



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					
4					
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_2.docx

Indice generale

1	PREMESSA	4
2	SABBIODOTTO DEL CALAMBRONE	5
2.1	VERIFICA STATICA DELLA TUBAZIONE	8
2.1.1	VERIFICA DI SICUREZZA STATICA – RESISTENZA ALLO SCHIACCIAMENTO	8
2.2	VERIFICA IDRAULICA DELLA TUBAZIONE	12
2.3	DATI DELLE PRECEDENTI CARATTERIZZAZIONI	15
3	IMPIANTO DI POSIDONIA	19
3.1	GENERALITÀ	19
3.2	STUDIO PILOTA	23
3.2.1	TECNICHE DI TRAPIANTO	23
3.2.2	AREE DI ESPIANTO	25
3.2.3	AREE DI IMPIANTO DELLE TALEE DI P. OCEANICA	28
3.2.4	FASI DELL'ATTIVITÀ DI TRAPIANTO	30

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_2.docx
--	---	---

Indice delle figure

Figura 2.1 - 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	5
Figura 2.2 - Sabbiodotto di Bibione in esercizio (HS marine, 2019)	6
Figura 2.3 - Sezione tipo trincea sabbiodotto	7
Figura 2.4 - Diagramma di Marston.....	10
Figura 2.5 - Abaco per il predimensionamento della linea di dragaggio (Herbich, 2000)	13
Figura 2.6 - Diagramma delle perdite di carico nella condotta di refluento	14
Figura 2.7 – Caratterizzazioni precedenti alla realizzazione dell'armatura di foce	15
Figura 2.8 – Caratterizzazioni CIBM (2011).....	16
Figura 2.9 – Caratterizzazioni eseguite nell'ambito della realizzazione dell'armatura di foce (2014)	17
Figura 3.1 - Relazioni trofiche e livelli funzionali nell'ecosistema di Posidonia oceanica. Da Boudouresque et al. (1994 b), modificato.....	19
Figura 3.2 - Intrappolamento del sedimento e riduzione dell'idrodinamismo in una prateria di Posidonia Oceanica. Da Boudouresque et al.	19
Figura 3.3 - Ruolo ecologico della prateria di Posidonia Oceanica. Da Harmelin (1993) e M.A. Mateo (inedito).....	20
Figura 3.4 - Fase di prelievo di zolla con tecnica manuale	21
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).....	22
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.	22
Figura 3.7 - Schema di disposizione a scacchiera delle zolle nella parcella di trapianto	22
Figura 3.8 - Benna idraulica appositamente realizzata per il prelievo di grandi zolle	23
Figura 9: trapianto con geogriglia - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 41)	24
Figura 10: trapianto con geostuoia (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 52)	24
Figura 11: trapianto con materassi rivegetati - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pagg. 67-68)	25
Figura 12 Aree di potenziale espianto e impianto individuate in fase di progettazione preliminare.....	26
Figura 13 Localizzazione del limite ipotizzato della P. oceanica presso la batimetrica dei 10 m del transetto 10 Porto	28
Figura 14 Aree di impianto potenziali	29

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_2.docx
---	--	--

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - Carichi stradali secondo la normativa UNI 11149	9
Tabella 2.2 – Parametri di dimensionamento e funzionamento della tubazione.....	12
Tabella 2.3 - Parametri di calcolo per la determinazione delle perdite di carico	13
Tabella 4 Risultati del calcolo dell'indice PREI per le stazioni dell'area 2.....	27
Tabella 5 Coordinate geografiche WGS84 dei centroidi delle aree di impianto potenziale	29

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_2.docx

1 PREMESSA

La presente relazione riporta la descrizione delle misure di mitigazione e compensazione 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 di mitigazione, 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.

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_2.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.

Il sabbiodotto prevede la realizzazione di una tubazione interrata che collega l'armatura di foce dello Scolmatore al limite meridionale dell'abitato di Tirrenia, coprendo una distanza di circa 2.5 km (Figura 2.1). Si tratta di una installazione in parte fissa ed in parte mobile (per distribuire il versamento), che, 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 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 della barra di foce esterna. Al termine della tubazione fissa potrà essere collegata una tubazione mobile ed una eventuale stazione di rilancio (booster) per distribuire il versamento anche a distanze superiori.

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.

La tubazione del sabbiodotto avrà indicativamente un diametro interno di 350 mm e sarà realizzata in HDPE (PE100 PN10). Tale materiale assicura il migliore compromesso in termini di perdite di carico, resistenza all'usura, facilità di lavorazione, flessibilità, resistenza alla corrosione e costo. Installazioni simili sono già state realizzate, anche su progettazione degli scriventi (Figura 2.2), e permettono di accelerare la realizzazione degli interventi e minimizzare l'impatto dei lavori sulle spiagge interessate dal passaggio della tubazione. 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.



Figura 2.1 - 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_2.docx



Figura 2.2 - Sabbiodotto di Bibione in esercizio (HS marine, 2019)

La condotta sarà dotata di un punto di allacciamento alla tubazione di mandata collegata alla draga; vi saranno poi uno o due punti di scarico della miscela, ubicati lungo il tracciato del sabbiodotto per poter refluire nelle aree che dimostreranno le maggiori criticità. La tubazione verrà interrata in modo da garantire che la generatrice superiore si trovi a profondità di 1.5 m rispetto al piano campagna; il

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_2.docx

tracciato si collocherà tra la linea di riva e le prime infrastrutture fisse, in modo da evitare interferenze con queste ultime e minimizzare il rischio di scalzamento del tubo stesso.

La tubazione 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 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; lo spezzone iniziale di tubazione (di lunghezza pari a 12 m) e quello finale saranno flessibili e rivolto verso la superficie, in modo da poter essere più facilmente allacciati alle tubazioni di mandata e scarico.

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.

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.

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.

