



CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - Rimozione Colmata e Bonifica Arenili - CUP: C65E19000390001 - Progettazione e Risanamento Sedimenti Marini



APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGLIO (NA)".

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Prima Emissione	Geol. Paolo Mauri (AMBIENTE)	Geol. P. Moschini (AMBIENTE)	Ing. E. Robotella Stacul	07/08/2023

All rights, including translation, reserved. No part of this document may be disclosed to any third party, for purposes other than the original, without written consent of RINA Consulting S.p.A.



PROGER



INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	3
INDICE DELLE FIGURE	3
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	4
1 PREMESSA	5
1.1 PROCEDIMENTI AMMINISTRATIVI	6
1.2 OBIETTIVI	8
1.2.1 Progetto generale	8
1.2.2 Progetto capping	9
1.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	9
1.3.1 Documentazione Tecnica	9
1.3.2 Normativa di Riferimento – Linee Guida	10
1.3.3 Riferimenti	10
2 INQUADRAMENTO DEL SITO	12
3 INDAGINI PREGRESSE E TEST IN CORSO SUL SITO	13
3.1 ATTIVITÀ PREGRESSE MESSE A DISPOSIZIONE DA INVITALIA	13
3.2 TEST SVOLTI ED IN CORSO	14
4 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO	17
4.1 CARATTERISTICHE DI QUALITÀ DEI SEDIMENTI	17
4.2 CARATTERISTICHE FISICHE DEI SEDIMENTI	18
4.3 CARATTERISTICHE BIOLOGICHE DEI SEDIMENTI	18
4.4 CARATTERISTICHE IDRODINAMICHE	19
5 PROGETTAZIONE DEL CAPPING	20
5.1 CONCETTI GENERALI	20
5.1.1 Tipologie di capping	20
5.2 AREA DI INTERVENTO DI CAPPING	21
5.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE	22
5.3.1 Capacità di assorbimento e reattività	23
5.3.2 Geocompositi	23
5.3.3 Posizionamento dei materiali	25
5.3.4 Meccanismi di rilascio dei contaminanti	25
5.3.5 Stabilità	25
5.3.6 Qualità in fase costruttiva	25
5.4 TIPOLOGIA DI CAPPING VALUTATI	26
5.4.1 Strato di miscelazione e consolidamento	26
5.4.2 Strato di isolamento chimico	26
5.4.3 Strato di protezione dall'erosione	27
5.4.4 Strato dell'habitat	27
5.5 MODELLAZIONE CON CAPSIM	27
5.5.1 Input di modellazione	27
6 SCELTE PROGETTUALI A SEGUITO DELLA MODELLAZIONE	29
6.1 CAPPING PASSIVO	29
6.2 CAPPING ATTIVO	33
7 STRUTTURA E POSA IN OPERA DEL CAPPING	36
7.1 STRUTTURA DEL CAPPING	36

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

7.2	POSA IN OPERA DEL CAPPING	37
7.2.1	Posizionamento dello strato di base	37
7.2.2	Geocompositi con nucleo passivo o reattivo	37
7.2.3	Strato superiore di isolamento	38
7.2.4	Strato di protezione dall'erosione	38
7.3	MONITORAGGIO AMBIENTALE IN FASE DI ESECUZIONE E A LUNGO TERMINE	39

APPENDICE A: Coefficienti di assorbimento utilizzati per i contaminanti ed i materiali di copertura

APPENDICE B: Proprietà chimico fisiche dei materiali di copertura

APPENDICE C: Esempio rappresentazioni grafiche CapSim

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1: Sintesi della qualità dei sedimenti	17
Tabella 4.2: Limiti di riferimento considerati	18
Tabella 5.1: Criteri di progettazione	23
Tabella 6.1: Efficacia del capping passivo	29
Tabella 6.2: Risultati delle caratterizzazioni eseguite in zona arenile sud	30
Tabella 6.3: Superficie stimata di capping passivo	31
Tabella 6.4: Efficacia del capping attivo	33
Tabella 6.5: Superficie stimata di capping attivo	34
Tabella 7.1: Sintesi delle superfici di capping previste e stima delle quantità dei materiali	36
Tabella 7.2: Sintesi PMA	39

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: Area interessata dall'intervento di Capping (retinata in azzurro)	6
Figura 1.2: Schema dell'intervento	9
Figura 2.1: Localizzazione dell'area di intervento	12
Figura 3.1: Tipologia e localizzazione delle indagini eseguite nel Piano di caratterizzazione ABBAco.	14
Figura 3.2: Movimentazione e posa dei materassini durante le fasi di test.	15
Figura 5.1: Movimentazione e posa dei materassini durante le fasi di test.	22
Figura 5.2: Geocomposito filtrante reattivo per composti organici	24
Figura 5.3: Geocomposito filtrante reattivo per metalli	24
Figura 5.4: Geocomposito filtrante passivo con sabbia	25
Figura 6.1: Superficie di capping passivo	31
Figura 6.2: Mappe di concentrazione	32
Figura 6.3: Distribuzione delle tensioni tangenziali al fondo al picco della mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni	33
Figura 6.4: Superficie di capping attivo (nel cerchio è indicato l'area prospiciente lo scolmatore)	35
Figura 7.1: Esempio di modalità di posa dei geocompositi	38

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

ABBaCo	Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio
ADR	Analisi di Rischio
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
ARIN	Aria di Rilevante Interesse Nazionale
ARPAC	Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania
BAT	Best Available Techniques
CdS	Conferenza dei Servizi
DLgs	Decreto Legislativo
DM	Decreto Ministeriale
ICRAM	Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
ISS	Istituto Superiore Sanità
ITRC	Interstate Technology Regulatory Council
NA	Napoli
NTA	Norme Tecniche Attuative
ORP	Oxidation Reduction Potential
O.S.	Obiettivo Specifico
PCB	PoliCloroBifenili
PCM	Passive Core Mat
PFTE	Progetto Fattibilità Tecnico Economica
PMA	Piano di Monitoraggio Ambientale
PP	Polipropilene
PRARU	Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana
QA	Quality Assurance
QC	Quality Control
RCM	Reactive Core Mat
SIN	Sito Interesse Nazionale
SNPA	Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
SRIN	Sito di Rilevante Interesse Nazionale
UV	Ultravioletto

1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatto nell'ambito dell'Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nell'Area di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)".

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di appalto integrato suddetti è stato delineato dal Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli (PRARU), il cui Stralcio Urbanistico e relative Norme Tecniche Attuative (NTA) sono stati approvati nella Conferenza di Servizi (CdS) del 14 giugno 2019 e adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019.

Il PRARU prevede che saranno ricostituite le caratteristiche originarie del sito, alterate dalle precedenti attività industriali con, come obiettivo primario, il ripristino della balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito, tramite le seguenti azioni:

- ✓ Eliminazione degli scarichi incontrollati attualmente attivi
- ✓ Risanamento dei sedimenti inquinati a mare
- ✓ Ripascimento e bonifica degli arenili emersi
- ✓ Rimozione delle scogliere di protezione presso l'arenile Nord e Sud

Il PRARU prevede quindi una nuova configurazione della costa all'interno della baia con le seguenti caratteristiche:

- ✓ Rimozione integrale della colmata
- ✓ Valorizzazione del Pontile Nord
- ✓ Demolizione dei tre pontili
 - o Pontile Sud
 - o Pontile Sala Pompe
 - o Pontile Città delle Scienze
- ✓ Realizzazione spiaggia pubblica nel tratto di lungomare compreso tra l'Arenile Nord e l'Arenile Sud avente le seguenti caratteristiche:
 - o 2 km di lunghezza
 - o 60 m larghezza minima
 - o 120 m larghezza massima
 - o 21,3 ettari di superficie
 - o Porto turistico a Nisida

La zona marina off-shore identifica quella zona nella quale è possibile individuare la cosiddetta "profondità di chiusura". Questo termine viene utilizzato per indicare la profondità oltre la quale non si verifica alcun cambiamento significativo del profilo della spiaggia sommersa. La "profondità di chiusura" non rappresenta dunque la profondità oltre la quale il sedimento cessa di muoversi, ma rappresenta piuttosto la profondità minima in corrispondenza della quale le variazioni batimetriche risultano non significative in termini ingegneristici e/o morfologici. Il presente documento descrive quindi le assunzioni, gli obiettivi e i metodi di collaudo della progettazione e del futuro intervento di risanamento relativamente all'ambito della zona marina off-shore tramite l'installazione di un "capping". Il capping è una tecnologia in-situ per la "messa in sicurezza" di siti di sedimenti contaminati che consiste nell'inserire al di sopra del deposito contaminato una copertura subacquea (capping) costituita da uno o più strati di materiale granulare pulito (sedimenti puliti, suolo, sabbia, ghiaia) e/o sintetico (geotessili, liners), al fine di contenere/isolare i sedimenti contaminati dall'ambiente acquatico e, quindi, ridurre enormemente il rischio di esposizione e il prolungamento della contaminazione.

Di seguito si riporta un'immagine dell'area suddetta (retinata in azzurro), così come individuata nell'ambito del PFTE.

