

Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale  
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz  
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)  
Viale Belvedere, 8/10  
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711  
Fax +39 041 4355 933  
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132  
3800 BC Amersfoort  
The Netherlands  
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115  
Fax +44 (0)207 222 2659  
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)  
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087  
Fax +39 049 8707 868  
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)  
Via Tiepolo, 8  
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31  
Fax +39 0422 8895 89  
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE  
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI  
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA  
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI  
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA  
AMBIENTALE**

EMISSIONE

**PROGETTO DEFINITIVO**

TITOLO

**D - IDRAULICA MARITTIMA**  
Opere di compensazione

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1	30/07/2021	1233_PD-D-006_1.doc	Riscontro Rapporto di Ispezione no. IT20056AR-PDS del 22/6/2021	N. Sguotti	T. Tassi
2	31/10/2022	1233_PD-D-006_2.doc	Aggiornamento a seguito della caratterizzazione ambientale	N. Sguotti	T. Tassi
3	08/03/2023	1233_PD-D-006_3.doc	Aggiornamento a seguito delle indagini integrative	N. Sguotti	T. Tassi
4	24/07/2023	1233_PD-D-006_4.doc	Aggiornamento in riscontro Istruttoria VIA [ID VIP 8058]	N. Sguotti	T. Tassi
5					

ELABORATO N.

**D006**

DATA: 04/09/2020	SCALA: -	FILE: 1233_PD-D-006_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO M. Tondello	DISEGNO N. Sguotti	VERIFICA M. Greggio	APPROVAZIONE T. Tassi

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## Indice generale

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SABBIODOTTO DEL CALAMBRONE</b>	<b>5</b>
2.1	FUNZIONAMENTO DEL SABBIODOTTO ED ESEMPI DI REALIZZAZIONI IN ITALIA	5
2.1.1	ESEMPI DI SABBIODOTTI REALIZZATI IN ITALIA	6
2.1.1.1	RICCIONE	6
2.1.1.2	FOCE ADIGE	8
2.1.1.3	BIBIONE	9
2.2	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	11
2.2.1	TUBAZIONE	12
2.2.2	PUNTI DI ALLACCIO E SCARICO	13
2.3	VERIFICA STATICA DELLA TUBAZIONE	14
2.3.1	VERIFICA DI SICUREZZA STATICA – RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO	14
2.4	VERIFICA IDRAULICA DELLA TUBAZIONE	18
2.5	DATI DELLE PRECEDENTI CARATTERIZZAZIONI	21
2.6	STRATEGIA DI INTERVENTO	25
<b>3</b>	<b>IMPIANTO DI POSIDONIA</b>	<b>27</b>
3.1	GENERALITÀ	27
3.2	STUDIO PILOTA	32

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

## Indice delle figure

Figura 2.1 – Sviluppo planimetrico del sabbiodotto di Riccione.....	7
Figura 2.2 - Esempio di tracciato del sabbiodotto di Riccione – tratto Sud .....	8
Figura 2.3 – Tubazione di allacciamento alla draga presso foce Adige .....	8
Figura 2.4 – Tracciato del sabbiodotto di Bibione .....	9
Figura 2.5 - Sabbiodotto di Bibione in esercizio (HS marine, 2019) .....	10
Figura 2.6 - Tracciato del sabbiodotto con punto di collegamento alla draga (rosso) e punti di scarico (giallo); la linea gialla continua indica la tubazione fissa, mentre quella tratteggiata la tubazione mobile, alimentata dall’eventuale booster .....	11
Figura 2.7 - Sezione tipo trincea sabbiodotto .....	12
Figura 2.8 – Tracciato del sabbiodotto dalla progressiva 200 m fino alla 650 m. In grigio la localizzazione dei sacchi zavorrati con passo di 12.5 m.....	13
Figura 2.9 – Sezione tipo trincea sabbiodotto con zavorra.....	13
Figura 2.10 - Diagramma di Marston.....	17
Figura 2.11 - Abaco per il predimensionamento della linea di dragaggio (Herbich, 2000) .....	19
Figura 2.12 - Diagramma delle perdite di carico nella condotta di refluitamento.....	20
Figura 2.13 – Caratterizzazioni precedenti alla realizzazione dell’armatura di foce .....	21
Figura 2.14 – Caratterizzazioni CIBM (2011).....	22
Figura 2.15 – Caratterizzazioni eseguite nell’ambito della realizzazione dell’armatura di foce (2014) ..	23
Figura 3.1 - Relazioni trofiche e livelli funzionali nell’ecosistema di Posidonia oceanica. Da Boudouresque et al. (1994 b), modificato.....	27
Figura 3.2 - Intrappolamento del sedimento e riduzione dell’idrodinamismo in una prateria di Posidonia Oceanica. Da Boudouresque et al. ....	27
Figura 3.3 - Ruolo ecologico della prateria di Posidonia Oceanica. Da Harmelin (1993) e M.A. Mateo (inedito).....	28
Figura 3.4 - Fase di prelievo di zolla con tecnica manuale .....	29
Figura 3.5 - Talea ortotropa (a sx, fissata a un tutore) e plagiotropa (a dx, tre fasci di foglie fissati da un chiodo a U) di Posidonia Oceanica. Tecnica dell’Università di Nizza- Sophia Antipolis ®. Da Boudouresque (2001).....	30
Figura 3.6 - Fase di prelievo di grandi zolle mediante mezzi meccanici, con benna tradizionale (a sinistra) e con una specifica benna idraulica (a destra) recentemente messa a punto, che permette di realizzare lo scavo per l’alloggiamento delle zolle contestualmente alla posa. ....	30
Figura 3.7 - Schema di disposizione a scacchiera delle zolle nella parcella di trapianto .....	30
Figura 3.8 - Benna idraulica appositamente realizzata per il prelievo di grandi zolle .....	31
Figura 3.9: trapianto con geogriglia - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 41) .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 3.10: trapianto con geostuoia (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 52).....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 3.11: trapianto con materassi rivegetati - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pagg. 67-68) .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 3.12 Aree di potenziale espianto e impianto individuate in fase di progettazione preliminare .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 3.13 Localizzazione del limite ipotizzato della P. oceanica presso la batimetrica dei 10 m del transetto 10 Porto .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

Figura 3.14 Aree di impianto potenziali ..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

## Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - Carichi stradali secondo la normativa UNI 11149 .....	15
Tabella 2.2 – Parametri di dimensionamento e funzionamento della tubazione.....	18
Tabella 2.3 - Parametri di calcolo per la determinazione delle perdite di carico .....	19
Tabella 4 Risultati del calcolo dell'indice PREI per le stazioni dell'area 2	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Tabella 5 Coordinate geografiche WGS84 dei centroidi delle aree di impianto potenziale	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta la descrizione delle opere previste in progetto di mitigazione e miglioramento dell'ecosistema ambientale previste dal progetto delle opere di prima fase della Piattaforma Europa.

Si tratta in realtà di interventi che trascendono i concetti di mitigazione e compensazione, andando a inquadrare in un'unica strategia di gestione anche le criticità preesistenti.

Passando dal piano concettuale a quello pratico e progettuale, esistono delle criticità pregresse:

- erosione del litorale di Marina di Pisa e dei fondali antistati la foce dell'Arno, con progressione del fenomeno verso Tirrenia;
- interrimento della foce dello Scolmatore, legato sia agli apporti solidi di quest'ultimo che alla deriva dei sedimenti litoranei, diretta localmente verso Sud; l'interrimento determina una scarsa officiosità della foce, con il risultato che la stessa non risulta navigabile e che incrementa l'aliquota di portata (solida e liquida) dello Scolmatore che si scarica verso la Darsena Toscana;
- interrimento della darsena Toscana, come conseguenza dell'apertura verso lo Scolmatore e il Canale dei Navicelli; l'apertura si rende necessaria per far transitare le imbarcazioni provenienti dai cantieri pisani, stante l'impossibilità di navigare attraverso la foce dello Scolmatore.

Alle criticità pregresse si sommano gli impatti della nuova Darsena Europa:

- sottrazione di fondali marini, ancorché ormai privi di habitat di interesse;
- incremento della tendenza deposizionale alla foce dello Scolmatore;
- generazione di torbidità nella fase di costruzione, per quanto contenuta nei limiti già oggetto di specifica analisi e pianificazione degli interventi.

Tutto ciò premesso, gli interventi di mitigazione e compensazione hanno come scopo:

- 1) mantenimento dell'officiosità della foce dello Scolmatore, finalizzata alla sicurezza idraulica, alla navigabilità ed alla conseguente potenziale chiusura del collegamento con la Darsena Toscana (quando non necessario);
- 2) riduzione dell'interrimento dei bacini portuali (Darsena Toscana);
- 3) riattivazione di parte della prateria di Posidonia, cercando di ampliarne l'areale sul fronte litorale, privilegiando le aree più distanti dalla foce dello Scolmatore.

Per la fase di costruzione e di esercizio delle nuove opere sono quindi previste le seguenti misure descritte in dettaglio nei successivi paragrafi:

- a) realizzazione del sabbiodotto del Calambrone, per rendere più rapidi ed economici gli interventi di manutenzione della foce;
- b) reimpianto di praterie di Posidonia, da realizzarsi attraverso talee di materiale autoctono sulla matte morta presente sul fronte litorale della prateria.

Nell'ottica di massima collaborazione tra gli Enti ed Associazioni, l'Autorità di Sistema Portuale è disponibile a partecipare a progetti e/o ad eventuali azioni da intraprendere in maniera coordinata con il Centro Ornitologico Toscano e con gli altri Enti Competenti al fine della protezione e del miglioramento degli ecosistemi a tutela delle specie faunistiche.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## 2 SABBIODOTTO DEL CALAMBRONE

Lo scopo del sabbiodotto, al di là della soluzione tecnica per la movimentazione dei sedimenti, è quello di individuare e fissare una strategia di manutenzione da attuare secondo modalità e intervalli temporali prestabiliti, eventualmente aggiornabili in funzione degli esiti del monitoraggio della foce e del litorale. Sulla base delle analisi condotte (cfr. “Elaborato 1233\_PD-D-004 - Studio della dinamica litoranea”), è emerso come il deficit sedimentario conseguente alla realizzazione delle nuove opere foranee risulti localizzato nel tratto di litorale prossimo alla foce dello scolmatore (dalla foce fino a 3.5÷4.0 km circa). In termini quantitativi è stata condotta una stima cautelativa, che porta ad un deficit sedimentario dell'ordine di 15'000÷18'000 m<sup>3</sup>/anno. Tali valori sono del tutto compatibili con una manutenzione annuale, o pluriennale, quale quella proposta con la realizzazione del sabbiodotto. Si tratta del resto di una strategia di manutenzione già in essere, che potrà essere gestita sinergicamente con gli interventi finalizzati a garantire l'ufficiosità della foce dello scolmatore e del Canale dei Navicelli.

### 2.1 Funzionamento del sabbiodotto ed esempi di realizzazioni in Italia

Il sabbiodotto è un'installazione fissa costituita da una tubazione che trasferisce la sabbia dal punto di prelievo, dove opera una draga CSD, al punto di scarico. Tale tubazione può essere posata temporaneamente lungo la battigia, nel caso di un sabbiodotto temporaneo, o interrata nel caso di un sabbiodotto che effettua operazioni ripetitive.

In linea generale, l'impiego del sabbiodotto per la movimentazione della sabbia permette una serie di vantaggi:

- ridotto impatto ambientale a terra: riduzione o eliminazione dei transiti degli autocarri per il trasporto della sabbia lungo la battigia;
- ridotto impatto della lavorazione: riduzione dei tempi di lavorazione, limitati al solo tempo di reflimento;
- limitata interferenza con le attività balneari, qualora vengano effettuati gli interventi a ridosso della stagione balneare.