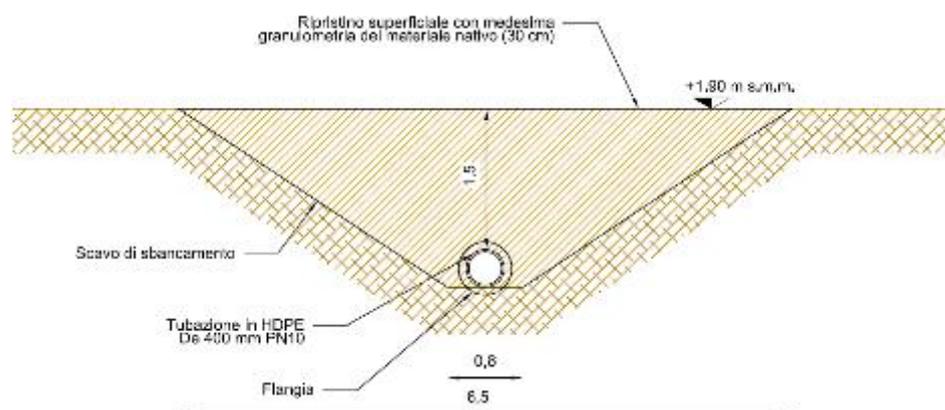


Figura 2.3 - Sezione tipo trincea sabbiodotto

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_2.docx
--	---	---

2.1 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.

2.1.1 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_2.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: $H = 150 \text{ cm}$
- Larghezza media dello scavo sulla generatrice superiore del tubo: $B = 200 \text{ cm}$
- Peso di volume del materiale di ricopertura: $\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$
- 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:

$$q_g = C_g \gamma BD$$

dove γ , B, D sono i parametri già definiti nel precedente paragrafo e C_g rappresenta il coefficiente di

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_2.docx

carico, espresso tramite la seguente equazione:

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

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 ϕ 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 0.75, si ottiene un valore di C_g di circa 0.6, da cui si ricava un valore del carico del terreno pari a:

$$q_g = C_g \gamma B D = 9.5 \text{ kN/m}$$

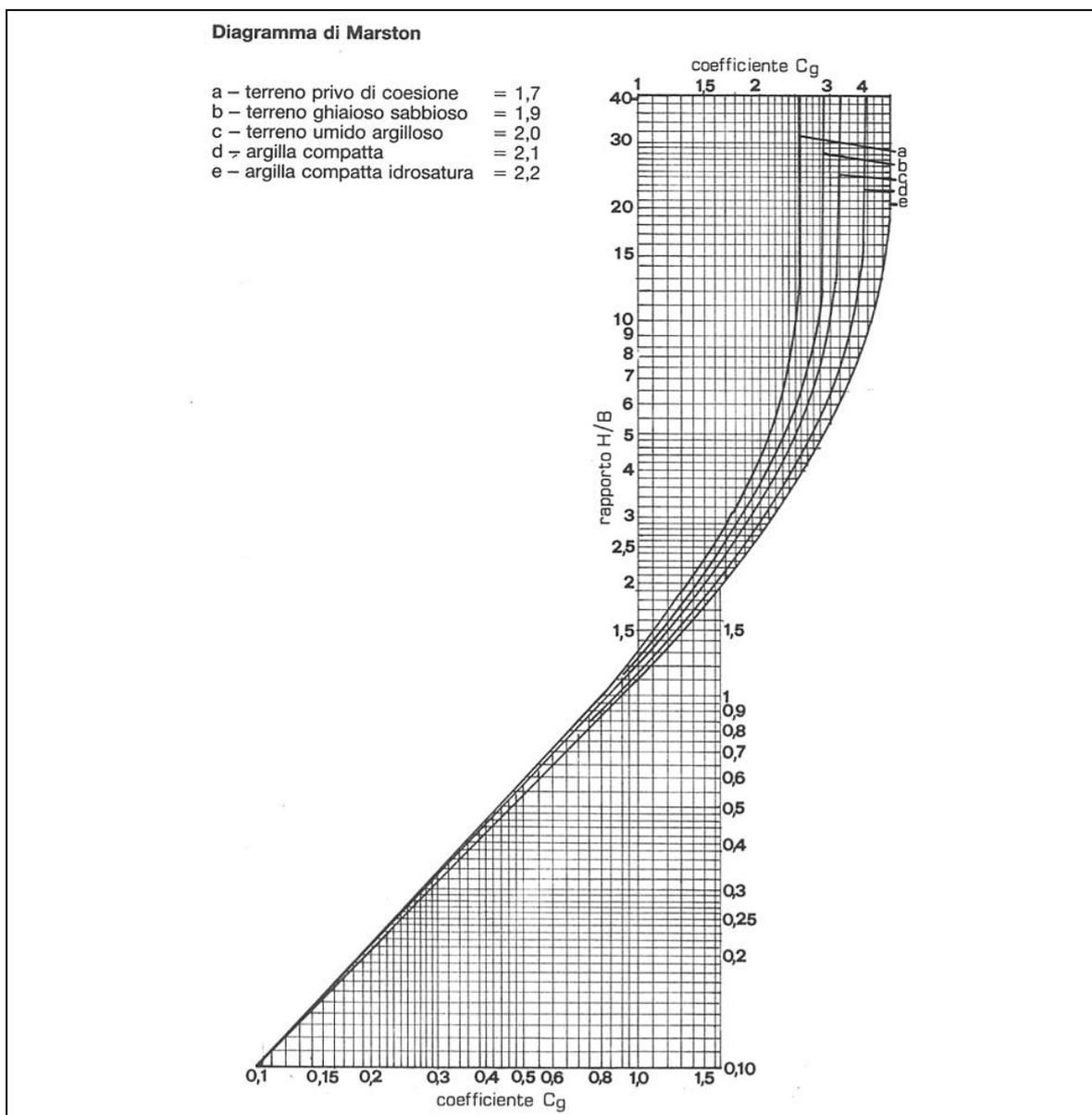


Figura 2.4 - Diagramma di Marston

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_2.docx
--	---	---

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:

$$f = 1 + \frac{60}{H} = 1.40 \quad \text{coefficiente correttivo per l'effetto dinamico dei carichi;}$$

$$P = \frac{nT}{2\pi H^2} = 42.5 \text{ kPa} \quad \text{carico per unità di superficie.}$$

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 1.4 e un valore di P di 42.5 kPa, si ottiene un valore del carico del terreno pari a:

$$q_r = f P B = 118.9 \text{ kPa.}$$

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):

$$q_c = q_v + q_r = 128.4 \text{ kPa.}$$

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.

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

$$\delta_{eff} = 0.0025 \frac{q_c}{E} \left(\frac{D}{s} \right)^3 = 0.44 \text{ cm.}$$

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.

