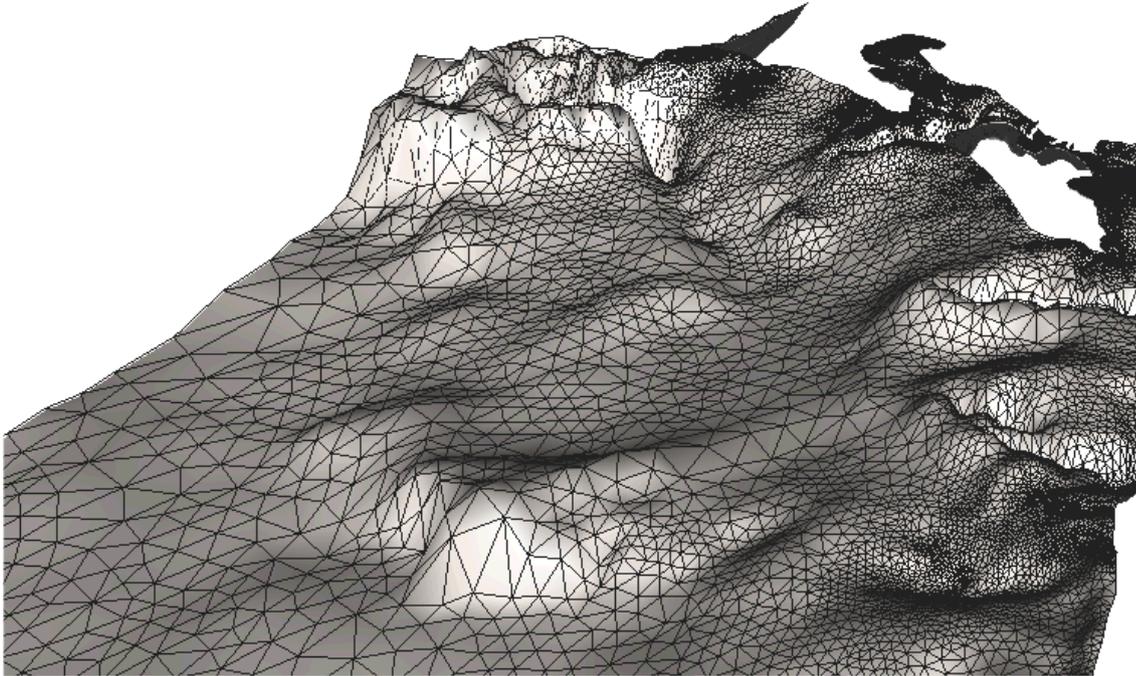
I termini di generazione T_0 e T_1 tengono conto dell’effetto del vento (solo per la modalità stazionaria) attraverso una relazione empirica (Johnson 1998) della dissipazione di energia dovuta all’attrito col fondo e al frangimento, e dell’effetto di interazione onde-correnti.

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.

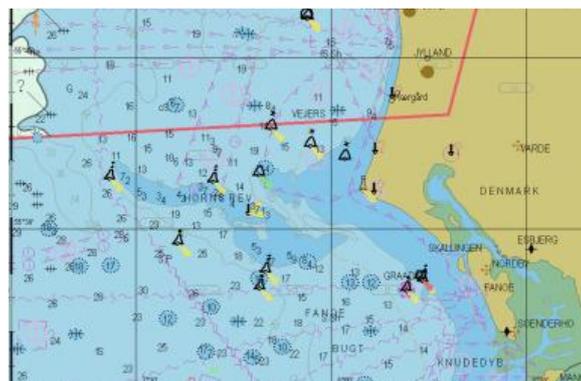
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 8



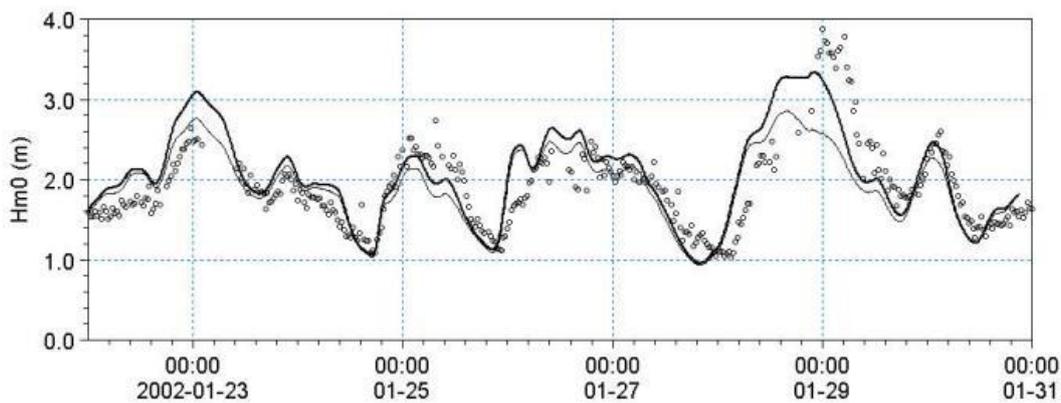
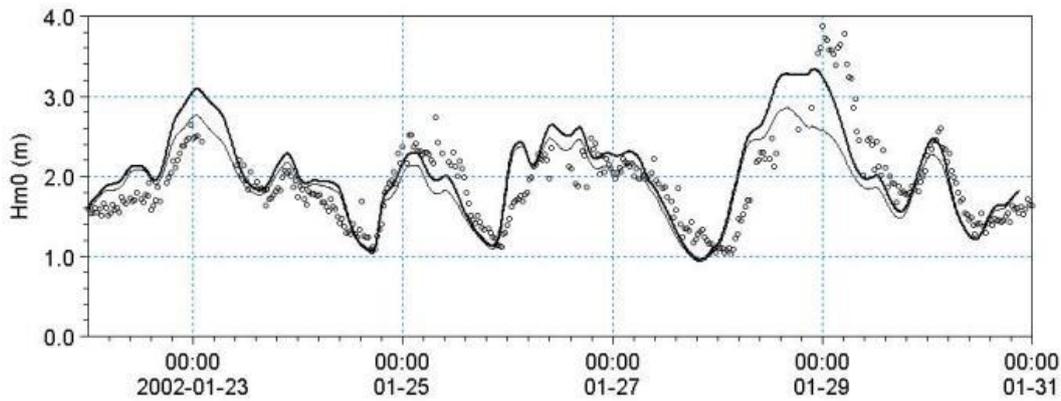
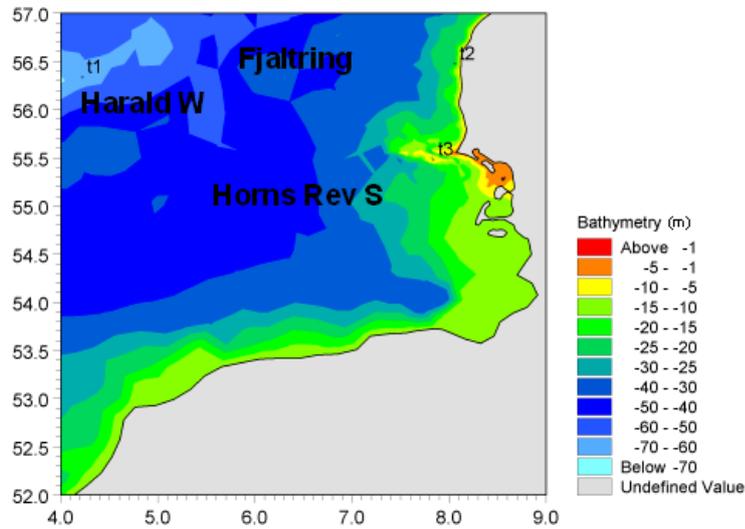
INPUT AL MODELLO

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).



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 7 of 8

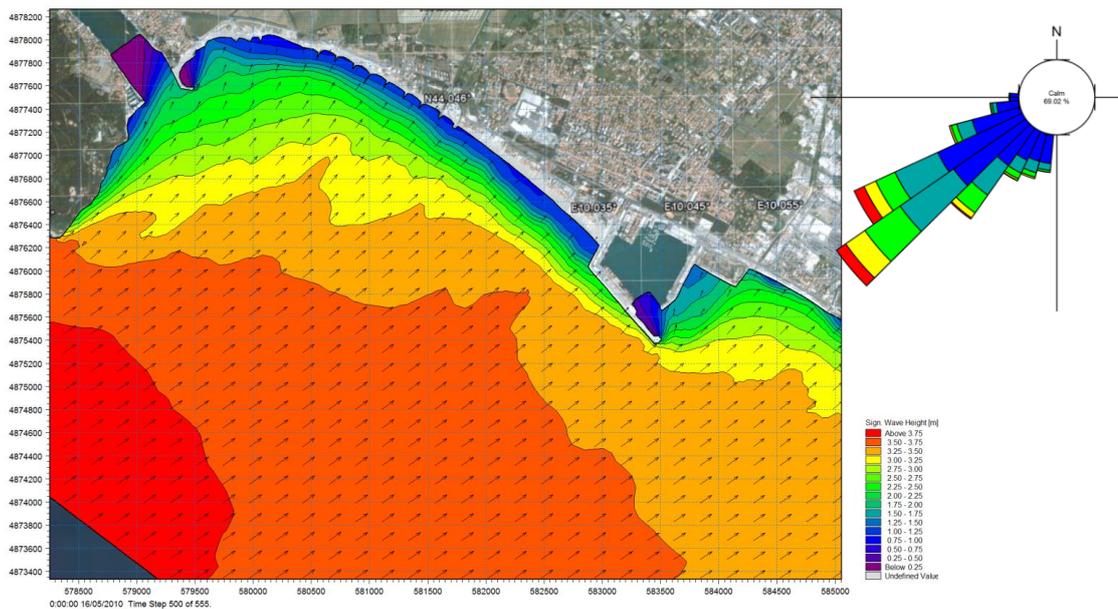


OUTPUT DEL MODELLO

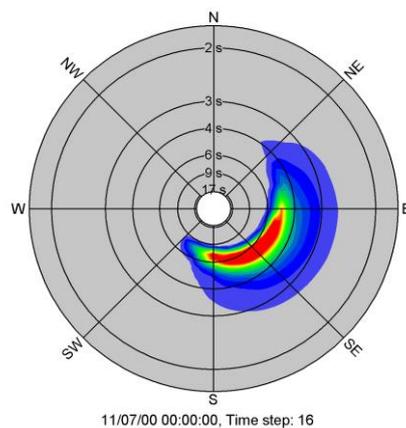
I risultati ottenuti, per ognuno degli elementi della mesh e per ciascun time step, si dividono essenzialmente nelle seguenti categorie:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.: 0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page: 8 of 8

- 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, 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.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 1

ALLEGATO D

Mediterranean Wind Wave Model (MWM)

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.

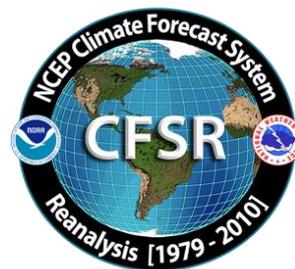


Figure A.1

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.

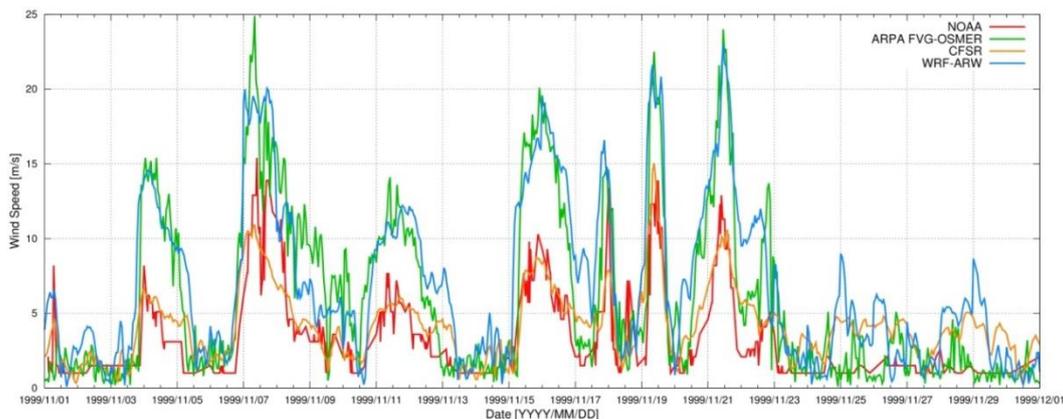


Figure A.2 Comparison between measured wind speed at two ground neighbor (few meters from each other) stations in Trieste (Italy - Northern Adriatic Sea) from the database of NOAA

(<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:

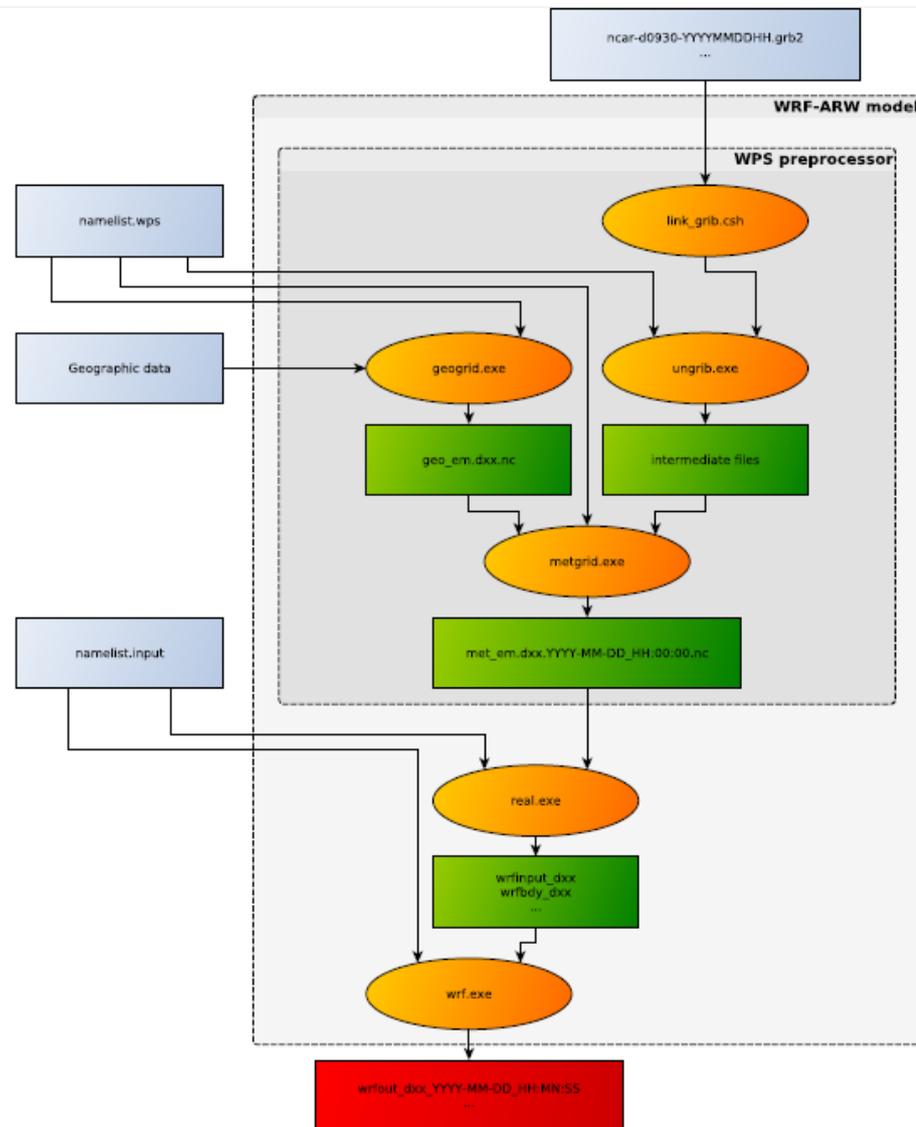


Figure A.3 Working scheme of the WRF-ARW model.

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).

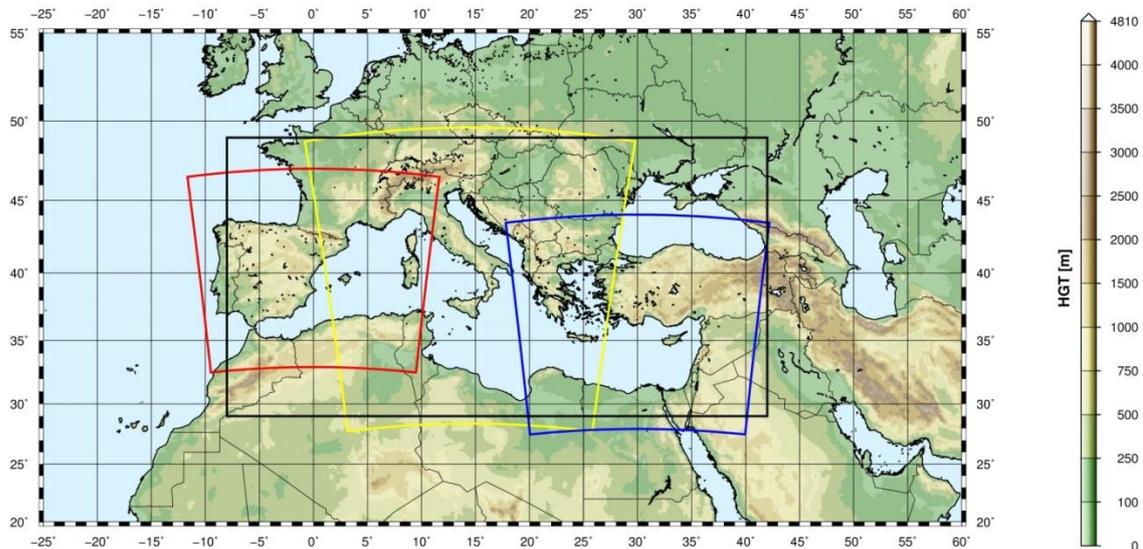


Figure A.4 WRF-ARW domains (red=domain MEW, yellow=domain MEC, blue=domain MEE) and interpolation/blending domain (black line).

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.

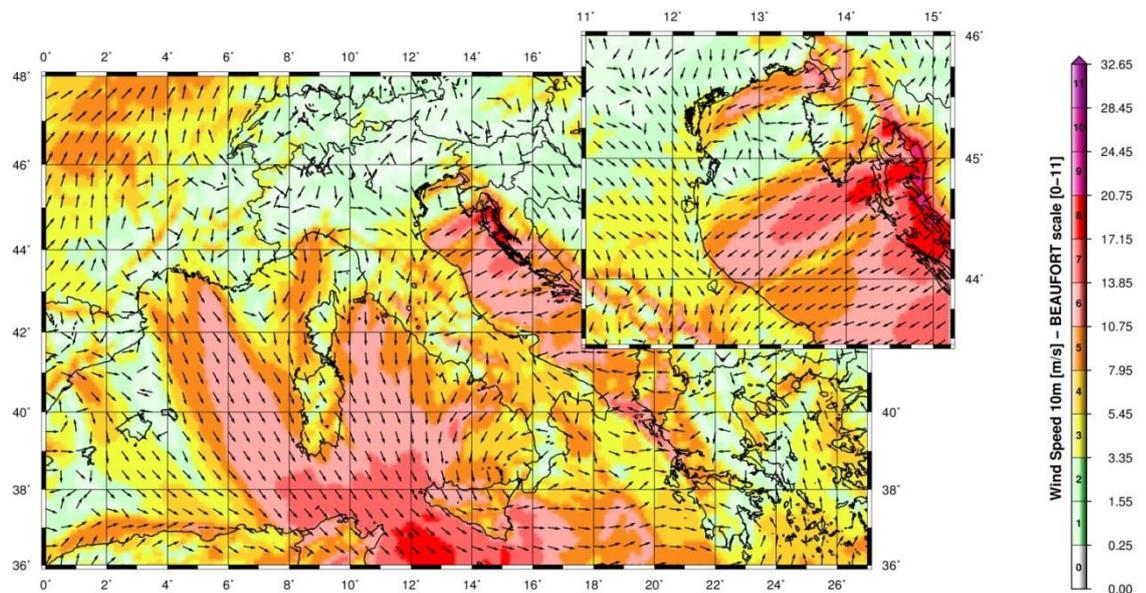


Figure A.5 A typical winter wind pattern over the Mediterranean Sea (from the present simulations, 5 December 2009). The well-known 3 major narrow gates of the “Bora” wind over the Adriatic Sea are well captured by the model, i.e. Trieste (Italy), Rijeka and Sibenik (Croatia). The upper-right figure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

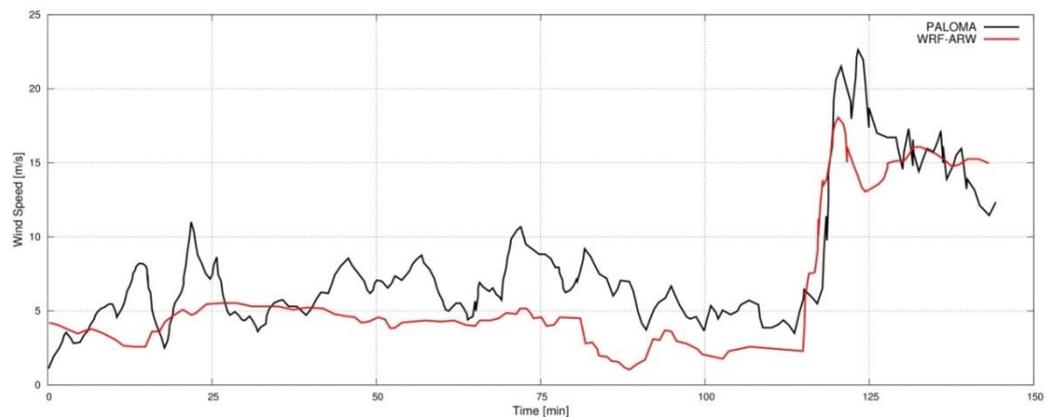


Figure A.6 Time series of the wind speed during a squall event occurred on August 2008 in the Gulf of Trieste. The squall lasts about 10 min reaching over 20 m/s from an almost calm situation. The red line corresponds to the results of the operational forecast meteorological model *WRF-ARW*. The black 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.