Nel caso del sabbiodotto interrato, che resta in posizione per tutta la sua vita tecnica, gli impatti ambientali a terra risultano ulteriormente ridotti, in quanto gli impatti legati alla posa della tubazione (passaggio di mezzi per il trasporto della tubazione e la stesa) non si ripetono ad ogni intervento di ripascimento, ma sono limitati alla sola fase di installazione iniziale. Il sabbiodotto fisso riduce inoltre i tempi di realizzazione degli interventi e minimizza le interferenze con gli allestimenti balneari e con l'utilizzo della spiaggia.

Di seguito si descrive brevemente il funzionamento del sabbiodotto per la realizzazione di un intervento di ripascimento:

- Fase 1: estrazione dal terreno delle tubazioni flessibili di estremità (è sufficiente una trincea di circa 6 m).
- Fase 2 (allacciamento della tubazione di scarico): al punto terminale del sabbiodotto viene allacciata una tubazione provvisoria che permette la distribuzione della sabbia lungo l'arenile. La tubazione provvisoria ha uno sviluppo limitato e viene collocata all'estremità superiore della battigia per il versamento a spaglio libero.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

- Fase 3 (allacciamento della draga): la draga aspirante refluyente viene collegata al sabbiodotto mediante una tubazione galleggiante. La tubazione si porta dapprima sulla spiaggia emersa e successivamente viene allacciata alla linea del sabbiodotto.
- Fase 4 (refluimento): la sabbia portata in sospensione nella miscela con acqua di mare viene aspirata dalla draga e pompata attraverso la tubazione del sabbiodotto per essere quindi refluita sulla battigia.
- Fase 5 (demob): le tubazioni di allacciamento alla draga e quelle provvisorie nella zona di refluimento vengono rimosse, lasciando la tubazione del sabbiodotto completamente piena. Le estremità vengono quindi rinterrate fino al successivo utilizzo, lasciando l'arenile completamente libero.

Di seguito si riportano alcuni esempi di sabbiodotti realizzati e in funzione.

Si sottolinea che il cosiddetto "sabbiodotto" non ha alcuna originalità nella sua concezione, ma si tratta semplicemente di una tubazione da dragaggio in HDPE quali ne vengono usate nel mondo migliaia di km. Se ne differenzia esclusivamente per il fatto che viene lasciata in sito in quanto ne è previsto un utilizzo sistematico e ripetitivo. Non si prevedono altre infrastrutture diverse dalla tubazione, né impianti meccanici di pompaggio o rilancio. La lunghezza è compatibile con le prestazioni e la distanza utile garantite da una comune draga CSD medio/piccola con mandata da 350 mm.

## 2.1.1 Esempi di sabbiodotti realizzati in Italia

### 2.1.1.1 Riccione

Uno dei primi esempi italiani di sabbiodotto è quello di Riccione, realizzato nel 2013 mediante la posa di una condotta di lunghezza complessiva pari a circa 4.000 m, interrata a circa 0,95 m sotto il piano di spiaggia emersa, atta a funzionare come sabbiodotto permanente nelle operazioni di manutenzione mediante ripascimento artificiale del tratto di costa in erosione esteso per circa 3,5 km a sud e 0.7 km a Nord del porto di Riccione. Nel caso specifico, l'infrastruttura è decisamente più complessa e lungo la condotta sono stati inseriti elementi di derivazione/ispezione, alloggiati in pozzettoni in calcestruzzo, anch'essi completamente interrati, e una stazione di rilancio (booster) parzialmente interrata, dotata di pompa con motore diesel della potenza di 450 kW, necessaria in fase operativa per rilanciare la miscela di acqua e sabbia fino a raggiungere il punto terminale della condotta nel tratto Sud, distante oltre 3 km dal punto di prima alimentazione.

Lo scopo della condotta è quello di favorire il periodico ripascimento delle zone in maggiore erosione con sabbie dragate dal fondale marino. L'impiego del sabbiodotto permanente è stato ideato per risultare particolarmente funzionale in occasione delle operazioni di dragaggio dei fondali prospicienti l'imboccatura del porto di Riccione, periodicamente realizzate ai fini della navigazione.

La frequenza dell'utilizzo dipende dall'effettiva disponibilità di materiale idoneo (ovvero di manutenzione dei fondali) che, a sua volta, è direttamente legata alle dinamiche di trasporto costiero. I volumi da movimentare annualmente, con prelievo dall'area in accumulo antistante il porto canale di Riccione, risultano dell'ordine di circa 10-15.000 m<sup>3</sup>/anno.

Rispetto al posizionamento provvisorio superficiale delle tubazioni sulla spiaggia, l'interramento produce evidenti benefici, rendendo ottimale la gestione delle sabbie dragate: consente di disporre, in qualsiasi momento ed eventualmente anche nel corso della stagione balneare, della struttura necessaria per intervenire sulle spiagge in erosione.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx



Figura 2.1 – Sviluppo planimetrico del sabbiodotto di Riccione

L'intervento in progetto ha previsto la predisposizione di due sistemi di condotte realizzati con tubazioni in PEAD PN10 del diametro di 355 mm saldate in opera e flangiate, interrato mediamente circa 0,95 m sotto il piano campagna, per una lunghezza di:

- circa 3.300 m a sud (Condotta SUD) del porto di Riccione;
- circa 550 m a nord (Condotta NORD) del porto di Riccione.

La condotta Sud si diparte dal molo di levante del porto canale di Riccione; per un breve tratto viene posata internamente al corpo della scogliera di protezione del molo. Successivamente il tracciato di posa della condotta compie una curva piegando verso Sud e, dopo un breve tratto in cui è prevista la posa sul fondale marino, raggiunge la spiaggia emersa, all'altezza della radice della scogliera di protezione della darsena. Da qui il tracciato si allontana dalla linea di riva e si dispone parallelamente al Lungomare della Libertà, proseguendo sulla spiaggia emersa immediatamente a mare delle tende degli stabilimenti balneari. All'altezza di piazzale Roma il tracciato di posa arretra ulteriormente per mantenere una distanza di sicurezza dalla linea di riva, e, dopo un breve tratto obliquo, prosegue in direzione sud ancora parallelamente al Lungomare della Libertà. Un esempio del tracciato del sabbiodotto riportato nella successiva Figura 2.2

La condotta Nord si diparte dalla testata del molo di ponente del porto canale di Riccione; per un breve tratto viene addossata alla scogliera di protezione del porto canale, sfiora la pedana in legno e raggiunge la spiaggia emersa, piegando verso Nord fino a raggiungere la zona a monte delle tende. Da qui, proseguendo in direzione Nord, il tracciato di posa si dispone parallelamente al Lungomare della Costituzione, mantenendo tale andamento fino a raggiungere l'estremo Nord.



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

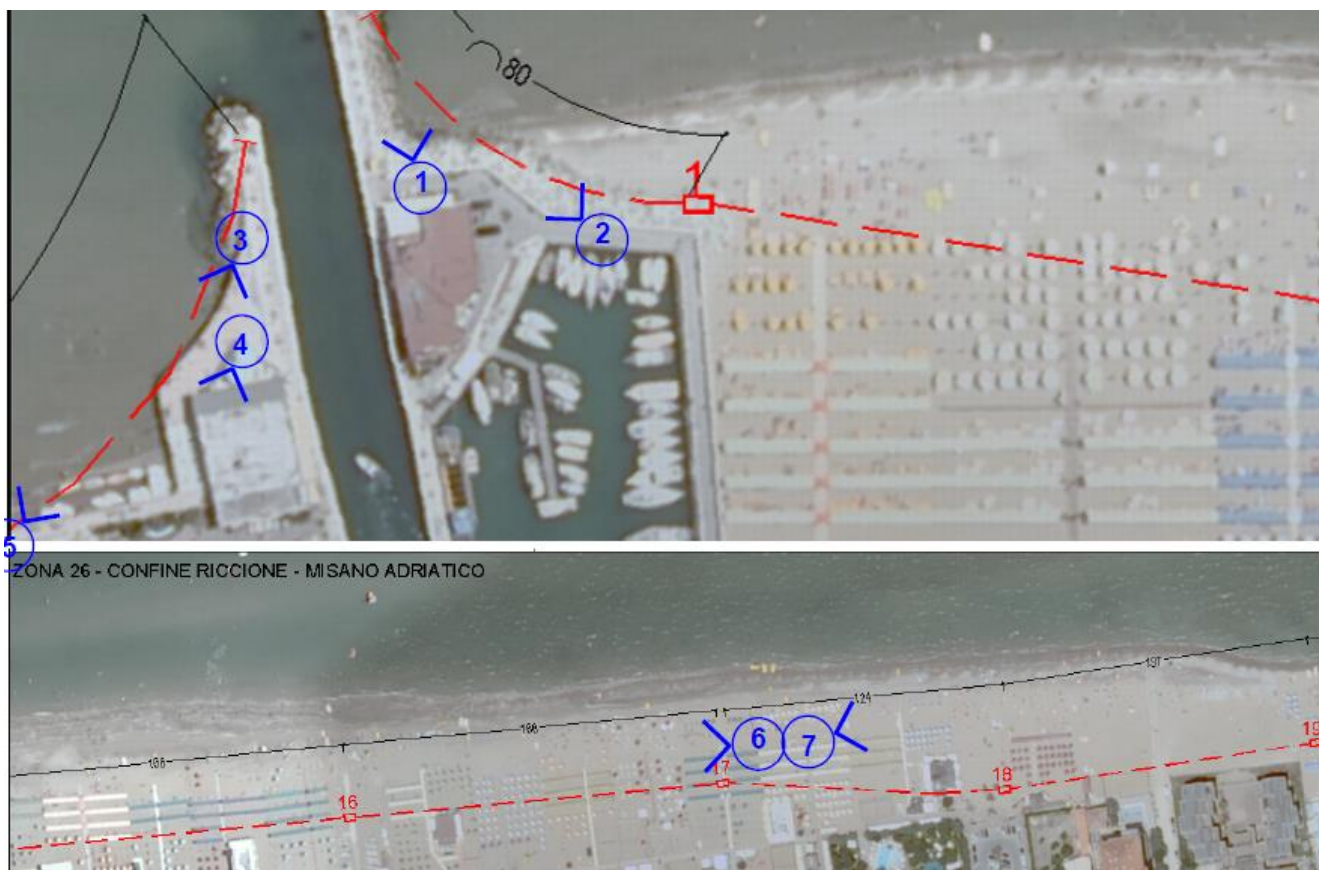


Figura 2.2 - Esempio di tracciato del sabbiodotto di Riccione – tratto Sud

### 2.1.1.2 Foce Adige

Presso foce Adige è stato installato dalla Regione Veneto un sabbiodotto fisso in HDPE, utilizzato periodicamente per refluire la sabbia dall'ansa del fiume alla spiaggia di Rosolina. Concettualmente, l'intervento è analogo al caso del Calambrone in quanto si tratta di una semplice tubazione interrata.



Figura 2.3 – Tubazione di allacciamento alla draga presso foce Adige

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

### 2.1.1.3 Bibione

In località Bibione (Veneto) è stato realizzato nel 2017, su progettazione degli scriventi, un sabbiodotto fisso di lunghezza complessiva pari a circa 1000 m.

Gli interventi di ripascimento rivestono un ruolo fondamentale per la protezione e il mantenimento della costa. In accordo con le tendenze progettuali e pianificatorie per tali interventi, nonché per ridurre l'impatto ambientale degli stessi (traffico di mezzi, installazione e rimozione di tubazioni a vista, ecc.) e renderne più tempestiva l'esecuzione, la Regione Veneto, di concerto con il Comune e con i concessionari ha previsto la realizzazione di tale sabbiodotto.