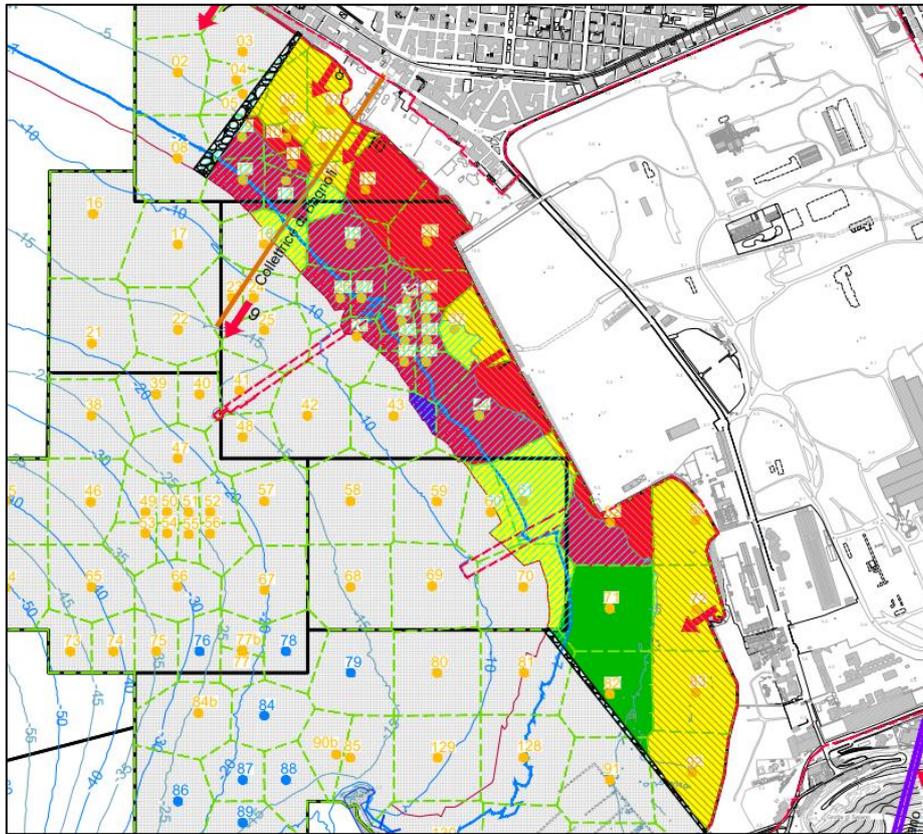


Figura 1.1: Area interessata dall'intervento di Capping (retinata in azzurro)

1.1 PROCEDIMENTI AMMINISTRATIVI

Di seguito viene riportato un elenco dei principali procedimenti amministrativi che si sono succeduti nel corso degli ultimi anni relativamente alle aree oggetto del presente documento:

- Piano di caratterizzazione integrativo delle aree a terra, che ha riguardato anche l'area della colmata – Conferenza dei servizi del 14 aprile 2016.
- Piano di Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio – Progetto ABBACO, approvato dal Commissario di Governo con Decreto del 26 settembre 2017 mentre i risultati del Piano di Caratterizzazione sono stati approvati con Decreto del Commissario di Governo del 13 novembre 2019.
- Conferenza dei Servizi del 14 giugno 2019 per l'approvazione dello Stralcio Urbanistico e delle relative Norme Tecniche Attuative (di seguito NTA) del PRARU adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019. L'approvazione dello Stralcio Urbanistico e le relative NTA è l'atto formale a valle del quale è possibile procedere con tutti i successivi livelli di progettazione degli interventi di risanamento ambientale, infrastrutturazione e rigenerazione urbana.
- In data 12 febbraio 2020 è stato istituito il tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio", con il fine, tra l'altro, di definire gli obiettivi di balneabilità, le proprietà di intervento e condividere le tecnologie di risanamento marino da sottoporre a test pilota;

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

- In data 24 giugno 2020 è stato trasmesso al Commissario Straordinario, con prot. n. 0091522 il "Progetto di Fattibilità Tecnico economica della Bonifica e Risanamento Ambientale" sia delle aree a terra che delle aree marine.
- Con verbale di chiusura della CdS prot. CSB 000077 del 13 agosto 2020 sono stati acquisiti i pareri espressi dagli Enti interessati nell'ambito del procedimento in oggetto.
- In data 22 febbraio 2022 è stata aggiudicata la gara per la Progettazione definitiva in oggetto e le relative attività, in via d'urgenza, sono state avviate in data 17 marzo 2022;
- In data 29 aprile 2022 si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" nel corso della quale Invitalia, come previsto dai capitolati di gara, ha illustrato i seguenti documenti, già trasmessi al Commissario di Governo con nota prot. 0092143 del 07.04.2022:
 - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona on shore della parte a mare;
 - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona off shore della parte a mare;
 - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Capping";
 - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Risanamento sedimenti marini";
- In data 4 maggio 2022 e 23 maggio 2022, rispettivamente ISS e ISPRA/ARPAC hanno trasmesso i propri pareri relativi ai documenti su detti;
- In data 15 maggio 2022 si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" in cui, relativamente all'analisi di rischio per gli arenili e per la zona onshore, è stato stabilito, tra l'altro, di utilizzare lo strumento dell'analisi del rischio (AdR), da eseguirsi in modalità diretta, a fini previsionali;
- In data 15 giugno 2022 si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" nel corso della quale, ai fini dell'elaborazione del Progetto definitivo in oggetto, è stato concordato di:
 - procedere ad eseguire un Piano di Caratterizzazione integrativo degli Arenili, complementare rispetto alla caratterizzazione eseguita nel 2021 da Invitalia, che dovrà essere validato da ARPAC e che dovrà fornire utili informazioni anche ai fini della valutazione del rischio;
 - di utilizzare lo strumento dell'analisi del rischio (AdR), da eseguirsi in modalità diretta, a fini previsionali secondo modalità operative che saranno oggetto di successivi incontri;
- In data 01 Luglio 2022 Invitalia ha trasmesso "la proposta di Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud al fine di recepire eventuali osservazioni/prescrizioni da parte degli Enti Competenti, preliminarmente alla fase esecutiva";
- In data 15 Luglio 2022 sono state avviate i lavori dei test di dimostrazione tecnologia su detti;
- In data 13 ottobre 2022 è stato trasmesso il parere ARPAC, condiviso con ISPRA nell'ambito del SNPA, relativo alla Proposta di Piano di Caratterizzazione su detta;
- In data 19 ottobre 2022, è stato acquisito da Invitalia al prot. 0306847 del 20.10.2022, il parere ISS relativo alla Proposta di Piano di Caratterizzazione su detta;
- In data 01 dicembre 2022 Commissario ha espresso "parere favorevole relativamente alla proposta di Piano di caratterizzazione complementare dell'Arenile Nord e Sud come integrato con la documentazione inoltrata da Invitalia con nota prot. n. 0309540 del 24/10/2022 ovvero":
- In data 30 gennaio 2023 sono state avviate le attività del Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud.
- In data 05 aprile 2023 Invitalia ha trasmesso ad ARPAC, per le successive attività di validazione, i risultati del Piano di caratterizzazione suddetto.

1.2 OBIETTIVI

1.2.1 Progetto generale

Il PRARU, nell'aggiornato nel Luglio 2021, al fine del raggiungimento degli obiettivi di risanamento ambientale, ha definito il seguente obiettivo specifico e le conseguenti azioni da implementare:

- **Obiettivo Specifico O.S. 1.3 - Bonificare e risanare la fascia costiera:** *In linea con la nuova vocazione dell'area, sarà realizzata una nuova linea di costa, attraverso la rimozione dell'area di colmata e interventi di bonifica/ripascimento degli arenili emersi da Nord a Sud. Saranno anche realizzati interventi di bonifica e risanamento ambientale della fascia costiera ("Waterfront"), il che richiede come azione la rimozione integrale dell'area di colmata.*
- **Obiettivo Specifico O.S. 1.2 - Procedere al risanamento delle aree marine che presentano alterazioni delle caratteristiche naturali:** *In linea con la nuova vocazione dell'area, saranno ricostituite le condizioni ambientali adeguate a garantire l'obiettivo di balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito e il relativo ecosistema marino. La balneabilità rappresenta una risorsa preziosa per la piacevolezza e la vivibilità dei luoghi per la popolazione, nonché un attrattore per lo sviluppo di vocazioni turistiche. Tale obiettivo si concretizzerà: Questo intervento prevede il risanamento ambientale delle aree a mare attraverso l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili:*
 - per la parte sedimenti marini attraverso lo studio idrodinamico del paraggio, la caratterizzazione e calcolo dei volumi di sedimento inquinati e le conseguenti azioni di dragaggio e/o risanamento dei fondali;
 - per la parte colonna d'acqua attraverso la ricognizione e le conseguenti azioni correttive (tecniche e amministrative) sul sistema degli scarichi di reflui civili che a vario titolo insistono lungo il perimetro dell'area (tale attività rientra nelle competenze dell'Obiettivo Generale 3 Infrastrutture- idrico).

L'obiettivo, per quanto riguarda il comparto sedimenti marini emersi e sedimenti marini on shore, è il risanamento dei sedimenti al fine di garantire la balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito e ricostituzione delle condizioni ambientali.

L'obiettivo dell'intervento in oggetto di ripascimento ha lo scopo di:

- ricostituire l'arenile e una linea di riva stabile, che tenderà il più possibile alla linea di riva preliminarmente delineata dal PRARU, attraverso la rimozione della colmata e la posa di un ripascimento strutturale.
- di preservare le zone oggetto di risanamento (sia arenili emersi che sommersi) dai sedimenti provenienti dall'esterno del litorale Nord, delimitandole attraverso un sistema di contenimento composto da opere rigide;
- di consentire in sicurezza la piena fruibilità degli arenili emersi e la balneabilità dello specchio acqueo antistante

A tal fine l'area di intervento è stata suddivisa in due macroaree.