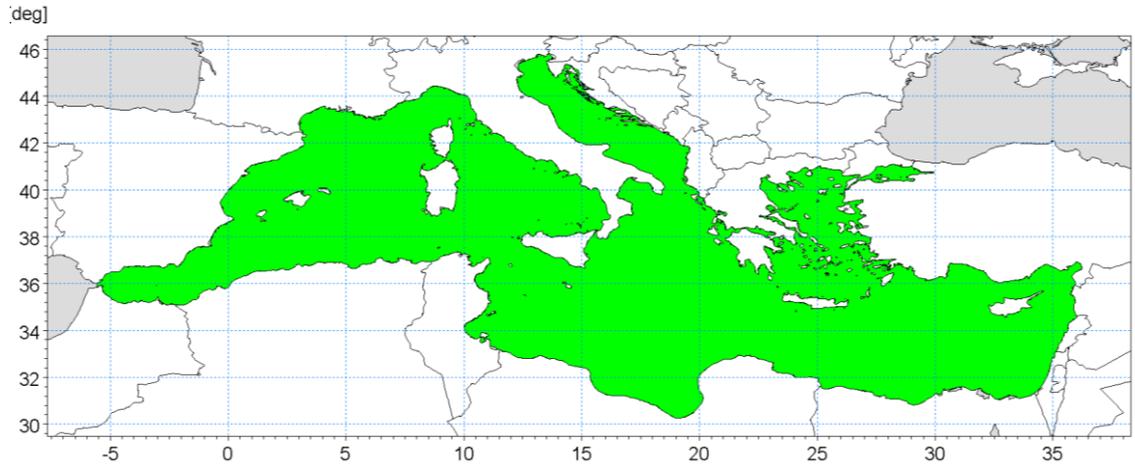


Figure A.7 Wave model domain filled in green

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.

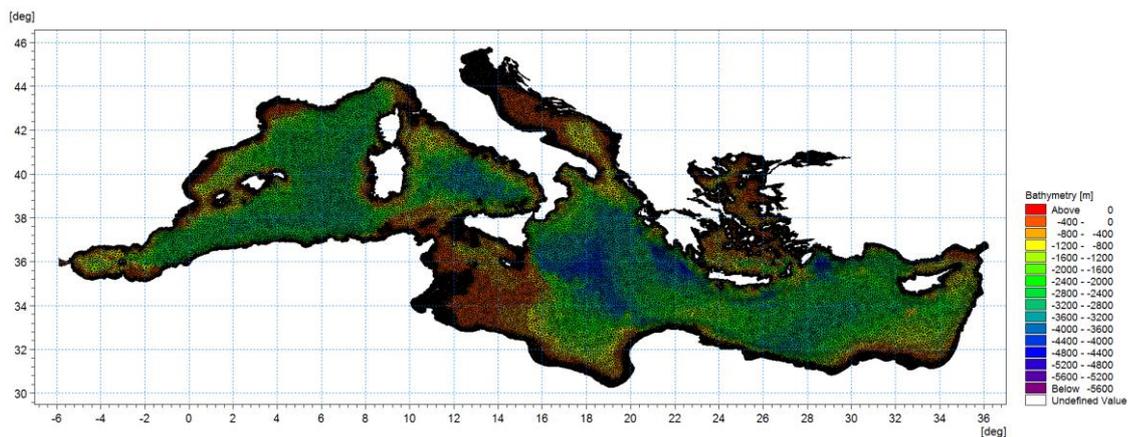


Figure A.8 - Mediterranean wave model computational mesh

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

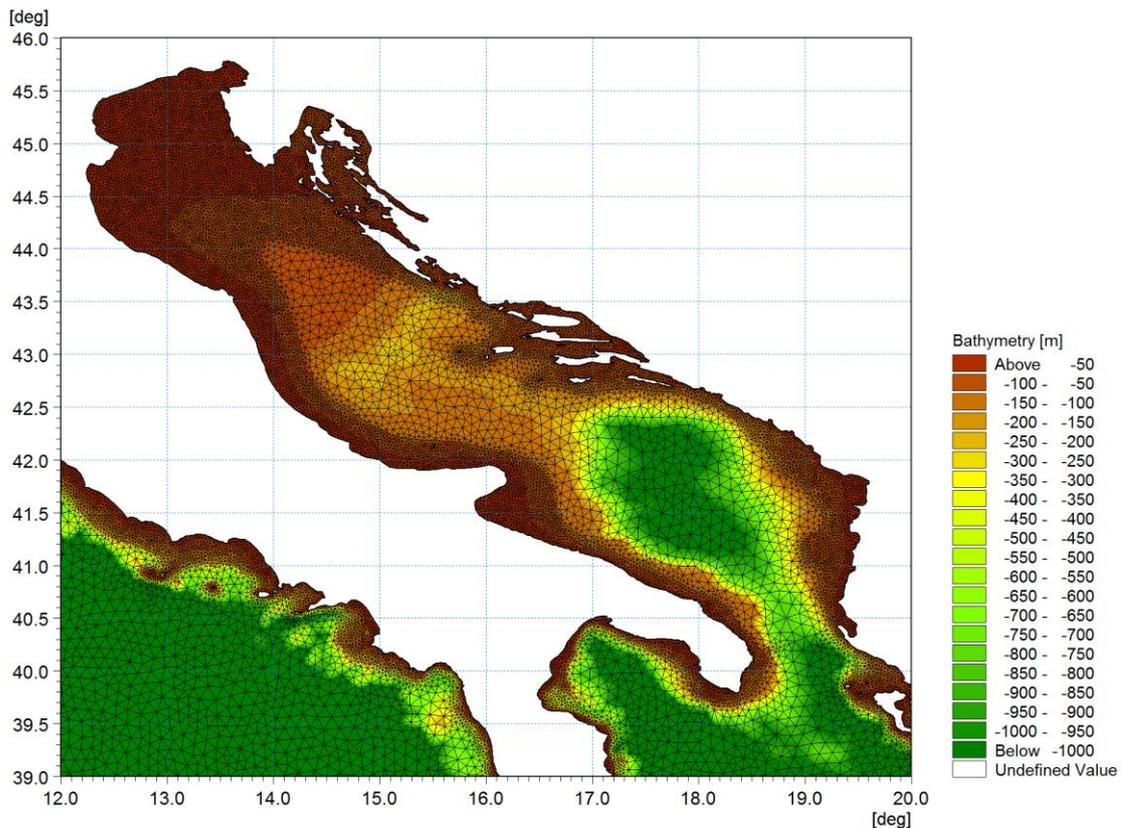


Figure A.9 - Detail of the mesh – Adriatic Sea

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.

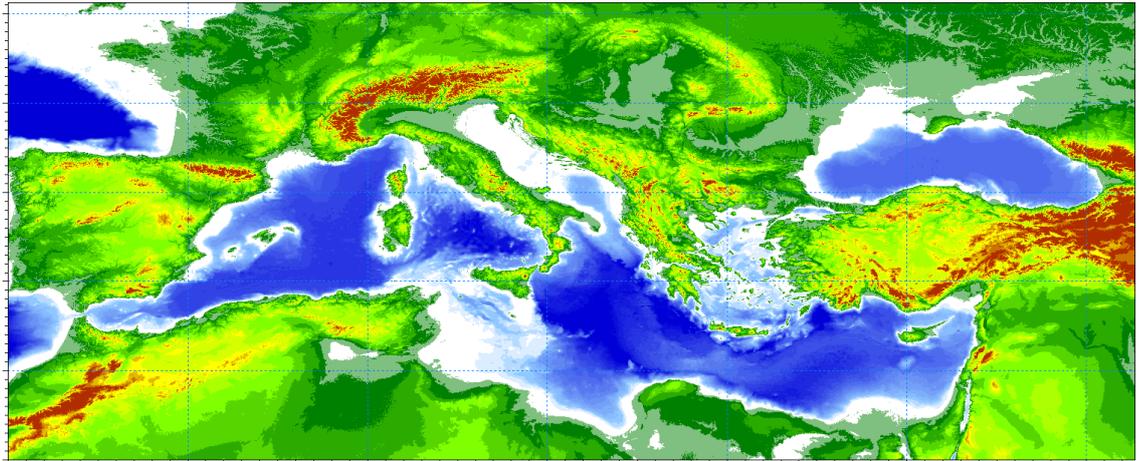


Figure A.10 - Scatter bathymetry data derived from GEBCO_08 database

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 $360^\circ/24 = 15^\circ$

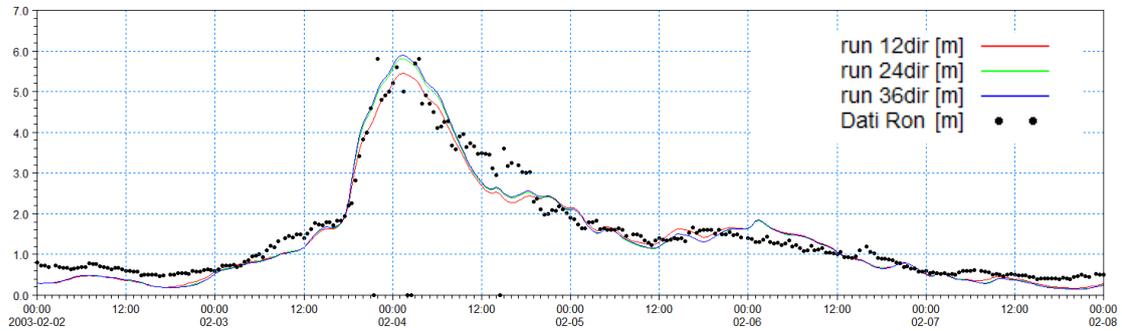


Figure A.11 - Time series of wave height at La Spezia buoy location for 3 different numbers of discrete directions

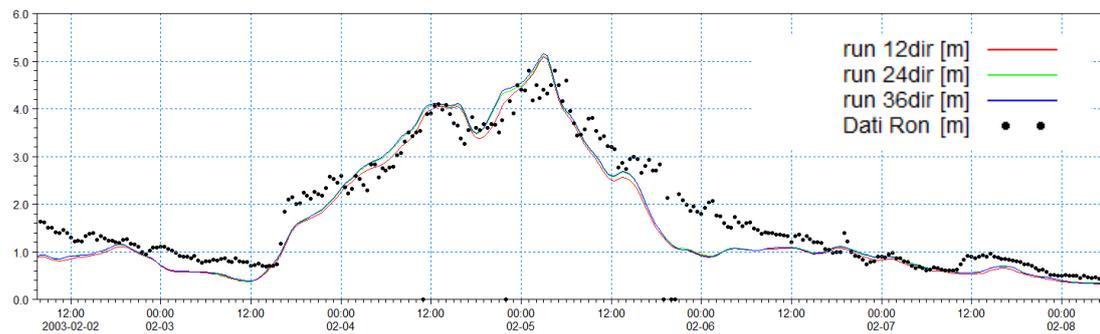


Figure A.12 - Time series of wave height at Ponza buoy location for 3 different numbers of discrete directions

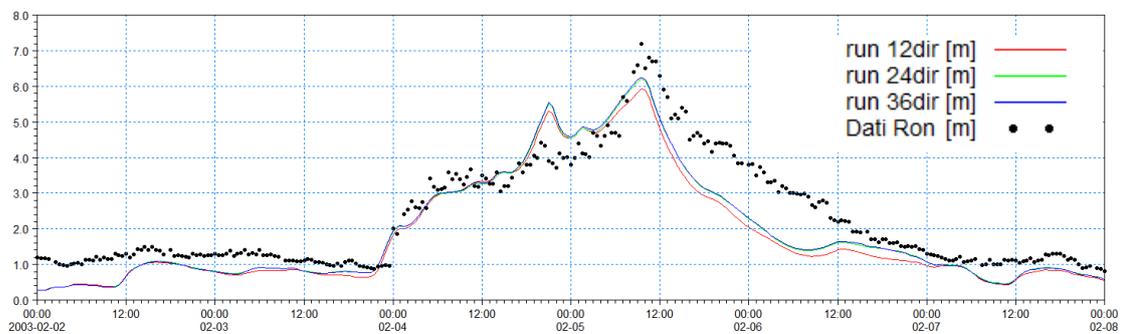


Figure A.13 - Time series of wave height at Cetraro buoy location for 3 different numbers of discrete directions

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.

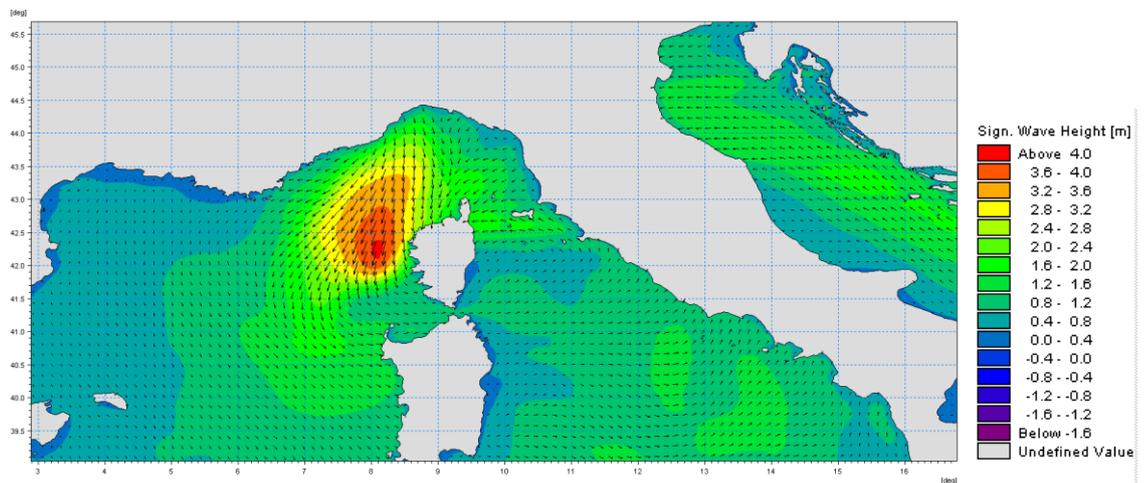


Figure A.14 Phase averaged results: Field of significant wave height and direction

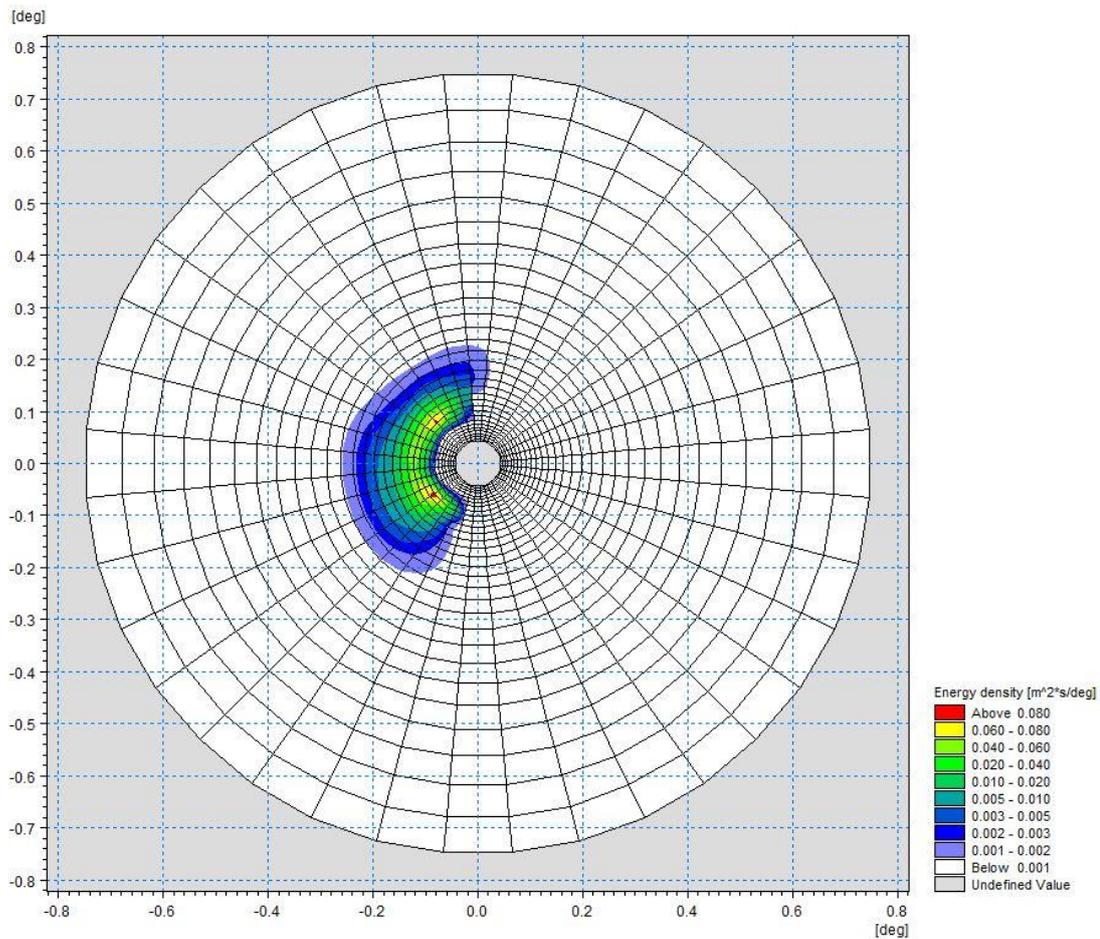


Figure A.15 Polar plot of spectral results. Wave energy density (coloured contours) as a function of directions (angular coordinate) and frequencies (radial coordinate)

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>

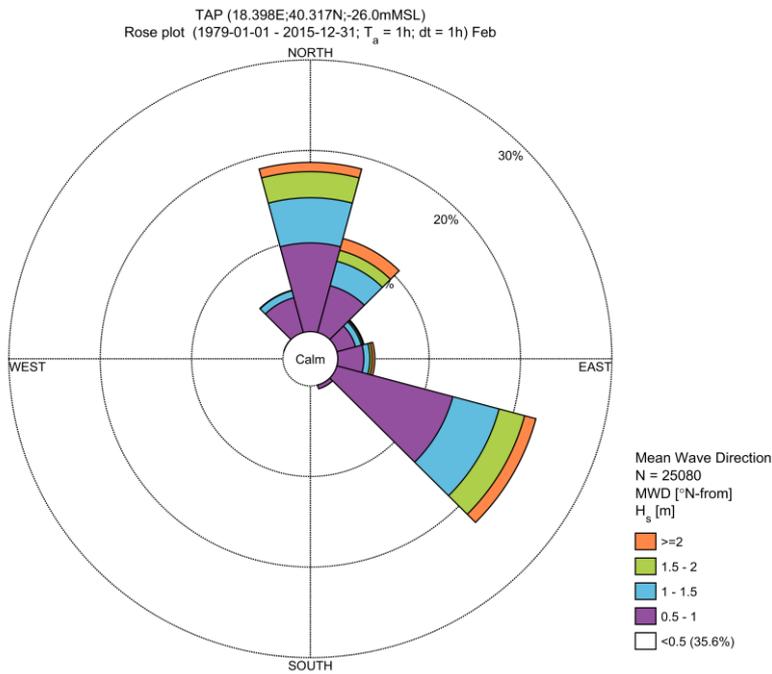
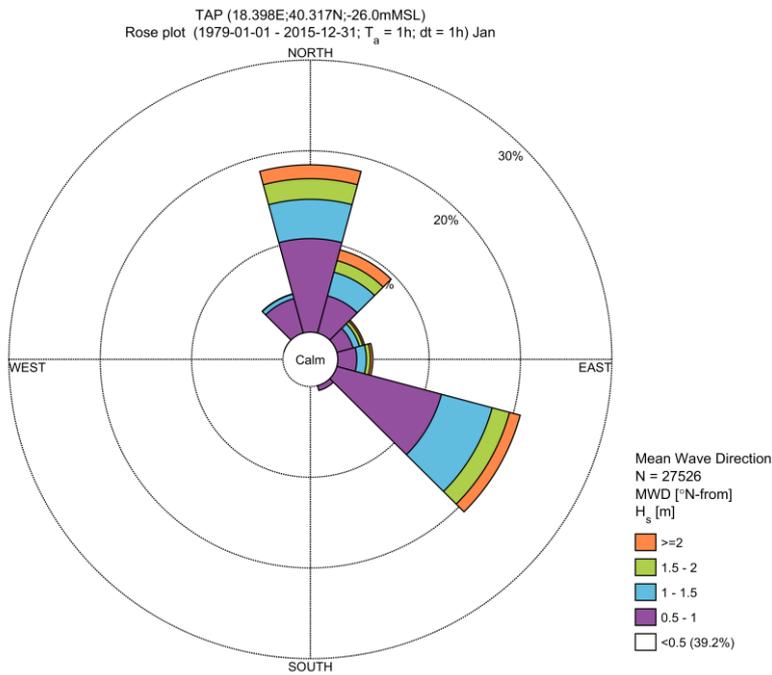
The Weather Research&Forecasting Model Website." [Online] Available at <http://www.wrf-model.org/index.php>