La copertura minima della condotta che consente di non superare la massima deformazione ammissibile è di circa 80 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_2.docx
--	---	---

2.2 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 _i =	0.350 m	
diametro mediano sabbia	d ₅₀ =	0.150 mm	
frazione di solido nella miscela	f _p =	0.200	frazione in volume
peso specifico solidi	G _s =	26.0 kN/m ³	
peso specifico acqua marina	γ _a =	10.1 kN/m ³	
porosità sabbia	n =	0.30	
peso volume secco sabbia	γ _d =	18.2 kN/m ³	
peso volume saturo sabbia	γ _{sat} =	21.2 kN/m ³	
peso volume miscela	γ _{sl} =	12.3 kN/m ³	
portata nominale pompa dragante	Q _a =	0.326 m ³ /s	
riduzione efficienza pompa	η _m =	0.82	
portata miscela pompa dragante	Q _{sl} =	962 m ³ /ora	
	Q _{sl} =	0.267 m ³ /s	
portata solida pompa dragante	Q _s =	0.972 kN/s	portata in peso del solido
	Q _s =	192 m ³ /ora	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_2.docx

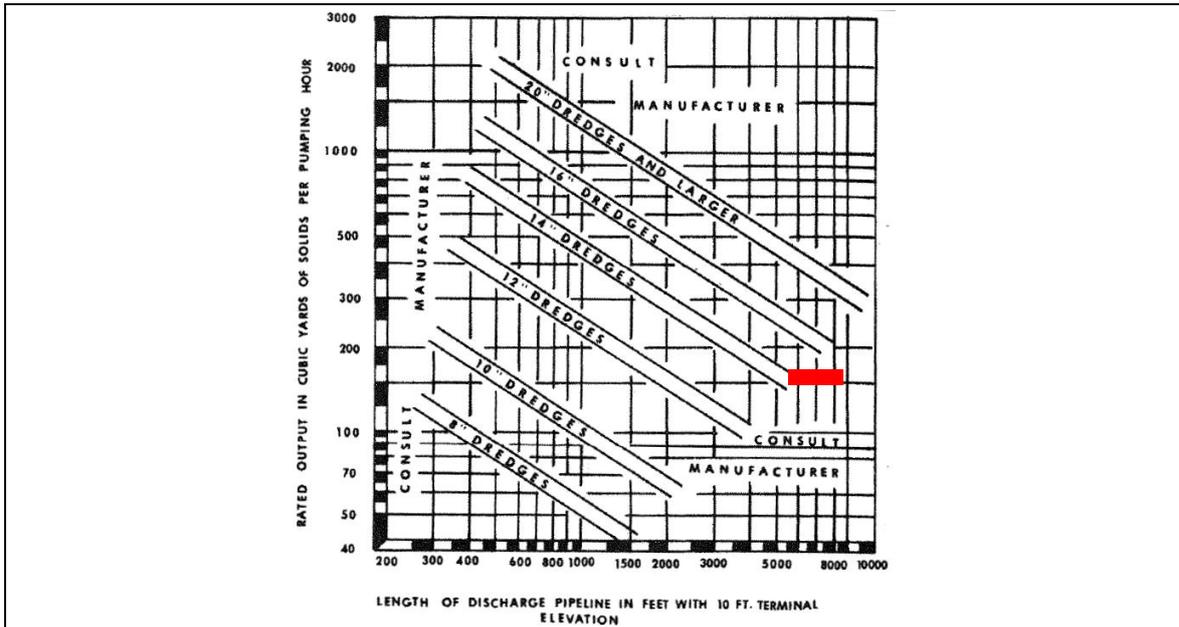


Figura 2.5 - Abaco per il predimensionamento della linea di dragaggio (Herbich, 2000)

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/m³. 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 ^{1/3} s ⁻¹
coeff. Gauckler Stricler PEAD (tubazione galleggiante)	$K_{S,fl} =$	70 m ^{1/3} s ⁻¹
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_2.docx

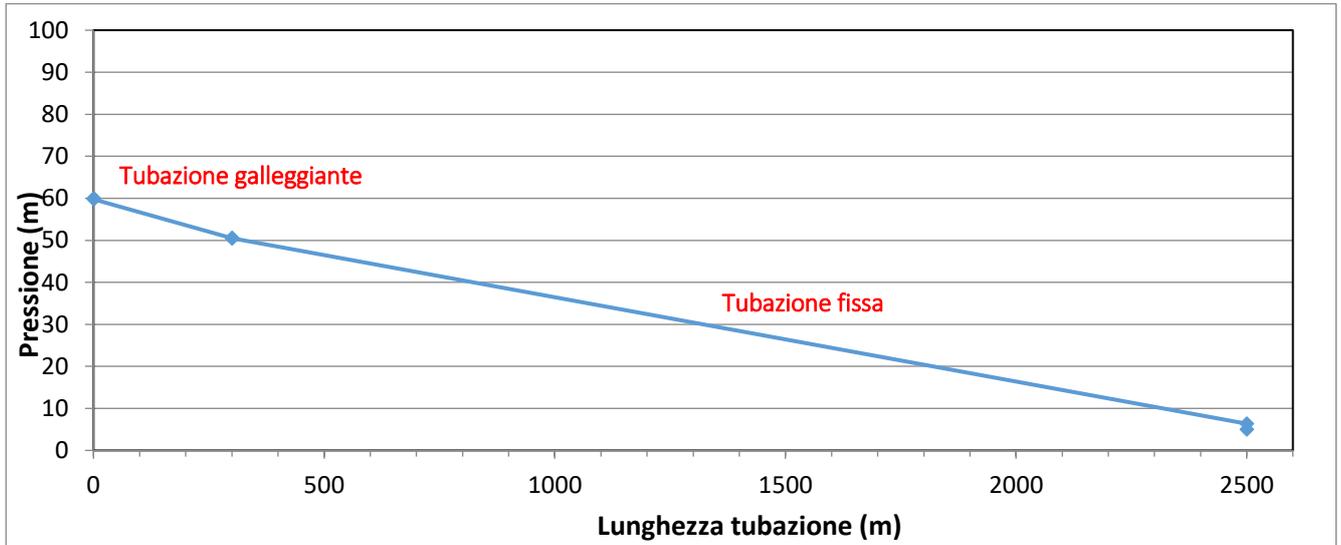


Figura 2.6 - Diagramma delle perdite di carico nella condotta di refluento

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_2.docx

2.3 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 2.7, 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 2.7 – 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_2.docx