Il sabbiodotto si sviluppa dalla foce del fiume Tagliamento verso la parte centrale del litorale, ad Ovest, per una lunghezza di circa 1000 m. Il diametro esterno del sabbiodotto è di 400 mm, tale da consentire lo sfruttamento di aree di prestito ubicate entro circa 1 km dall'edificio del Faro, per poi rifluire il materiale lungo la spiaggia del Revelino (dove termina il sabbiodotto) e fino a Piazzale Zenith (con tubazioni provvisorie). Il tracciato si colloca entro breve distanza dalla riva e permette di non intervenire con mezzi meccanici nella zona di habitat più vulnerabili.

La tubazione è interrata in modo da garantire che la generatrice superiore si trovi a profondità di circa 1.5 m rispetto al piano campagna; ciò significa che la profondità di posa è variabile tra 0.0 m s.m.m. e - 1.0 m s.m.m.. La è realizzata in HDPE (PE100 PN10); tale materiale è stato scelto in relazione alle minori perdite di carico, alla maggiore resistenza all'usura, alla facilità di lavorazione, alla flessibilità, alla resistenza alla corrosione ed al minor costo.

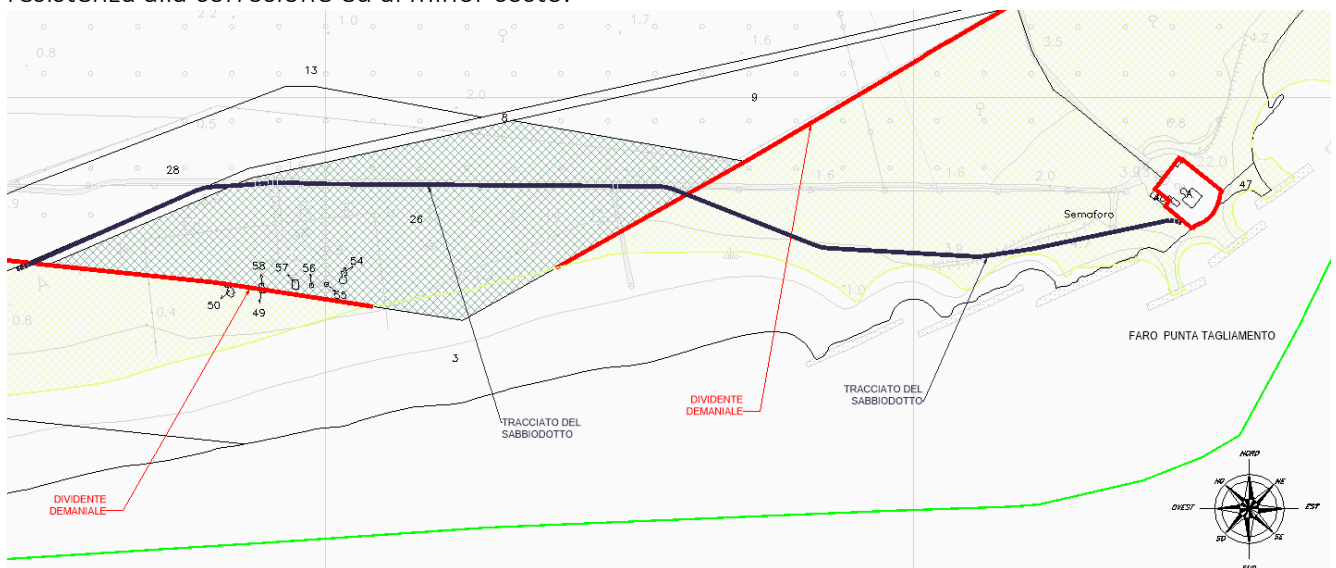


Figura 2.4 – Tracciato del sabbiodotto di Bibione

Nelle fasi di esercizio verrà collegata alla tubazione di mandata di una draga aspirante refluyente di medie dimensioni che opererà entro una distanza dell'ordine di 1000 m dall'edificio del Faro; questa distanza permetterà di utilizzare come cave di prestito, previa caratterizzazione in conformità alle norme in vigore, sia i depositi in foce già utilizzati che la barra di foce più esterna che, eventualmente, il cospicuo deposito presente entro la fascia attiva a Ovest della barra di foce. Ad oggi il sabbiodotto è stato impiegato per la realizzazione di ripascimenti per un totale di oltre 200.000 m<sup>3</sup> di sabbia.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx



Figura 2.5 - Sabbiodotto di Bibione in esercizio (HS marine, 2019)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## 2.2 Descrizione del progetto

Nel caso specifico si è scelto di adottare la soluzione del sabbiodotto fisso, costituito da una tubazione interrata. Lo sviluppo del sabbiodotto va a coprire il principale tratto di litorale potenzialmente interessato dagli squilibri legati alla modificazione della dinamica litoranea determinati dalle nuove opere foranee; in relazione agli esiti degli studi sinora condotti (cfr. Elab. 1233\_PD-D-004), tali squilibri sono contenuti entro circa 3.5 km dalla foce dello Scolmatore.

Il tracciato del sabbiodotto si collocherà tra la linea di riva, la vegetazione dunale (ove presente) e le prime infrastrutture fisse, in modo da evitare interferenze e minimizzare il rischio di scalzamento del tubo stesso, ed è stato individuato in modo tale da:

- ridurre lo sviluppo del tracciato e minimizzare lo sviluppo delle tubazioni provvisorie (dalle cave di prestito al sabbiodotto e dal sabbiodotto alle spiagge da ripascere);
- ridurre le interferenze con strutture esistenti;
- evitare interferenze con gli habitat di duna e preduna;
- ridurre l'impatto ambientale.

Il progetto prevede la posa di una tubazione interrata che collega l'armatura di foce dello Scolmatore al limite meridionale dell'abitato di Tirrenia, coprendo una distanza di circa 2.2 km (Figura 2.6).

Si tratta di una tubazione fissa che nelle fasi di esercizio verrà collegata alla tubazione di mandata (estremità destra in Figura 2.6) di una draga aspirante refluyente di medie dimensioni, che opererà entro una distanza dell'ordine di 300 m dal punto di collegamento al sabbiodotto. Questa distanza permetterà di utilizzare come cave di prestito, previa caratterizzazione in conformità alle norme in vigore, sia i depositi in foce che quelli sulla spiaggia sommersa a ridosso del pennello.

Al termine della tubazione fissa, nel punto di scarico (estremità sinistra in Figura 2.6), verrà collegata una tubazione mobile per distribuire il versamento lungo la battigia. Qualora necessario, nel punto di scarico potrà essere collegata una stazione di rilancio (booster) per distribuire il versamento anche a distanze superiori.

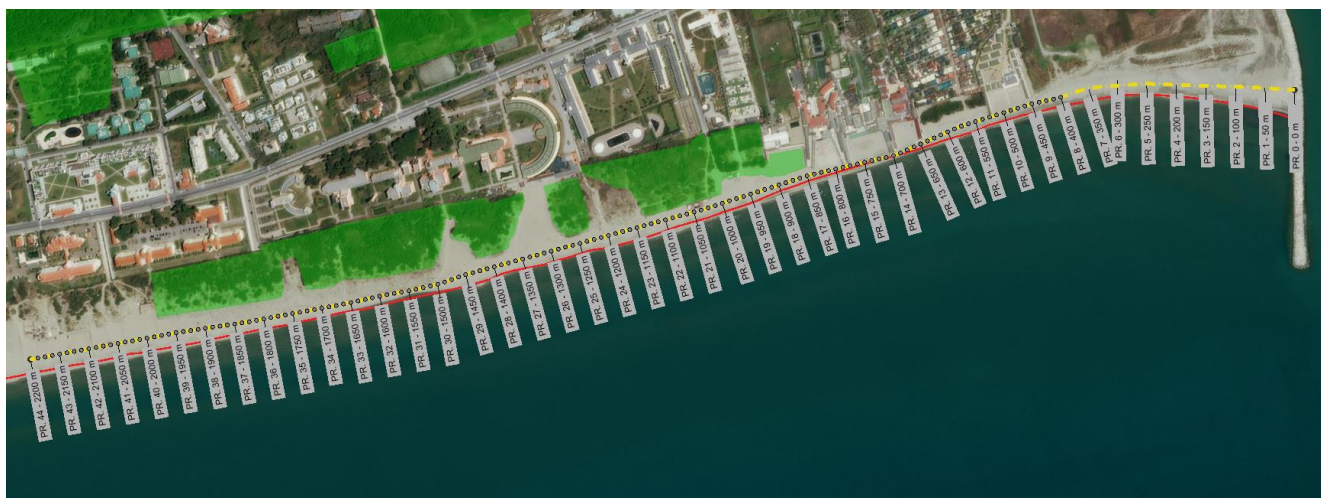


Figura 2.6 - Tracciato del sabbiodotto con punto di collegamento alla draga (rosso) e punti di scarico (giallo); la linea gialla continua indica la tubazione fissa, mentre quella tratteggiata la tubazione mobile, alimentata dall'eventuale booster

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

### 2.2.1 Tubazione

La tubazione del sabbiodotto avrà un diametro esterno di 400 mm (spessore 23.7 mm, cui corrisponde un diametro interno di 352.6 mm) e sarà realizzata in HDPE (PE100 PN10); tale materiale è stato scelto in relazione alle minori perdite di carico, alla maggiore resistenza all'usura, alla facilità di lavorazione, alla flessibilità, alla resistenza alla corrosione ed al costo.

Il diametro rappresenta una scelta ottimale in relazione al posizionamento delle eventuali stazioni di rilancio ed alla possibilità di impiegare draghe normalmente disponibili sul mercato locale, in grado di operare in basso fondale, e con bassi costi di trasferimento ed impianto cantiere.

La tubazione sarà realizzata in barre da 12 m, saldate a caldo a pieno spessore (con saldature verificate e tenuta collaudata in conformità a quanto previsto per le condotte di adduzione idriche); per facilitare la manutenzione straordinaria, una barra su cinque sarà invece collegata a quelle adiacenti con cartelle in HDPE saldate alla tubazione, flange metalliche e bulloneria inox. Si prevede che la tubazione non in esercizio rimanga piena di acqua, sia per evitare il contributo instabilizzante determinato dalla spinta di galleggiamento che per l'oggettiva difficoltà di realizzarne lo svuotamento.

La tubazione verrà interrata in modo da garantire che la generatrice superiore si trovi a profondità di 1.0 m rispetto al piano campagna (si veda Figura 2.5). Il sabbiodotto sarà zavorrato dalla progressiva 400, partendo dalla foce, fino al punto di scarico (si veda Figura 2.6). La zavorra sarà effettuata con sacchi da 2 tonnellate riempiti di pietrame, adagiati sulla tubatura ogni 12,5 m, per un totale di 145 sacchi (si veda Figura 2.7). I lavori di scavo e rinterro verranno realizzati in modo da ripristinare la topografia della spiaggia e il grado di addensamento della sabbia, in modo tale da non introdurre elementi perturbativi dell'attuale trend del litorale in quanto i. L'eventuale sabbia in eccesso al termine dei lavori di rinterro, se idonea, verrà utilizzata come ripascimento.

Trattandosi di una condotta in HDPE e considerandone l'impiego, ovvero il passaggio di una miscela costituita da acqua e sabbia, la tubazione sarà soggetta nel corso della sua vita tecnica ad usura con conseguente riduzione dello spessore del tubo. La prevedibile durata di una tubazione del tipo di quella indicata è dell'ordine di almeno due milioni di metri cubi, incrementabile ulteriormente con la rotazione assiale della tubazione in fase di manutenzione straordinaria di mezza vita.

Il consumo stimato della tubazione in HDPE è di 0.7 mm per ogni milione di metri cubi di miscela rifluita, pari a circa 200.000 metri cubi di sabbia nelle condizioni operative previste per il sabbiodotto.

Ipotizzando di utilizzare i medesimi fattori di sicurezza impiegati per la certificazione PN10 e tenendo conto della pressione massima di esercizio della tubazione (circa 60 m di colonna d'acqua), lo spessore sacrificale della tubazione è di almeno 8 mm, corrispondenti quindi a oltre due milioni di metri cubi di sabbia rifluita, quantitativo certamente sufficiente a coprire decenni di funzionamento.