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 11

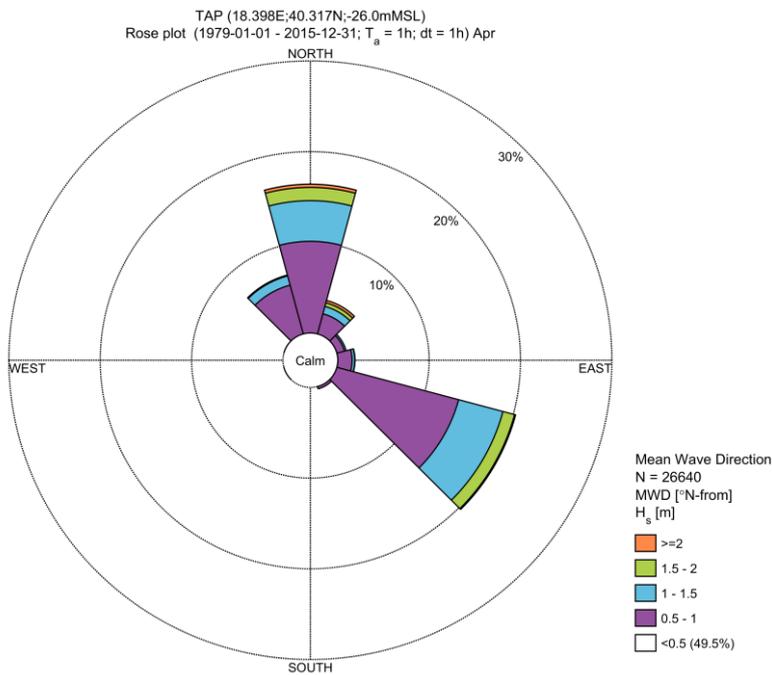
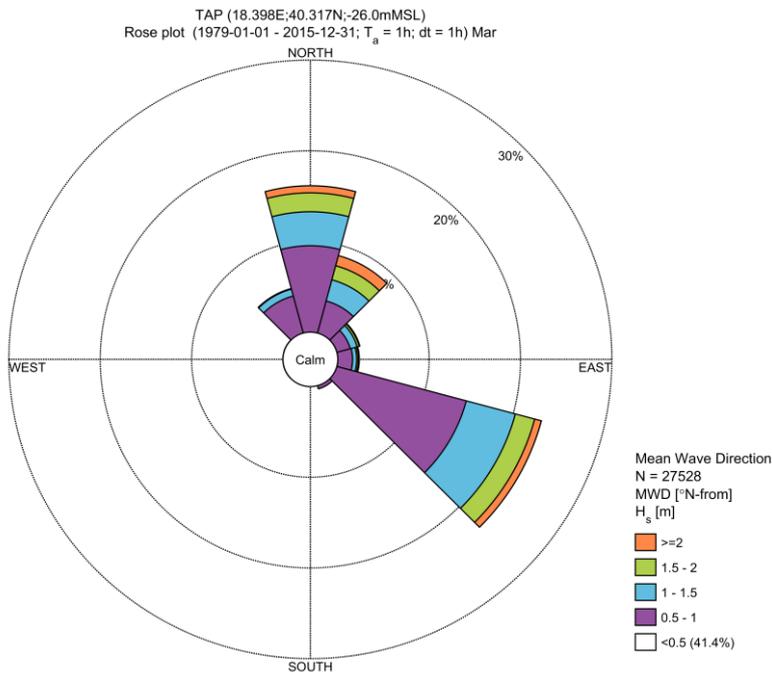
ALLEGATO E

Caratterizzazione delle onde in forma di rose e tabelle di frequenza

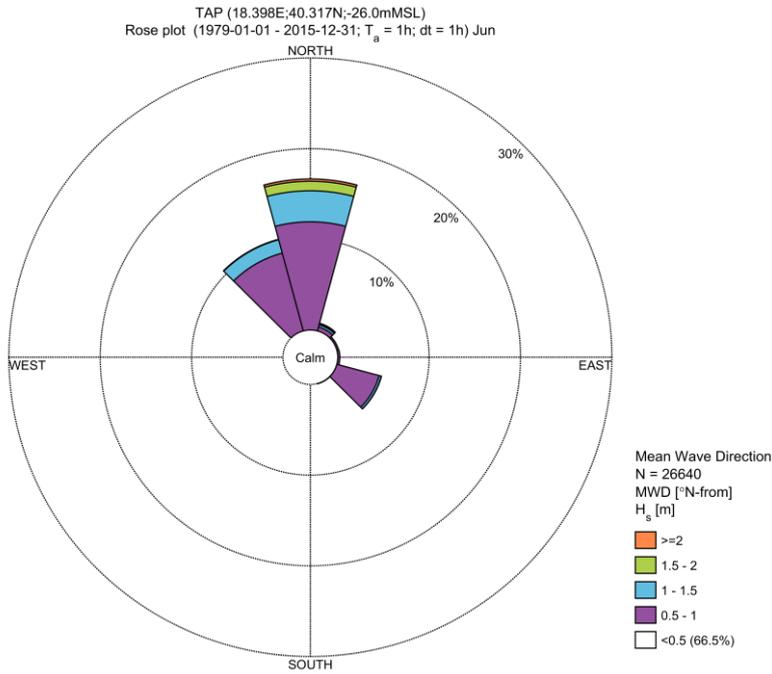
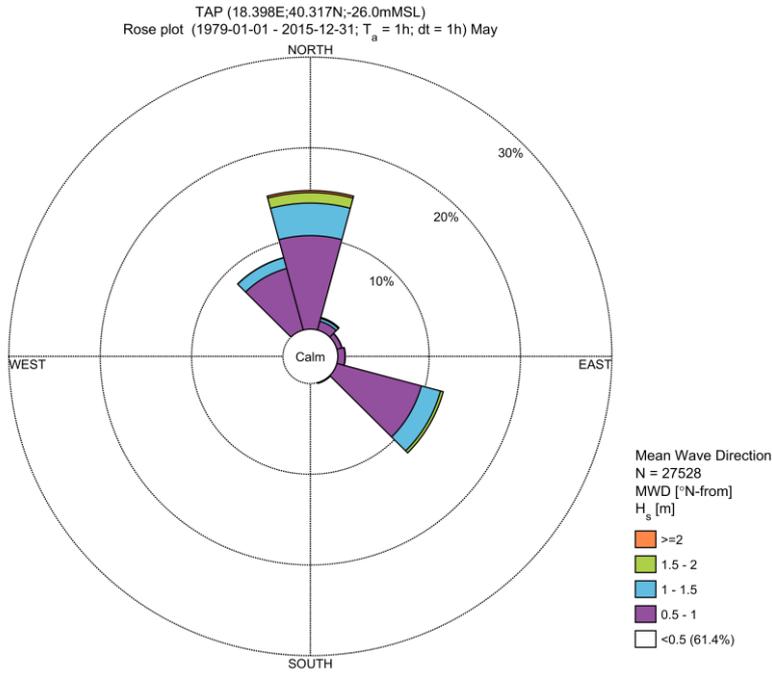
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 11



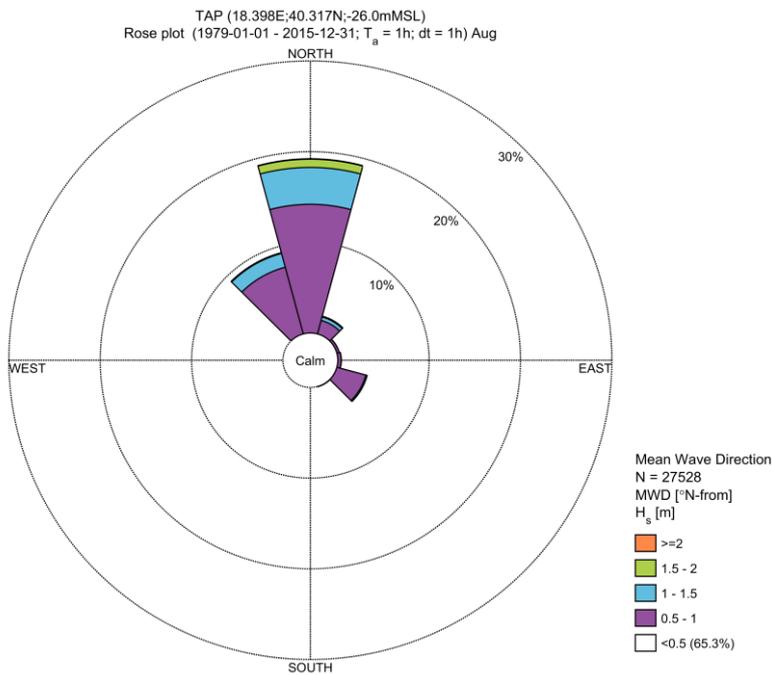
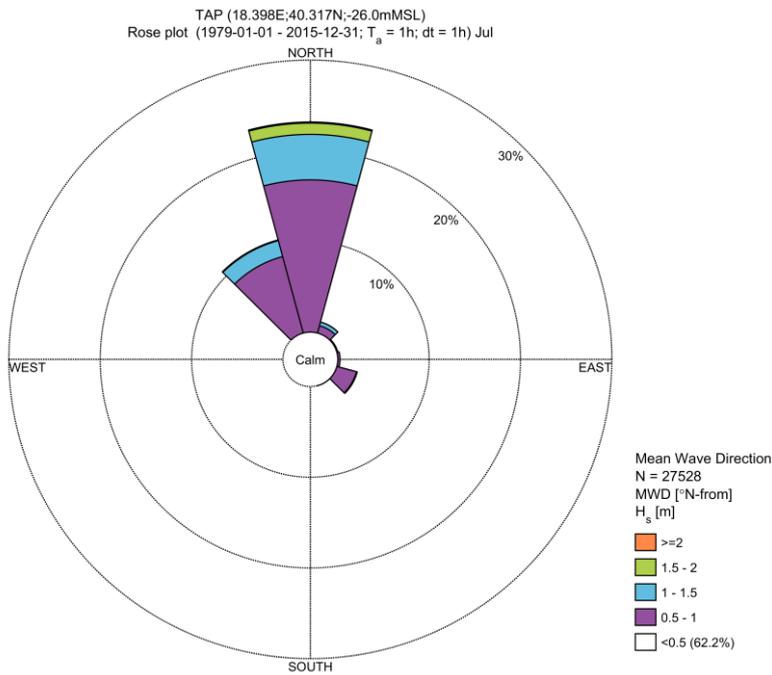
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 11



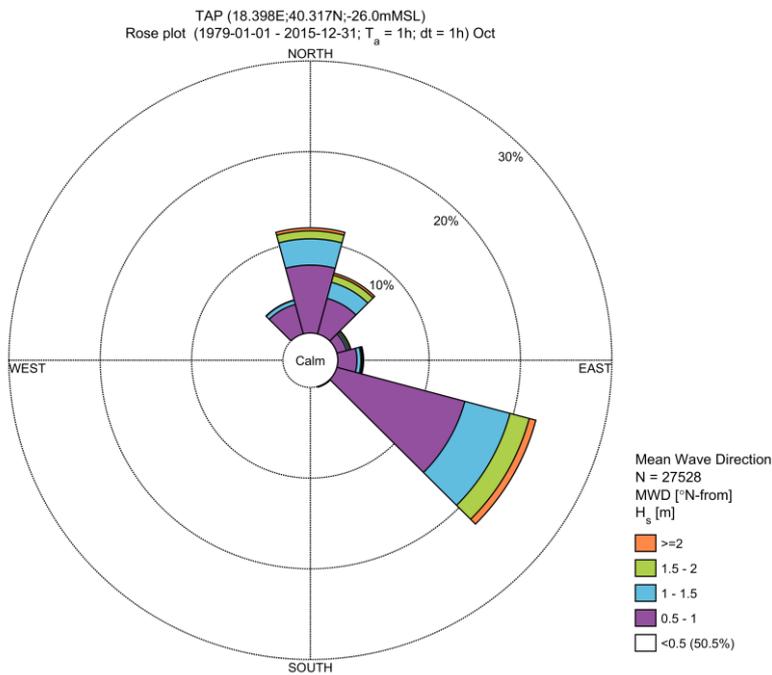
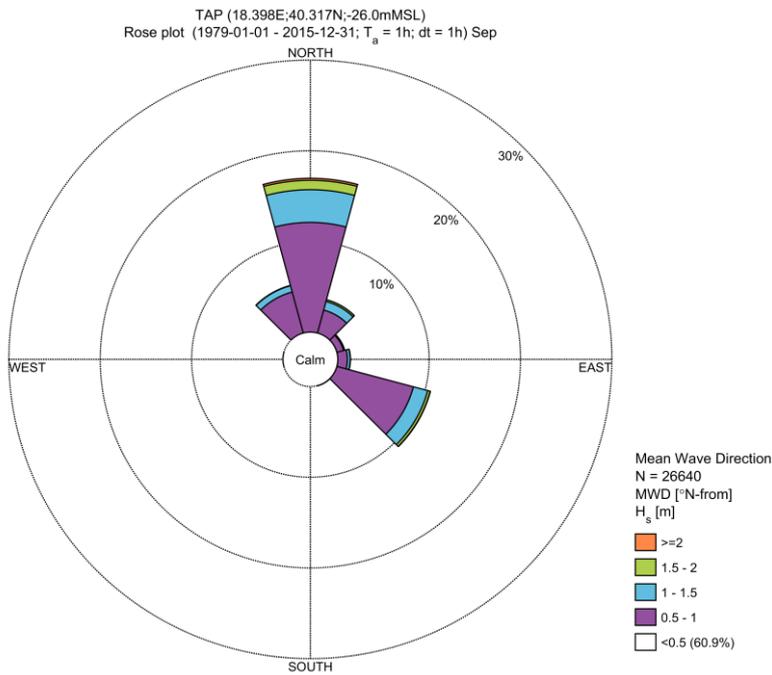
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 11



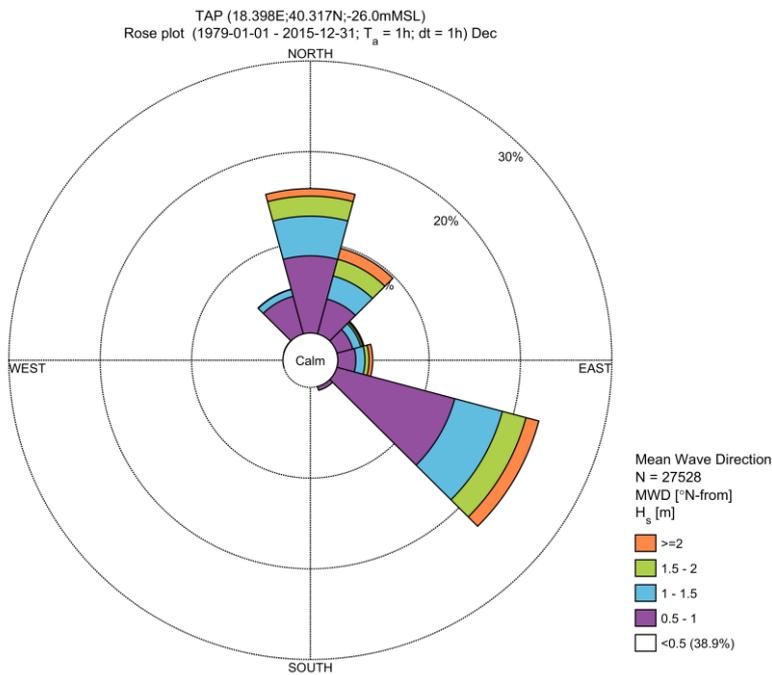
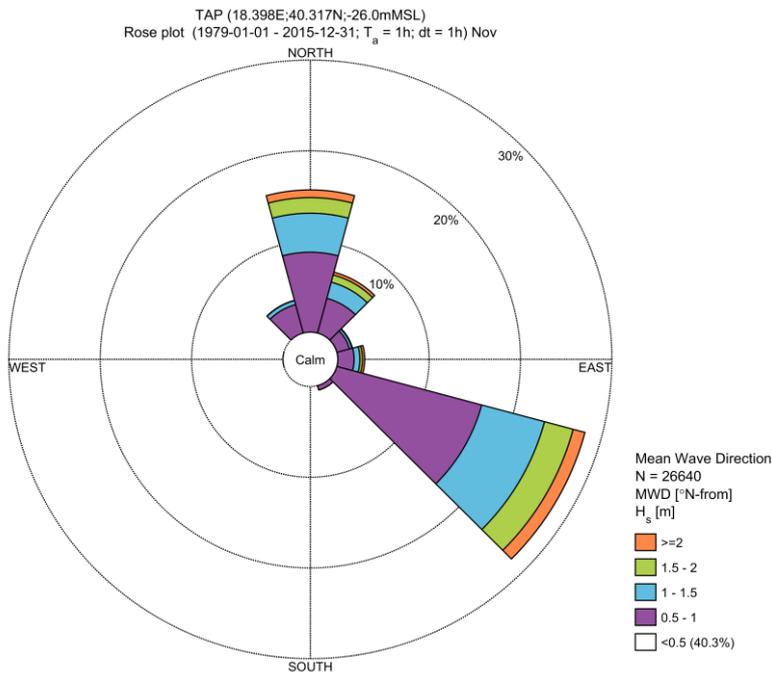
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 11



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 11



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	7 of 11



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	8 of 11

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Jan

MWD [$^{\circ}$ N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	0.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.015	100.000
[3-3.5]	0.054	0.058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.113	99.985
[2.5-3]	0.265	0.312	0.069	0.051	0.142	-	-	-	-	-	-	-	0.839	99.873
[2-2.5]	1.208	0.850	0.131	0.207	1.068	-	-	-	-	-	-	0.004	3.466	99.034
[1.5-2]	2.278	1.322	0.385	0.458	1.969	-	-	-	-	-	-	0.040	6.452	95.568
[1-1.5]	4.330	2.692	0.712	1.043	5.740	-	-	-	-	-	-	0.505	15.022	89.116
[0.5-1]	10.321	4.254	1.835	2.078	11.862	0.559	-	-	-	-	0.004	3.934	34.847	74.094
[0-0.5]	9.159	3.538	1.780	2.489	12.318	1.649	0.120	0.025	0.025	0.040	0.182	7.923	39.247	39.247
Total	27.614	13.042	4.912	6.325	33.096	2.209	0.120	0.025	0.025	0.040	0.185	12.406	100.000	-
Accum	27.614	40.656	45.568	51.893	84.989	87.198	87.317	87.343	87.368	87.408	87.594	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Feb

MWD [$^{\circ}$ N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	0.032	0.068	0.012	0.052	0.036	-	-	-	-	-	-	-	0.199	100.000
[2.5-3]	0.140	0.391	0.036	0.036	0.191	-	-	-	-	-	-	-	0.793	99.801
[2-2.5]	0.853	0.897	0.080	0.191	1.053	-	-	-	-	-	-	0.004	3.078	99.007
[1.5-2]	2.883	1.244	0.167	0.263	2.895	-	-	-	-	-	-	0.052	7.504	95.929
[1-1.5]	4.992	2.799	0.662	0.662	5.243	0.008	-	-	-	-	-	0.801	15.167	88.425
[0.5-1]	9.793	5.355	2.113	2.851	13.148	0.431	-	-	-	-	0.020	3.983	37.691	73.258
[0-0.5]	8.142	2.895	2.081	2.947	11.232	1.511	0.080	0.060	0.032	0.060	0.136	6.392	35.566	35.566
Total	26.834	13.648	5.152	7.002	33.796	1.950	0.080	0.060	0.032	0.060	0.156	11.232	100.000	-
Accum	26.834	40.482	45.634	52.636	86.431	88.381	88.461	88.521	88.553	88.612	88.768	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Mar

MWD [$^{\circ}$ N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	0.011	-	-	0.015	-	-	-	-	-	-	-	0.025	100.000
[2.5-3]	0.167	0.200	0.036	0.018	0.178	-	-	-	-	-	-	-	0.599	99.975
[2-2.5]	0.614	0.948	0.044	0.105	0.567	-	-	-	-	-	-	-	2.278	99.375
[1.5-2]	2.085	1.806	0.232	0.167	2.190	-	-	-	-	-	-	0.076	6.357	97.098
[1-1.5]	3.745	2.416	0.774	0.450	5.558	-	-	-	-	-	-	0.777	13.721	90.740
[0.5-1]	9.532	3.665	1.522	1.617	14.672	0.371	0.004	0.004	0.015	0.011	0.018	4.236	35.666	77.020
[0-0.5]	9.641	3.044	1.816	2.794	14.011	2.078	0.087	0.076	0.022	0.062	0.167	7.556	41.354	41.354
Total	25.785	11.890	4.425	5.151	37.191	2.448	0.091	0.080	0.036	0.073	0.185	12.645	100.000	-
Accum	25.785	37.674	42.099	47.250	84.441	86.890	86.981	87.060	87.097	87.169	87.355	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; T_a = 1h; dt = 1h) Apr