- Macroarea 1 coincidente con il sedime della colmata e i relativi sedimenti sottostanti;
- Macroarea 2 coincidente con le porzioni di arenile Nord e di arenile Sud, sia per la parte emersa che per la parte sommersa,

Ai fini della progettazione della nuova linea di riva e degli elementi e strutture di chiusura del sistema, l'area di intervento è stata suddivisa in tre zone, potenzialmente indentificabili anche come lotti funzionali nei futuri interventi esecutivi:

- "Microcella Nord" (ricadente nella Macroarea 2), di sviluppo longitudinale pari a 400 m, comprendente la zona emersa tra il pennello nord e il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord);
- "Macrocella" (coincidente con la Macroarea 1), di sviluppo longitudinale pari a 1.000 m, comprendente la zona tra il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord) e il Pennello sud;
- "Zona Arenile Sud" (ricadente nella Macroarea 2), di sviluppo longitudinale pari a 600 m, comprendente l'intero Arenile Sud.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

All'interno delle aree di cui sopra sono oggetto del presente progetto le lavorazioni identificabili con il pennello di chiusura "Nord", il pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile); il pennello di chiusura "Sud": la scogliera sommersa, il ripascimento della spiaggia e il Capping con ricostruzione dell'habitat naturale.

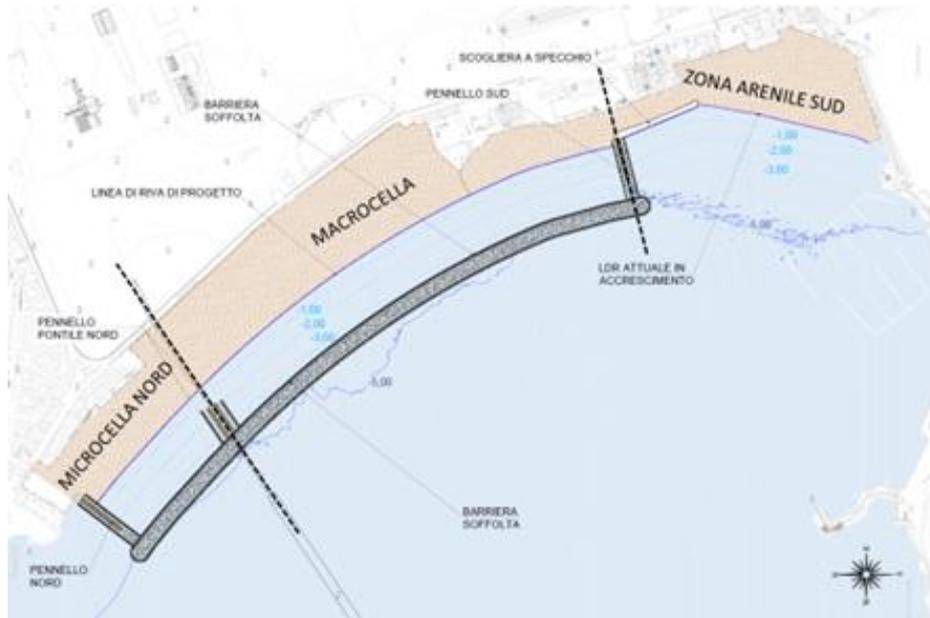


Figura 1.2: Schema dell'intervento

1.2.2 Progetto capping

L'obiettivo del capping è quello di isolare i sedimenti contaminati dalla colonna d'acqua sovrastante, impedire il contatto degli organismi scavatori con i sedimenti contaminati, evitare che i sedimenti siano interessati dai fenomeni di erosione e turbolenza ed isolare i sedimenti contaminati che non verranno rimossi dal dragaggio, dalla colonna d'acqua sovrastante al fine di prevenirne i fenomeni di dispersione in ambiente marino.

Al fine di progettare la miglior soluzione per il sito oggetto di studio, è stato deciso di utilizzare il software CapSim (versione 4.1), con il quale è stato possibile modellizzare il trasporto di sostanze chimiche attraverso gli strati del capping e le concentrazioni dei contaminanti nell'acqua interstiziale. CapSim risulta essere uno dei due software di modellazione raccomandati per la progettazione di capping nell'Interstate Technology Regulatory Council (ITRC) "Sediment Cap Chemical Isolation Guidance". Ad oggi, CapSim è un software ampiamente riconosciuto ed è stato utilizzato per la progettazione di numerosi capping a livello globale. CapSim, infatti, tiene conto delle caratteristiche dei sedimenti, dei processi chimici e delle proprietà fisiche del sedimento e del materiale utilizzato per la copertura.

1.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

1.3.1 Documentazione Tecnica

[1] Progettazione e risanamento sedimenti marini. Rimozione colmata e bonifica arenili - Capitolato Test tecnologie di risanamento e gestione sedimenti contaminati, Stazione Appaltante, maggio 2011

[2] Caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera all'interno del sito di interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio – Relazione finale

[3] Progettazione e risanamento sedimenti marini rimozione colmata e bonifica arenili - Specifiche tecniche allegate al Capitolato Test tecnologie di risanamento e gestione sedimenti contaminati, Stazione Appaltante, maggio 2011

[4] Progetto di Fattibilità Tecniche ed Economiche Bonifiche e Risanamento Ambientale del SRIN di Bagnoli-Coroglio (PFTE)

1.3.2 Normativa di Riferimento – Linee Guida

- [5] D.Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006 e ss.mm.ii. "Norme in materia ambientale "entrato in vigore il 29 aprile 2006 e pubblicato sul supplemento ordinario alla G.U. del 14 aprile 2006 n. 88"
- [6] Decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207 e ss.mm.ii. "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE"
- [7] D.Lgs. n. 50 del 18 aprile 2016 "Attuazione delle direttive 2014/23/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture"
- [8] D.M. Ambiente 15 luglio 2016, n. 173 "Autorizzazione ad immersione in mare di materiali di escavo fondali marini - dragaggio - Attuazione articolo 109, Dlgs 152/2006";
- [9] LEGGE del 28 gennaio 1994 n. 84 e ss. mm. ii. "Riordino della legislazione in materia portuale"
- [10] LEGGE 31 luglio 2002 N. 179 "Disposizioni in materia ambientale"
- [11] Manuale per la Movimentazione dei sedimenti Marini - APAT e ICRAM (2007)
- [12] D.M. 28 febbraio 2017 "Disciplina tecnica e procedurale dell'organizzazione del servizio di bonifica del territorio nazionale da ordigni esplosivi residuati bellici e delle connesse attività di sorveglianza e vigilanza, nonché della formazione del personale addetto alla ricerca e allo scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici"
- [13] Linee Guida ISPRA 106/2014 "Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino costieri. Il trapianto delle praterie di Posidonia oceanica"

1.3.3 Riferimenti

- [14] Allison, Jerry D., and Terry L. Allison. "Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste." Rep. EPA/600/R-05 74 (2005).
- [15] Anton Dohrn Zoological Station of Naples. 2019. Environmental Characterization of the Coastal Marine Area Within the Site of National Interest of Naples Bagnoli Coroglio.
- [16] CapSim. 2020. CapSim 4.0 Quick-Start Manual, March 12, 2020.
- [17] CapSim. 2023. Cap Sim 4.1 software, update June 8, 2023.
- [18] Chen, J. Paul, Shunian Wu, and Kai-Hau Chong. "Surface modification of a granular activated carbon by citric acid for enhancement of copper adsorption." Carbon 41, no. 10 (2003): 1979–1986
- [19] Genç-Fuhrman, Hülya, Peter S. Mikkelsen, and Anna Ledin. "Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents." Water research 41, no. 3 (2007): 591–602.
- [20] Gu, Zhimang, Jun Fang, and Baolin Deng. "Preparation and evaluation of GAC-based iron-containing adsorbents for arsenic removal." Environmental Science & Technology 39, no.10 (2005): 3833–3843.
- [21] Huesker. 2020. Laboratory tests and product description of Tektoseal Active HM: summary of laboratory results from 16, December 2020.
- [22] ITRC (Interstate Technology Regulatory Council). 2023. Sediment Cap Chemical Isolation Guidance.
- [23] Karnib, Mona, Ahmad Kabbani, Hanafy Holail, and Zakia Olama. "Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite." Energy Procedia 50 (2014): 113–120.
- [24] Shen, Xiaolong, Lampert, David, Ogle, Stephen, Reible, Danny. 2018. "A software tool for simulating contaminant transport and remedial effectiveness in sediment environments." Environmental Modeling and Software 109 (2018): 104–113.
- [25] S.S. Papadopulos & Associates, Inc. 2012. Groundwater Upwelling Velocities in Remediation Areas, Onondaga Lake Bottom Subsite.
- [26] Texas Natural Resource Conservation Commission. 2010. Development of Human Health PCLs for Total Petroleum Hydrocarbon Mixtures. RG-366/TRRP-27.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

[27] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2005. Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil and Waste.

[28] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2015. Determination of the Biologically Relevant Sampling Depth for Terrestrial and Aquatic Ecological Risk Assessments.