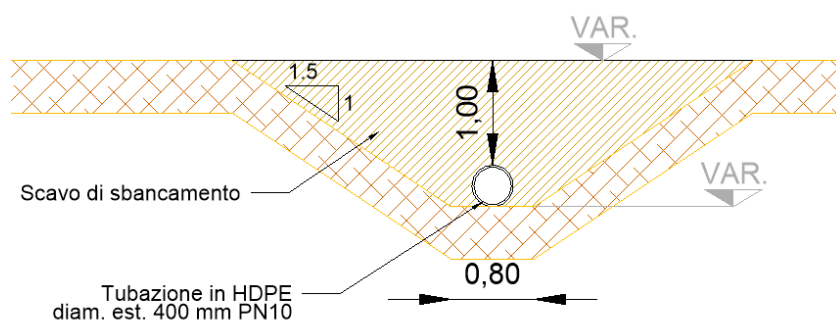


Figura 2.7 - Sezione tipo trincea sabbiodotto

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx



Figura 2.8 – Tracciato del sabbiodotto dalla progressiva 200 m fino alla 650 m. In grigio la localizzazione dei sacchi zavorrati con passo di 12.5 m.

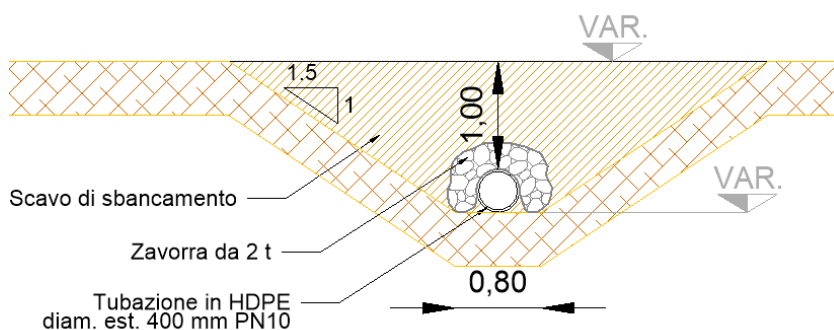


Figura 2.9 – Sezione tipo trincea sabbiodotto con zavorra

### 2.2.2 Punti di allaccio e scarico

La condotta sarà dotata di un punto di allacciamento alla tubazione di mandata collegata alla draga; il punto di allacciamento si troverà in adiacenza all'armatura Sud della foce dello Scolmatore.

Vi sarà poi un punto di scarico della miscela, ubicato all'estremità Nord del sabbiodotto.

Lo spezzone iniziale di tubazione (di lunghezza pari a 12 m) e quello finale saranno flessibili, in modo da poter essere più facilmente allacciati alle tubazioni di mandata e scarico. Gli spezzoni flessibili saranno normalmente interrati a circa 1 m sotto la superficie della spiaggia e saranno portati alla luce e sollevati solamente in occasione del funzionamento del sabbiodotto, per essere poi rinterrati al termine dell'uso.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

## 2.3 Verifica statica della tubazione

Il presente paragrafo riporta i risultati della verifica statica del collettore previsto in progetto. In particolare, in osservanza al D.M. LL.PP. del 12/12/1985 “Norme tecniche relative alle tubazioni”, sono state eseguite le seguenti verifiche:

- interazioni fra tubazioni e fluido trasportato;
- interazioni fra tubazioni e terreni di posa;
- verifiche di sicurezza statica - resistenza allo schiacciamento.

La verifica a schiacciamento della condotta è stata eseguita ipotizzando che la tubazione venga posta a tergo della spiaggia, dove normalmente si svolgono le operazioni di manutenzione dell'arenile e di allestimento degli stabilimenti balneari; si dovrà quindi considerare nel dimensionamento il passaggio di mezzi pesanti. Il fluido trasportato è rappresentato da una miscela di acqua e sabbia, con una concentrazione in volume di quest'ultima di circa il 20%, riferito al volume ed alla densità del materiale nativo. La tubazione avrà un diametro interno di circa 350 mm (diametro esterno 400 mm) e sarà realizzata in HDPE (PE100 PN10); tale materiale offre minori perdite di carico, maggiore resistenza all'usura, facilità di lavorazione, flessibilità, resistenza alla corrosione e minor costo rispetto all'acciaio.

La tubazione in HDPE presenta una serie di ulteriori vantaggi:

- semplificazione delle operazioni di posa dal momento che il tubo può essere interrato con l'unica accortezza di eliminare i sassi più grossolani;
- qualità inalterata nel tempo e conseguente risoluzione degli interventi di riparazione;
- tempi di stoccaggio più elevati senza rischio di deterioramento.

Le tubazioni rispondono alla norma UNI EN 12201, e sono dotate delle seguenti principali caratteristiche:

- resistenza all'aggressione chimica;
- resistenza all'abrasione;
- resistenza in zona sismica;
- impermeabilità dall'interno all'esterno e viceversa;
- velocità di autopulizia;
- inalterabilità nel tempo;
- capacità di assorbire lievi assestamenti del terreno;
- perfetta tenuta idraulica nelle giunzioni saldate.

Gli scavi per la posa delle condotte interessano terreni sabbiosi. Date le caratteristiche dei terreni interessati ed in considerazione del fatto che la posa delle tubazioni richiede lo scavo di trincee omogenee, non sono necessari accorgimenti tecnici particolari per la realizzazione degli interventi.

### 2.3.1 Verifica di sicurezza statica – resistenza allo schiacciamento

La verifica statica delle condotte realizzate in HDPE è stata condotta secondo il criterio della massima deformazione ammissibile, utilizzabile per tutte le condotte di tipo plastico, in quanto il cedimento di queste tubazioni avviene per eccesso di ovalizzazione. Le tubazioni presentano infatti una resistenza propria molto bassa e buona parte della capacità di sopportare i carichi verticali deriva dalla spinta passiva indotta orizzontalmente dal movimento della parete. La capacità di un tubo flessibile di deformarsi, e quindi di utilizzare favorevolmente la spinta passiva consente allo stesso di sopportare carichi del terreno e sovraccarichi in modo efficace.

Nel calcolo vengono considerati i seguenti fattori:

- forze verticali trasmesse dal peso della terra sovrastante;
- forze verticali trasmesse dai veicoli transitanti;

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

- distribuzione delle forze verticali lungo la tubazione;
- calcolo della deformazione del tubo sotto i carichi previsti;
- impostazione della limitazione della deformazione ad un valore pari al 5% del diametro.

Per il calcolo del carico agente dovuto al terreno, si fa riferimento al metodo di Imhoff, Gaube, Rottner (consigliato dall'Istituto Italiano Plastici) e allo studio di Marston, i quali esprimono l'equilibrio alla traslazione verticale del prisma con un'equazione differenziale che, integrata, individua la forza verticale totale per unità di lunghezza.

Lo schema di carico utilizzato per la determinazione dei sovraccarichi mobili è quello relativo ad una condizione di traffico pesante, ritenuta cautelativa per il rischio dovuto al passaggio accidentale di mezzi pesanti anche su tracciati abitualmente non adibiti a traffico veicolare. È stato quindi verificato che, nelle condizioni di progetto più sfavorevoli (primo tratto di tubazione interrata tra il faro e l'argine del Consorzio), sia garantito lo spessore minimo di ricoprimento previsto in progetto (pari a 150 cm), in modo da garantire che la tubazione sia in grado di resistere alle condizioni di carico cui è normalmente sottoposta.

I dati di base per la verifica sono i seguenti:

- Diametro esterno della tubazione in PEAD:  $D_e = 40 \text{ cm}$
- Spessore della tubazione:  $s = 2.37 \text{ cm}$
- Diametro medio della tubazione:  $D = D_e - s = 37.63 \text{ cm}$
- Altezza di ricopertura della tubazione misurata dalla generatrice superiore del tubo:  $H = 100 \text{ cm}$
- Larghezza media dello scavo sulla generatrice superiore del tubo:  $B = 200 \text{ cm}$
- Peso di volume del materiale di ricopertura:  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume del materiale zavorrato:  $\gamma = 24.6 \text{ kN/m}^3$
- Carico massimo per ruota (traffico pesante):  $T = 100 \text{ kN}$

A favore di sicurezza, per il carico massimo per ruota T è stata considerata la classe di "traffico pesante" e il corrispondente valore come riportato nella successiva Tabella 1. Il terreno è considerato, nella condizione più sfavorevole, saturo e non immerso.

Classe	Carico totale (N)	P carico massimo per ruota (N)
Traffico pesante	600.000	100.000
Traffico medio	450.000	75.000
	300.000	50.000
Traffico leggero	120.000	20.000 anteriore
		40.000 posteriore
	60.000	20.000
Autovettura	30.000	10.000

Tabella 2.1 - Carichi stradali secondo la normativa UNI 11149

Il carico del terreno su un anello di tubazione di lunghezza unitaria può essere calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$q_g = C_g \gamma B D$$



Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

dove  $\gamma$ , B, D sono i parametri già definiti nel precedente paragrafo e  $C_g$  rappresenta il coefficiente di carico, espresso tramite la seguente equazione:

$$C_g = \frac{1 - e^{-\frac{H}{B} \cdot K \tan \phi}}{2K \tan \phi}.$$

Per la determinazione del coefficiente di carico  $C_g$  si utilizza il diagramma di Marston, riportato in Figura 14 e desunto dalla letteratura tecnica corrente, nel quale il coefficiente  $C_g$  è correlato al parametro H/B e al tipo di terreno sede dello scavo (tramite il valore  $\phi$  dell'angolo di attrito tra parete della trincea e terreno di riempimento e del coefficiente K di spinta attiva del terreno di riempimento)

Nel caso specifico, considerando un valore di H/B di 0.5, si ottiene un valore di  $C_g$  di circa 0.45, da cui si ricava un valore del carico del terreno pari a:

- senza zavorra  $q_g = C_g \gamma B D = 6.43 \text{ kN/m}$ .
- con zavorra  $q_g = C_g \gamma B D = 7.38 \text{ kN/m}$ . (ipotizzando, a favore di sicurezza, un peso di volume medio)

Il carico del traffico su un anello di tubazione di lunghezza unitaria può essere calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$q_r = f P B$$

dove:

$$f = 1 + \frac{60}{H} = 1.60 \quad \text{coefficiente correttivo per l'effetto dinamico dei carichi;}$$

$$P = \frac{nT}{2\pi H^2} = 95.49 \text{ kPa} \quad \text{carico per unità di superficie.}$$

Il coefficiente "n" vale 3 per terreno compattato e 6 per sabbie sciolte; in via cautelativa è stato assunto il valore corrispondente alle sabbie sciolte.

Nel caso specifico, considerando un valore di "f" di 1.6 e un valore di P di 95.49 kPa, si ottiene un valore del carico del terreno pari a:

$$q_r = f P B = 305.58 \text{ kPa}.$$

Il carico complessivo su un anello di tubazione di lunghezza unitaria è dato dalla somma del carico del terreno e di quello del traffico (sovraccarico):

$$\text{senza zavorra } q_c = q_\gamma + q_r = 312.01 \text{ kPa}.$$

$$\text{con zavorra } q_c = q_\gamma + q_r = 312.96 \text{ kPa}.$$

Per la valutazione del modulo elastico del PEAD, si fa riferimento ai dati desunti dalla letteratura tecnica corrente, che riportano per il PEAD PE100  $\sigma 80$  un valore del modulo E di 290000 kPa.