Figura 2.8 – 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 2.8 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_2.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

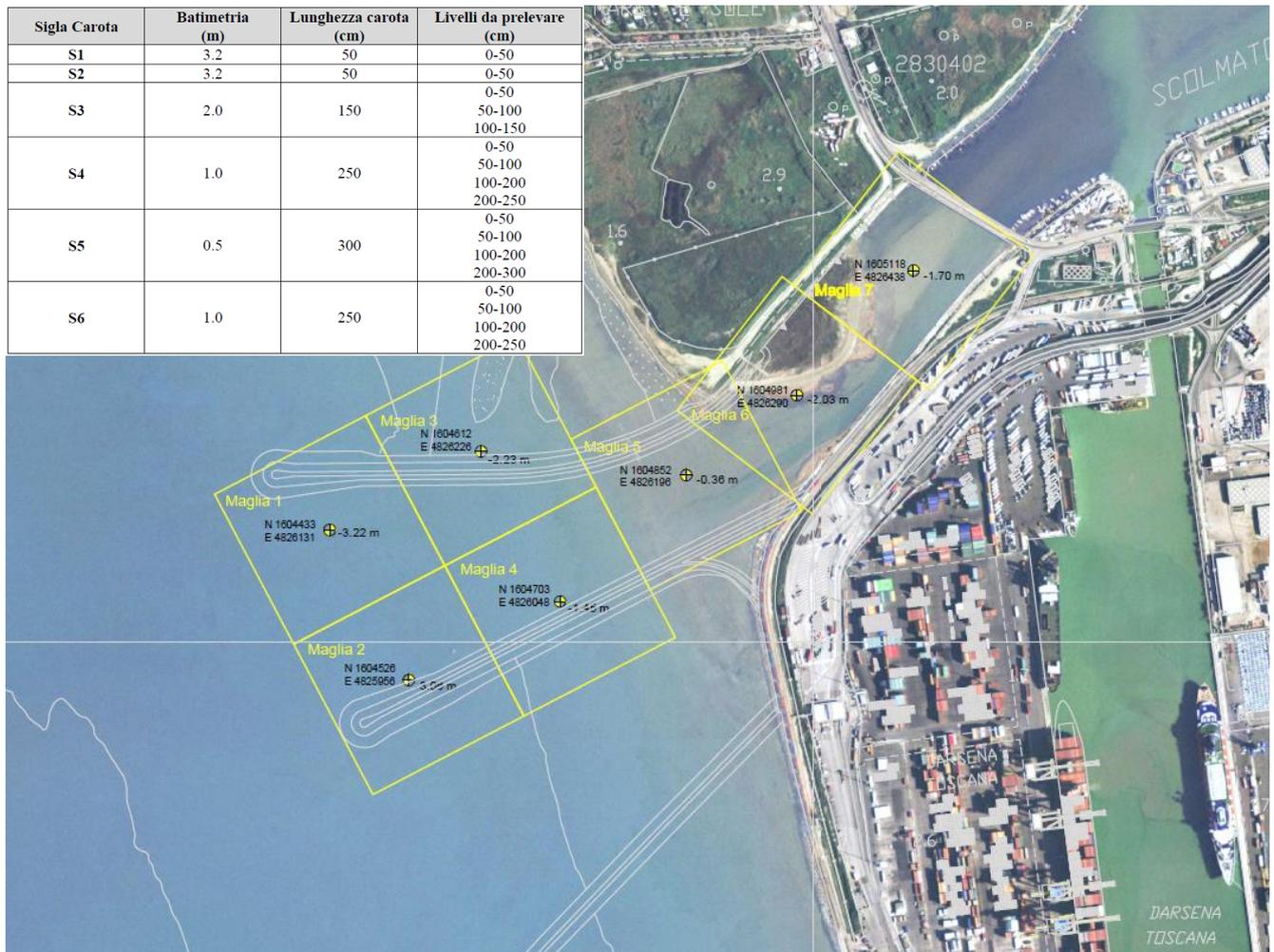


Figura 2.9 – Caratterizzazioni eseguite nell’ambito della realizzazione dell’armatura di foce (2014)

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 2.9.

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_2.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 BioChemieLab) 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.

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.

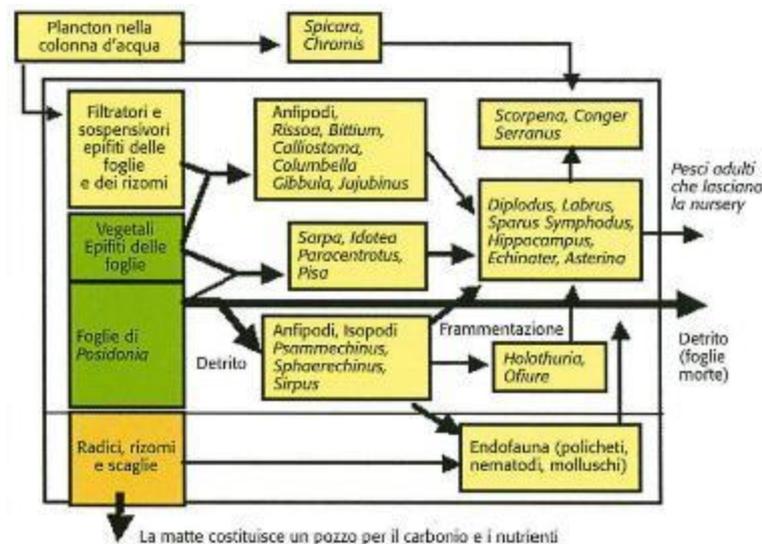


Figura 3.1 - Relazioni trofiche e livelli funzionali nell'ecosistema di *Posidonia oceanica*. Da Boudouresque et al. (1994 b), modificato.