2 INQUADRAMENTO DEL SITO

L'Area di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli–Coroglio (NA) è ubicata all'estremità sudoccidentale della città di Napoli, nell'area orientale del Golfo di Pozzuoli (Golfo di Napoli) tra la zona di Coroglio-Isola di Nisida e l'abitato di Pozzuoli (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Il territorio del SRIN di Bagnoli-Coroglio costituisce parte integrante dei Campi Flegrei, una complessa area vulcanica, con caratteristiche di caldera di collasso (Rosi and Sbrana, 1987; Di Vito et al., 1999; Sacchi et al., 2104) che è stata attiva almeno negli ultimi ~ 60 ka BP (Pappalardo et al., 1999, Piochi et al., 2005 Scarpati et al., 2013)¹.

La distribuzione dei sedimenti nel Golfo di Pozzuoli e nelle aree adiacenti è strettamente controllata dalle vicende climatiche e vulcanotettoniche della zona (Pennetta et al., 1984). Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali dei sedimenti del Golfo di Pozzuoli, Colantoni et al. (1972) individuano tre zone².

La prima zona, di interesse per il presente lavoro, corrisponde alla piattaforma litorale, fino ai 15-20 m di profondità; ove sono presenti sabbie sia fini che grossolane, scarsamente cernite e con asimmetria positiva. Queste caratteristiche sono dovute alla composizione mineralogica ricca in pomice, indipendenti dal resto del sedimento per quanto riguarda la granulometria.



Figura 2.1: Localizzazione dell'area di intervento

¹ Stralcio da: "Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del sito di interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio – Relazione Finale"

² Stralcio da: "Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del sito di interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio – Relazione Finale"

3 INDAGINI PREGRESSE E TEST IN CORSO SUL SITO

3.1 ATTIVITÀ PREGRESSE MESSE A DISPOSIZIONE DA INVITALIA

Il piano di caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera prospiciente l'ARIN di Napoli Bagnoli-Coroglio - predisposto dalla Stazione Zoologica Anton Dohrn, approvato in data 26/09/2017 dalla Conferenza di Servizi decisoria (Segnatura: CSB-0000275-P-26/09/2017; Protocollo: SZN n. 4762 del 26/09/2017), ed eseguito nel periodo 2017-2018 ha previsto il prelievo dei 130 campioni, di seguito elencati e graficamente rappresentati in Figura 3.1, all'interno del perimetro del SIN:

- ✓ 32 campioni superficiali (raccolti con benna)
- ✓ 98 carote di cui:
 - 42 di almeno 1 metro
 - 39 di almeno 2 metri
 - 17 di almeno 4 metri

Per quanto riguarda la griglia di campionamento delle carote, essa è rappresentata da:

- ✓ 51 maglie da 200x200 m
- ✓ 26 maglie da 100x100 m
- ✓ 21 maglie da 50x50 m

Gli studi afferenti alle indagini sono descritti nella relazione "Sperimentazioni Pilota Finalizzata al "Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio" (di seguito ABBAco) redatta dalla Stazione Zoologica "Anton Dohrn" incaricata dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.

Le conclusioni dello studio di ABBAco riportano che: *"Tutte le analisi effettuate mostrano un inquinamento generalizzato dei fondali, soprattutto nei pressi dell'ex sito industriale nella zona dei pontili e della colmata ed in direzione nord verso l'arenile. La contaminazione osservata è a carico soprattutto di composti organici (idrocarburi pesanti, IPA) ma è da evidenziare l'elevata concentrazione di arsenico che merita ulteriori approfondimenti per stabilire l'origine dello stesso, anche se l'origine geogenica parrebbe prevalente in considerazione delle analisi statistiche effettuate. Inoltre, le analisi effettuate mostrano una contaminazione estesa anche ai sedimenti superficiali della porzione di fondale profondo di fronte all'impianto e in generale in gran parte dell'area indagata all'interno del perimetro del SIN, anche se nelle aree più esterne i livelli di contaminazione appaiono contenuti se confrontati con l'area tra i pontili e di fronte alla colmata. L'integrazione dei risultati delle analisi chimiche ed ecotossicologiche rivela una situazione di tossicità pesante e diffusa e una qualità dei sedimenti analizzati tale da farli includere per la maggior parte nelle tre classi peggiori, che richiedono forme controllate di gestione degli stessi, fino all'isolamento dall'ambiente marino e al conferimento in discarica; situazione che riguarda principalmente l'area del SIN indagata tramite vibrocarotaggio. La contaminazione, inoltre, pare interessare le componenti biologiche analizzate, con tendenza al bioaccumulo di IPA nei mitili nella zona più prossima ai pontili e alla colmata ed attivazione di risposte fisiologiche allo stress. Effetti si osservano anche in parte della componente della fauna ittica analizzata ed in particolare nella specie maggiormente associata ai sedimenti (la triglia) che mostra tendenza al bioaccumulo di IPA, anche se i livelli riscontrati non paiono al momento allarmanti, e comunque risposte fisiologiche e biochimiche allo stress indotto dagli inquinanti con attivazione dei sistemi di detossificazione e presenza di micronuclei, indicazione di genotossicità. Si evidenzia pertanto un ruolo dei sedimenti nel mediare la biodisponibilità, soprattutto degli IPA..... Va infine sottolineare come le analisi microbiologiche effettuate indichino che, anche in tempi recenti/recentissimi, l'area pare subire gli effetti di inquinamento da reflui di tipo urbano probabilmente provenienti dalle aree costiere circostanti".*

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

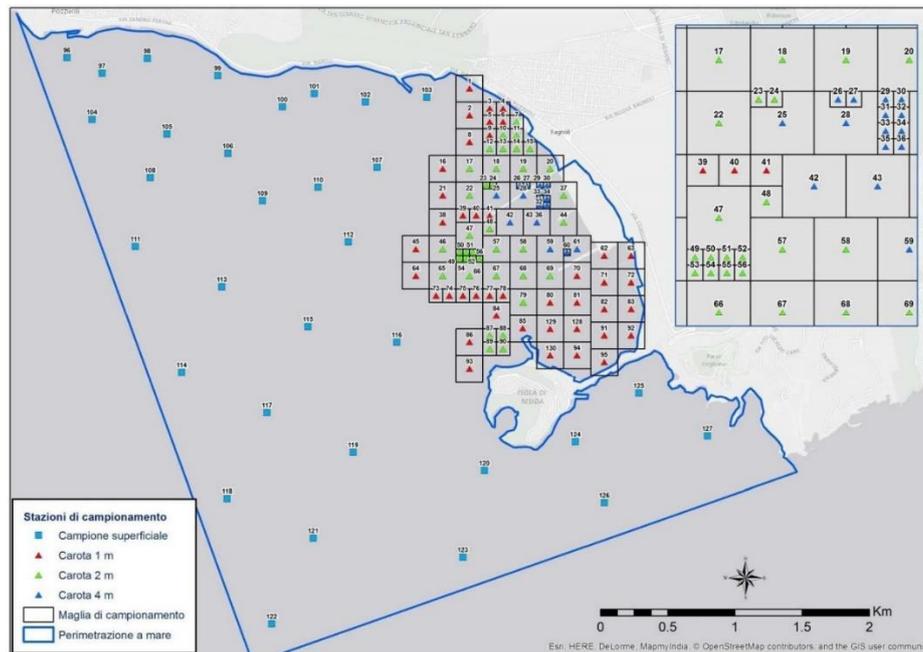


Figura 3.1: Tipologia e localizzazione delle indagini eseguite nel Piano di caratterizzazione ABBaCo.

3.2 TEST SVOLTI ED IN CORSO

Sono stati previsti due test di capping e ricostruzione dell'habitat naturale. In particolare, sono state identificate due aree per la realizzazione dei test di ricostruzione dell'habitat naturale attraverso trapianto a mezzo di talee, ubicate entrambe all'interno dello specchio acqueo antistante l'Arenile Nord compreso tra la batimetrica -5 m e la batimetrica -7 m, distanti 50 m l'una dall'altra.

- ✓ n.1 un'area operativa denominata D1 di dimensioni 50m X 50m per testare la tecnologia di capping composto da materiali attivi e con ricostruzione dell'habitat naturale. L'area è stata poi ridotta a 50m x 40m a causa di danneggiamenti ai materiali.
- ✓ n.1 un'area operativa denominata D2 di dimensioni 50m X 50m per testare la tecnologia di capping composto da materiali convenzionali (passivi) con ricostruzione dell'habitat naturale.

I materassini sono stati poi coperti con uno strato di circa 50cm di sabbia al fine di creare uno strato di protezione dall'erosione e di bioturbation.

Si è previsto il ricorso a specie di piante attualmente presenti sui fondali delle aree marine di Bagnoli come la Posidonia Oceanica. Saranno individuati cinque settori quadrati di 5 m di lato, posizionati a scacchiera, secondo lo schema della quinconce. In ciascuno dei 5 settori è previsto un numero minimo di 40 talee per un totale minimo di 200 talee.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023



Figura 3.2: Movimentazione e posa dei materassini durante le fasi di test.

L'impatto prodotto dalle attività di capping e ricostruzione dell'habitat naturale nei confronti dell'ambiente marino costiero è stato e sarà verificato mediante un piano di monitoraggio, costituito da campagne di indagine da eseguirsi nelle fasi ante operam, in corso d'opera e post operam.