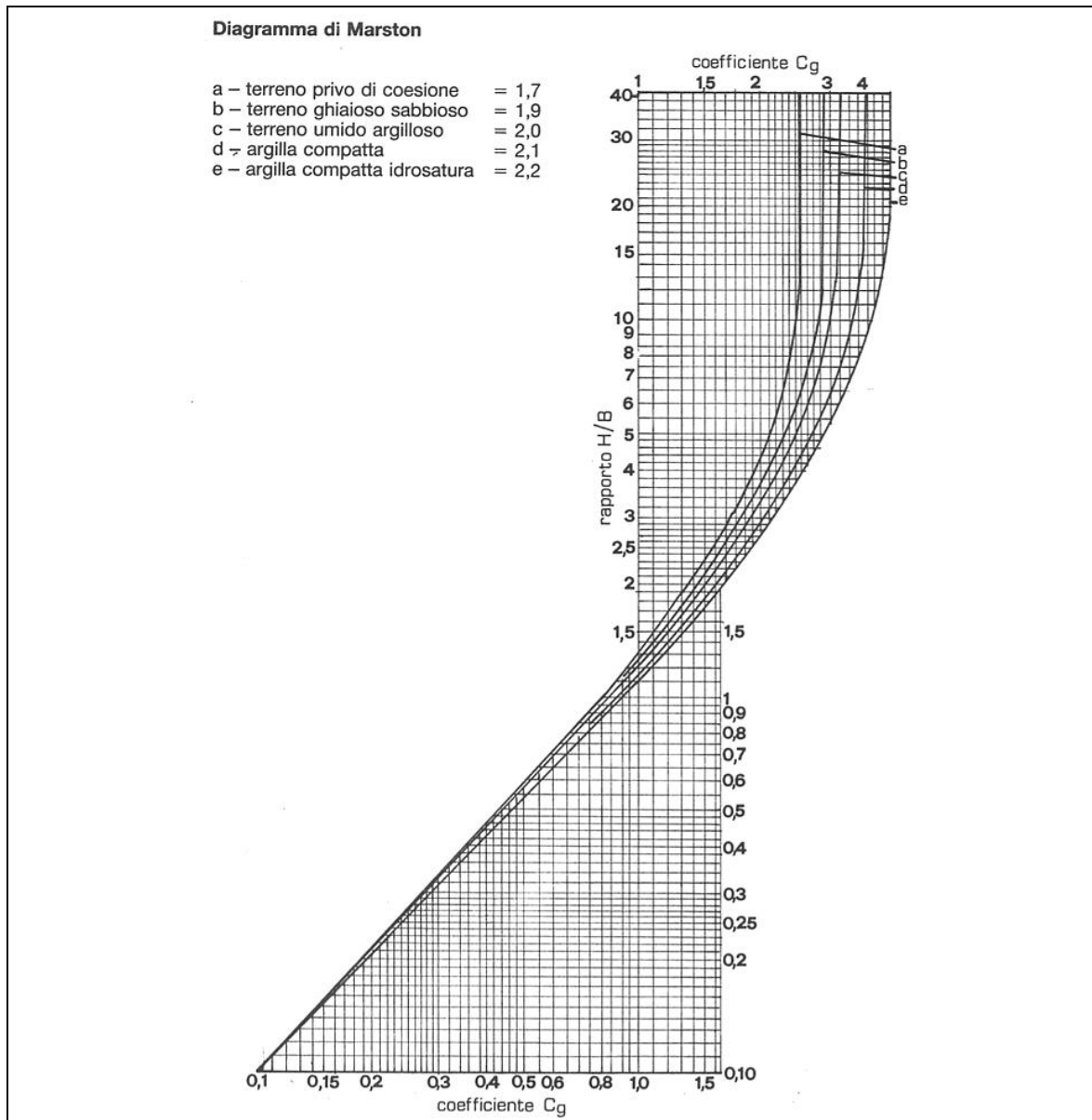


Figura 2.10 - Diagramma di Marston

La massima deformazione della tubazione può essere calcolata con la seguente espressione:

$$\text{senza zavorra } \delta_{eff} = 0.0025 \frac{q_c}{E} \left( \frac{D}{s} \right)^3 = 1.076 \text{ cm}$$

$$\text{con zavorra } \delta_{eff} = 0.0025 \frac{q_c}{E} \left( \frac{D}{s} \right)^3 = 1.079 \text{ cm}.$$

La massima deformazione ammissibile della tubazione può essere calcolata con la seguente espressione:

$$\delta_{amm} = 0.05 D = 1.88 \text{ cm}.$$

Essendo  $\delta_{eff} < \delta_{amm}$ , la resistenza a schiacciamento della tubazione risulta verificata in entrambi i casi.

La copertura minima della condotta che consente di non superare la massima deformazione ammissibile è di circa 79 cm.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## 2.4 Verifica idraulica della tubazione

Il dimensionamento della condotta è stato effettuato utilizzando l'approccio semplificato proposto nel manuale Port Engineering (Tsinker, 2004), validato attraverso la verifica per confronto con i dati di funzionamento di impianti simili esistenti. L'approccio consiste nel tenere conto di un incremento delle perdite di carico, e di un corrispondente decremento delle prestazioni della pompa, proporzionali al rapporto tra la densità dell'acqua e quella della miscela refluita.

La scelta della tipologia di draga (potenza e diametro mandata) e del diametro della tubazione è stata basata non solo su considerazioni preliminari su produttività, prevalenza e situazione di mercato dei potenziali armatori, ma anche su un predimensionamento condotto sulla base dei criteri di ottimizzazione proposti sempre da Herbich (Herbich, 2000). Il criterio si basa sull'utilizzo di un abaco, che è riportato in Figura 15 assieme alle coordinate che individuano il punto di funzionamento per la tubazione in progetto. In Tabella 2 sono riportati i parametri di dimensionamento della condotta.

La velocità critica di sedimentazione della miscela è stata valutata come segue (Matousek, 2004):

$$v_c = 1.7 * \left( 5 - \frac{1}{\sqrt{d_{50}}} \right) \sqrt{D} \left( \frac{f_p}{f_p + 0.1} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{\frac{G_s - 1}{\gamma_a \cdot 1.65}}$$

Il significato dei simboli è il medesimo indicato in tabella: ne risulta una velocità critica di circa 2.2 m/s; applicando un coefficiente di sicurezza del 25%, la velocità ottimale dovrebbe essere maggiore di 2.8 m/s.

lunghezza tubazione	L =	2500	m
diametro interno tubazione	D <sub>i</sub> =	0.350	m
diametro mediano sabbia	d <sub>50</sub> =	0.150	mm
frazione di solido nella miscela	f <sub>p</sub> =	0.200	frazione in volume
peso specifico solidi	G <sub>s</sub> =	26.0	kN/m <sup>3</sup>
peso specifico acqua marina	γ <sub>a</sub> =	10.1	kN/m <sup>3</sup>
porosità sabbia	n =	0.30	
peso volume secco sabbia	γ <sub>d</sub> =	18.2	kN/m <sup>3</sup>
peso volume saturo sabbia	γ <sub>sat</sub> =	21.2	kN/m <sup>3</sup>
peso volume miscela	γ <sub>sl</sub> =	12.3	kN/m <sup>3</sup>
portata nominale pompa dragante	Q <sub>a</sub> =	0.326	m <sup>3</sup> /s
riduzione efficienza pompa	η <sub>m</sub> =	0.82	
portata miscela pompa dragante	Q <sub>sl</sub> =	962	m <sup>3</sup> /ora
	Q <sub>sl</sub> =	0.267	m <sup>3</sup> /s
portata solida pompa dragante	Q <sub>s</sub> =	0.972	kN/s
	Q <sub>s</sub> =	192	m <sup>3</sup> /ora
			portata in peso del solido
			portata utile sabbia
velocità miscela	v =	2.78	m/s

Tabella 2.2 – Parametri di dimensionamento e funzionamento della tubazione

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

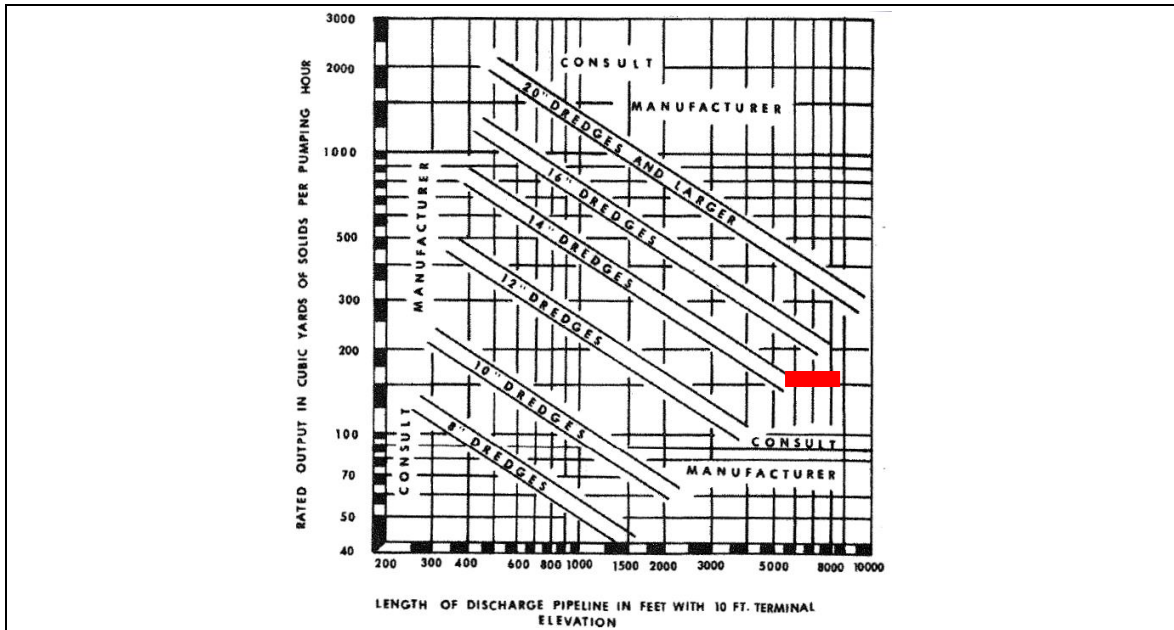


Figura 2.11 - Abaco per il predimensionamento della linea di dragaggio (Herbich, 2000)

Per il calcolo della tubazione si rimanda alla successiva Figura 16 e alla Tabella 3, nelle quali vengono rappresentati rispettivamente il diagramma delle perdite di carico ed i dati di base del calcolo.

Le perdite di carico considerate sono:

- perdite di imbocco alla draga (frazione del carico cinetico);
- perdite distribuite nella tubazione fissa, valutate attraverso la formula di Gauckler-Strickler;
- perdite distribuite nella tubazione mobile, maggiorate rispetto a quella fissa per tenere conto delle curve potenzialmente descritte dalla tubazione flessibile galleggiante;
- perdite di sbocco (perdita di Borda).