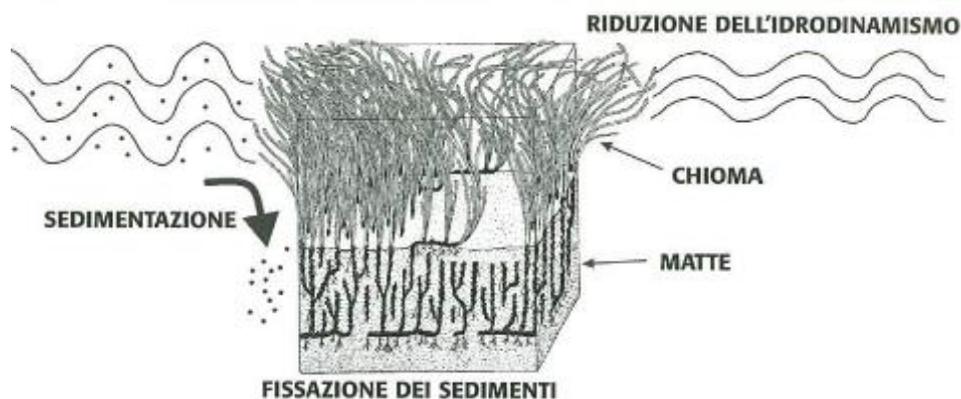


Figura 3.2 - Intrappolamento del sedimento e riduzione dell'idrodinamismo in una prateria di *Posidonia Oceanica*. Da Boudouresque et al.

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.

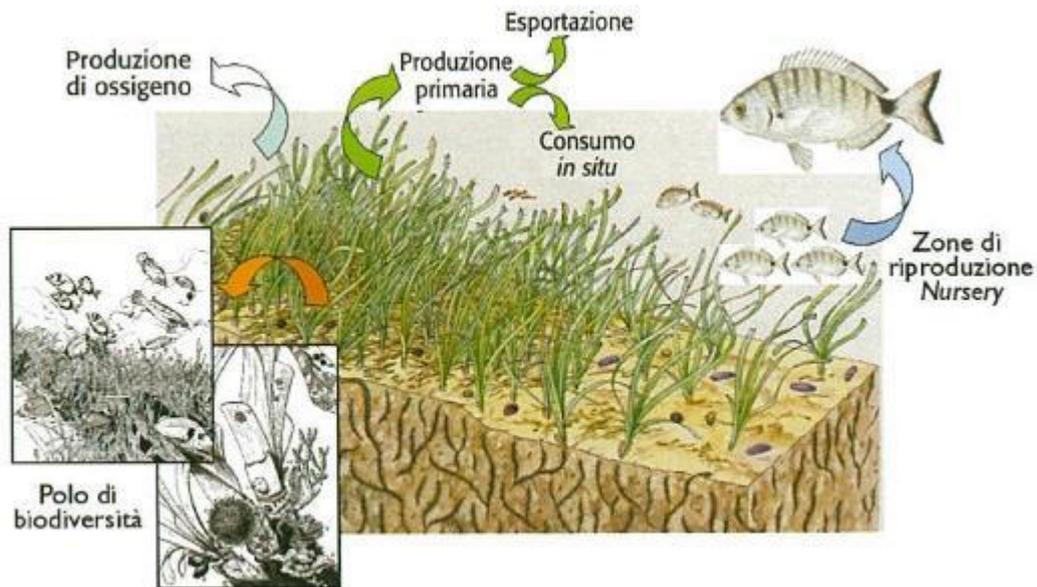


Figura 3.3 - Ruolo ecologico della prateria di *Posidonia Oceanica*. Da Harmelin (1993) e M.A. Mateo (inedito)

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_2.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 m²) 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_2.docx

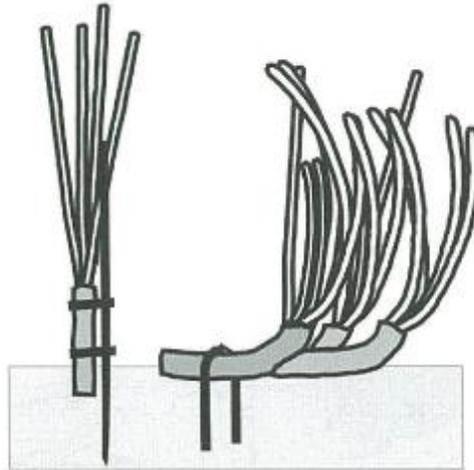


Figura 3.5 - Talea ortotropa (a sx, fissata a un tutore) e plagiotropa (a dx, tre fasci di foglie fissati da un chiodo a U) di Posidonia Oceanica. Tecnica dell'Università di Nizza- Sophia Antipolis®. Da Boudouresque (2001)

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.

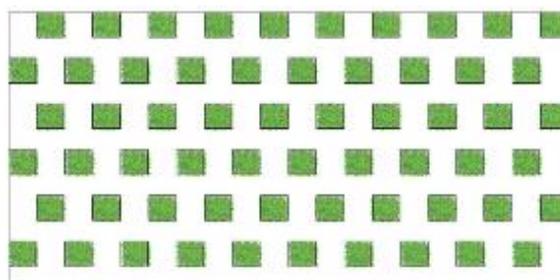


Figura 3.7 - Schema di disposizione a scacchiera delle zolle nella parcella di trapianto

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_2.docx
--	---	---

Esperienze analoghe hanno previsto il trapianto di 1000 zolle di circa 1.6 m² mediante impiego di appositi mezzi idraulici, successivamente disposte a scacchiera realizzando una parcella rifeorestata 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 m². 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

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 trapianto di prateria di Posidonia oceanica.

Per dettagli si rimanda all'appendice.

3.2.1 Tecniche di trapianto

In relazione alle Linee Guida ISPRA 106/2014 sono state individuate tre tecniche per il trapianto, eventualmente alternative tra loro, che potranno essere scelte per il progetto in esame:

1. Trapianto con geogriglia
2. Trapianto con geostuoie
3. Trapianto con materassi rivegetati.

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_2.docx

In relazione alla modalità di trapianto che si opererà si evidenzia che, secondo la disposizione a scacchiera, la superficie di riforestazione sarà 4 volte la superficie di espianto.



Figura 1 Prateria donatrice.



Figura 2 Fissaggio delle talee alla griglia.

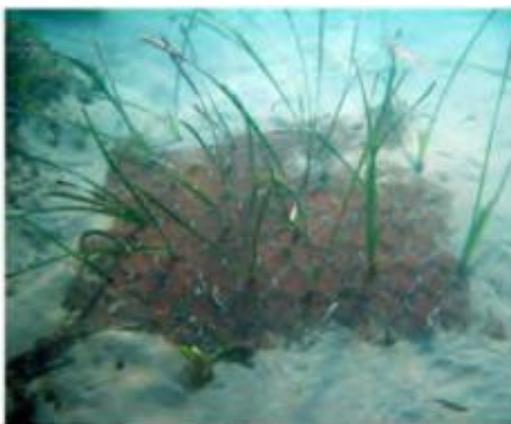


Figura 3 Posizionamento delle griglie.