Il monitoraggio ante operam ha previsto:

- ✓ misure di torbidità giornaliere tramite sonda multiparametrica dell'intera colonna d'acqua al centro dell'area di intervento. Le misurazioni hanno compreso anche i parametri di ossigeno disciolto, potenziale di ossidoriduzione (ORP), pH, conducibilità, temperatura, pressione e le caratteristiche idrodinamiche tramite l'utilizzo di un correntometro.
- ✓ campionamenti settimanali della colonna d'acqua in corrispondenza di stazioni situate una al centro di ciascuna delle aree D1 e D2 ed una all'esterno di ciascuna delle stesse.
- ✓ l'esecuzione di sondaggi geognostici e relative analisi di laboratorio chimiche (ricerca dei parametri di cui alla tabella A2 del D.M. 7 Novembre 2008) in corrispondenza di stazioni situate rispettivamente ciascuna al centro delle aree D1 e D2.

Il monitoraggio in corso d'opera ha previsto:

- ✓ misura a fine di ogni giornata lavorativa della torbidità interna ed esterna di ciascuna area di intervento, tramite sonda multiparametrica. Sono state rilevate con una sonda multi-parametrica anche temperatura, pH, salinità, ossigeno disciolto e potenziale redox e le caratteristiche idrodinamiche tramite l'utilizzo di un correntometro.
- ✓ misura della torbidità esterna a una distanza non inferiore a 5 metri dal confine dell'area di intervento, in continuo per tutto il tempo delle attività di messa in opera del capping;
- ✓ campionamenti settimanali della colonna d'acqua in corrispondenza delle previste stazioni; modalità di campionamento e determinazioni dei parametri chimici e chimico fisici della colonna d'acqua sono stati analoghi a quelle previste per il monitoraggio ante operam.

Il monitoraggio post operam prevederà:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

- ✓ rilievi Multibeam immediatamente dopo la messa in opera dei capping e dopo 120, 240 e 360 giorni dall'installazione;
- ✓ verifica dell'integrità dell'habitat ricostruito in campo, dopo 90, 180, 270 e 360 giorni dalla ricostruzione dello stesso, tramite operatore subacqueo, come indicato dal "Manuale per la pianificazione, realizzazione e monitoraggio dei trapianti di Posidonia oceanica", redatto nel 2022 dall'Unione Europea;
- ✓ esecuzione di sondaggi geognostici dopo 360 giorni dalla messa in opera del capping e relative analisi di laboratorio chimiche (ricerca dei parametri di cui alla tabella A2 del DM 7 Novembre 2008) ed ecotossicologiche (nel caso di capping composto da materiale reattivo).
- ✓ verifica dello spessore globale del capping e dello spessore dei singoli strati, mediante i suddetti sondaggi;
- ✓ misurazione della torbidità. Le misurazioni comprenderanno anche l'ossigeno disciolto, potenziale di ossidoriduzione (ORP), pH, conducibilità, temperatura, pressione e le caratteristiche idrodinamiche tramite l'utilizzo di un correntometro;
- ✓ campionamento della colonna d'acqua in corrispondenza delle previste stazioni dopo 360 giorni alla messa in opera del capping; modalità di campionamento e determinazioni dei parametri chimici e chimico fisici della colonna d'acqua saranno analoghe a quelle previste per il monitoraggio ante operam.

La dimostrazione tecnologica da testare per il risanamento e/o la messa in sicurezza delle aree marine di Bagnoli, avrà lo scopo di dimostrare l'efficienza dei sistemi proposti rispetto ai seguenti obiettivi:

- ✓ assicurare l'efficienza dei sistemi usati rispetto agli obiettivi del risanamento e/o della messa in sicurezza;
- ✓ assicurare l'efficacia delle modalità esecutive;
- ✓ minimizzare gli impatti delle tecnologie attuate sull'ambiente circostante.

Al momento i suddetti test sono in corso di realizzazione con fine prevista per il mese di luglio 2024.

4 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

I dati utilizzati per l'elaborazione del modello sono stati ricavati dalle indagini di Sperimentazioni Pilota Finalizzata al "Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio" (di seguito ABBaCo) redatta dalla Stazione Zoologica "Anton Dohrn" incaricata dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. I suddetti dati hanno fornito le caratteristiche sia delle acque superficiali che dei sedimenti nel sito.

4.1 CARATTERISTICHE DI QUALITÀ DEI SEDIMENTI

In Tabella 4.1 sono sintetizzate le concentrazioni medie dei risultati rilevati per ciascuno degli analiti in ciascun intervallo di profondità. Per la maggior parte dei contaminanti (22 su 28), le concentrazioni più elevate si osservano nell'intervallo superficiale (0-50 cm). Per altri quattro contaminanti, la concentrazione media più alta è stata rilevata nell'intervallo di profondità appena sotto la superficie (da 50 a 100 cm). L'acenaftilene ha la più alta concentrazione media nell'intervallo compreso tra 150 a 200 cm, sebbene questa concentrazione abbia un ordine di grandezza simile all'intervallo superficiale (2.700 µg/kg rispetto a 1.600 µg/kg). Al contrario, le concentrazioni più elevate di arsenico sono nell'intervallo più profondo (230.000 µg/kg a 300-400 cm) con concentrazioni simili nell'intervallo appena superiore (210.000 µg / kg a 200-300 cm) e concentrazioni inferiori negli intervalli più superficiali. Pertanto, ad eccezione dell'arsenico, la maggior parte della contaminazione nell'area di studio risiede nel sedimento superficiale.

Tabella 4.1: Sintesi della qualità dei sedimenti

Parametro	Sedimento (µg/kg)						Limiti
	0-50 cm	50-100 cm	100-150 cm	150-200 cm	200-300 cm	300-400 cm	
Arsenico	77.000	66.000	73.000	78.000	210.000	230.000	29.000
Cadmio	1.800	980	910	1.300	510	270	1.000
Cromo	27.000	22.000	20.000	23.000	22.000	16.000	150.00
Rame	33.000	20.000	15.000	19.000	11.000	6.100	65.000
Piombo		150.000	130.000	180.000	67.000	30.000	103.00
Mercurio	520	330	230	330	65	ND	700
Zinco	730.00	380.000	320.000	450.000	160.000	86.000	158.00
Sommatoria IPA	160.00	140.000	85.000	120.000	18.000	270	1.000
Acenaftene	2.000	4.300	2.600	1.800	93	1.1	-
Acenaftilene	1.600	780	500	2.700	64	3	-
Antracene	5.000	3.200	1.600	4.500	250	4.7	-
Benzo(a)antracene	10.000	7.600	6.200	6.500	1.200	39	-
Benzo(a)pirene	17.000	13.000	8.700	11.000	2.000	15	100
Benzo(b)fluorantene	13.000	9.800	6.900	8.700	1.500	34	-
Benzo(g,h,i)perilene	11.000	8.800	5.700	7.700	1.200	11	-
Benzo(k)fluorantene	6.700	5.300	3.600	4.800	800	16	-
Crisene	9.000	7.400	5.600	6.300	1.100	45	-
Dibenzo(a,h)antracene	2.400	2.000	1.200	2.100	250	6.5	-
Fluorantene	32.000	26.000	19.000	23.000	4.500	33	-
Fluorene	1.900	6.600	550	2.700	91	0.5	-
Indeno(1,2,3-cd)pirene	8.900	7.100	4.700	6.700	1.100	11	-
Naftalene	3.800	1.700	1.000	1.600	250	4.4	-
Fenantrene	10.000	12.000	2.000	9.100	250	6.9	-
Pirene	28.000	21.000	15.000	19.000	3.900	35	-
Idrocarburi >C12	310.00	290.000	240.000	270.000	120.000	ND	50.000
PCB-028	0.72	4.8	1.3	2.8	ND	--	-
PCB-189	0.1	--	--	--	--	--	-

I limiti riportati in Tabella 4.1 fanno riferimento ai parametri presenti nella tabella A2 del D.M. 7 Novembre 2008. Per il seguente progetto il valore limite considerato dovrà essere minore del limite inferiore indicato nella Tabella 4.2 sotto riportata. In tabella sono riportati i limiti di riferimento del D. Lgs 152/2006 (colonna A e colonna B della

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

Tab. 1 dell'Allegato 5), i valori d'intervento definiti da ICRAM per i siti di bonifica di interesse nazionale della Regione Campania per la definizione della qualità dei sedimenti (doc. ICRAM # CII-Pr-CA-valori intervento - approvato dalla Conferenza di Servizi "decisoria" del 10/05/2005), i valori di fondo come modificati dalla Segreteria tecnica presso il Ministero dell'Ambiente in data 20/05/01. Nella scelta del limite inferiore da utilizzare per ogni analita, è stato usato un approccio conservativo, considerando sempre quello più basso tra limite di intervento ICRAM e limite Col. A del D.Lgs152/2006. Nei casi in cui è stato individuato un limite di fondo sito specifico (As, Pb, V, Zn), quest'ultimo è stato utilizzato al posto dei due precedenti.