Nel caso di posizionamento della draga a 300 m dall'imbocco della tubazione fissa e scarico in corrispondenza della fine di quest'ultima, le perdite di carico complessive sono di circa 60 m, cui corrisponde una potenza netta assorbita di 200 kW. Tenendo conto di un rendimento del 70% e di un funzionamento a regime del motore del 90%, la potenza lorda complessiva impegnata per il pompaggio della miscela è di circa 310 kW. Considerando un consumo di gasolio di 0.235 l/kWh, il consumo di gasolio per metro cubo di sabbia si attesta (nelle condizioni fissate di distanza, concentrazione e portata) attorno a 0.4 l/m<sup>3</sup>. Il quantitativo teorico si riferisce al solo pompaggio, in condizioni ottimali, e andrebbe incrementato dei consumi del disgregatore e degli altri macchinari accessori.

coeff. Gauckler Stricler PEAD (tubazione sabbiodotto)	$K_S =$	100 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>
coeff. Gauckler Stricler PEAD (tubazione galleggiante)	$K_{S,fl} =$	70 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>
perdita di imbocco pompa dragante	$\xi_{in} =$	0.5
perdita di sbocco	$\xi_{sb} =$	1.0
coefficiente maggiorazione perdite	$\beta =$	1.14
diametro interno tubazione	$D_i =$	0.350 m
lunghezza tubazione fissa	$L_s =$	2200 m
lunghezza tubazione galleggiante	$L_{fl} =$	300 m

Tabella 2.3 - Parametri di calcolo per la determinazione delle perdite di carico

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

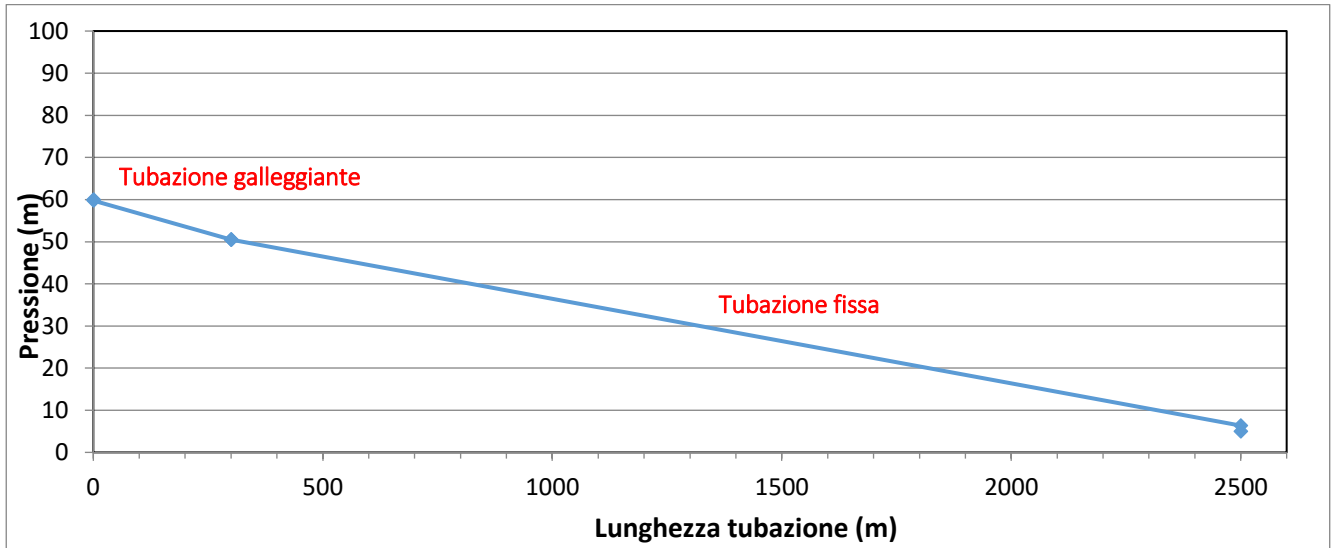


Figura 2.12 - Diagramma delle perdite di carico nella condotta di refluentamento

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

## 2.5 Dati delle precedenti caratterizzazioni

L'area di foce dello Scolmatore dell'Arno è stata oggetto di numerose campagne di caratterizzazione eseguite negli anni per la movimentazione dei sedimenti che ne pregiudicavano l'officiosità.

Si riporta di seguito una breve descrizione dei risultati di tali campagne Figura 2.11, come compendiate negli studi di base allegati al progetto di armatura della foce dello Scolmatore. La descrizione, in particolare, è focalizzata sulle campagne più recenti del 2011 e 2017, che hanno dato esito favorevole in relazione all'utilizzo dei sedimenti per il ripascimento del litorale.



Figura 2.13 – Caratterizzazioni precedenti alla realizzazione dell'armatura di foce

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx



Figura 2.14 – Caratterizzazioni CIBM (2011)

Le attività svolte nel corso dell'indagine svolta dal CIBM di Livorno per conto dell'Autorità portuale sono state effettuate prendendo come riferimento le indicazioni riportate nel "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini" (ICRAM-APAT-MATTM, 2007) e in base a quanto riportato nel D.M. 24 gennaio 1996. La zona oggetto dell'indagine si trova in prossimità della foce del Canale Scolmatore; l'area indagata è evidenziata in Figura 2.12 con la maglia di caratterizzazione. Per ogni è stato effettuato un carotaggio fino alla profondità di un metro. Per ogni carotaggio sono stati individuati e prelevati i livelli 0-50 cm e 50-100 cm.

I sedimenti presentano una composizione granulometrica omogenea in cui è preponderante la componente sabbiosa con una percentuale di circa il 98 %. Le concentrazioni di Azoto totale sono generalmente basse ad eccezione del campione SC8S che invece presenta un'elevata concentrazione; il Fosforo totale mostra concentrazioni in linea con quelle di altri sedimenti sabbiosi costieri.

Gli idrocarburi leggeri sono risultati, in tutti i campioni, inferiori al limite di quantificazione mentre gli idrocarburi pesanti presentano basse concentrazioni, inferiori al valore riportato nell'allegato 5 alla parte IV (titolo V), Tabella 1 colonna A del D. Lgs. 152/06.

I PCB, i Pesticidi organoclorurati e i TBT, presentano in tutti i campioni concentrazioni o inferiori ai rispettivi limiti di quantificazione o inferiori ai valori di LCB riportati nel "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini" (ICRAM-APAT-MATTM, 2007) e alle concentrazioni relative agli standard di qualità riportate nel D.M. 56 del 14 aprile 2009.

Per quanto riguarda gli IPA, in tutti i campioni si osservano basse concentrazioni dei vari composti, tutte inferiori ai rispettivi valori di LCB, ad eccezione del Dibenzo(a,h)antracene che nei campioni SC1S e SC6S lo supera leggermente. Relativamente ai campioni SC1S e SC6S, si osserva anche che le concentrazioni

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

di Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene e Benzo(a)pirene, superano di poco, gli standard di qualità previsti dal D.M. 56/2009. In tutti i campioni la sommatoria dei vari composti risulta inferiore sia al valore LCB che agli standard di qualità ambientale riportati nel D.M. 56/2009.

Le concentrazioni dei metalli analizzati sono risultate, in tutti i campioni, inferiori agli LCB per i sedimenti di natura sabbiosa. Le concentrazioni risultano anche inferiori agli standard di qualità riportati nel D.M. 56/2009, ad eccezione del Nichel, che nei campioni SCP2, SC5S e SC6S lo supera leggermente.

Sigla Carota	Batimetria (m)	Lunghezza carota (cm)	Livelli da prelevare (cm)
S1	3.2	50	0-50
S2	3.2	50	0-50
S3	2.0	150	0-50 50-100 100-150
S4	1.0	250	0-50 50-100 100-200 200-250
S5	0.5	300	0-50 50-100 100-200 200-300
S6	1.0	250	0-50 50-100 100-200 200-250

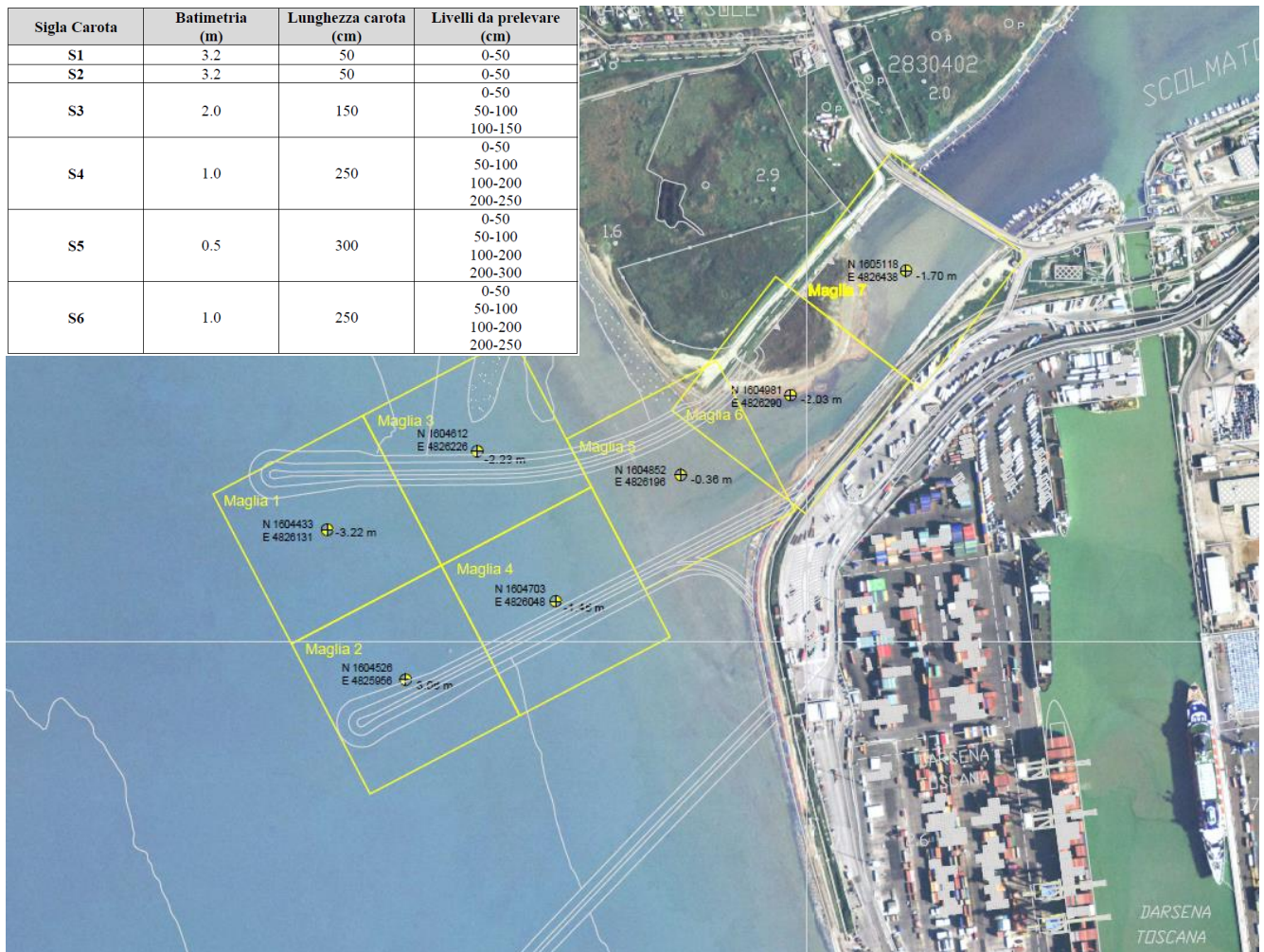


Figura 2.15 – Caratterizzazioni eseguite nell'ambito della realizzazione dell'armatura di foce (2014)

La campagna di caratterizzazione propedeutica alla realizzazione dell'armatura di foce, e del contestuale dragaggio della foce con ripascimento del litorale, è stata eseguita nel marzo 2017, in conformità a quanto previsto dal D.M. 15/07/2016 n. 173. Sono state individuate 6 aree unitarie (S1, S2, S3, S4, S5, S6) di superficie 200x200 m, come riportato in Figura 2.13.

Su ciascun campione sono state effettuate le seguenti determinazioni analitiche:

- Analisi fisiche: Granulometria, Peso specifico, Colore.
- Analisi chimiche: Metalli, IPA, PCB, TBT, Pesticidi organo-clorurati, Carbonio Organico Totale, Idrocarburi pesanti.
- Analisi ecotossicologiche: tre saggi biologici (uno su sedimento e due su elutriato).
- Analisi microbiologiche: Streptococchi fecali (Enterococchi), Escherichia Coli e coliformi totali.



Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx

- Su 8 dei 17 campioni sono state effettuate anche le analisi ecotossicologiche (tre saggi biologici di cui uno su sedimento e due su elutriato).