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[2.5-3]	0.068	0.038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.105	100.000
[2-2.5]	0.285	0.248	0.004	0.004	0.124	-	-	-	-	-	-	-	0.664	99.895
[1.5-2]	1.460	0.409	0.004	0.028	1.314	-	-	-	-	-	-	0.105	3.318	99.230
[1-1.5]	4.482	0.837	0.188	0.285	5.023	-	-	-	-	-	-	1.047	11.882	95.512
[0.5-1]	10.116	2.305	0.856	1.569	13.803	0.270	-	-	0.004	-	0.008	5.578	34.508	84.050
[0-0.5]	10.030	3.131	2.230	2.920	19.107	2.834	0.068	0.060	0.060	0.098	0.233	8.773	49.542	49.542
Total	26.441	6.967	3.281	4.805	39.369	3.104	0.068	0.060	0.064	0.098	0.240	15.503	100.000	-
Accum	26.441	33.408	36.689	41.494	80.863	83.968	84.035	84.095	84.159	84.257	84.497	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; T_a = 1h; dt = 1h) May

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[2.5-3]	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	100.000
[2-2.5]	0.218	0.004	-	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-	0.225	99.993
[1.5-2]	1.168	0.118	-	-	0.312	-	-	-	-	-	-	0.029	1.624	99.768
[1-1.5]	3.582	0.320	0.040	0.044	2.161	-	-	-	-	-	-	1.217	7.383	98.144
[0.5-1]	10.317	1.010	0.556	0.792	9.579	0.094	-	-	-	-	-	7.033	29.381	90.780
[0-0.5]	15.290	3.487	2.092	3.556	20.423	2.325	0.051	0.051	0.051	0.054	0.142	13.877	61.399	61.399
Total	30.580	4.937	2.688	4.392	32.480	2.419	0.051	0.051	0.051	0.064	0.142	22.156	100.000	-
Accum	30.580	35.517	38.205	42.597	75.076	77.496	77.546	77.597	77.648	77.703	77.844	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jun

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[2.5-3]	0.041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.041	100.000
[2-2.5]	0.206	0.053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.259	99.959
[1.5-2]	1.055	0.128	-	-	0.028	-	-	-	-	-	-	0.053	1.261	99.700
[1-1.5]	3.420	0.248	-	-	0.244	-	-	-	-	-	-	1.528	5.439	98.438
[0.5-1]	11.937	0.450	0.188	0.225	4.794	0.030	-	-	-	-	-	8.889	26.513	92.999
[0-0.5]	19.869	4.354	2.143	3.168	18.836	1.453	0.004	0.019	0.004	0.011	0.049	16.577	66.486	66.486
Total	36.528	5.233	2.331	3.393	23.900	1.483	0.004	0.019	0.004	0.011	0.049	27.046	100.000	-
Accum	36.528	41.761	44.092	47.485	71.385	72.868	72.872	72.890	72.894	72.905	72.954	100.000	-	-

TAP
 Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Jul

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	MWD [°N-from] - Mean Wave Direction												Total	Accum	
	[15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]			
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[2.5-3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[2-2.5]	0.120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.120	100.000
[1.5-2]	1.248	0.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.087	-	1.348	99.880
[1-1.5]	5.017	0.410	-	-	0.102	-	-	-	-	-	-	1.816	-	7.345	98.532
[0.5-1]	16.794	0.843	0.109	0.251	2.220	0.011	-	-	-	-	-	8.737	-	28.963	91.187
[0-0.5]	28.569	4.305	2.049	2.339	11.704	0.527	0.007	0.004	0.011	0.007	0.065	14.636	-	62.224	82.224
Total	49.746	5.573	2.158	2.590	14.026	0.538	0.007	0.004	0.011	0.007	0.065	25.276	-	100.000	-
Accum	49.746	55.318	57.476	60.066	74.092	74.629	74.637	74.640	74.651	74.659	74.724	100.000	-	-	-

TAP
 Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Aug

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	MWD [°N-from] - Mean Wave Direction												Total	Accum	
	[15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]			
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[2.5-3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[2-2.5]	0.047	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.058	100.000
[1.5-2]	0.905	0.084	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.087	-	1.075	99.942
[1-1.5]	4.065	0.396	0.015	0.029	0.149	-	-	-	-	-	-	1.569	-	6.223	98.887
[0.5-1]	14.196	1.544	0.258	0.356	3.291	0.033	-	-	-	-	-	7.625	-	27.303	92.644
[0-0.5]	23.903	5.195	2.754	3.411	15.967	0.857	-	-	-	-	0.007	13.227	-	65.341	65.341
Total	43.116	7.229	3.026	3.796	19.427	0.890	-	-	-	-	0.007	22.508	-	100.000	-
Accum	43.116	50.345	53.371	57.167	76.595	77.485	77.485	77.485	77.485	77.485	77.492	100.000	-	-	-

TAP
 Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Sep

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H _s [m] - Significant Wave height	MWD [°N-from] - Mean Wave Direction												Total	Accum	
	[15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]			
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[3-3.5]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[2.5-3]	0.015	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-	0.026	100.000
[2-2.5]	0.206	0.011	-	0.023	0.023	-	-	-	-	-	-	-	-	0.283	99.974
[1.5-2]	1.040	0.191	0.004	0.011	0.282	-	-	-	-	-	-	0.038	-	1.565	99.711
[1-1.5]	3.607	0.983	0.124	0.304	1.618	-	-	-	-	-	-	0.717	-	7.354	98.146
[0.5-1]	12.102	2.631	0.758	1.051	8.679	0.026	-	-	-	0.004	-	4.688	-	29.940	90.792
[0-0.5]	19.805	5.443	2.736	3.390	19.024	1.498	0.026	0.015	0.011	0.008	0.015	8.881	-	60.852	60.852
Total	36.776	9.261	3.622	4.779	29.636	1.524	0.026	0.015	0.011	0.011	0.015	14.324	-	100.000	-
Accum	36.776	46.036	49.658	54.437	84.073	85.597	85.623	85.638	85.649	85.661	85.676	100.000	-	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Oct

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	100.000
[2.5-3]	0.036	0.040	0.033	0.065	0.054	-	-	-	-	-	-	-	0.229	99.969
[2-2.5]	0.294	0.211	0.044	0.058	0.694	-	-	-	-	-	-	-	1.300	99.760
[1.5-2]	0.879	0.803	0.203	0.153	2.180	-	-	-	-	-	-	0.044	4.281	98.480
[1-1.5]	2.895	1.842	0.218	0.440	5.122	-	-	-	-	-	-	0.472	10.989	94.199
[0.5-1]	7.494	4.058	1.097	2.100	14.505	0.087	-	-	-	-	-	3.371	32.712	83.210
[0-0.5]	11.545	4.959	3.128	3.713	18.614	1.290	0.022	0.011	0.007	0.022	0.047	6.902	50.498	50.498
Total	23.144	11.951	4.722	6.539	41.369	1.377	0.022	0.011	0.007	0.022	0.047	10.789	100.000	-
Accum	23.144	35.095	39.818	46.356	87.725	89.102	89.124	89.135	89.142	89.164	89.211	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Nov

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	-	-	-	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-	0.004	100.000
[2.5-3]	0.105	0.105	-	0.060	0.214	-	-	-	-	-	-	-	0.484	99.996
[2-2.5]	0.743	0.218	-	0.191	1.128	-	-	-	-	-	-	-	2.279	99.512
[1.5-2]	1.723	0.822	0.080	0.274	3.243	-	-	-	-	-	-	0.038	6.160	97.233
[1-1.5]	4.302	1.847	0.278	0.634	7.121	0.015	-	-	-	-	-	0.454	14.651	91.074
[0.5-1]	8.814	3.968	1.434	1.787	16.415	0.495	-	-	-	0.004	-	3.251	38.167	76.423
[0-0.5]	9.238	3.382	1.704	2.598	15.935	1.844	0.011	0.011	0.034	0.023	0.060	5.616	40.255	40.255
Total	24.925	10.342	3.476	5.544	44.058	2.155	0.011	0.011	0.034	0.026	0.060	9.358	100.000	-
Accum	24.925	35.267	38.742	44.287	88.345	90.499	90.511	90.522	90.556	90.582	90.642	100.000	-	-

TAP
Frequency of Occurrence [%] (1979-01-01 - 2015-12-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Dec

MWD [°N-from] - Mean Wave Direction

H_s [m] - Significant Wave height	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[3.5-4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[3-3.5]	0.007	0.033	0.015	0.044	0.047	-	-	-	-	-	-	-	0.145	100.000
[2.5-3]	0.138	0.283	0.054	0.091	0.240	-	-	-	-	-	-	-	0.806	99.855
[2-2.5]	0.683	0.926	0.084	0.272	1.170	-	-	-	-	-	-	-	3.135	99.048
[1.5-2]	2.209	1.907	0.207	0.447	2.677	-	-	-	-	-	-	0.044	7.491	95.913
[1-1.5]	4.377	2.834	0.512	0.999	5.395	-	-	-	-	-	0.004	0.774	15.094	88.423
[0.5-1]	8.511	3.989	1.802	1.976	13.365	0.440	-	-	-	0.004	0.029	4.301	34.416	73.329
[0-0.5]	8.555	3.468	2.005	3.328	11.951	2.121	0.138	0.076	0.080	0.025	0.102	7.068	38.913	38.913
Total	24.481	13.237	5.076	7.156	34.845	2.561	0.138	0.076	0.080	0.029	0.134	12.184	100.000	-
Accum	24.481	37.718	42.796	49.953	84.797	87.358	87.496	87.573	87.653	87.682	87.816	100.000	-	-

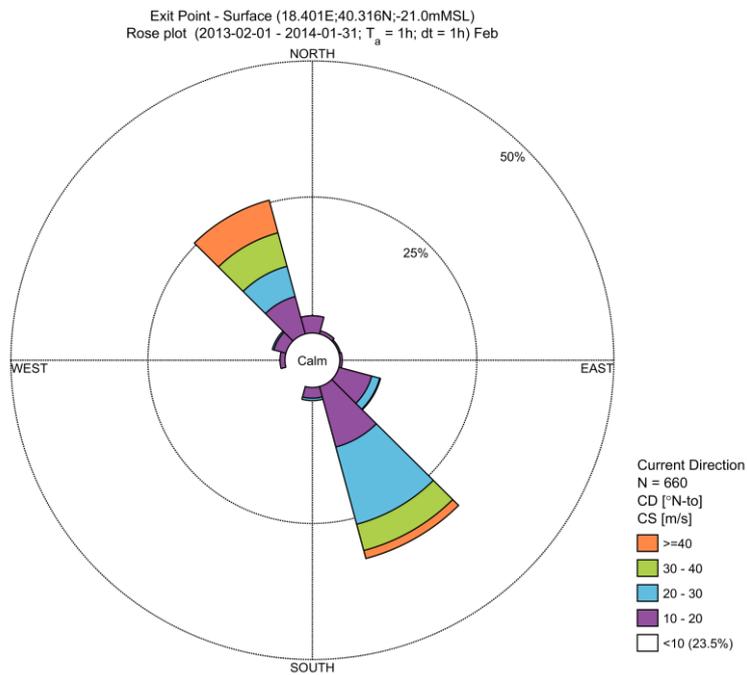
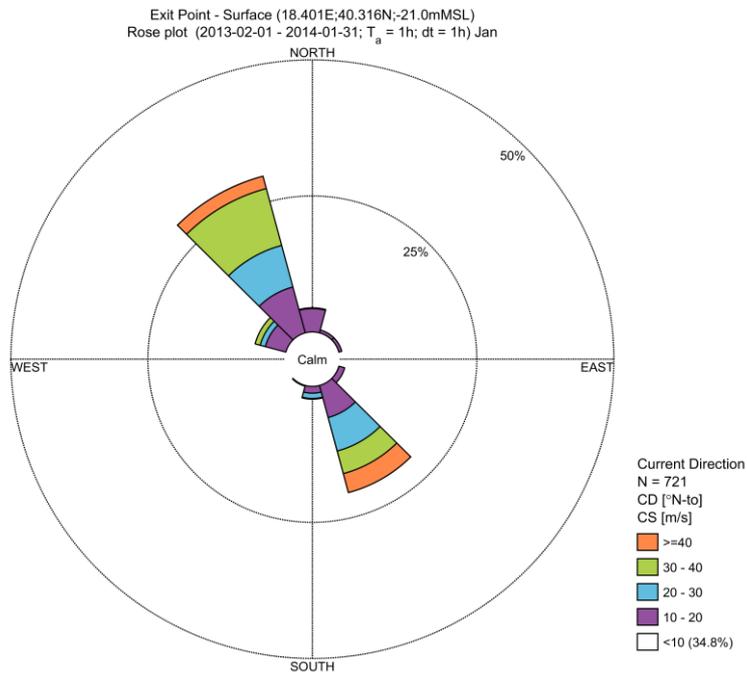
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	1 of 34

ALLEGATO F

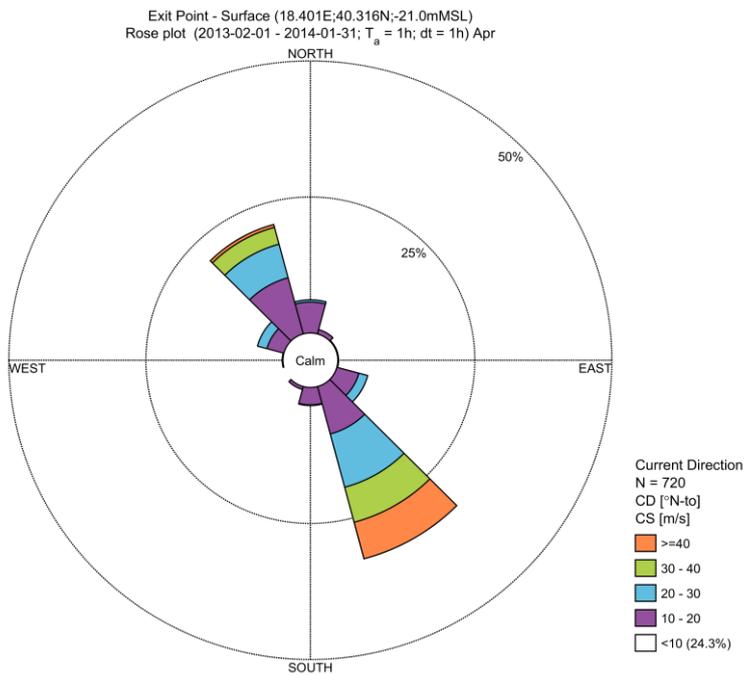
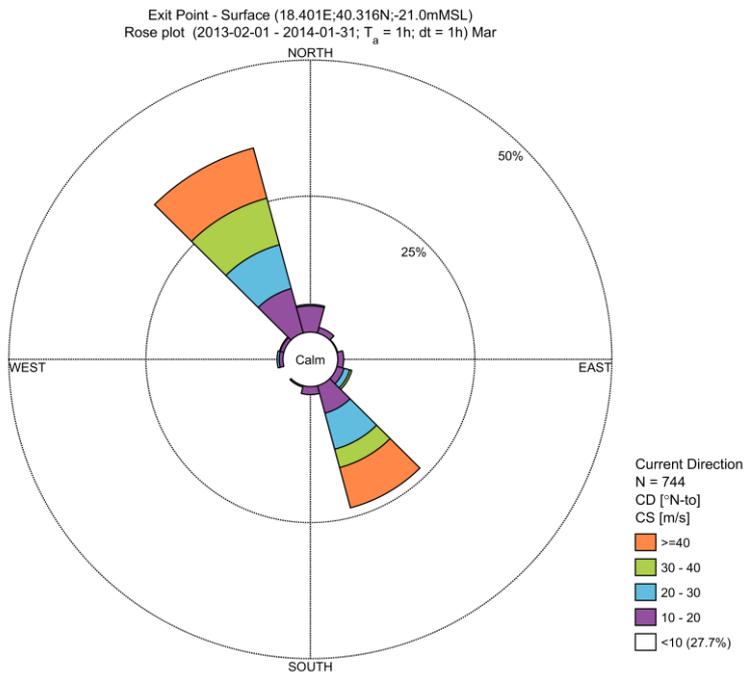
Caratterizzazione della corrente in forma di rose e tabelle di frequenza

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	2 of 34

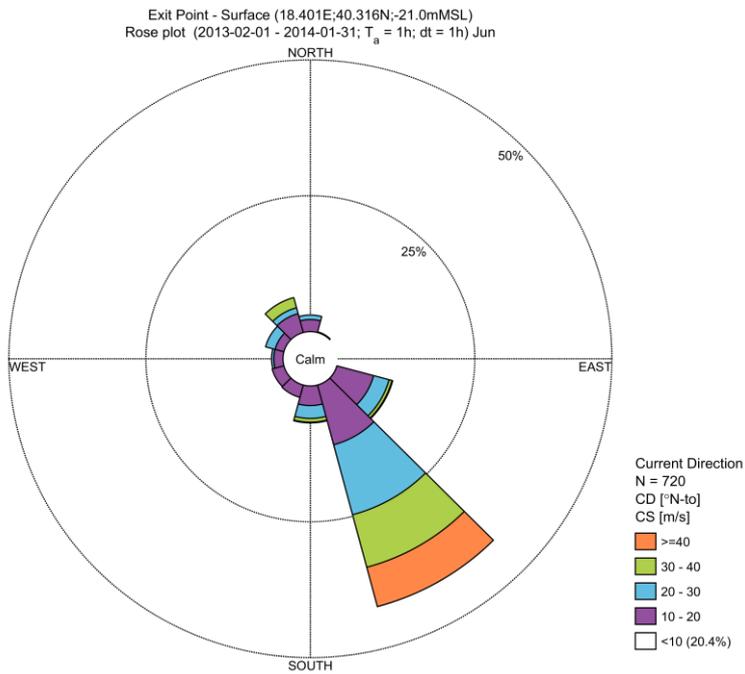
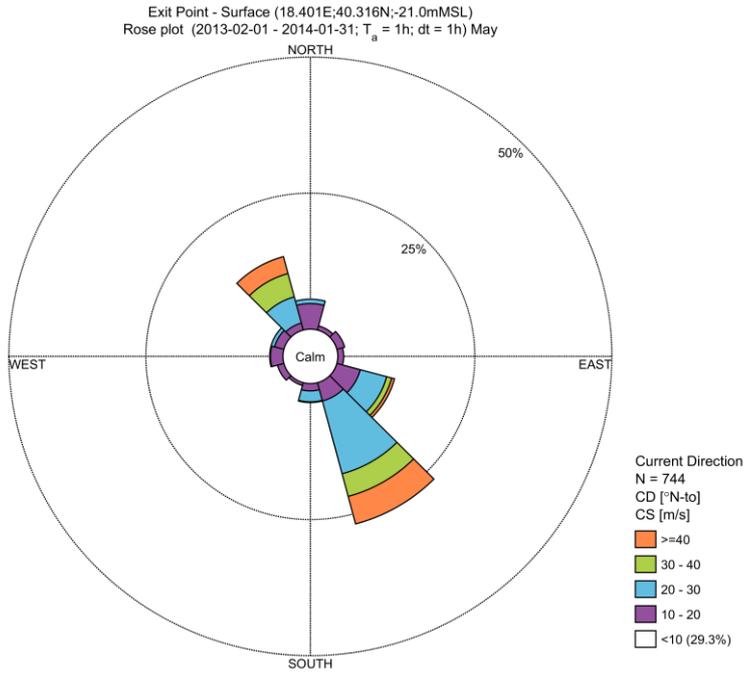
ROSA DELLA CORRENTE - SUPERFICIE