Tabella 4.2: Limiti di riferimento considerati

	Col. A 152/2006	Limite di intervento ICRAM 2005	Limite di fondo	90% Col. B 152/2006
Al (mg/kg s.s.)				
As (mg/kg s.s.)	20	50	29	45
Cd (mg/kg s.s.)	2	1		13,5
Cr (mg/kg s.s.)	150	160		720
Cu (mg/kg s.s.)	120	65		540
Fe (mg/kg s.s.)				
Hg (mg/kg s.s.)	1	0,7		4,5
Ni (mg/kg s.s.)	120	60		450
Pb (mg/kg s.s.)	100	160	103	900
V (mg/kg s.s.)	90		100	225
Zn (mg/kg s.s.)	150	300	158	1350
Idrocarburi C>12 (µg/kg s.s.)	50000			675000
Benzo(a)pirene (µg /kg s.s.)	100	760		9000
Sommatoria_IPA (µg /kg s.s.)	1000	4000		90000

4.2 CARATTERISTICHE FISICHE DEI SEDIMENTI

Oltre ai dati sulla concentrazione chimica i campioni sono stati analizzati per alcune proprietà fisiche. In particolare, sono stati considerati i valori di contenuto di acqua, il peso specifico, carbonio organico totale e la dimensione delle particelle. La maggior parte dei campioni analizzati è classificata come sabbia (definita come una dimensione delle particelle da 0,063 a 2 mm). Il contenuto medio di acqua dei campioni ricadenti all'interno delle aree di capping è del 44% e la frazione media del carbonio organico totale è di 0,027. Il peso specifico medio è risultato essere di 2.45 g/cm³ ed equivalente ad una densità media di massa umida di 0,85 g/cm³.

4.3 CARATTERISTICHE BIOLOGICHE DEI SEDIMENTI

Nell'ambito delle indagini di Sperimentazioni Pilota Finalizzata al "Restauo Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio", sono stati valutati sia i pesci che le comunità microbentoniche. L'attenzione su queste comunità è stata quella di valutare l'ecotossicologia del sedimento su queste comunità e tentare di derivare valori di riferimento per i vari contaminanti presenti al suo interno. Ai fini della progettazione del capping, si stima che la profondità di bioturbazione sia pari a 15 cm.

4.4 CARATTERISTICHE IDRODINAMICHE

Sono stati valutati due scenari per determinare il “*bed shear stress*” e l’eventuale deposizione di sedimenti prossimi all’area di capping. Per stimare prudentemente il “*bed shear stress*” e determinare la dimensione delle particelle necessarie per prevenire l’erosione del capping si è fatto riferimento ad un modello idrodinamico basato su onde con tempo di ritorno pari a 100 anni. In questo modello il “*bed shear stress*” nell’area di capping era di 5,5 N/m².

Dai risultati ottenuti, al fine di garantire che non vi sia alcun movimento di materiale nell’area di capping, è necessario un diametro delle particelle di almeno 5 mm o più. Questa dimensione risulta coerente con la dimensione “granuli / ciottoli” basati sulla scala di classificazione Udden-Wentworth.

Per valutare il potenziale di deposizione si è fatto riferimento ad un modello basato su onde con tempo di ritorno di un anno. I risultati di questo modello hanno rilevato che l’erosione si verifica principalmente a basse profondità fino a circa -20 m. Pertanto, con tutta probabilità nell’area di capping sia assente l’accumulo di sabbia.

5 PROGETTAZIONE DEL CAPPING

5.1 CONCETTI GENERALI

Come anticipato in premessa, il "capping" è una tecnologia *in-situ* per la "messa in sicurezza" di siti di sedimenti contaminati. Il capping simula il processo naturale dovuto alla sedimentazione, appunto perché la deposizione di sedimenti puliti crea una barriera naturale tra il contaminante e la colonna d'acqua sovrastante. La tecnologia in oggetto può comprendere elementi permeabili o impermeabili in più strati contenenti materiali alternativi e/o additivi, che garantiscono una maggiore attenuazione del flusso dei contaminanti. In tal modo è possibile immobilizzare i contaminanti nei sedimenti in quanto tendono a formare legami molto forti; tuttavia, bisogna considerare la possibilità di avere un rilascio/migrazione dei contaminanti a causa di diversi fattori, quali: forze erosive naturali o di origine antropica, bioturbazione (generata da organismi bentonici), ciclo della catena alimentare, meccanismi di advezione e di diffusione, trasporto in acque superficiali verso altri corpi ricettori. Pertanto, lo spessore del capping e la composizione dei suoi componenti verranno progettati tenendo in considerazione le condizioni del sito (tipologia e quantità di inquinanti, distribuzione nell'area, caratteristiche fisiche e meccaniche dei sedimenti, ecc.), della funzione che il capping dovrà svolgere e dell'arco di tempo in cui tale compito dovrà essere garantito.

I vantaggi del capping sono:

- minimo rischio di risospensione dei sedimenti, riduzione dei rischi associati al trasporto e allo smaltimento di sedimenti contaminati, minimizzazione dei fenomeni di erosione, riduzione della capacità degli organismi che operano "bioturbazione" (di spostare i contaminanti verso la superficie), impatto più contenuto sulle comunità locali, tempi rapidi di riduzione dell'esposizione ai contaminanti e possibilità di costi contenuti (in particolar modo se i materiali di copertura sono presenti in sito).

Per quanto riguarda gli svantaggi essi sono:

- permanenza dei sedimenti contaminati nell'ambiente acquatico, possibile risospensione di sedimenti contaminati durante la fase realizzativa (causati dalla caduta del materiale di ricoprimento sui sedimenti da ricoprire e, quindi, bisogna controllare con attenzione i mezzi da utilizzare, le velocità da impiegare e le aree di fondale da coprire), limitazioni all'uso del sito (riduzione della profondità, limitazioni alla navigazione, ancoraggio, posa di infrastrutture sommerse, ecc.), modifiche dell'habitat e, infine, il processo di consolidazione degli strati di capping che porta ad una diminuzione della porosità intrinseca del materiale, a vantaggio dell'isolamento della contaminazione, ovvero nel caso dei sedimenti contaminati questa attività provoca la progressiva fuoriuscita dell'acqua interstiziale presente verso il basso e lateralmente (tale aspetto dovrà essere valutato in fase di progettazione).

5.1.1 Tipologie di capping

Esistono varie tipologie di capping come ad esempio:

1. Capping passivi: sono costituiti da terre naturali (es. sabbia, ghiaia o prodotti di frantumazione di rocce), materiali inerti di elevata permeabilità, pertanto non dotati di significativa capacità di assorbire i contaminanti ed in grado di favorire i processi di degradazione di tipo biologico o chimico.
2. Capping con materiali attivi: sono realizzati con materiali che hanno la capacità di "catturare" i contaminanti, fissandoli sulla superficie dei grani che li compongono. Si utilizzano quando il capping realizzato con materiali convenzionali non soddisfa i requisiti di contenimento del contaminante a lungo termine. Queste condizioni si possono presentare, ad esempio, quando i contaminanti sono debolmente legati alle superficie dei sedimenti, oppure in presenza di moti di filtrazione o correnti di marea importanti che interessano il fondale. In tali casi esiste la possibilità di incorporare materiali attivi nello strato di isolamento chimico. Numerosi materiali naturali e prodotti sintetici (es. carboni attivi, minerali fosfatici, argille, bentonite, ecc) sono stati analizzati, attraverso prove alla scala di laboratorio o pilota, per essere testati come componenti di capping attivo. I materiali attivi possono essere combinati con materiali convenzionali ed anche con geosintetici ("sistemi di capping"), in cui costituiscono una componente dello strato di isolamento chimico;
3. Capping che includono geosintetici o geocompositi: sono capping che utilizzano materiali, quali ad esempio geotessili o "materassini zavorrati", che offrono vantaggi in fase di realizzazione. I materassini zavorrati possono contenere materiali attivi o materiali convenzionali aventi la funzione di "catturare" il contaminante; il loro ricorso rende più controllata la installazione sul fondale dello strato di isolamento chimico. Inoltre, minimizzano la formazione dello strato di rimescolamento tra sedimento contaminato e capping. Questa ultima funzione può essere svolta anche da un geotessile semplice con funzione di separazione tra sedimento contaminato inferiore e capping superiore. I materassini zavorrati richiedono comunque il posizionamento di uno strato superficiale di protezione dall'azione erosiva delle correnti e dal possibile danneggiamento da parte di organismi marini escavatori. In tale tipologia di capping rientrano i

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

“materassini zavorrati ecologici”, nei quali, oltre a quanto previsto per i capping sopra riportato, vengono messe a dimora talee (Posidonia) e rizomi di specie di autoctone, previo taglio di alcune maglie della geostuoia nella parte superiore. Queste tipologie di capping sono utilizzate soprattutto in fondali marini con energia idraulica significativa e denudati: svolgono funzione di protezione rispetto all'erosione marina. Sono strutture permeabili che non ostacolano la filtrazione dell'acqua da e verso la riva. Vanno utilizzate verificandone la stabilità rispetto alle tensioni di trascinarsi dovute all'azione dell'acqua; la resistenza dipenderà dalla presenza della rete metallica e dall'eventuale zavorramento del riempimento.

Per questo lavoro la progettazione ha considerato la tipologia di capping n.3 distinguendo la messa in opera di due tipi di geocomposito:

- Capping passivo: realizzato con sabbia ed un geocomposito convenzionale (PCM);
- Capping attivo: realizzato con sabbia e due tipologie di geocompositi attivi (RCM) il primo ad adsorbente cationico ed il secondo a carboni attivi.

Entrambe le tipologie di capping sono coerenti con i due studi pilota attualmente in corso di realizzazione. Sulla base di questi studi e dei risultati della caratterizzazione del sito, sono state sviluppate considerazioni sulla progettazione, identificando le tipologie di capping da valutare e modellare al fine di determinare la loro efficacia e la loro durata temporale.