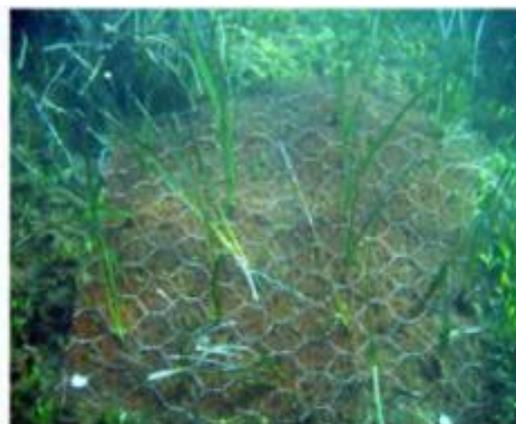


Figura 4 Particolare delle griglie.

Figura 9: trapianto con geogriglia - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 41)



IMPIEGO SU SABBIA



IMPIEGO SU MATTE

Figura 10: trapianto con geostuoia (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pag. 52)

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_2.docx



Figura 11: trapianto con materassi rivegetati - sequenza di fasi operativi (estratto da Linee Guida 106/2014 ISPRA – pagg. 67-68)

3.2.2 Aree di espianto

Si è proceduto a identificare alcune aree potenziali di espianto e reimpianto di talee di *Posidonia oceanica* in fondali con battente compreso tra i 10 m e i 15 m di profondità, scelte sulla base di precedenti indagini e mappature dei fondali condotte da CIBM nel 2017.

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_2.docx

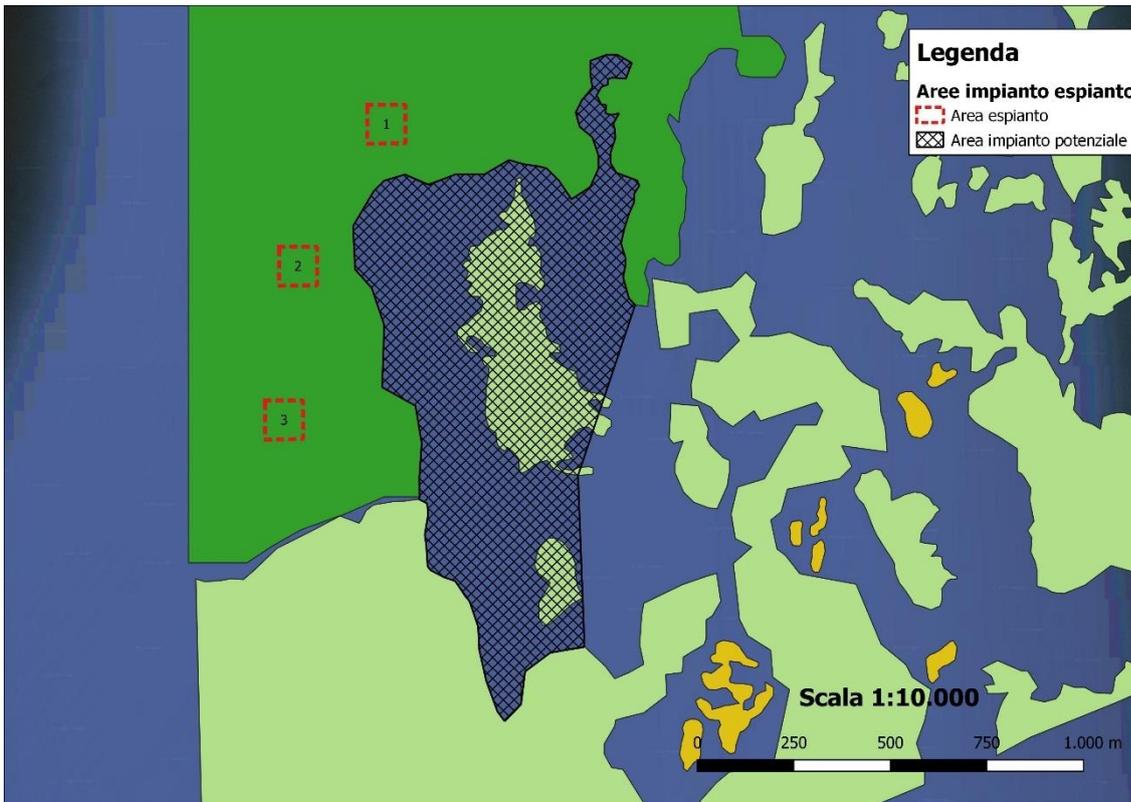


Figura 12 Aree di potenziale espianto e impianto individuate in fase di progettazione preliminare

In conformità a quanto indicato dalla normativa e sulla base della variabilità stagionale della specie si è ritenuto tuttavia necessario eseguire una preliminare verifica del fondale per poter opzionare le aree idonee all'espianto/impianto anche tenendo conto dei modelli multicriterio indicati in ISPRA (2014) e, successivamente, nelle recenti linee guida sviluppate nell'ambito del LIFE-SEPOSSO.

Il monitoraggio della prateria è stato condotto sulla base di quanto riportato nel protocollo di indagine previsto da ISPRA per le praterie di *P. oceanica*.

Nelle aree ipotizzate è stato quindi necessario acquisire lungo transetti prestabiliti nuovi dati acustici sulla morfologia del substrato e sulla facies a *Posidonia oceanica*, identificare la tipologia dei limiti della prateria e la loro estensione, raccogliere la documentazione videofotografica a supporto ad alta definizione e georeferenziata.

Oltre alle indagini strumentali, per verificare lo stato ecologico dell'habitat di prateria sono state necessarie anche alcune indagini fenologiche che hanno incluso prelievi dal fondale di campioni di piante e di sedimento.

Conformemente a quanto indicato nelle attuali metodiche di campionamento dell'habitat di prateria per la definizione dello stato ecologico si è eseguito un monitoraggio di tipo gerarchico presso l'area di espianto n. 2, individuata sulla base dei rilievi precedenti, e un campionamento su transetto orizzontale lungo il margine della prateria in corrispondenza di quest'area.