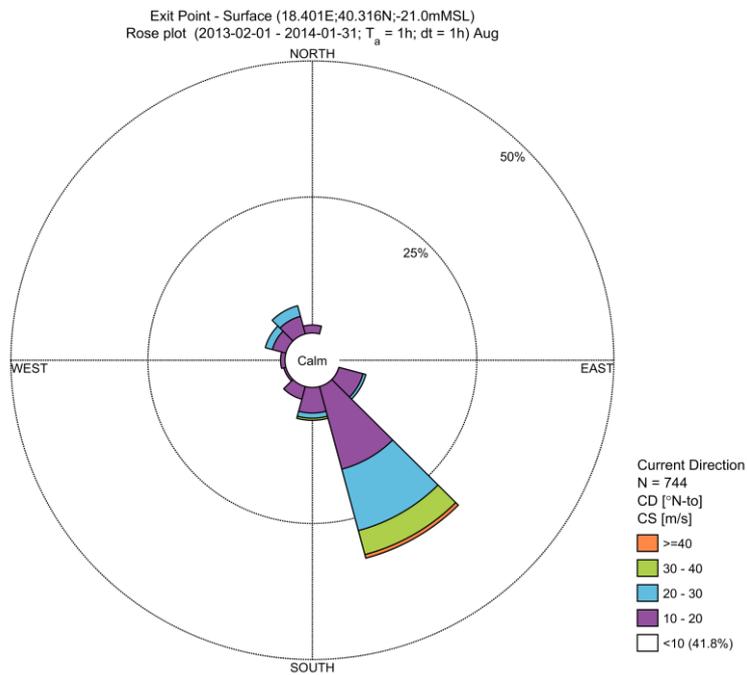
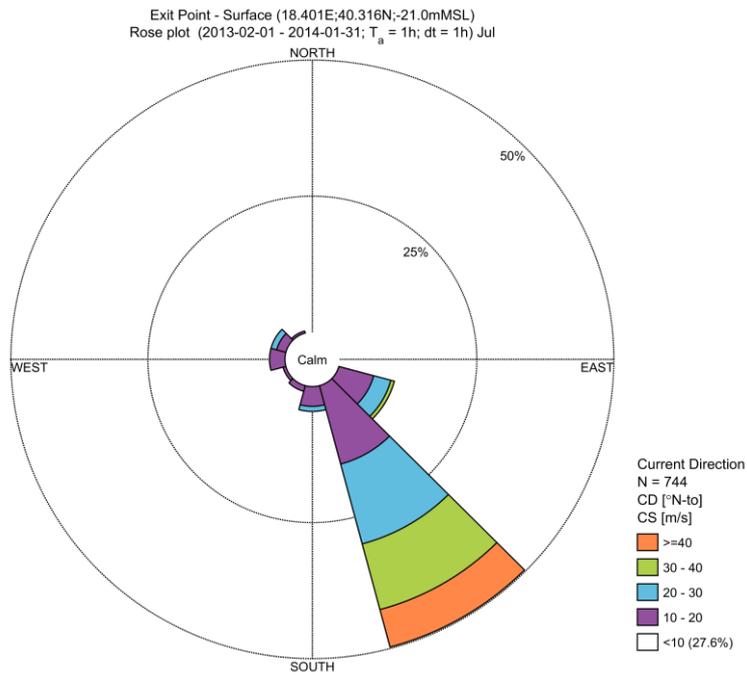
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	3 of 34



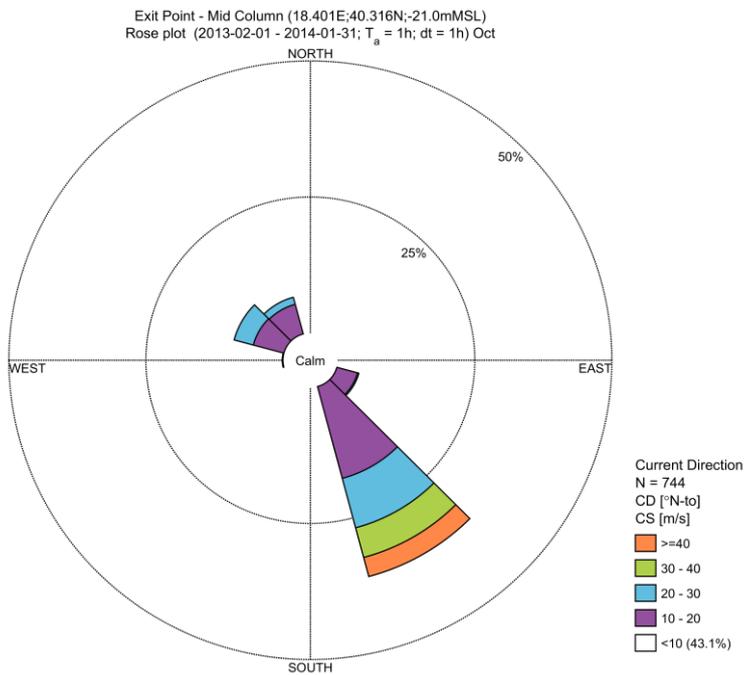
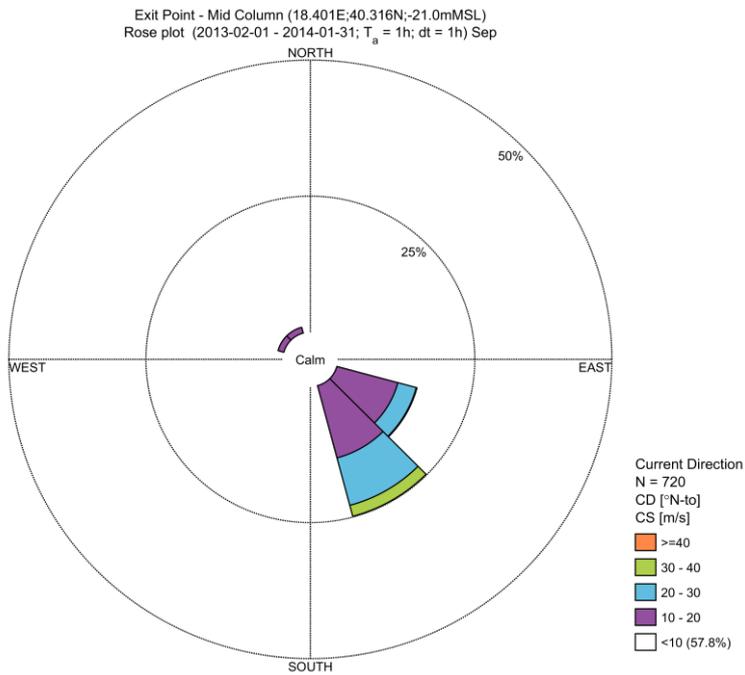
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	4 of 34



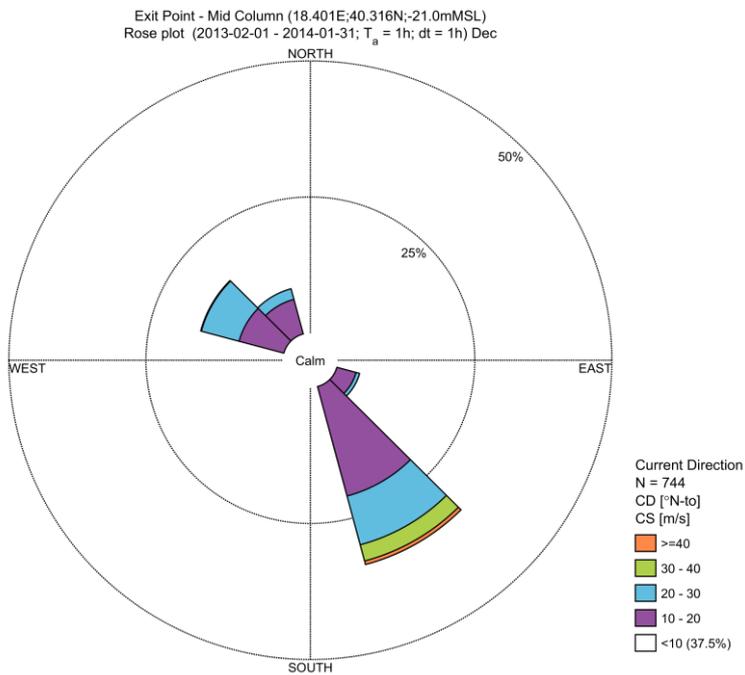
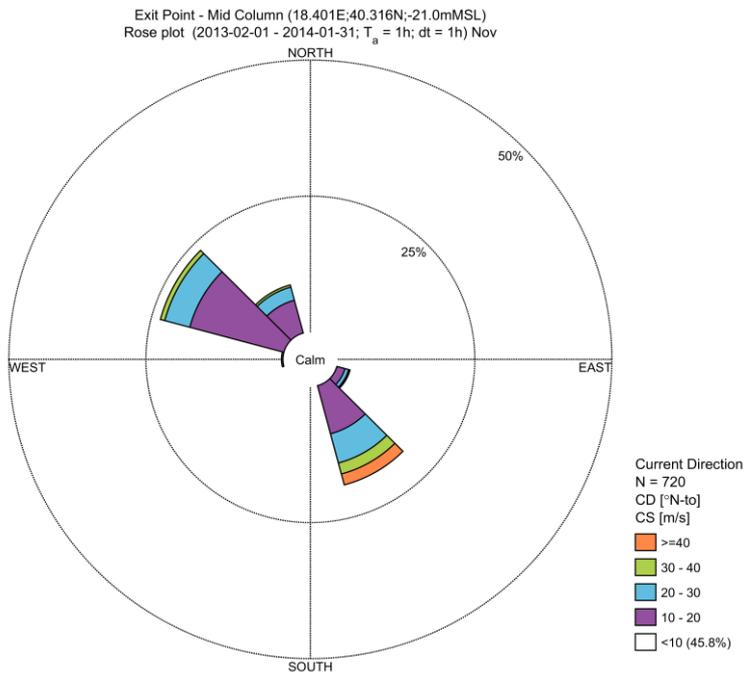
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	5 of 34



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	6 of 34



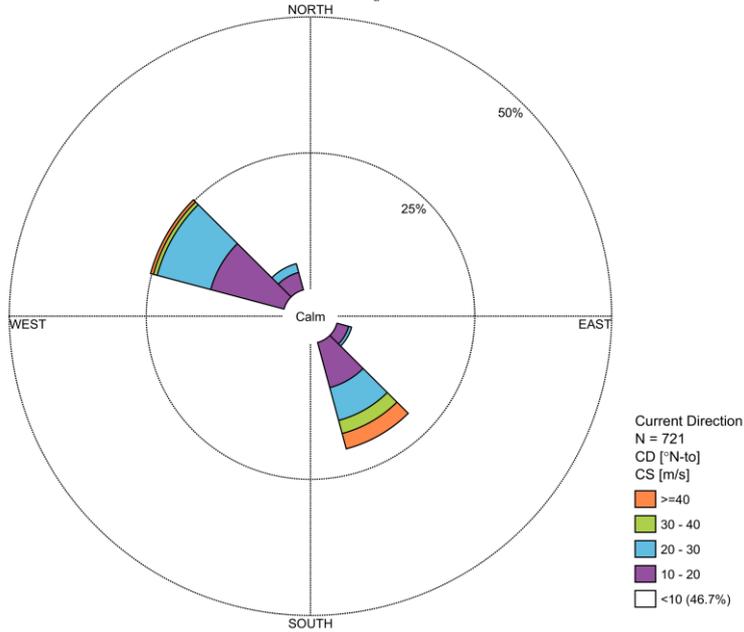
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	7 of 34



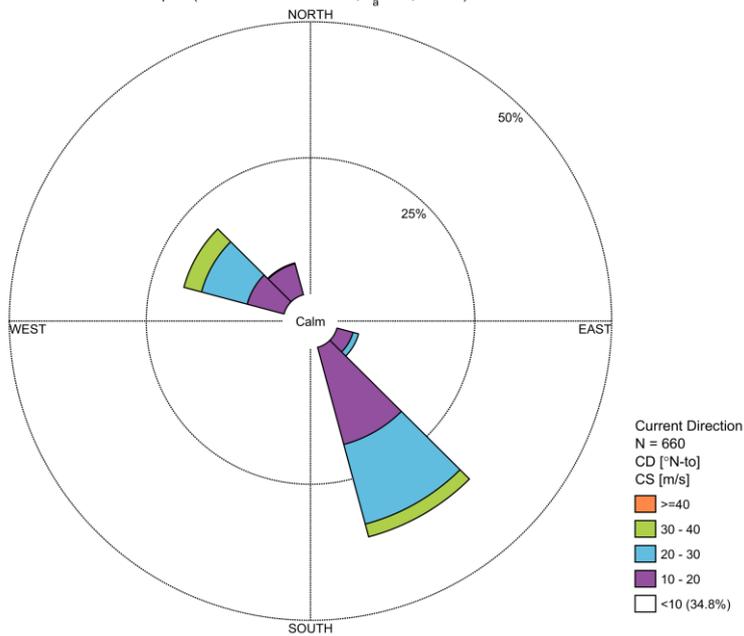
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	8 of 34

ROSA DELLA CORRENTE – PROFONDITA' INTERMEDIA

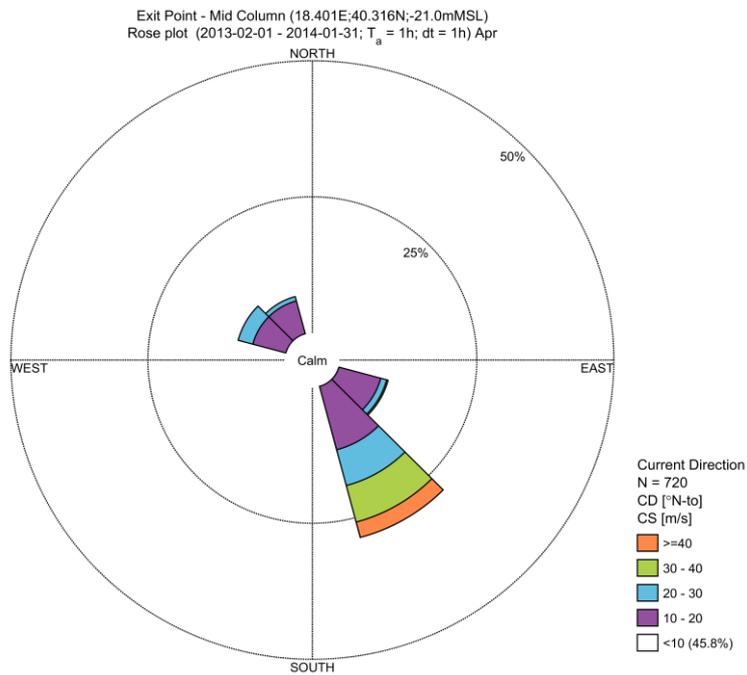
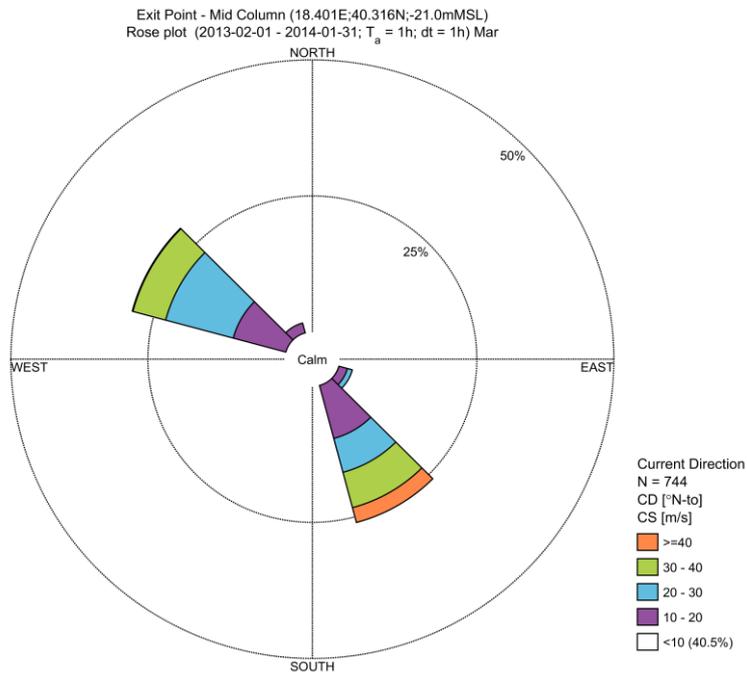
Exit Point - Mid Column (18.401E;40.316N;-21.0mMSL)
 Rose plot (2013-02-01 - 2014-01-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Jan



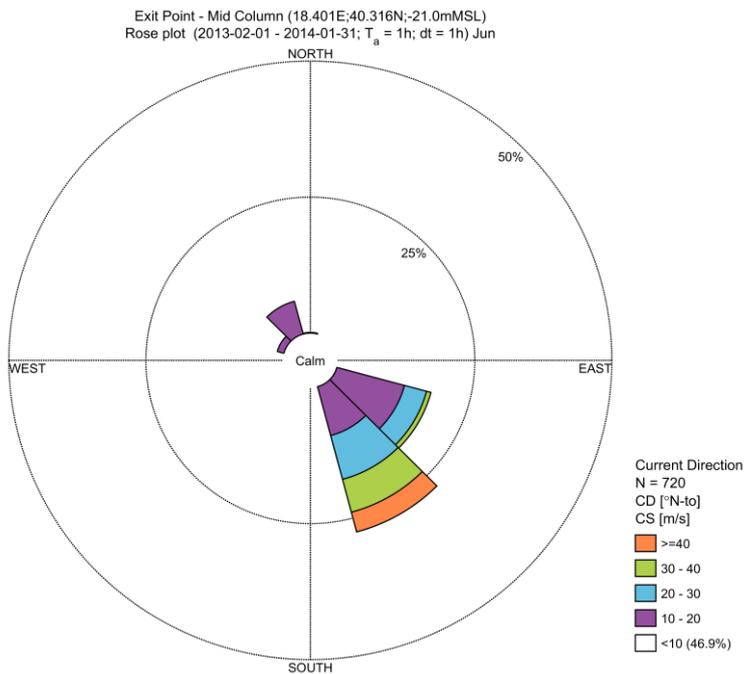
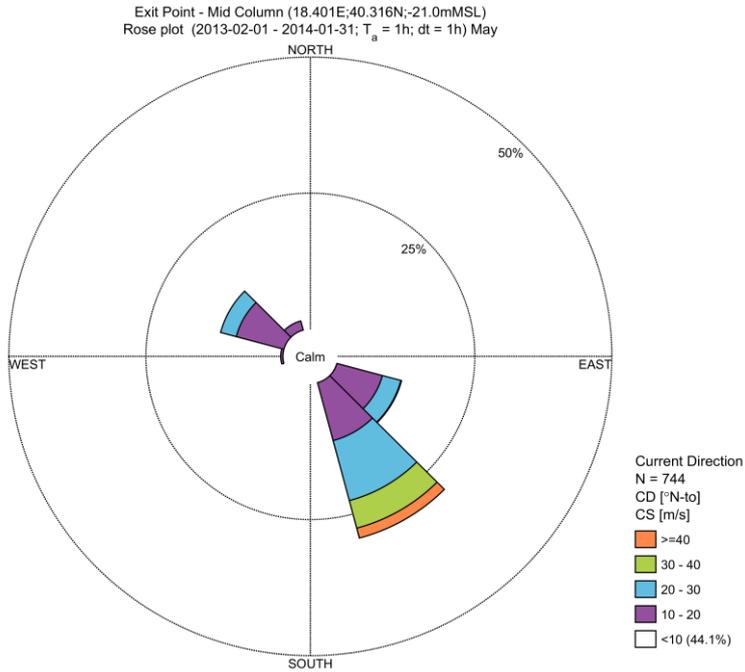
Exit Point - Mid Column (18.401E;40.316N;-21.0mMSL)
 Rose plot (2013-02-01 - 2014-01-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Feb