5.2 AREA DI INTERVENTO DI CAPPING

Le aree di intervento del capping sono state individuate all'interno del PFTE attraverso uno scenario che combinava due tipi di tecnologie:

1. rimozione selettiva dei sedimenti contaminati e successivo trattamento/refluimento in cassa di colmata/recupero/smaltimento dei sedimenti stessi;
2. capping

Per le aree più vicine alla costa, sollecitate maggiormente dal moto ondoso, è stata prevista la rimozione selettiva dei sedimenti risultanti contaminati. In particolare, la rimozione selettiva, che verrà realizzata per un'area che si estende dalla linea di costa fino alla batimetrica - 5 m, verrà realizzata con tecnologie che limitino drasticamente la risospensione del sedimento, integrate con opportune misure di mitigazione degli effetti sull'ecosistema. Si precisa inoltre che a seguito della rimozione sono previsti interventi di ripristino del fondale marino tramite ripascimento. Per le aree meno sollecitate dalle correnti è stato previsto invece il risanamento dei sedimenti tramite l'utilizzo della tecnologia di capping per un'area che va dalla batimetrica -5m fino alla batimetrica -7m.

Lo scenario proposto prevede quindi la separazione fisica tra l'area in cui i sedimenti contaminanti verranno rimossi e sottoposti al ciclo trattamento/refluimento in cassa di colmata/recupero/smaltimento, da quella esterna in cui i sedimenti contaminati si trovano ad una profondità superiore a quella di chiusura, quota oltre la quale è da ritenersi nullo il trasporto del sedimento. Inoltre, per impedire la migrazione dei sedimenti contaminati di largo verso l'interno dell'area oggetto di risanamento, partendo dalla batimetrica - 7 m, è stata ipotizzata una fascia di 50 metri estesa verso fondali più profondi, in cui si interverrà con una tecnologia di capping. Questa oltre ad intervenire sull'isolamento fisico e chimico dei sedimenti, dovrà impedire la migrazione dei sedimenti contaminati di largo verso l'interno dell'area oggetto di risanamento. Tutto quanto descritto sopra è stato recepito in fase di progettazione. L'immagine seguente e la tavola planimetria individuazione delle aree di capping codice elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-AM-PLA-09-00, individua l'estensione progettuale del capping:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

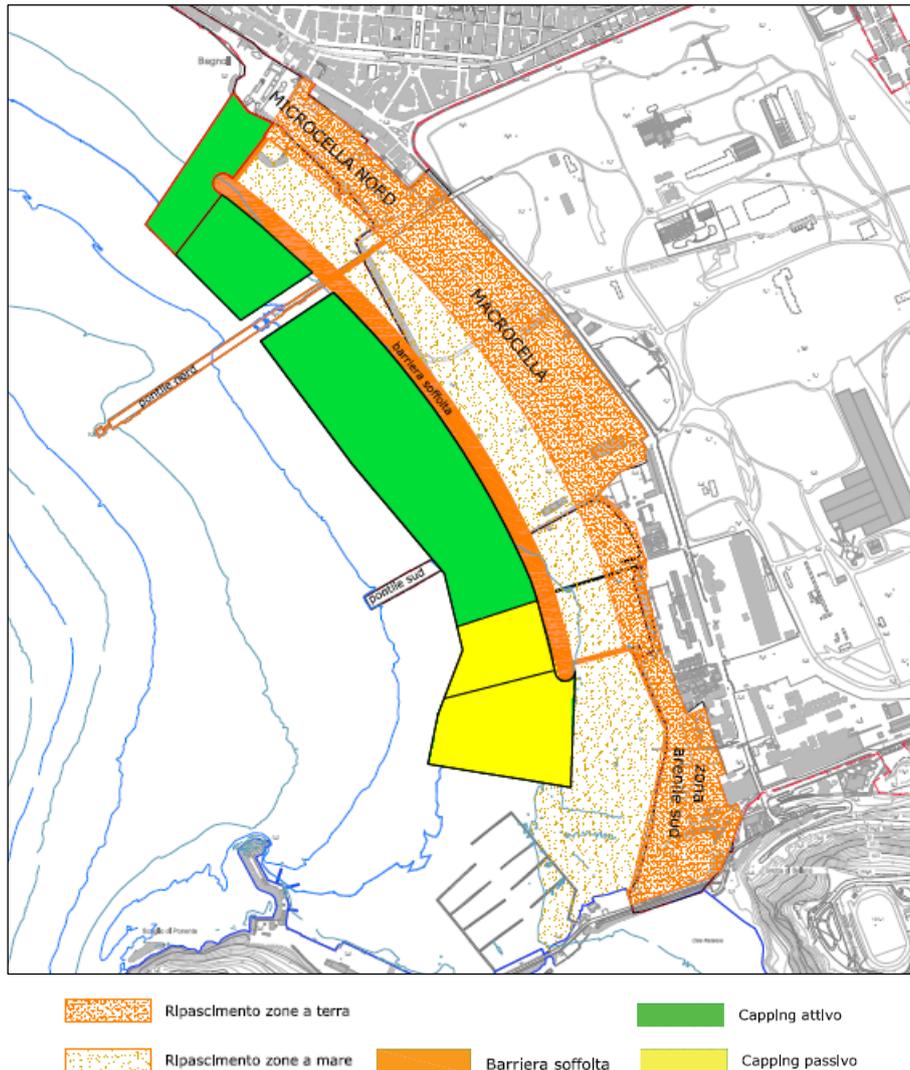


Figura 5.1: Movimentazione e posa dei materassini durante le fasi di test.

5.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE

I criteri di progettazione del capping sono una parte importante della progettazione in quanto saranno utilizzati per valutare se un capping è efficace durante tutto il suo periodo di vita.

Mentre le concentrazioni dei contaminanti presenti nei sedimenti possono essere correlate al rischio ecologico o al rischio per la salute umana, occorre considerare che il sedimento contaminato non è altro che il driver di tale rischio, in quanto il sedimento contaminato entra in contatto con l'acqua interstiziale presente nei pori, con conseguente contaminazione della stessa. Il movimento dei contaminanti all'interno di un capping non dipende dalle particelle di sedimento, ma dall'acqua interstiziale contaminata che si muove attraverso il capping stesso.

Inoltre, alcuni dei contaminanti presenti nell'area hanno costanti di equilibrio sedimento/acqua interstiziale vicine allo zero rispetto ai materiali di copertura che potrebbe essere utilizzati. Questo significa che i suddetti contaminanti non sarebbero assorbiti dalla copertura.

Per quanto sopra detto i risultati della modellazione potrebbero indicare una concentrazione dei sedimenti molto bassa o nulla anche quando la concentrazione dei contaminanti nelle acque interstiziali risulti relativamente alta.

Tutto ciò significa che considerare i valori delle sole concentrazioni dei sedimenti non risulterebbe la scelta idonea, per cui ai fini della progettazione si ritiene più appropriato considerare le concentrazioni dei contaminanti presenti nelle acque interstiziali.

Supponendo che il sedimento sia in equilibrio con l'acqua interstiziale, attraverso il parametro K_d sono state convertite le concentrazioni chimiche dei sedimenti in concentrazioni equivalenti di acqua interstiziale, le quali sono state indicate come criteri di progettazione nel seguente studio. Di seguito in Tabella 5.1 si riportano i valori ottenuti:

Tabella 5.1: Criteri di progettazione

Analiti	Criteri di progettazione per i sedimenti ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	K_d sedimenti-acqua interstiziale (L/kg)	Criteri di progettazione per l'acqua interstiziale (L/kg)
Arsenico	29.000	316	91,8
Cadmio	1.000	3980	0,251
Cromo	150.000	Freundlich Estimate	0,000308
Rame	65.000	15800	4,11
Mercurio	700	Freundlich Estimate	0,000000000618
Piombo	103.000	126000	0,817
Zinco	158.000	5010	31,5
Benzo(a)pirene	100	25784	0,00388
Idrocarburi C > 12	50.000	135	369
Sommatoria IPA	1.000	42	23,9

Le fonti dei valori K_d o dei parametri di Freundlich per ciascun analita sono presentate in Appendice A. Per gli analiti con valori di K_{oc} , sono stati convertiti in valori K_d assumendo la frazione media di sedimento di carbonio organico (F_{oc}) di 0.027.

5.3.1 Capacità di assorbimento e reattività

Per controllare la migrazione dei contaminanti presenti nell'acqua interstiziale attraverso il capping, il materiale usato per la copertura dovrà fornire una certa capacità ad estrarre i contaminanti dall'acqua interstiziale (adsorbimento) oppure indurre una reazione. Dato che i contaminanti presenti nel sito non subiscono facilmente reazioni all'interno dei sedimenti, l'attenzione della progettazione del capping è stata posta sulla capacità di adsorbimento dei geocompositi.

5.3.2 Geocompositi

In base ai dati raccolti dalle attività di caratterizzazione, ai test in corso e alle informazioni di letteratura, per le aree interessate dall'installazione di tipo reattivo, è stato deciso di optare per un geocomposito capace di adsorbire contaminanti organici mediante carboni attivi, contenuti tra due teli di tessuto non tessuto (tnt) in PP; il geocomposito dovrà rispettare almeno queste indicazioni di fabbrica:

- spessore totale di 14 mm

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

- peso unitario dello strato attivo pari a 3.400 g/m².

Inoltre, sarà necessario un secondo geocomposito agugliato capace di adsorbire i metalli pesanti mediante adsorbente cationico contenuto tra uno strato di supporto inferiore (geotessile tessuto in PP) ed uno strato superiore costituito da un geotessile non tessuto in PP. Il geocomposito dovrà rispettare almeno queste indicazioni di fabbrica

- spessore totale di 4,5 mm
- peso unitario dello strato attivo pari a 3.000 g/m².