Nelle altre due stazioni (Aree 1 e 3) sono state eseguite, oltre a riprese videofotografiche del fondale, prelievi di materiale dal fondo per l'esecuzione delle principali misure biometriche sulle componenti ipogee ed epigee ed è stata rilevata la densità.

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_2.docx
--	---	---

Le attività di indagine sono state condotte a maggio del 2022, di seguito si riportano i principali risultati ottenuti dalle indagini svolte.

Al fine di poter valutare lo stato ecologico della prateria presente al largo della costa livornese che sarà oggetto delle attività di trapianto previste è stato calcolato l'indice PREI (Posidonia Rapid Easy Index, Gobert et al., 2009) che rappresenta l'indice nazionale di classificazione dell'EQB Angiosperme secondo il DM 260/10.

I risultati del calcolo dell'indice PREI per le tre stazioni campionate all'interno dell'area 2 mostra uno **stato di qualità buono** come è possibile osservare nella tabella che segue.

Tabella 4 Risultati del calcolo dell'indice PREI per le stazioni dell'area 2

Località	STAZ	Descrittori	valori	PREI			
				N	EQR'	EQR	class EQR
Livorno	AREA 2(1)	Densità (fascio/m2)	422,92	0,71 0,542 0,592			BUONO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	190,87	0,62			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	68	0,46			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	828				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
	AREA 2(2)	Densità (fascio/m2)	416,67	0,70	0,594	0,640	BUONO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	243,12	0,78			
		Prof limite inf (m)	18 29	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)		0,48			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	895				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
	AREA 2(3)	Densità (fascio/m2)	445,83	0,74	0,631	0,674	BUONO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	271,62	0,88			
		Prof limite inf (m)	18 53	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)		0,47			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	1030				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				

Alle tre aree di possibile espianato è stata inoltre individuata un'altra area (Figura 13) localizzata di fronte allo scalmatore, interessata dalla sua plume e da valori di torbidità più elevati rispetto alla zona posta più sud. In tale area è caratterizzata per la presenza di P oceanica con un limite di profondità apparentemente inferiore a quello rilevato nelle altre aree di espianato. Il limite inferiore individuato tramite ROV è stato identificato approssimativamente sui 10 m di profondità con presenza nei tratti a profondità maggiore di Cymodocea nodosa. La copertura di P. oceanica è risultata comunque abbastanza omogenea.

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_2.docx

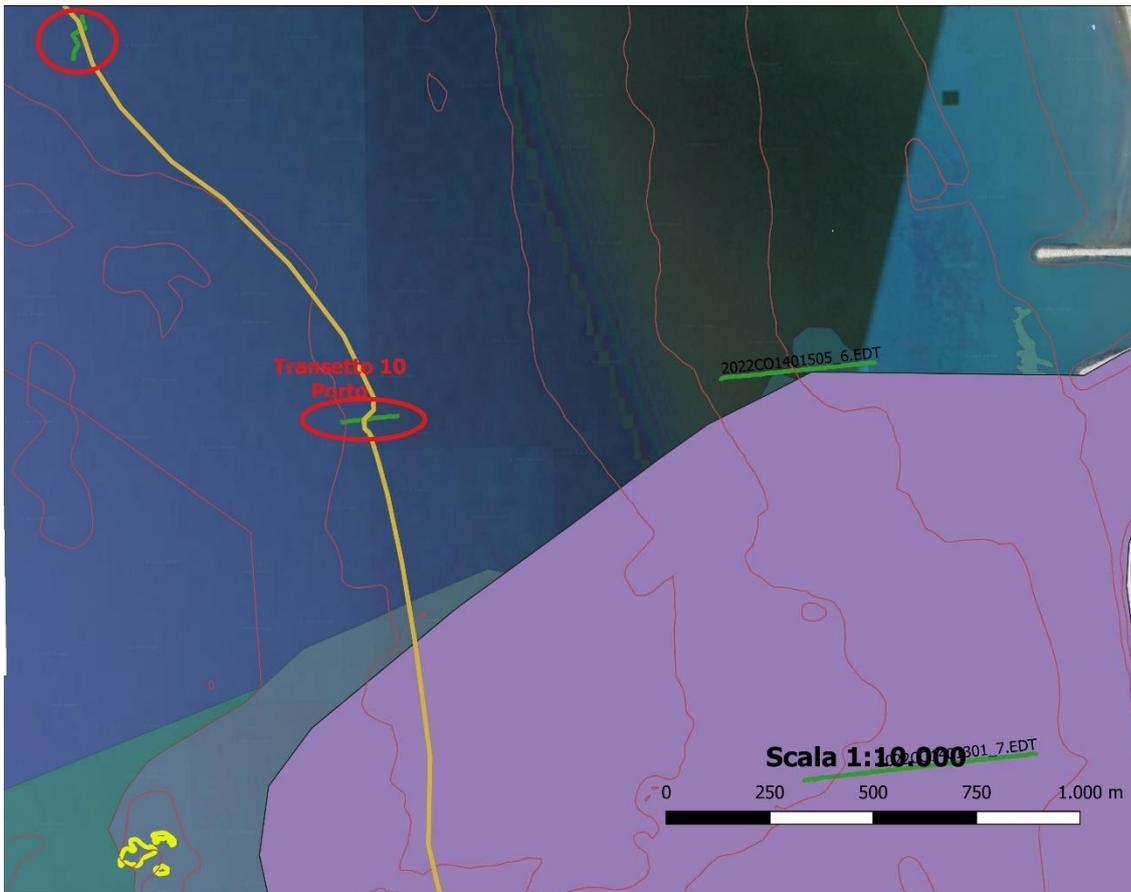


Figura 13 Localizzazione del limite ipotizzato della *P. oceanica* presso la batimetria dei 10 m del transetto 10 Porto

3.2.3 Aree di impianto delle talee di *P. oceanica*

Sono state ipotizzate come zone di impianto le 6 aree visualizzate nella figura che segue le coordinate dei centroidi delle quali sono riportate nella Tabella 5 unitamente alla profondità stimata sulla base delle batimetriche presenti.

Per la scelta delle aree di impianto si è quindi utilizzato sia le informazioni passate sia quelle ricavate dalla indagine eseguita nel 2022.

Al fine di poter coprire le aree richieste di 6000 m², si è ipotizzato di eseguire le attività di impianto in tre zone di cui due aree di ca. 2500 m² e un'area, di minori dimensioni, pari a 1000 m².