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	9 of 34

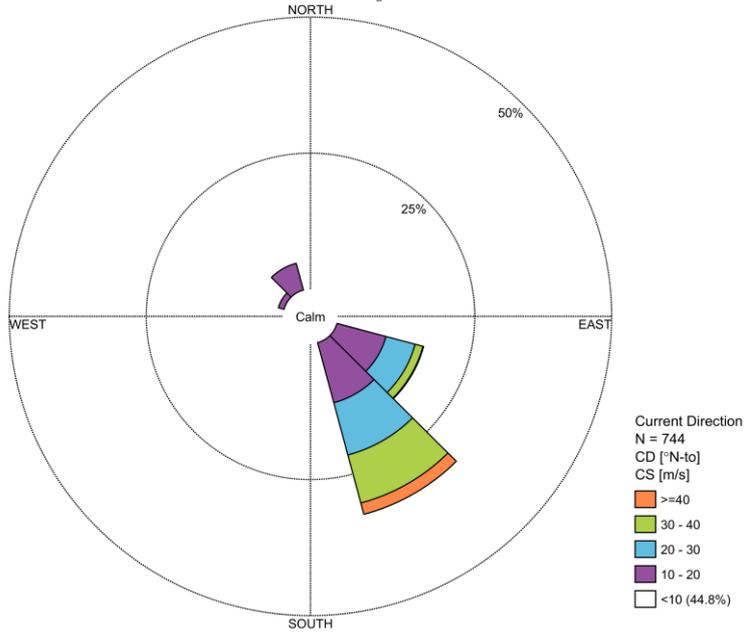


 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	10 of 34

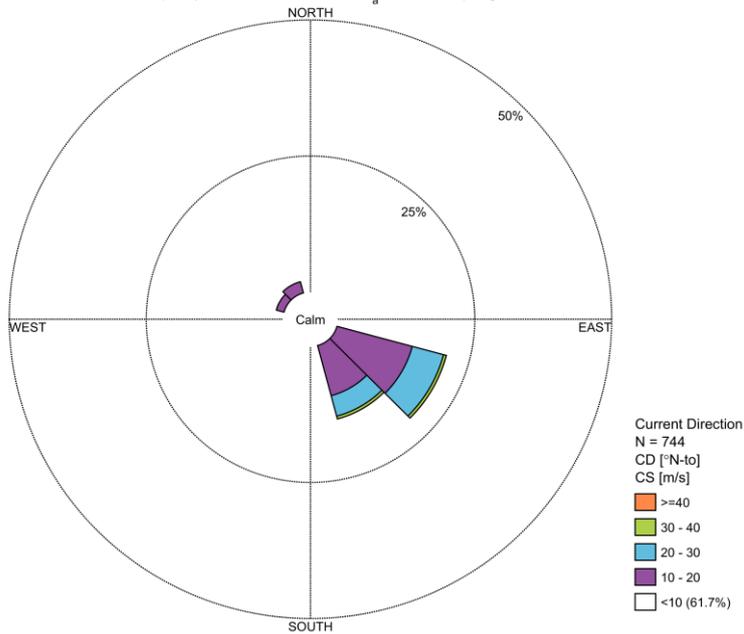


 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	11 of 34

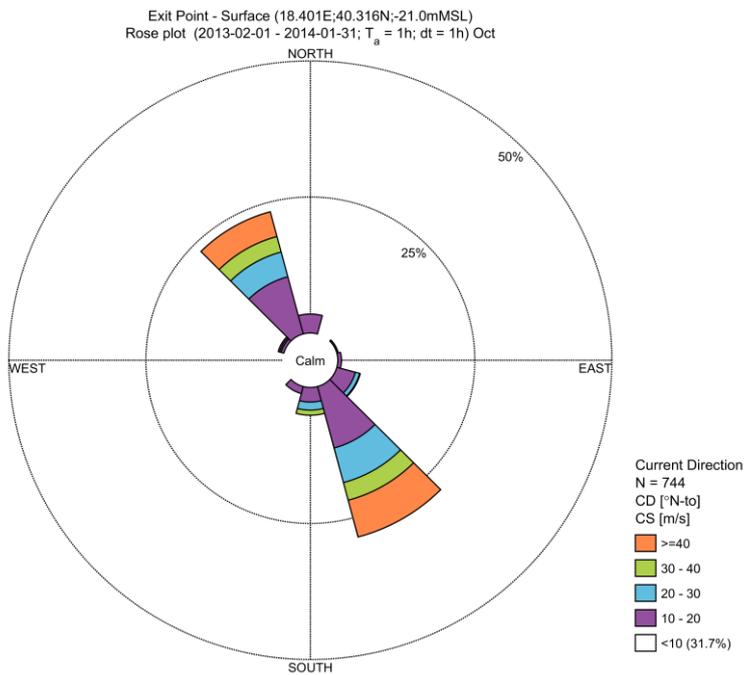
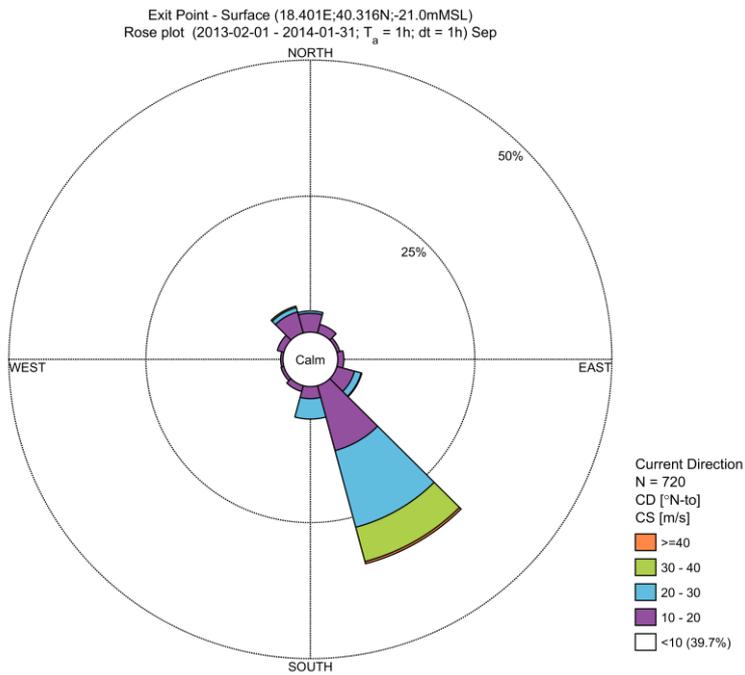
Exit Point - Mid Column (18.401E;40.316N;-21.0mMSL)
 Rose plot (2013-02-01 - 2014-01-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Jul



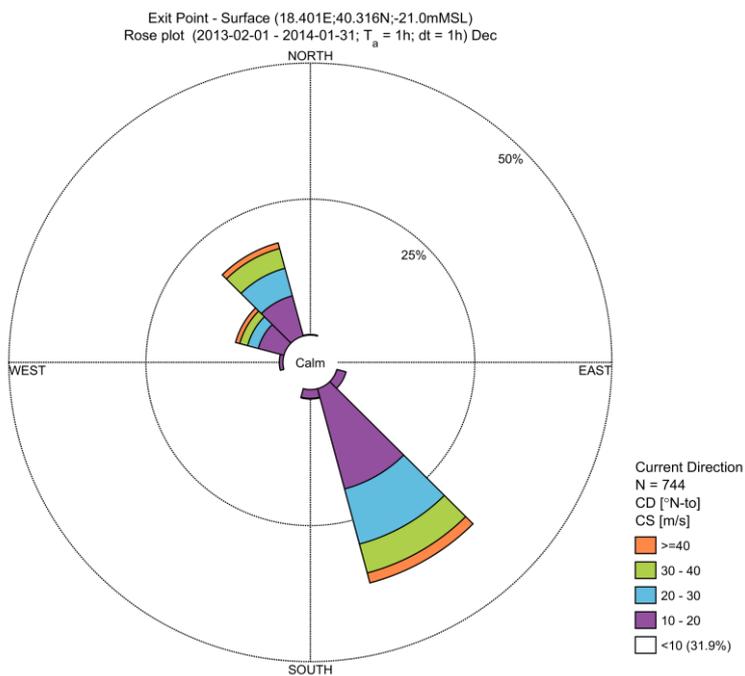
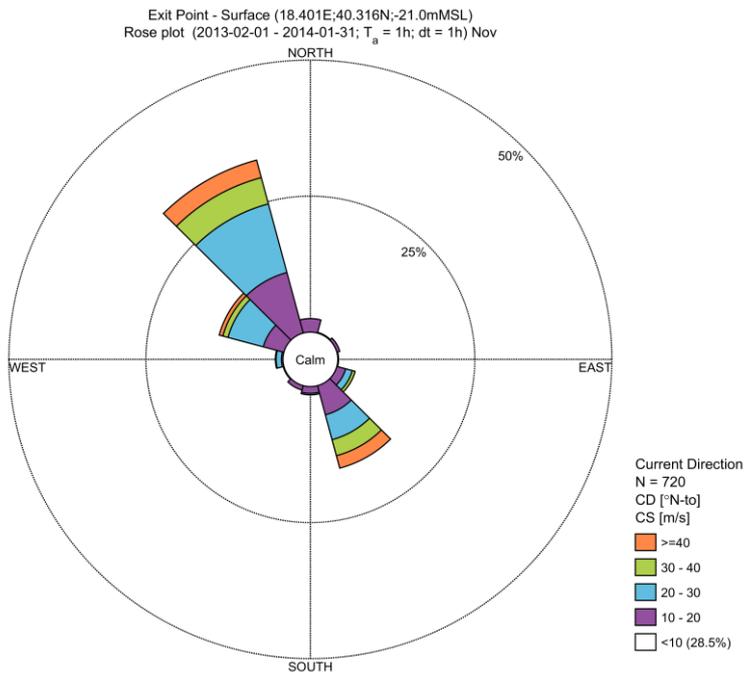
Exit Point - Mid Column (18.401E;40.316N;-21.0mMSL)
 Rose plot (2013-02-01 - 2014-01-31; $T_a = 1h$; $dt = 1h$) Aug



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	12 of 34

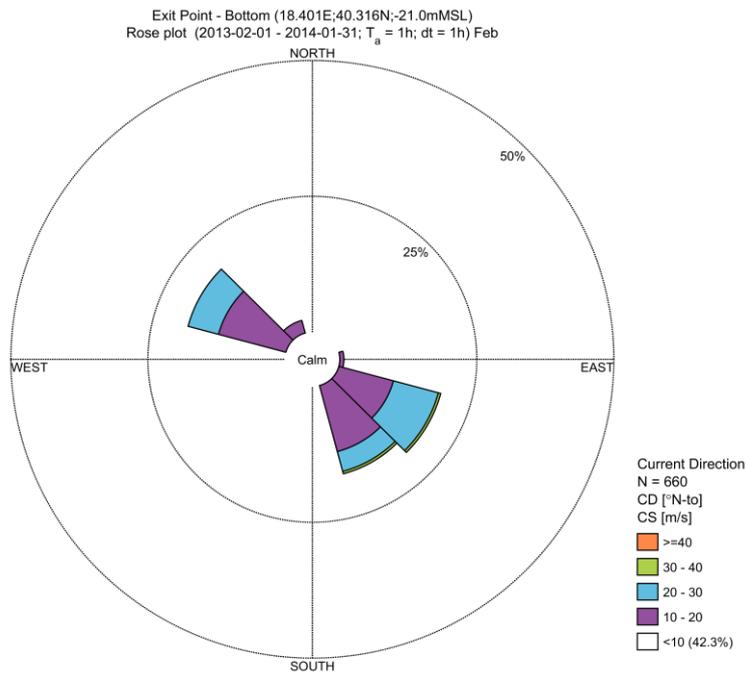
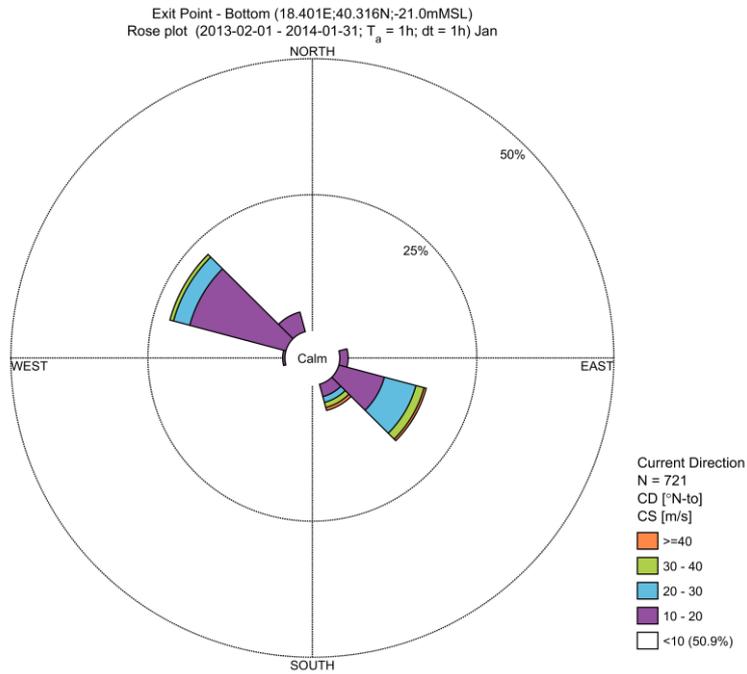


 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	13 of 34

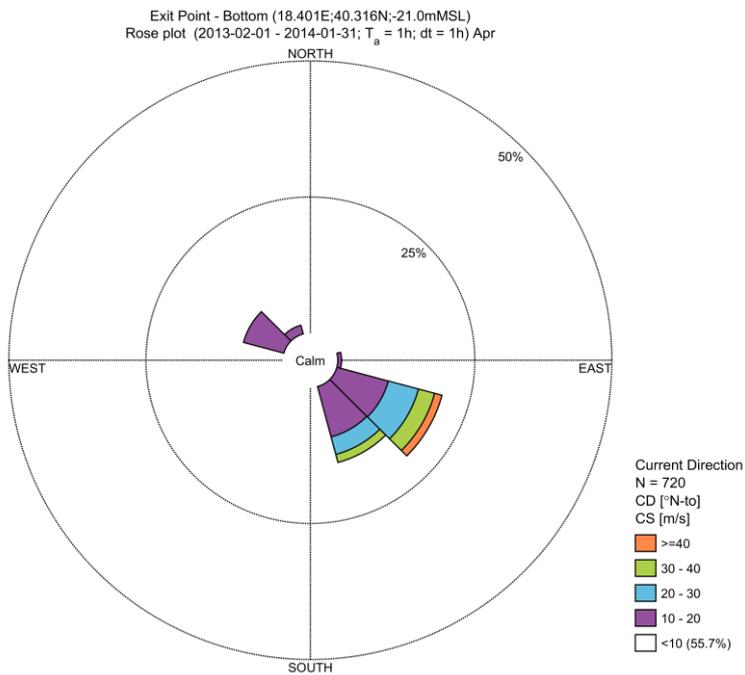
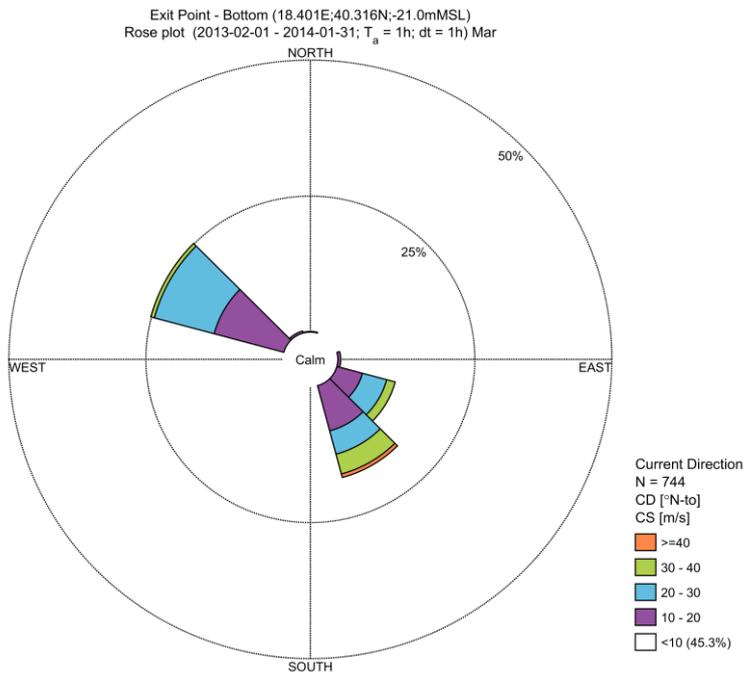


 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	14 of 34

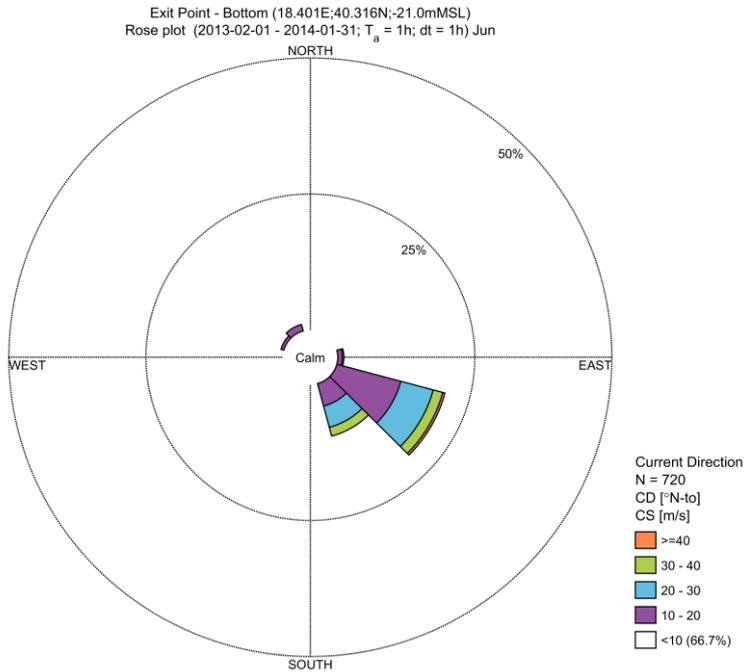
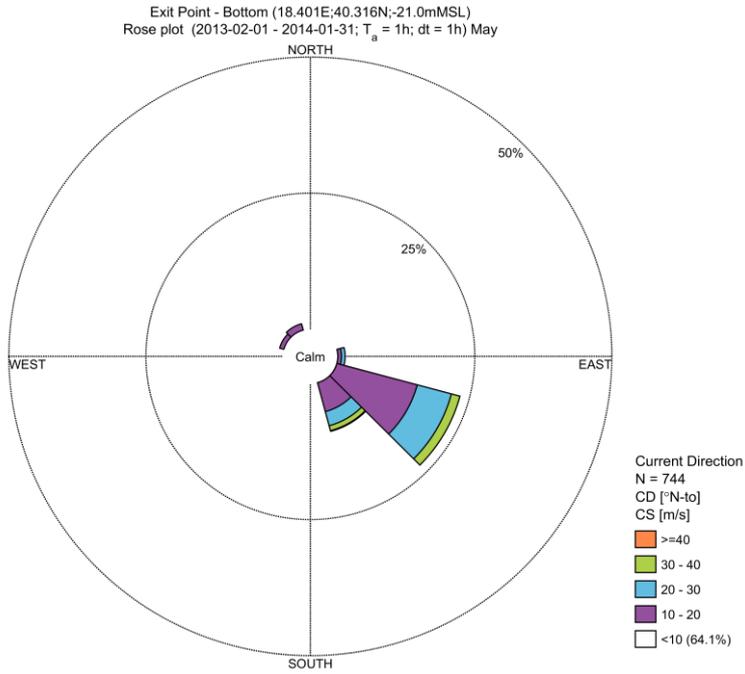
ROSE DELLA CORRENTE – FONDO



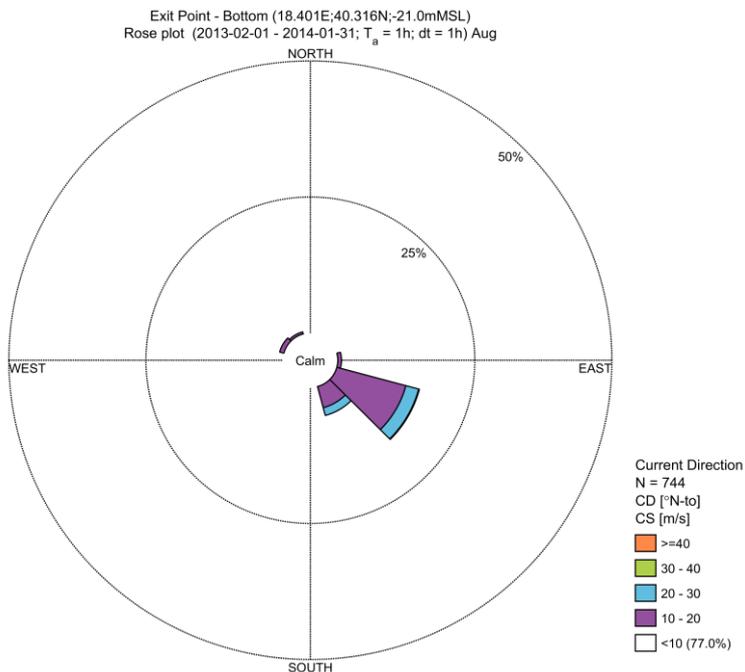
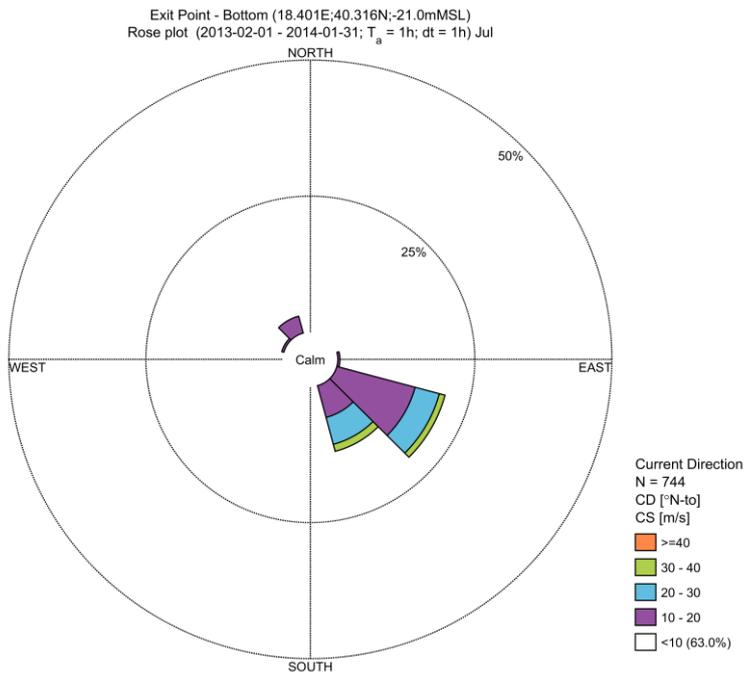
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	15 of 34