I risultati dell'indagine sono stati anche oggetto di un confronto con i parametri rilevati nelle campagne d'indagine del 2005-2008 (laboratori Arpat e BioChemie Lab) e 2011 (CIBM).

La correlazione è stata effettuata tra i campioni confrontabili in quanto ricadenti all'interno delle stesse aree unitarie di campionamento così come sono state definite nella più recente caratterizzazione eseguita da CIBM nel 2017.

Come riscontrato nelle precedenti caratterizzazioni, si rileva la presenza di frazioni fini con percentuali variabili dal 5 al 20% in peso nei campioni dei settori più esterni (che sono sostanzialmente quelli che dovrebbero essere gestiti con il sabbiodotto, n.d.r.), ed un valore massimo che supera il 30% esclusivamente nel settore più interno alla foce (maglia S6 CIBM - cfr. G2 ARPAT2005).

Tali granulometrie risultano comunque pienamente confrontabili e compatibili con quelle presenti sul fondale di destinazione dove il materiale dragato verrà ricollocato, rispettando la differente destinazione nella spiaggia emersa o limitrofa alla battigia, per i sedimenti con minor contenuto di frazione fine, e in quella sommersa per quelli proveniente dai settori più interni alla foce.

Relativamente alla presenza di metalli pesanti, non si riscontrano variazioni da evidenziare rispetto ai valori precedentemente registrati, e pertanto risulta confermata la compatibilità chimica del sedimento.

Riguardo alle concentrazioni di Policlorobifenili (PCB) non si riscontrano superamenti.

Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), fermo restando che nelle maglie S1, S2 e S3 non sono stati riscontrati superamenti, si rileva che nelle rimanenti maglie S4, S5 e S6, sono state riscontrate significative riduzioni nelle relative concentrazioni rispetto a quanto precedentemente rilevato nei corrispondenti campioni D2, E2/F2 e G2 eseguiti da ARPAT, con abbattimenti variabili dal 50% all'80%. La media dei contenuti di IPA calcolata per ciascuna verticale di campionamento delle maglie S6 e S4, limitatamente a tre singole specie, è risultata essere di poco superiore ai valori indicati nella colonna L2 della tab. 2.5 del Decreto n. 173 del 15 luglio 2016; mentre per la maglia S5 il superamento riscontrato è relativo solamente ai valori nella colonna L1 della tab. 2.5 del Decreto n. 173 del 15 luglio 2016 per sole due specie. Per questi settori tuttavia, le analisi microbiologiche ed ecotossicologiche indicano l'assenza di criticità, evidenziando solamente la presenza di una bassa tossicità relativamente al campione della maglia più interna S6 (peraltro di scarso/nullo interesse per il sabbiodotto).

Ciò ha consentito di poter confermare, anche alla luce delle più recenti modifiche normative, la destinazione di progetto del materiale dragato ad un riutilizzo per il ripascimento emerso e soffolto degli arenili a Nord dell'area d'intervento. Si segnala comunque che l'autorizzazione all'intervento era precedente all'entrata in vigore del D.M. 173, che è stato utilizzato solo come riferimento per l'aggiornamento della caratterizzazione.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto Definitivo	IDRAULICA MARITTIMA 1233_PD-D-006_4.docx

## 2.6 Strategia di intervento

Va innanzitutto premesso che gli interventi previsti per la mitigazione dell'opera avranno la finalità di mitigare gli effetti delle nuove opere e non di garantire la manutenzione del litorale. Se da un lato, infatti, è prevedibile che le nuove opere determinino un maggiore accumulo di sedimenti sul litorale nella zona prossima allo Scolmatore, dall'altro è evidente che la risorsa disponibile per la manutenzione del litorale sarà appunto solo quella derivante da tale equilibrio.

Gli studi su modello eseguiti nell'ambito della progettazione, i cui risultati sono riportati nell'elaborato "Relazione idraulico marittima", 1233\_PD-D-004, hanno evidenziato come l'influenza della realizzazione delle nuove opere portuali sulla dinamica del trasporto solido longitudinale del litorale pisano risulti limitata ai primi 3÷4 km di costa. Le maggiori criticità si rilevano, come era ragionevole presumere, nel tratto a Nord della foce dello Scolmatore; in questa zona, infatti, il differente andamento del trasporto solido litoraneo potrà determinare un deficit sedimentario locale variabile tra 15'000 m<sup>3</sup>/anno (se si trascurano le perdite apparenti dovute all'innalzamento del livello medio del mare) e circa 18'000 m<sup>3</sup>/anno (nel caso in cui vengano considerate anche le perdite apparenti). Sulla base dei risultati dei modelli, è possibile prevedere che l'effetto erosivo previsto nella parte più settentrionale del tratto in questione sarà accompagnato da un maggiore accumulo di sedimenti sul litorale nella zona prossima allo Scolmatore. Tale circostanza, se non adeguatamente gestita, può potenzialmente portare a un peggioramento dei fenomeni di interrimento della foce, principalmente riconducibile al progressivo avanzamento della linea di riva atteso a Nord della foce armata e al conseguente aggiramento della testata dell'armatura di foce da parte dei sedimenti litoranei.

A tal proposito, è stato elaborato un PMA che prevede il monitoraggio della linea di riva, al fine di verificarne l'avanzamento in corrispondenza dell'armatura di foce e quindi di provvedere per tempo alla rimozione dei sedimenti prima che gli stessi possano interrare la foce. Saranno inoltre monitorati i fondali prossimi e antistanti la foce dello scolmatore, al fine di valutare i trend deposizionali legati ai sedimenti provenienti dal litorale. Il monitoraggio prevede di replicare con cadenza annuale il rilievo di progetto, raffittendo i profili nella zona potenzialmente più impattata dalla realizzazione dell'opera (si rimanda all'elaborato 1233\_PD-C-002: Piano di monitoraggio ambientale), al fine di valutare i trend erosivi e le zone caratterizzate da maggior erosione, nonché di individuare tempestivamente eventuali trend sedimentari non previsti.

La strategia di intervento, che dovrà essere messa in atto da AdSP, prevede la movimentazione dei sedimenti dalla zona di accumulo (litorale adiacente a foce armata Nord e fondali antistanti la foce dello Scolmatore), attraverso l'impiego del sabbiodotto, verso le zone caratterizzate da maggior trend erosivo nel tratto compreso entro i 4 km a nord della foce.

La manutenzione sarà inizialmente basata su cadenza annuale, e potrà eventualmente essere rimodulata in funzione degli esiti del monitoraggio. Nel caso in cui il trend deposizionale a Nord dello scolmatore risultasse moderato, si potrà rimodulare la manutenzione su una cadenza pluriennale. Si tratta del resto di una strategia di manutenzione già in essere, che potrà essere gestita sinergicamente con i periodici interventi finalizzati a garantire l'ufficiosità della foce dello scolmatore e del Canale dei Navicelli.

<b>Progetto:</b> Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	<b>Livello progettazione:</b> Progetto Definitivo	<b>Elaborato:</b> IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
---	--	--

Gli interventi di ripascimento attraverso il sabbiodotto saranno preceduti da idonee campagne di caratterizzazione e da specifica progettazione, e saranno oggetto di richiesta di autorizzazione ai sensi del D.M. 15/07/2016 n. 173, della Legge regionale 28 dicembre 2015, n. 80 (e s.m.i.) e delle relative Linee Guida regionali.

I dati ad oggi disponibili dalle caratterizzazioni pregresse (cfr. precedente paragrafo) attestano l'idoneità dei sedimenti presenti nell'area di foce per il ripascimento del litorale.

### 3 IMPIANTO DI POSIDONIA

#### 3.1 Generalità

La *Posidonia oceanica* (L.) Delile è una fanerogama endemica del mar Mediterraneo, in quanto si trova soltanto lungo le coste di questo bacino.

Gli ecosistemi a *Posidonia oceanica* svolgono inoltre un **ruolo fondamentale in processi ecologici e sedimentologici**, dunque la protezione e la gestione delle praterie sono considerate di primaria importanza. Infatti, la *P. oceanica* rappresenta la specie chiave dell'intero ecosistema costiero mediterraneo per la sua ampia distribuzione lungo le coste, per l'importanza della sua produzione primaria, per la ricchezza della flora e fauna associata, nonché per il ruolo che ha nel determinare l'equilibrio geomorfologico del litorale.

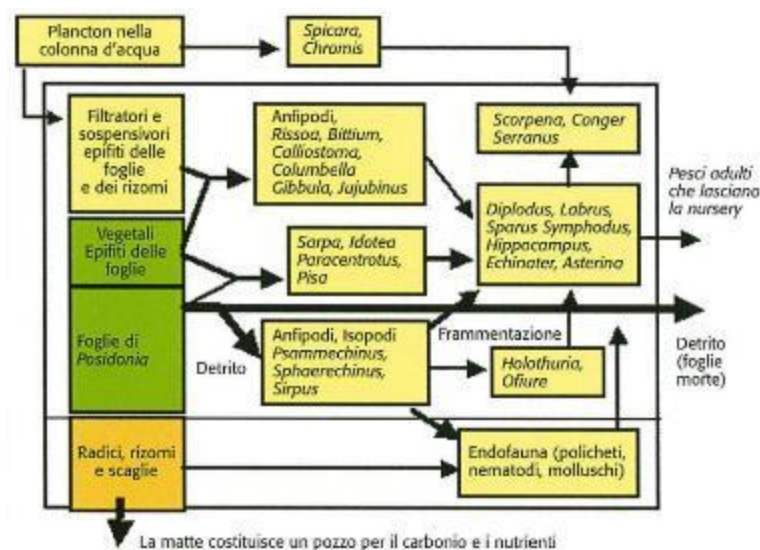


Figura 3.1 - Relazioni trofiche e livelli funzionali nell'ecosistema di *Posidonia oceanica*. Da Boudouresque et al. (1994 b), modificato.

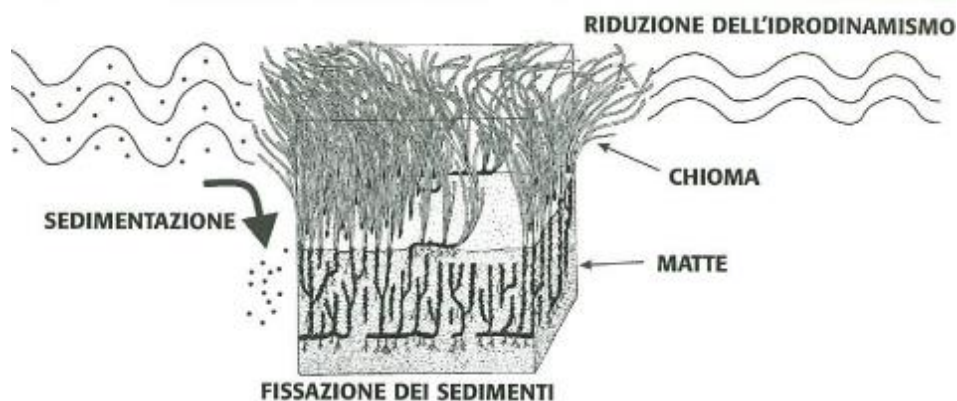


Figura 3.2 - Intrappolamento del sedimento e riduzione dell'idrodinamismo in una prateria di *Posidonia Oceanica*. Da Boudouresque et al.

Essa rappresenta infatti uno degli ecosistemi marini più produttivi del Mediterraneo in quanto riesce a immagazzinare grande quantità di energia che viene trasferita nei vari livelli della catena trofica. La prateria produce anche grande quantità di ossigeno e di materia organica mediante la fotosintesi, offrendo riparo e nutrimento a molte specie marine.