Nell'ipotesi riportata nella figura che segue sono riportati sei siti potenziali di impianto (tre di 2500 m² e tre di 1000 m²) sui quali si ritiene opportuno eseguire degli impianti pilota di piccole dimensioni e delle tre tipologie descritte in precedenza per poter guidare gli esecutori nella scelta della metodica e delle aree più opportune per l'impianto delle talee nel contesto del tratto marino interessato dagli interventi da attuarsi in una seconda fase progettuale.

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_2.docx

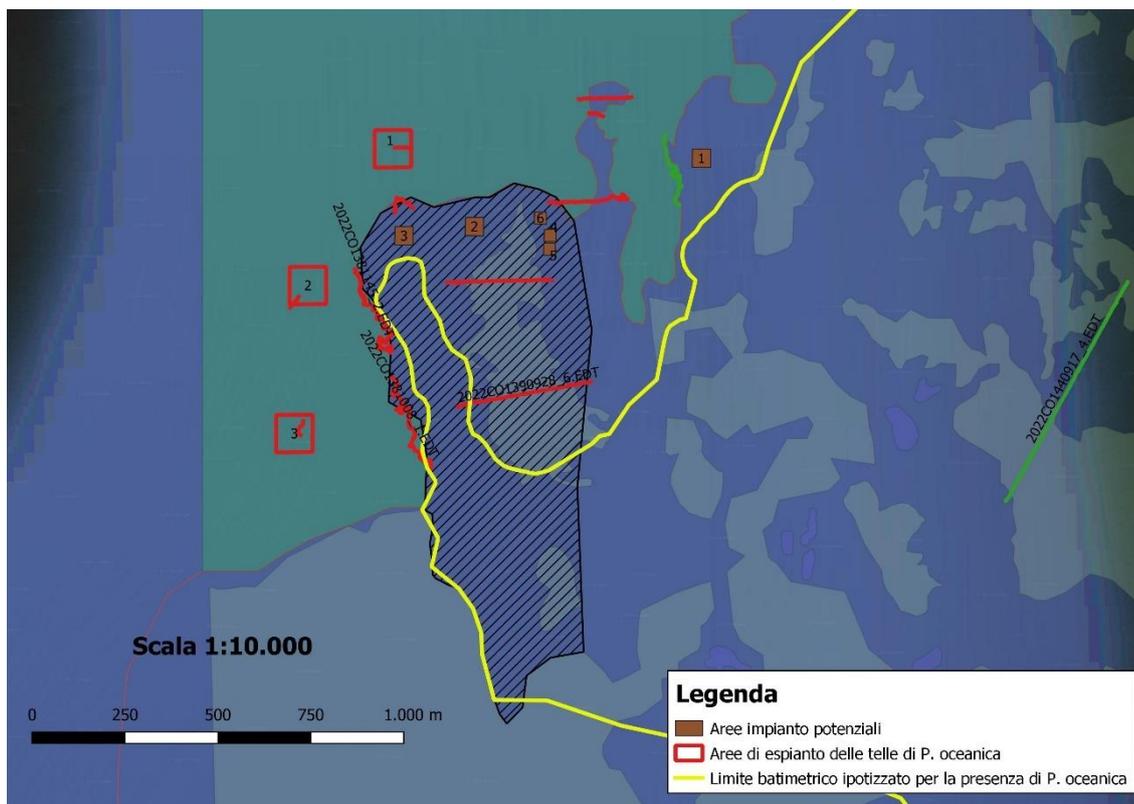


Figura 14 Aree di impianto potenziali

La scelta dei 6 siti ipotizzati è stata condotta sulla base delle informazioni relative alla batimetria (aree con batimetria simile a quelle di espianto), distanza dai limiti della prateria tracciati in quest'ambito e ricavati dalle informazioni della precedente prateria (distanze superiori ai 30 m), secondo alcuni parametri indice PTSI.

Nella tabella che segue si riportano le coordinate dei centroidi relativi alle 6 aree potenziali di impianto riportate nella Figura 14 e le profondità stimate sulla base dei dati batimetrici dell'area.

Tabella 5 Coordinate geografiche WGS84 dei centroidi delle aree di impianto potenziale

Area potenziale di impianto	Lat WGS84	Long WGS84	Profondità*	Qualità dell'acque**	Fondale***
Sito n 1	43.54953	10.25887	12 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia
Sito n 2	43.54863	10.25892	13 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia
Sito n 3	43.54763	10.24899	12 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia
Sito n 4	43.54771	10.25380	12 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia
Sito n 5	43.54721	10.25473	12 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia
Sito n 6	43.54646	10.25508	10 m	2,7	Non vegetato: Matte/Sabbia

*Profondità ricavate dalle quote batimetriche dell'area da verificare in fase di progettazione esecutiva

** Dati TRIX delle indagini ARPAT per la costa livornese del 2019

*** Informazioni del fondale ricavate dalle precedenti mappature, da quelle attuali da verificare in fase di progettazione esecutiva

<p>Progetto:</p> <p>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</p>	<p>Livello progettazione:</p> <p>Progetto Definitivo</p>	<p>Elaborato:</p> <p>IDRAULICA MARITTIMA</p> <p>1233_PD-D-006_2.docx</p>
---	--	--

3.2.4 Fasi dell'attività di trapianto

Si propone che l'attività di trapianto sia eseguita nel corso di due fasi distinte; in una prima fase di sperimentazione saranno eseguiti trapianti pilota delle tipologie descritte in precedenza al fine di poter valutare quali siano le modalità che meglio si adattano alla conformazione del sito e alle caratteristiche meteomarine per un totale complessivo di ca. il 10% di quanto previsto.

Nella fase successiva potranno essere eseguite le attività complessive per un totale di messa a dimora di ca. 6000 m² di intervento.

Di seguito l'elenco delle fasi progettuali:

1. Fase pilota: messa a dimora di impianti pilota di piccole dimensioni delle diverse metodiche di trapianto descritte in precedenza per un periodo indicativo di un anno;
2. Scelta delle metodiche più efficaci e dei siti di impianto più idonei sulla base dei risultati ottenuti negli impianti pilota dopo il primo anno;
3. Esecuzione del trapianto per l'intera superficie prevista con le metodiche scelte e sui siti risultati più idonei.
4. Monitoraggio.