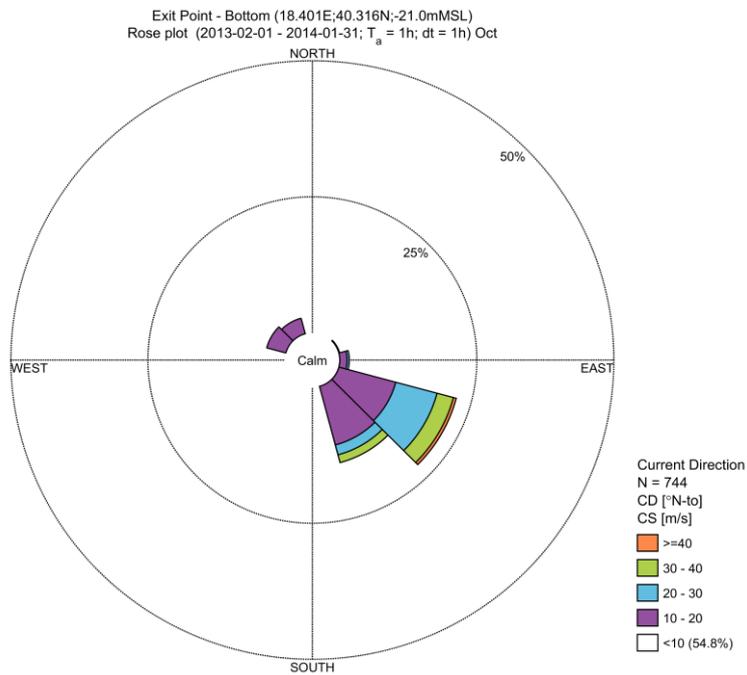
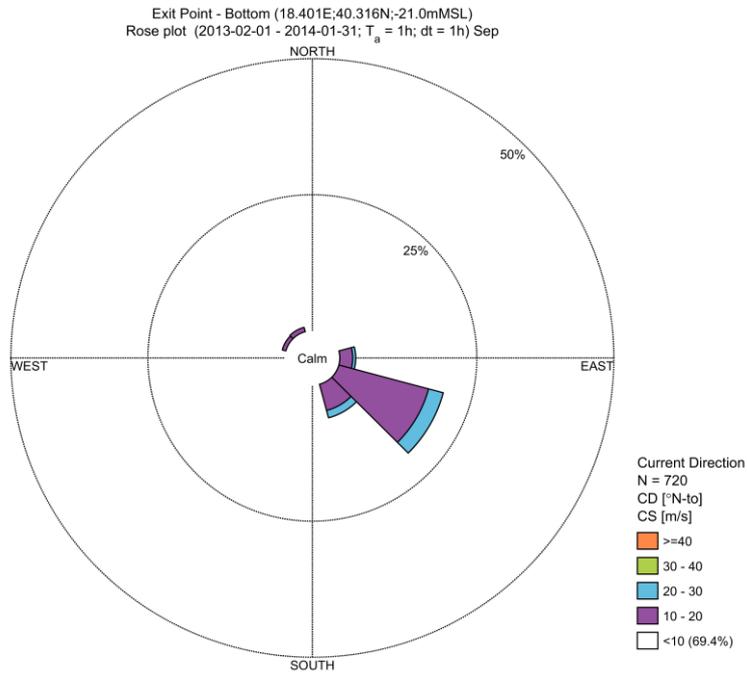
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	16 of 34



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	17 of 34



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	18 of 34



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	19 of 34

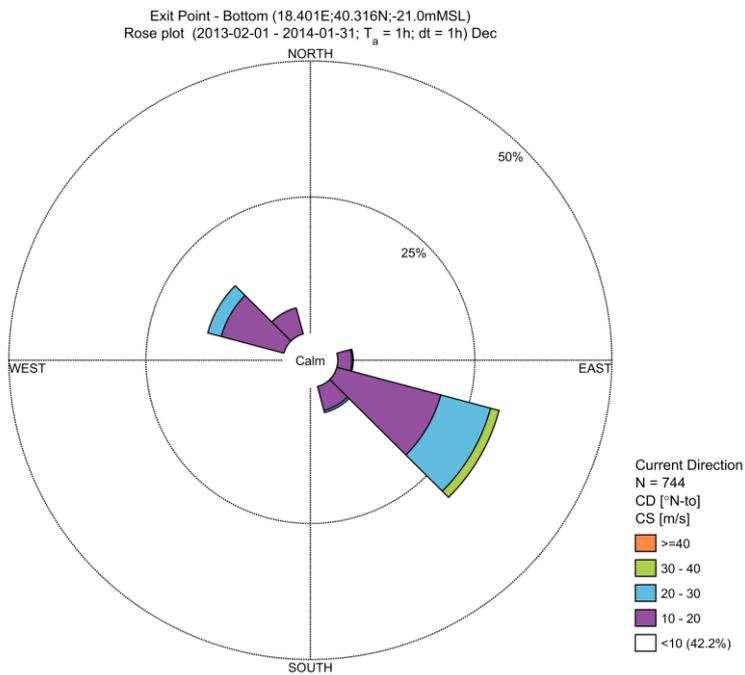
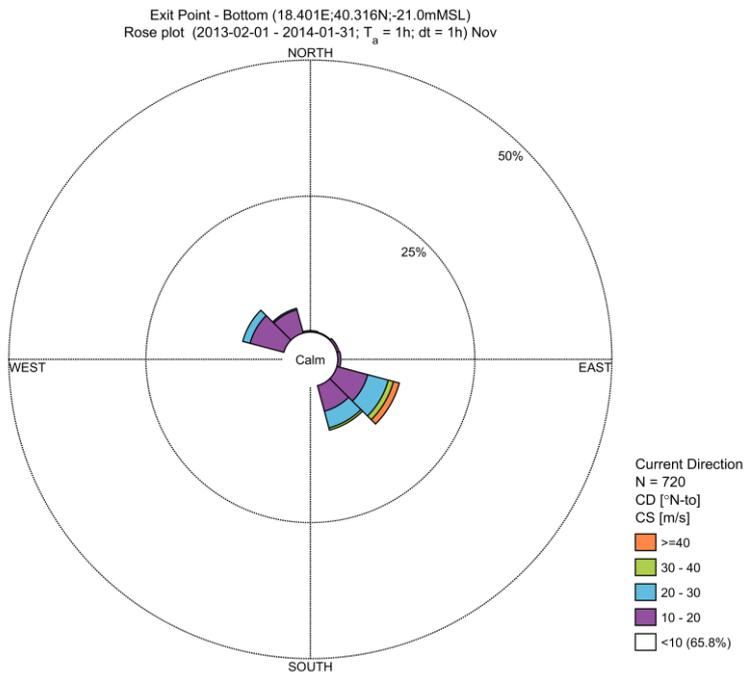


TABELLE DI FREQUENZA – SUPERFICIE

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jan

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	2.635	-	-	-	-	-	0.693	3.329	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.971	-	-	-	-	-	1.664	2.635	96.671
[30-40[	-	-	-	-	-	4.300	0.139	-	-	-	0.971	10.818	16.227	94.036
[20-30[	0.139	-	-	-	-	6.380	0.971	-	-	-	0.971	7.906	16.366	77.609
[10-20[	4.300	0.555	0.555	-	1.110	6.103	1.248	0.139	-	-	3.883	8.738	26.630	61.442
[0-10[	4.161	4.577	2.497	2.358	2.219	5.270	1.387	0.832	0.416	0.832	3.190	7.074	34.813	34.813
Total	8.599	5.132	3.051	2.358	3.329	25.059	3.745	0.971	0.416	0.832	9.015	36.893	100.000	-
Accum	8.599	13.731	16.782	19.140	22.469	48.128	51.872	52.843	53.259	54.092	63.107	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Feb

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.455	0.455	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	1.515	-	-	-	-	-	5.758	7.273	99.545
[30-40[	-	-	-	-	0.152	5.000	-	-	-	-	-	6.364	11.515	92.273
[20-30[	-	-	-	-	1.515	14.697	0.455	-	-	-	0.303	5.758	22.727	80.758
[10-20[	3.182	0.606	0.303	0.455	6.212	11.515	1.970	-	-	0.909	2.273	7.121	34.545	58.030
[0-10[	4.091	1.667	1.061	2.121	3.485	3.182	1.212	1.515	0.758	0.606	0.909	2.879	23.485	23.485
Total	7.273	2.273	1.364	2.576	11.364	35.909	3.636	1.515	0.758	1.515	3.485	28.333	100.000	-
Accum	7.273	9.545	10.909	13.485	24.848	60.758	64.394	65.909	66.667	68.182	71.667	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Mar

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	0.269	-	-	-	-	-	-	0.269	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	1.613	-	-	-	-	-	1.075	2.688	99.731
[40-50[	-	-	-	-	-	5.780	-	-	-	-	-	8.468	14.247	97.043
[30-40[	-	-	-	-	0.403	3.495	-	-	-	-	0.134	8.871	12.903	82.796
[20-30[	0.269	-	-	-	1.075	6.855	-	-	-	0.403	-	8.333	16.935	69.892
[10-20[	4.839	1.075	0.134	1.075	1.344	5.242	1.478	0.269	-	0.672	0.672	8.468	25.269	52.957
[0-10[	3.629	6.183	3.091	3.763	3.898	2.419	0.403	0.134	0.538	0.134	1.344	2.151	27.688	27.688
Total	8.737	7.258	3.226	4.839	6.720	25.672	1.882	0.403	0.538	1.210	2.151	37.368	100.000	-
Accum	8.737	15.995	19.220	24.059	30.780	56.452	58.333	58.737	59.274	60.484	62.634	100.000	-	-

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	21 of 34

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Apr

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	1.250	-	-	-	-	-	-	1.250	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.972	-	-	-	-	-	-	0.972	98.750
[40-50[	-	-	-	-	-	4.722	-	-	-	-	-	0.558	5.278	97.778
[30-40[	-	-	-	-	-	6.667	-	-	-	-	-	3.194	9.861	92.500
[20-30[	0.417	-	-	-	1.667	10.139	0.139	-	-	-	1.806	6.389	20.566	82.639
[10-20[	5.694	0.833	0.139	0.139	4.167	9.028	3.194	0.558	-	0.139	3.194	10.694	37.778	82.083
[0-10[	5.694	2.361	3.472	3.194	2.639	1.528	0.894	-	0.139	0.417	1.111	3.056	24.306	24.306
Total	11.806	3.194	3.611	3.333	8.472	34.306	4.028	0.558	0.139	0.556	6.111	23.889	100.000	-
Accum	11.806	15.000	18.611	21.944	30.417	64.722	68.750	69.308	69.444	70.000	76.111	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) May

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	1.210	-	-	-	-	-	0.806	2.016	100.000
[40-50[	-	-	-	-	0.538	4.032	-	-	-	-	-	2.419	6.989	97.984
[30-40[	-	-	-	-	0.941	4.301	0.134	-	-	-	-	4.435	9.812	90.995
[20-30[	0.806	-	-	-	4.973	13.844	2.016	-	-	0.134	0.672	4.973	27.419	81.183
[10-20[	4.704	0.806	1.478	1.075	4.435	3.495	1.344	0.538	1.210	2.285	1.747	1.344	24.482	53.783
[0-10[	3.360	3.629	2.554	2.419	3.360	4.032	0.538	0.806	0.941	2.957	2.016	2.688	29.301	29.301
Total	8.871	4.435	4.032	3.495	14.247	30.914	4.032	1.344	2.151	5.376	4.435	16.667	100.000	-
Accum	8.871	13.306	17.339	20.833	35.081	65.995	70.027	71.371	73.522	78.898	83.333	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jun

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	0.972	-	-	-	-	-	-	0.972	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	1.667	-	-	-	-	-	-	1.667	99.028
[40-50[	-	-	-	-	0.139	4.861	0.139	-	-	-	-	-	5.139	97.361
[30-40[	-	-	-	-	0.558	10.000	0.894	-	-	-	-	1.944	13.194	92.222
[20-30[	0.833	-	-	-	2.917	13.333	2.361	-	-	0.417	1.806	1.111	22.778	79.028
[10-20[	2.222	0.139	-	-	6.944	11.389	3.611	2.361	2.222	1.667	1.667	3.611	35.833	56.250
[0-10[	1.389	0.694	0.833	1.806	3.056	2.222	1.667	1.667	0.972	1.389	1.667	3.056	20.417	20.417
Total	4.444	0.833	0.833	1.806	13.611	44.444	8.472	4.028	3.194	3.472	5.139	9.722	100.000	-
Accum	4.444	5.278	6.111	7.917	21.528	65.972	74.444	78.472	81.667	85.139	90.278	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jul

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	1.344	-	-	-	-	-	-	1.344	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	5.780	-	-	-	-	-	-	5.780	98.656
[30-40[	-	-	-	-	0.672	12.500	-	-	-	-	-	-	13.172	92.678
[20-30[	-	-	-	-	3.226	15.188	0.941	-	-	-	1.075	-	20.430	79.704
[10-20[	-	-	-	-	6.568	14.919	3.629	1.075	0.638	2.823	1.747	0.403	31.720	59.274
[0-10[	0.269	0.806	-	0.403	3.763	5.511	3.898	2.151	3.226	3.495	2.554	1.478	27.554	27.554
Total	0.269	0.806	-	0.403	14.247	55.242	8.468	3.226	3.763	6.317	5.376	1.882	100.000	-
Accum	0.269	1.075	1.075	1.478	15.726	70.968	79.435	82.661	86.425	92.742	98.118	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Aug

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.672	-	-	-	-	-	-	0.672	100.000
[30-40[	-	-	-	-	-	4.570	0.403	-	-	-	-	-	4.973	99.328
[20-30[	-	-	-	-	0.538	11.694	0.941	-	-	-	1.344	2.016	16.532	94.355
[10-20[	1.478	-	-	-	4.570	15.726	4.704	2.419	0.403	0.806	2.554	3.360	36.022	77.823
[0-10[	1.075	1.747	1.344	2.823	8.199	7.124	3.360	2.419	2.823	2.957	2.823	5.108	41.801	41.801
Total	2.554	1.747	1.344	2.823	13.306	39.785	9.409	4.839	3.226	3.763	6.720	10.484	100.000	-
Accum	2.554	4.301	5.645	8.468	21.774	61.559	70.968	75.808	79.032	82.796	89.516	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Sep

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.417	-	-	-	-	-	-	0.417	100.000
[30-40[	-	-	-	-	0.139	6.528	-	-	-	-	-	0.278	6.944	99.583
[20-30[	0.417	-	-	-	1.250	14.583	3.750	-	-	-	-	0.833	20.833	92.839
[10-20[	3.472	1.667	0.556	1.111	3.333	12.361	2.222	1.111	0.556	0.417	1.250	4.028	32.083	71.806
[0-10[	4.306	4.861	5.139	4.167	8.750	3.889	1.806	0.833	0.556	-	1.111	4.306	39.722	39.722
Total	8.194	6.528	5.694	5.278	13.472	37.778	7.778	1.944	1.111	0.417	2.361	9.444	100.000	-
Accum	8.194	14.722	20.417	25.694	39.167	76.944	84.722	86.667	87.778	88.194	90.556	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Oct

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum		
	[-15-15[[15-45[[45-75[[75-105[[105-135[[135-165[[165-195[[195-225[[225-255[[255-285[[285-315[[315-345[
[80-90[-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[-	-	-	-	-	0.872	-	-	-	-	0.289	0.672	1.613	100.000	
[50-60[	-	-	-	-	-	2.688	-	-	-	-	1.344	4.032	98.387	
[40-50[	-	-	-	-	-	3.629	-	-	-	-	2.688	6.317	94.355	
[30-40[	-	-	-	-	0.134	3.380	0.941	-	-	-	2.957	7.392	88.038	
[20-30[	-	-	-	-	0.808	6.586	1.478	-	-	-	0.289	4.704	13.844	
[10-20[	3.495	-	0.269	0.672	3.495	11.694	2.688	1.344	-	-	0.538	10.887	35.081	
[0-10[	4.032	2.957	1.613	2.554	6.855	3.091	0.672	1.210	1.210	1.210	2.688	3.629	31.720	
Total	7.527	2.957	1.882	3.226	11.290	31.720	5.780	2.554	1.210	1.210	3.763	26.882	100.000		
Accum	7.527	10.484	12.366	15.591	26.882	58.602	64.382	66.935	68.145	69.355	73.118	100.000	-		

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Nov

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum	
	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[			[315-345[
[80-90[	-	-	-	-	-	0.139	-	-	-	-	-	-	0.139	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	0.278	-	-	-	-	-	-	0.278	99.881
[60-70[	-	-	-	-	-	0.417	-	-	-	-	-	-	0.417	99.583
[50-60[	-	-	-	-	-	0.556	-	-	-	-	0.139	0.833	1.528	99.167
[40-50[	-	-	-	-	-	0.972	-	-	-	-	0.556	2.500	4.028	97.639
[30-40[	-	-	-	-	0.556	3.056	-	-	-	0.139	0.972	5.000	9.722	93.811
[20-30[	-	-	-	-	1.250	4.722	0.278	-	-	0.972	6.667	13.056	26.944	83.889
[10-20[	2.500	0.139	0.556	0.139	1.667	5.556	1.250	0.833	0.139	0.278	3.889	11.528	28.472	56.944
[0-10[	1.667	1.528	1.111	1.806	3.194	7.083	2.639	1.111	0.694	0.833	2.500	4.306	28.472	28.472
Total	4.167	1.667	1.667	1.944	6.667	22.778	4.167	1.944	0.833	2.222	14.722	37.222	100.000	-
Accum	4.167	5.833	7.500	9.444	16.111	38.889	43.056	45.000	45.833	48.056	62.778	100.000	-	-

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Dec

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum	
	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[			[315-345[
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.134	-	-	-	-	-	-	0.134	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	1.747	-	-	-	-	0.808	1.075	3.629	99.886
[30-40[	-	-	-	-	-	5.511	-	-	-	-	1.478	3.763	10.753	96.237
[20-30[	-	-	-	-	-	10.484	0.134	-	-	-	2.016	5.242	17.876	85.484
[10-20[	0.134	-	-	-	1.747	19.066	1.613	-	-	0.672	4.839	7.661	35.763	67.608
[0-10[	2.151	0.806	0.672	0.941	2.419	6.720	4.032	2.419	1.613	1.478	4.032	4.570	31.855	31.855
Total	2.285	0.806	0.672	0.941	4.167	43.683	5.780	2.419	1.613	2.151	13.172	22.312	100.000	-
Accum	2.285	3.091	3.763	4.704	8.871	52.554	58.333	60.753	62.366	64.516	77.688	100.000	-	-

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	24 of 34

Exit Point - Surface
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) All

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	0.011	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	0.023	-	-	-	-	-	-	0.023	99.989
[60-70[	-	-	-	-	-	0.298	-	-	-	-	0.023	0.057	0.378	99.966
[50-60[	-	-	-	-	-	1.077	-	-	-	-	0.011	0.438	1.524	99.587
[40-50[	-	-	-	-	0.057	2.948	0.011	-	-	-	0.115	2.074	5.203	98.063
[30-40[	-	-	-	-	0.298	5.777	0.195	-	-	0.011	0.298	3.943	10.521	92.880
[20-30[	0.241	-	-	-	1.805	10.882	1.123	-	-	0.180	1.410	5.009	20.229	82.338
[10-20[	2.991	0.481	0.332	0.390	3.782	10.521	2.418	0.894	0.424	0.894	2.350	6.464	31.943	82.109
[0-10[	2.968	2.659	1.948	2.361	4.332	4.355	1.868	1.261	1.169	1.375	2.178	3.691	30.166	30.166
Total	6.201	3.140	2.281	2.751	10.074	35.691	5.616	2.155	1.593	2.441	6.384	21.673	100.000	-
Accum	6.201	9.341	11.622	14.372	24.447	60.138	65.754	67.908	69.501	71.943	78.327	100.000	-	-

TABELLE DI FREQUENZA - PROFONDITÀ INTERMEDIA

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jan

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.277	-	-	-	-	-	-	0.277	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	2.635	-	-	-	-	0.555	-	3.190	99.723
[30-40[	-	-	-	-	-	2.497	-	-	-	-	0.893	-	3.190	96.533
[20-30[	-	-	-	-	0.555	6.241	-	-	-	-	10.125	1.064	18.585	93.343
[10-20[	-	-	-	-	2.219	8.599	-	-	-	-	13.870	3.329	28.017	74.757
[0-10[	0.832	-	0.139	0.971	4.716	10.541	1.803	0.893	1.110	3.883	16.921	5.132	46.741	48.741
Total	0.832	-	0.139	0.971	7.490	30.791	1.803	0.893	1.110	3.883	42.164	10.125	100.000	-
Accum	0.832	0.832	0.971	1.942	9.431	40.222	42.025	42.718	43.828	47.712	89.875	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Feb

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40[	-	-	-	-	-	2.424	-	-	-	-	3.333	-	5.758	100.000
[20-30[	-	-	-	-	1.061	15.152	-	-	-	-	8.838	0.152	25.000	94.242
[10-20[	-	-	-	-	3.030	18.485	-	-	-	-	6.970	5.909	34.394	69.242
[0-10[	1.061	0.455	0.152	0.455	2.879	9.848	0.455	1.061	1.515	2.121	8.182	6.667	34.848	34.848
Total	1.061	0.455	0.152	0.455	6.970	45.909	0.455	1.061	1.515	2.121	27.121	12.727	100.000	-
Accum	1.061	1.515	1.667	2.121	9.091	55.000	55.455	56.515	58.030	60.152	87.273	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Mar