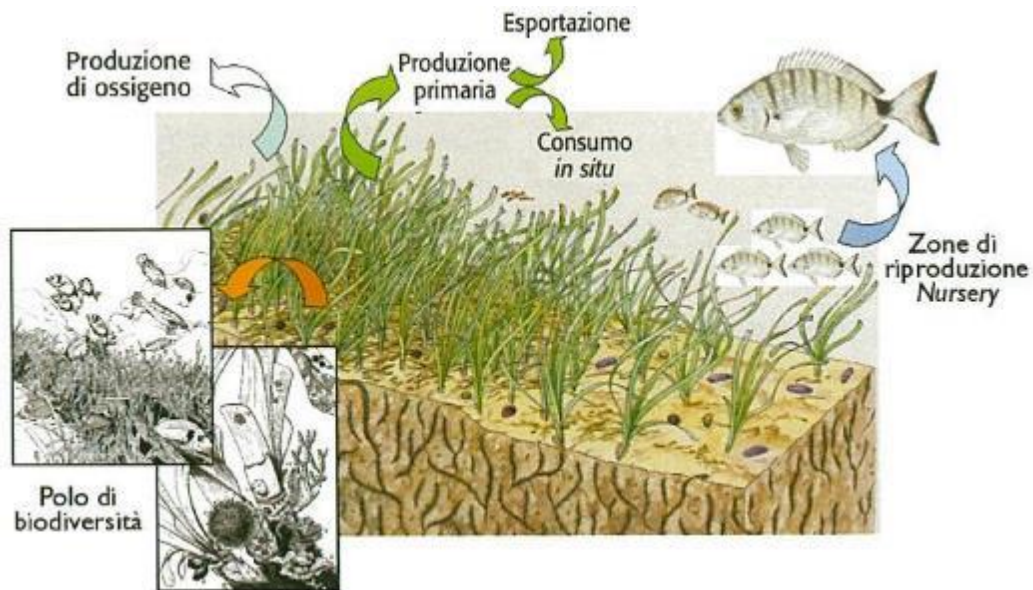


Figura 3.3 - Ruolo ecologico della prateria di *Posidonia Oceanica*. Da Harmelin (1993) e M.A. Mateo (inedito)

I trapianti di fanerogame marine hanno trovato oramai ampie applicazioni in molti interventi di naturalizzazione o di recupero ambientale. Le fanerogame infatti svolgono un'importante funzione nel consolidamento e nella stabilizzazione del fondale, nell'innesco dei processi di arricchimento organico nella matrice sedimentaria e nell'incremento della biodiversità grazie al ruolo di nutrimento e protezione che offrono con le loro radici, rizomi e foglie.

Le metodiche applicate in questi trapianti sono consistite nell'innesto nei substrati recettori di zolle composte di ciuffi e sedimento originario oppure di gruppi di rizomi con i relativi ciuffi. Solo recentemente sono stati sperimentati, sempre su quote batimetriche limitate, metodi meccanizzati allo scopo di ridurre i costi del personale, velocizzare i reimpianti e quindi ampliare le aree di intervento (Palling et al., 2001a,b; Fishman et al., 2004).

Da lungo tempo esiste già, a livello mondiale, una certa esperienza di trapianto di fanerogame marine, operazione intesa ad ottenere:

- la riforestazione di spazi subacquei, a fini genericamente ecologici e di mera copertura vegetale dei piani sedimentari;
- l'arricchimento della fauna bentonica stanziale o vagile, favorita o legata alla presenza e al ruolo delle praterie sommerse;
- la stabilizzazione fisica dei piani sedimentari soggetti ad erosione e/o a sollevamento di depositi fini.

Per quanto riguarda le tecniche di trapianti di fanerogame marine, le esperienze condotte da varie equipe di ricercatori si sono fondamentalmente concentrate su due tipologie, quelle *manuali* e quelle *meccanizzate* che possono essere portate a termine utilizzando zolle o singoli ciuffi. Per le metodiche manuali esiste oramai una ampia bibliografia e, a seconda della specie che si intende adottare, si può ottenere un maggiore o minore successo. Per le limitate dimensioni della zolla e l'impiego di operatori in immersione le metodiche manuali permettono però interventi di ripristino di limitate estensioni (alcuni ettari) mentre appaiono più indicate in aree critiche per l'impiego di metodiche meccanizzate.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx



Figura 3.4 - Fase di prelievo di zolla con tecnica manuale

Solo nell'ultimo decennio, sono stati predisposti appositi sistemi meccanizzati di vario tipo che permettono di eseguire trapianti di zolle di significative dimensioni (0,25-1 mq e 0,3-0,5 m in spessore). Se da un lato queste metodiche permettono interventi di ripristino su superfici ampie e un minore disturbo per le zolle, dall'altro però richiedono una accurata messa a punto di mezzi servoassistiti e imbarcazioni e un significativo sforzo economico (Paling et al. 2001a, 2001b; Fishman et al. 2004).

La scelta della metodica più opportuna è strettamente connessa alla tipologia delle rizofite che si devono trapiantare e alle caratteristiche del sito (mare, laguna, profondità, tipologia dei sedimenti, correnti, ecc.).

Le tecniche utilizzate per gli interventi di forestazione consistono nell'inserimento di zolle vegetate, da prelevarsi da un sito "donatore" o il reimpianto a talee, grazie al prelievo delle stesse sempre a partire da un sito donatore e al loro successivo impianto. Nel complesso, la tecnica più efficiente di trapianto è risultata quella delle **zolle vegetate**, che consente di inserire nel sito ospite del materiale con la propria rizosfera intatta e un nucleo di sedimento autoctono che riduce i fenomeni di stress post-trapianto.

La necessità di protezione delle zolle iniziali di nuovo impianto, che può risultare indispensabile soprattutto in siti critici (per idrodinamismo, traffico, ecc.) viene assicurata mediante l'utilizzo di sacchi in iuta o altro materiale degradabile o reti protettive da stendere al di sopra del piano sedimentario, a trapianto concluso.

Le operazioni di trapianto prevedono una fase di preparazione delle parcelle riceventi e di inserimento delle zolle vegetate. Le operazioni vengono effettuate manualmente, con una tecnica di limitato impatto nei confronti del fondale. Questa tecnica consente di operare limitando sempre l'esposizione delle zolle all'aria a pochissimo tempo (poche ore). I quantitativi previsti si riferiscono al totale delle zolle che vengono generalmente reimpiantate, solitamente in numero di alcune decine per ogni parcella, alla distanza di circa 1 metro tra zolla e zolla.

La realizzazione di parcelle a grandi zolle (di circa 1 m<sup>2</sup>) è realizzabile mediante l'applicazione della metodica di prelievo e di reimpianto mediante utilizzo di pala meccanica da pontone attrezzato, in grado di movimentare nell'unità di tempo notevoli superfici vegetate.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

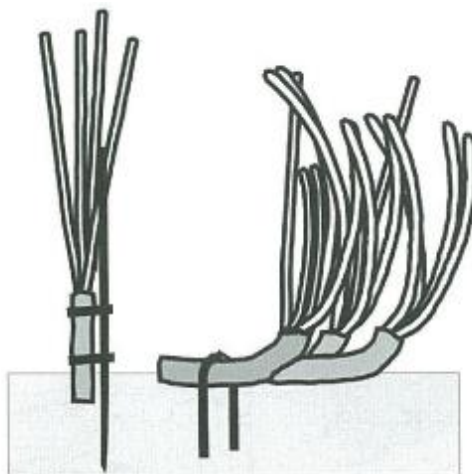


Figura 3.5 - Talea ortotropa (a sx, fissata a un tutore) e plagiotropa (a dx, tre fasci di foglie fissati da un chiodo a U) di *Posidonia Oceanica*. Tecnica dell'Università di Nizza- Sophia Antipolis®. Da Boudouresque (2001)

La stagione migliore per il trapianto della *Posidonia Oceanica*, per garantire la sopravvivenza e la crescita delle talee, è la primavera per le talee plagiotrope (rizomi orizzontali), con un tasso medio di sopravvivenza del 92% (dopo 3 anni), e l'autunno per le talee inizialmente ortotrope (rizomi verticali), il cui tasso è del 45%. Le talee plagiotrope danno risultati migliori (74-76% di sopravvivenza in media) rispetto alle ortotrope e la loro crescita è più rapida. Per le talee ortotrope la lunghezza ottimale del rizoma è di 10-15 cm. Le talee prelevate in profondità danno risultati migliori rispetto a quelle provenienti da praterie superficiali.



Figura 3.6 - Fase di prelievo di grandi zolle mediante mezzi meccanici, con benna tradizionale (a sinistra) e con una specifica benna idraulica (a destra) recentemente messa a punto, che permette di realizzare lo scavo per l'alloggiamento delle zolle contestualmente alla posa.

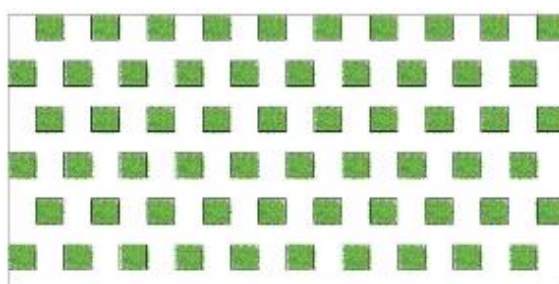


Figura 3.7 - Schema di disposizione a scacchiera delle zolle nella parcella di trapianto

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto Definitivo

Elaborato:

IDRAULICA MARITTIMA

1233\_PD-D-006\_4.docx

Esperienze analoghe hanno previsto il trapianto di 1000 zolle di circa 1.6 m<sup>2</sup> mediante impiego di appositi mezzi idraulici, successivamente disposte a scacchiera realizzando una parcella riforestata della superficie di circa quattro volte rispetto a quella netta di espianto.

Dalle esperienze condotte è emerso che tale disposizione permette di ottenere una superficie finale di reimpianto con un grado di copertura di circa il 40% nell'arco di una stagione estiva; questa stessa superficie, attraverso la crescita dei rizomi negli spazi interzolla privi di fanerogame, potrà raggiungere un grado di copertura del 70-80% nel secondo anno.

Il prelievo ed il reimpianto potranno essere condotti da un pontone, caratterizzato da movimentazione autonoma e munito di braccio idraulico con all'estremità un'apposita benna in grado di prelevare zolle di circa 1,6 m<sup>2</sup>. La benna sarà dotata di un sistema che permette di scaricare l'acqua nella fase di prelievo evitando un eccesso di ristagno che danneggia le zolle e di una lama nella parte inferiore che permette di scavare un alloggiamento nel fondale di circa 50 cm necessario per la posa delle zolle con una corretta livellazione rispetto al piano sedimentario circostante.



Figura 3.8 - Benna idraulica appositamente realizzata per il prelievo di grandi zolle



Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto Definitivo	Elaborato: IDRAULICA MARITTIMA  1233_PD-D-006_4.docx
--	---	---

### 3.2 Studio pilota

Nell'ambito del progetto definitivo della 1° fase di attuazione del PRP del Porto di Livorno è stato redatto uno **studio pilota** per le opere di impianto Posidonia.

Le indagini di approfondimento condotte tra il 2022 e il 2023 hanno evidenziato che lo stato ecologico derivante dall'elaborazione dell'indice PREI risulta essere uniformemente BUONO, indipendentemente dalla localizzazione delle stazioni di campionamento. All'interno dei diversi settori di prateria di Posidonia oceanica individuati nell'area di interesse, si deve comunque notare che i valori di EQR che determinano la classificazione dello stato ecologico hanno comunque un andamento decrescente che si osserva tra la stazione più vicina alla Meloria e quella posizionata all'interno del settore di impronta dell'opera.

Il progetto prevede di trasferire porzioni di aree di prateria presenti nell'ambito di progetto in aree ritenute maggiormente idonee in prossimità del limite sud ovest della prateria o in altri siti, quali per esempio le Secche di Vada, che saranno valutati con gli Enti preposti nelle successive fasi di progettazione.

Per maggiori dettagli sulle tecnologie di impianto e sui monitoraggio / controlli da effettuare si rimanda allo studio pilota (1233\_PD-C-007).