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	2.823	-	-	-	-	0.134	-	2.957	100.000
[30-40[	-	-	-	-	-	6.720	-	-	-	-	6.183	-	12.903	97.043
[20-30[	-	-	-	-	0.941	6.452	-	-	-	-	12.789	-	20.161	84.140
[10-20[	-	-	-	-	1.613	10.081	-	-	-	-	9.946	1.882	23.522	63.978
[0-10[	0.538	0.134	0.134	0.806	4.704	10.081	1.210	0.269	0.269	2.957	13.844	5.511	40.457	40.457
Total	0.538	0.134	0.134	0.806	7.258	36.196	1.210	0.269	0.269	2.957	42.876	7.392	100.000	-
Accum	0.538	0.672	0.806	1.613	8.871	45.027	46.237	46.505	46.774	49.731	92.608	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Apr

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.694	-	-	-	-	-	-	0.694	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	2.222	-	-	-	-	-	-	2.222	99.306
[30-40[	-	-	-	-	0.278	6.944	-	-	-	-	-	-	7.222	97.083
[20-30[	-	-	-	-	1.111	6.806	-	-	-	-	2.778	0.833	11.528	89.881
[10-20[	-	-	-	-	7.917	12.083	-	-	-	-	6.250	6.250	32.500	78.333
[0-10[	1.250	0.417	0.556	1.667	8.056	8.611	0.972	0.556	1.667	2.500	13.472	6.111	45.833	45.833
Total	1.250	0.417	0.556	1.667	17.361	37.381	0.972	0.556	1.667	2.500	22.500	13.194	100.000	-
Accum	1.250	1.667	2.222	3.889	21.250	58.611	59.583	60.139	61.806	64.306	86.806	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) May

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	1.882	-	-	-	-	-	-	1.882	100.000
[30-40[	-	-	-	-	0.134	5.242	-	-	-	-	-	-	5.376	98.118
[20-30[	-	-	-	-	3.495	11.425	-	-	-	-	2.957	-	17.876	92.742
[10-20[	-	-	-	-	8.602	11.022	-	-	-	0.403	9.005	1.747	30.780	74.866
[0-10[	0.403	0.941	0.806	0.806	3.629	10.215	2.151	0.941	3.495	2.823	9.946	7.930	44.086	44.086
Total	0.403	0.941	0.806	0.806	15.860	39.785	2.151	0.941	3.495	3.226	21.909	9.677	100.000	-
Accum	0.403	1.344	2.151	2.957	18.817	58.602	60.753	61.694	65.188	68.414	90.323	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jun

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.278	-	-	-	-	-	-	0.278	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	3.472	-	-	-	-	-	-	3.472	99.722
[30-40[	-	-	-	-	0.833	6.250	-	-	-	-	-	-	7.083	96.250
[20-30[	-	-	-	-	4.167	8.333	-	-	-	-	-	-	12.500	89.167
[10-20[	0.139	-	-	-	12.778	9.306	-	-	-	-	1.250	6.250	29.722	76.667
[0-10[	2.361	1.944	1.944	2.083	8.056	8.056	1.111	1.667	2.361	2.778	6.528	8.056	48.944	48.944
Total	2.500	1.944	1.944	2.083	25.833	35.694	1.111	1.667	2.361	2.778	7.778	14.306	100.000	-
Accum	2.500	4.444	6.389	8.472	34.306	70.000	71.111	72.778	75.139	77.917	85.694	100.000	-	-

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
			Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	27 of 34

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jul

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum		
	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[			[315-345[
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[40-50[	-	-	-	-	0.134	2.151	-	-	-	-	-	-	-	2.285	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.478	9.140	-	-	-	-	-	-	-	10.618	97.715
[20-30[	-	-	-	-	5.511	9.946	-	-	-	-	-	-	-	15.457	87.097
[10-20[	-	-	-	-	9.274	11.425	-	-	-	-	1.075	5.108	-	28.882	71.640
[0-10[	1.882	3.091	2.688	3.091	8.737	7.258	1.747	0.672	0.941	1.344	4.704	8.802	-	44.758	44.758
Total	1.882	3.091	2.688	3.091	25.134	39.919	1.747	0.672	0.941	1.344	5.780	13.710	-	100.000	-
Accum	1.882	4.973	7.661	10.753	35.887	75.806	77.554	78.228	79.167	80.511	86.290	100.000	-	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Aug

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum		
	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[			[315-345[
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[30-40[	-	-	-	-	0.538	0.538	-	-	-	-	-	-	-	1.075	100.000
[20-30[	-	-	-	-	5.914	3.898	-	-	-	-	-	-	-	9.812	98.925
[10-20[	-	-	-	-	14.247	9.543	-	-	-	-	1.478	2.151	-	27.419	89.113
[0-10[	1.882	1.478	2.554	5.780	20.833	9.677	2.419	2.419	2.016	1.613	6.855	4.167	-	61.694	61.694
Total	1.882	1.478	2.554	5.780	41.532	23.656	2.419	2.419	2.016	1.613	8.333	6.317	-	100.000	-
Accum	1.882	3.360	5.914	11.694	53.228	76.882	79.301	81.720	83.737	85.349	93.683	100.000	-	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Sep

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	CD [°N-to] - Current Direction											Total	Accum		
	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[			[315-345[
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000	
[30-40[	-	-	-	-	0.139	2.083	-	-	-	-	-	-	-	2.222	100.000
[20-30[	-	-	-	-	3.472	9.028	-	-	-	-	-	-	-	12.500	97.778
[10-20[	-	-	-	-	11.528	13.750	-	-	-	-	1.111	1.111	-	27.500	85.278
[0-10[	0.556	0.972	0.833	0.694	14.861	19.583	2.778	1.944	4.167	2.500	3.750	5.139	-	57.778	57.778
Total	0.556	0.972	0.833	0.694	30.000	44.444	2.778	1.944	4.167	2.500	4.861	6.250	-	100.000	-
Accum	0.556	1.528	2.361	3.056	33.056	77.500	80.278	82.222	86.389	88.889	93.750	100.000	-	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Oct

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	0.403	-	-	-	-	-	-	0.403	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	3.226	-	-	-	-	-	-	3.226	99.597
[30-40[	-	-	-	-	-	5.645	-	-	-	-	-	-	5.645	98.371
[20-30[	-	-	-	-	0.269	9.409	-	-	-	-	3.629	1.344	14.651	90.726
[10-20[	-	-	-	-	3.898	17.473	-	-	-	0.134	5.780	5.645	32.930	76.075
[0-10[	1.747	0.672	0.269	2.419	12.903	9.409	0.403	0.672	2.016	2.419	5.914	4.301	43.145	43.145
Total	1.747	0.672	0.269	2.419	17.070	45.565	0.403	0.672	2.016	2.554	15.323	11.290	100.000	-
Accum	1.747	2.419	2.688	5.108	22.177	67.742	68.145	68.817	70.833	73.387	88.710	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Nov

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	0.278	-	-	-	-	-	-	0.278	100.000
[50-60[	-	-	-	-	0.139	0.417	-	-	-	-	-	-	0.556	99.722
[40-50[	-	-	-	-	-	1.389	-	-	-	-	-	-	1.389	99.167
[30-40[	-	-	-	-	0.139	2.083	-	-	-	-	0.833	0.417	3.472	97.778
[20-30[	-	-	-	-	0.694	5.556	-	-	-	-	4.722	2.500	13.472	94.306
[10-20[	-	-	-	-	1.528	9.167	-	-	-	0.278	17.778	6.250	35.000	80.833
[0-10[	0.278	1.389	0.556	1.111	3.889	14.861	1.389	0.833	2.361	4.722	10.556	3.889	45.833	45.833
Total	0.278	1.389	0.556	1.111	6.389	33.750	1.389	0.833	2.361	5.000	33.889	13.056	100.000	-
Accum	0.278	1.667	2.222	3.333	9.722	43.472	44.861	45.694	48.056	53.056	86.944	100.000	-	-

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Dec

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.672	-	-	-	-	-	-	0.672	100.000
[30-40[	-	-	-	-	-	3.091	-	-	-	-	-	-	3.226	99.328
[20-30[	-	-	-	-	0.672	9.274	-	-	-	-	7.124	2.016	19.086	96.102
[10-20[	-	-	-	-	3.629	20.833	-	-	-	-	8.468	6.588	39.516	77.016
[0-10[	1.344	0.538	0.134	0.403	2.957	15.591	2.151	0.941	0.269	2.688	5.108	5.376	37.500	37.500
Total	1.344	0.538	0.134	0.403	7.258	49.462	2.151	0.941	0.269	2.688	20.833	13.978	100.000	-
Accum	1.344	1.882	2.016	2.419	9.677	59.140	61.290	62.231	62.500	65.188	86.022	100.000	-	-

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	29 of 34

Exit Point - Mid Column
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) All

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
CS [m/s] - Current Speed														
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	0.023	-	-	-	-	-	-	0.023	100.000
[50-60[	-	-	-	-	0.011	0.172	-	-	-	-	-	-	0.183	99.977
[40-50[	-	-	-	-	0.011	1.719	-	-	-	-	0.057	-	1.788	99.794
[30-40[	-	-	-	-	0.298	4.413	-	-	-	-	0.917	0.034	5.662	98.006
[20-30[	-	-	-	-	2.338	8.413	-	-	-	-	4.387	0.711	15.828	92.344
[10-20[	0.011	-	-	-	6.716	12.619	-	-	-	0.069	6.900	4.332	30.648	76.516
[0-10[	1.181	1.009	0.905	1.708	8.069	11.140	1.559	1.054	1.845	2.693	8.802	5.903	45.868	45.868
Total	1.192	1.009	0.905	1.708	17.444	38.499	1.559	1.054	1.845	2.782	21.043	10.980	100.000	-
Accum	1.192	2.201	3.106	4.814	22.258	60.758	62.315	63.370	65.215	67.977	89.020	100.000	-	-

	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	30 of 34

TABELLE DI FREQUENZA - FONDO

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jan

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	0.416	0.555	-	-	-	-	-	-	0.971	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.528	0.971	-	-	-	-	0.893	-	3.190	99.029
[20-30[	-	-	-	-	5.964	1.110	-	-	-	-	3.051	-	10.125	95.839
[10-20[	-	-	-	1.528	8.599	2.358	-	-	-	0.416	18.169	3.745	34.813	85.714
[0-10[	0.693	0.416	0.693	1.248	5.687	7.767	4.300	2.774	2.774	6.519	14.147	3.883	50.902	50.902
Total	0.693	0.416	0.693	2.774	22.191	12.760	4.300	2.774	2.774	6.935	36.061	7.628	100.000	-
Accum	0.693	1.110	1.803	4.577	26.768	39.528	43.828	46.602	49.376	56.311	92.372	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Feb

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40[	-	-	-	-	0.455	0.455	-	-	-	-	-	-	0.909	100.000
[20-30[	-	-	-	-	8.485	3.788	-	-	-	-	5.758	-	18.030	99.091
[10-20[	-	-	-	0.758	10.303	12.576	-	-	-	-	12.727	2.424	38.788	81.081
[0-10[	1.667	1.818	0.758	1.970	5.806	7.424	1.667	1.667	2.727	3.030	7.727	6.212	42.273	42.273
Total	1.667	1.818	0.758	2.727	24.848	24.242	1.667	1.667	2.727	3.030	26.212	8.636	100.000	-
Accum	1.667	3.485	4.242	6.970	31.818	56.061	57.727	59.394	62.121	65.152	91.364	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Mar

CD [°N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.672	-	-	-	-	-	-	0.672	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.613	3.783	-	-	-	-	0.672	-	6.048	99.328
[20-30[	-	-	-	-	4.570	4.435	-	-	-	-	11.290	-	20.296	93.280
[10-20[	0.134	-	-	0.538	4.839	8.602	-	-	-	-	13.172	0.403	27.688	72.984
[0-10[	0.808	0.269	0.403	1.210	2.823	7.392	2.823	3.629	4.167	8.199	11.156	2.419	45.296	45.296
Total	0.941	0.269	0.403	1.747	13.844	24.866	2.823	3.629	4.167	8.199	36.290	2.823	100.000	-
Accum	0.941	1.210	1.613	3.360	17.204	42.070	44.892	48.522	52.688	60.887	97.177	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Apr

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
CS [m/s] - Current Speed														
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	1.389	-	-	-	-	-	-	-	1.389	100.000
[30-40[	-	-	-	-	3.056	1.528	-	-	-	-	-	-	4.583	98.611
[20-30[	-	-	-	-	5.854	3.333	-	-	-	-	-	-	9.028	94.028
[10-20[	-	-	-	0.694	9.722	9.583	-	-	-	-	7.639	1.667	29.306	85.000
[0-10[	2.083	0.833	0.694	3.194	6.806	11.250	6.528	2.639	1.667	3.889	7.917	8.194	55.694	55.694
Total	2.083	0.833	0.694	3.889	26.667	25.694	6.528	2.639	1.667	3.889	15.556	9.861	100.000	-
Accum	2.083	2.917	3.611	7.500	34.167	59.861	66.389	69.028	70.694	74.583	90.139	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) May

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
CS [m/s] - Current Speed														
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	0.134	-	-	-	-	-	-	0.134	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.613	0.941	-	-	-	-	-	-	2.554	99.866
[20-30[	-	-	-	0.672	6.452	2.688	-	-	-	-	-	-	9.812	97.312
[10-20[	-	-	-	0.672	15.188	5.511	-	-	-	-	0.808	1.210	23.387	87.500
[0-10[	2.016	0.806	1.613	2.016	10.349	9.812	2.957	4.435	2.419	4.973	14.516	8.199	64.113	64.113
Total	2.016	0.806	1.613	3.360	33.602	19.086	2.957	4.435	2.419	4.973	15.323	9.409	100.000	-
Accum	2.016	2.823	4.435	7.796	41.398	60.484	63.441	67.876	70.296	75.269	90.591	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jun

CD [°N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
CS [m/s] - Current Speed														
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	0.417	-	-	-	-	-	-	-	0.417	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.808	1.667	-	-	-	-	-	-	3.472	99.583
[20-30[	-	-	-	0.278	6.111	4.028	-	-	-	-	-	-	10.417	96.111
[10-20[	-	-	-	0.833	12.083	4.306	-	-	-	-	0.656	1.250	19.028	85.694
[0-10[	3.611	1.944	1.667	3.056	14.444	12.083	1.944	0.833	1.250	1.667	12.500	11.667	66.667	66.667
Total	3.611	1.944	1.667	4.167	34.861	22.083	1.944	0.833	1.250	1.667	13.056	12.917	100.000	-
Accum	3.611	5.556	7.222	11.389	46.250	68.333	70.278	71.111	72.361	74.028	87.083	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Jul

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40[	-	-	-	-	1.075	1.344	-	-	-	-	-	-	2.419	100.000
[20-30[	-	-	-	-	4.570	5.108	-	-	-	-	-	-	9.677	97.581
[10-20[	-	-	-	0.403	14.785	6.048	-	-	-	-	0.403	3.228	24.866	87.903
[0-10[	2.018	1.613	0.941	2.688	16.935	8.855	0.806	0.538	0.672	1.344	11.290	17.339	63.038	63.038
Total	2.018	1.613	0.941	3.091	37.366	19.355	0.806	0.538	0.672	1.344	11.694	20.565	100.000	-
Accum	2.018	3.629	4.570	7.661	45.027	64.382	65.188	65.726	66.398	67.742	79.435	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Aug

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40[	-	-	-	-	0.134	-	-	-	-	-	-	-	0.134	100.000
[20-30[	-	-	-	-	2.419	1.478	-	-	-	-	-	-	3.898	99.866
[10-20[	-	-	-	0.672	13.038	4.032	-	-	-	-	0.806	0.403	18.952	95.968
[0-10[	4.435	1.210	1.613	3.763	29.973	11.694	1.344	0.269	0.538	1.478	9.812	10.887	77.016	77.016
Total	4.435	1.210	1.613	4.435	45.565	17.204	1.344	0.269	0.538	1.478	10.618	11.290	100.000	-
Accum	4.435	5.645	7.258	11.694	57.258	74.462	75.806	76.075	76.613	78.091	88.710	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Sep

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[20-30[	-	-	-	0.568	2.778	1.389	-	-	-	-	-	-	4.722	100.000
[10-20[	-	-	-	2.361	16.944	5.000	-	-	-	-	0.894	0.833	25.833	95.278
[0-10[	1.808	0.972	0.972	5.000	21.944	17.361	3.056	1.667	1.808	2.361	7.361	5.139	69.444	69.444
Total	1.808	0.972	0.972	7.917	41.667	23.750	3.056	1.667	1.808	2.361	8.056	5.972	100.000	-
Accum	1.808	2.778	3.750	11.667	53.333	77.083	80.139	81.806	83.611	85.972	94.028	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Oct

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[80-90]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50]	-	-	-	-	0.538	-	-	-	-	-	-	-	0.538	100.000
[30-40]	-	-	-	-	3.091	1.478	-	-	-	-	-	-	4.570	99.462
[20-30]	-	-	-	0.403	7.796	1.882	-	-	-	-	-	-	10.081	94.892
[10-20]	-	-	0.134	1.344	10.753	11.156	-	-	-	-	3.629	2.957	29.973	84.812
[0-10]	0.808	0.672	1.075	1.613	13.038	13.710	4.570	1.882	2.823	5.108	4.032	5.511	54.839	54.839
Total	0.808	0.672	1.210	3.360	35.215	28.226	4.570	1.882	2.823	5.108	7.661	8.468	100.000	-
Accum	0.808	1.478	2.688	6.048	41.263	69.489	74.059	75.941	78.763	83.871	91.532	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Nov

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[80-90]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60]	-	-	-	-	0.278	-	-	-	-	-	-	-	0.278	100.000
[40-50]	-	-	-	-	0.833	-	-	-	-	-	-	-	0.833	99.722
[30-40]	-	-	-	-	0.972	0.417	-	-	-	-	-	-	1.389	98.889
[20-30]	-	-	-	-	3.889	3.194	-	-	-	-	1.389	0.278	8.750	97.500
[10-20]	0.278	0.139	0.417	0.556	5.833	4.861	-	-	-	-	6.389	4.444	22.917	88.750
[0-10]	3.611	1.389	1.111	2.778	8.194	13.472	4.583	3.333	3.889	5.694	9.306	8.472	65.833	65.833
Total	3.889	1.528	1.528	3.333	20.000	21.944	4.583	3.333	3.889	5.694	17.083	13.194	100.000	-
Accum	3.889	5.417	6.944	10.278	30.278	52.222	56.806	60.139	64.028	69.722	86.806	100.000	-	-

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) Dec

CD ['N-to] - Current Direction

	[-15-15]	[15-45]	[45-75]	[75-105]	[105-135]	[135-165]	[165-195]	[195-225]	[225-255]	[255-285]	[285-315]	[315-345]	Total	Accum
[80-90]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[40-50]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[30-40]	-	-	-	-	1.613	-	-	-	-	-	-	-	1.613	100.000
[20-30]	-	-	-	0.269	9.409	0.403	-	-	-	-	2.554	-	12.634	98.387
[10-20]	-	-	-	2.554	19.624	4.570	-	-	-	-	11.828	4.973	43.548	85.753
[0-10]	2.554	0.941	1.747	3.763	8.468	7.124	1.075	0.806	0.269	2.419	6.048	6.989	42.204	42.204
Total	2.554	0.941	1.747	6.586	39.113	12.097	1.075	0.806	0.269	2.419	20.430	11.962	100.000	-
Accum	2.554	3.495	5.242	11.828	50.941	63.038	64.113	64.919	65.188	67.608	88.038	100.000	-	-

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	OPL00-C5577-150-Y-TRS-0006	Rev. No.:	0
 DHI	Doc. Title:	Studio Modellistico per la Valutazione dell'Effetto dei Dissuasori Antistrascico sull'Idrodinamica Locale	Page:	34 of 34

Exit Point - Bottom
Frequency of Occurrence [%] (2013-02-01 - 2014-01-31; T_a = 1h; dt = 1h) All

CD ['N-to] - Current Direction

CS [m/s] - Current Speed	[-15-15[	[15-45[	[45-75[	[75-105[	[105-135[	[135-165[	[165-195[	[195-225[	[225-255[	[255-285[	[285-315[	[315-345[	Total	Accum
[80-90[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[70-80[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[60-70[	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.000
[50-60[	-	-	-	-	0.023	-	-	-	-	-	-	-	0.023	100.000
[40-50[	-	-	-	-	0.298	0.115	-	-	-	-	-	-	0.413	99.977
[30-40[	-	-	-	-	1.421	1.054	-	-	-	-	0.115	-	2.590	99.584
[20-30[	-	-	-	0.183	5.662	2.728	-	-	-	-	1.983	0.023	10.579	96.974
[10-20[	0.034	0.011	0.046	1.077	11.640	6.510	-	-	-	0.034	6.336	2.292	28.183	86.395
[0-10[	2.178	1.066	1.112	2.693	12.092	10.499	2.968	2.040	2.074	3.897	9.662	7.931	58.212	58.212
Total	2.212	1.077	1.158	3.954	31.335	20.905	2.968	2.040	2.074	3.931	18.097	10.246	100.000	-
Accum	2.212	3.289	4.447	8.401	39.736	60.642	63.610	65.650	67.725	71.656	89.754	100.000	-	-