Nella figura successiva si mostrano i geocompositi reattivi:



Figura 5.2: Geocomposito filtrante reattivo per composti organici



Figura 5.3: Geocomposito filtrante reattivo per metalli

Per quanto riguarda le aree interessate dall'installazione di tipo passivo è stato deciso di optare per un geocomposito filtrante ad elevata stabilità, composto da due geotessili filtranti e riempito in sabbia di quarzo capace di semplificare la posa del materiale ed evitare possibili spostamenti a causa della corrente. In questo modo il sistema di rivestimento risulta essere di semplice posa in opera e con prestazioni filtranti stabili e uniformi anche in condizioni sommerse.

Il geocomposito dovrà rispettare almeno queste indicazioni di fabbrica

- spessore totale di 12 mm
- peso unitario dello strato di sabbia pari a 4.750 g/m²



Figura 5.4: Geocomposito filtrante passivo con sabbia

5.3.3 Posizionamento dei materiali

Anticipatamente al posizionamento dei geocompositi, il sedimento dovrà essere ripulito e privato dai detriti che potrebbero causare strappi e rotture del capping o un posizionamento irregolare dello stesso. Prima di posizionare i materassini sul fondo sarà necessario regolarizzarlo mediante uno strato di sabbia, per fornire una superficie piana liscia su cui posizionare i geotessuti. Al fine di realizzare una corretta posa in opera dei materiali necessari alla riuscita del capping, occorre considerare un certo margine di tolleranza nel posizionare ogni singolo strato. Per garantire che i geocompositi coprano efficacemente l'intera area di capping è stata prevista una sovrapposizione di 1,0 m tra i vari geocompositi, sia nelle direzioni di lunghezza che di larghezza del materiale. Questa sovrapposizione fornisce un minimo margine di errore per il posizionamento o qualsiasi spostamento durante il posizionamento del livello di isolamento fisico.

5.3.4 Meccanismi di rilascio dei contaminanti

La fonte primaria di contaminazione nel sito proviene dalle attività industriali presenti nel territorio attualmente cessate; si ritiene pertanto che il meccanismo principale del rilascio dei contaminanti in mare sia dovuto agli scarichi storici del sito.

Tuttavia, dobbiamo considerare che parametri come metalli, ritenuti contaminanti sono anche presenti naturalmente nel sito e possono rappresentare una fonte continua di rilascio dovuto sia al trasporto di sedimenti dalla superficie circostante sia attraverso concentrazioni nelle acque superficiali. Inoltre, nella parte nord del sito è presente un grande scolo di acqua piovana che può essere una fonte sia di metalli che di idrocarburi. Allo stato attuale una ulteriore fonte di contaminazione del sito potrebbe provenire dalla percolazione delle acque piovane. Lo studio eseguito indica che le caratteristiche chimiche delle acque piovane di ruscellamento potrebbero rappresentare un percorso di trasporto della contaminazione proveniente dalle zone retrostanti. Il potenziale di ricontaminazione del capping proveniente dall'acqua piovana e dai metalli presenti in natura potrebbe annullarsi con la riqualificazione dell'area di Bagnoli che prevede un progetto di rimozione della colmata, il ripascimento degli arenili e la realizzazione di nuove infrastrutture capaci di convogliare scarichi conformi in mare.

5.3.5 Stabilità

Sulla base della modellazione idrodinamica e del trasporto dei sedimenti, una mareggiata con tempo di ritorno di 100 anni potrebbe mobilitare particelle inferiori a 5 mm. Per evitare la potenziale erosione del capping, qualsiasi materiale di copertura con particelle di dimensioni inferiori a 5 mm richiederà il posizionamento di particelle più grandi all'interfaccia idrica superficiale con il capping come la posa di ghiaia. Ciò garantirà che l'erosione del materiale di copertura non si verifichi anche in presenza di onde con tempo di ritorno di 100 anni o sollecitazioni equivalenti.

5.3.6 Qualità in fase costruttiva

In fase esecutiva dovrà essere sviluppato un piano di progetto di garanzia della qualità della costruzione del capping, che dovrà prevedere e garantire che i materiali costitutivi del capping siano costruiti e documentati con un livello adeguato di garanzia e controllo della qualità. Questo piano dovrà includere misure per monitorare e

documentare la qualità dei materiali usati e le condizioni e le modalità della loro installazione costruzione ed eventuale rimozione. Il piano dovrà includere inoltre quanto segue:

- scopo e definizione dell'assicurazione e del controllo della qualità;
- ruoli e responsabilità dei membri del progetto in relazione alla qualità della costruzione;
- documenti e riunioni pertinenti necessari per raggiungere gli obiettivi di garanzia della qualità;
- piani e controlli specifici per la mobilitazione, la costruzione del tappo, il ripristino del sito e la mobilitazione

5.4 TIPOLOGIA DI CAPPING VALUTATI

Come discusso all'inizio del capitolo 5 sulla base delle caratteristiche del sito e delle considerazioni progettuali, sono state valutate le seguenti tipologie di capping:

- **Capping passivo** con sola sabbia (dall'alto verso il basso):
 - strato di protezione dall'erosione di 10 cm composto da materiale ghiaioso;
 - strato di isolamento fisico di 60 cm composto da materiale sabbioso;
 - geocomposito filtrante passivo con sabbia (PCM);
 - strato di base con spessore di 20 cm composto da materiale sabbioso.
- **Capping reattivo** (dall'alto verso il basso):
 - Strato di protezione dall'erosione di 10 cm composto da materiale ghiaioso;
 - Strato di isolamento fisico di 60 cm composto da materiale sabbioso
 - Geocomposito filtrante reattivo per composti organici (RCM);
 - Geocomposito filtrante reattivo per metalli (RCM);
 - Strato di base con spessore di 20 cm composto da materiale sabbioso.

Di seguito vengono descritti nel dettaglio i vari strati che compongono i capping.

5.4.1 Strato di miscelazione e consolidamento

Gli strati di miscelazione e consolidamento sono importanti per garantire la presenza di una base uniforme e stabile su cui posizionare la copertura, in particolare per il materiale RCM. E' stato scelto di prevedere uno strato di miscelazione e consolidamento (strato di base) per migliorare la posa del capping durante il posizionamento dei geotessuti. Si presume che lo strato inferiore di sabbia per entrambi i modelli possa avere una tolleranza di errore di +/- 10 cm (ovvero uno spessore da 10 a 30 cm) per garantire un posizionamento più semplice degli strati superiori.

5.4.2 Strato di isolamento chimico

Per strato di isolamento chimico si intende la porzione del capping utilizzata per impedire il trasporto di sostanze chimiche tra il sedimento contaminato, la sovrastante acqua superficiale e la comunità bentonica.

Nella tipologia di capping passivo è lo strato di isolamento fisico, costituito da 60 cm di sabbia, che funge anche da strato di isolamento chimico, fornendo una barriera tra il biota e il sedimento contaminato sottostante. Questo strato fornisce anche una certa capacità di assorbimento per la contaminazione che potrebbe migrare attraverso l'acqua interstiziale. Inoltre, offre una protezione fisica per i geotessuti soggetti alle pressioni dell'acqua superficiale e alla bioturbazione. La sabbia nello strato di fondo è in grado di fornire anche un certo isolamento chimico.

Per la tipologia di capping attivo, il materiale reattivo presente nei geocompositi è progettato specificamente per adsorbire rispettivamente i contaminanti di metallo e carbonio organico nell'acqua interstiziale. Pertanto, sebbene non abbiano spessori pari allo strato di isolamento fisico, questi materiali agiscono per abbattere chimicamente i contaminanti all'interno del materiale attivo e rimuoverli dall'acqua interstiziale.

5.4.3 Strato di protezione dall'erosione

Lo strato di protezione dall'erosione è progettato con particelle sufficientemente grandi da resistere all'erosione all'interno dell'area di capping. Gli strati di protezione dall'erosione possono essere gli stessi dello strato di isolamento chimico. Tuttavia, come descritto nel paragrafo 5.3.5, la modellazione idrodinamica dei sedimenti ha indicato che le particelle inferiori a 5 mm sono soggette a potenziale erosione con un evento temporalesco di 100 anni. Pertanto, la sabbia prevista per essere utilizzata come parte dello strato di isolamento chimico/fisico sarebbe soggetta ad erosione se esposta all'acqua superficiale. La struttura del capping include uno strato appositamente progettato per prevenire l'erosione avente granulometrie da 5 a 19 mm.

5.4.4 Strato dell'habitat

Lo strato di habitat rappresenta lo strato funzionale superiore del capping dove possono crescere le comunità bentoniche e la vegetazione. Benché siano attualmente in corso test di ricostruzione naturale dell'habitat mediante trapianto di *Posidonia Oceanica*, a causa della necessità di uno strato di ghiaia di protezione dall'erosione, non è certo se questo sosterrà le comunità bentoniche esistenti. Lo strato di erosione a seguito di qualsiasi riempimento con sedimenti appena depositati può fungere da strato di habitat. Inoltre, la parte superiore dello strato di isolamento fisico (costituito da sabbia) fungerà probabilmente da strato di habitat a seconda dell'esatta profondità dell'attività della comunità bentonica nel sito. Pertanto, nessun strato di habitat esplicito è stato incluso come parte della progettazione. Non si esclude che al termine dei test attualmente in corso e solo a seguito di esiti positivi si possa procedere alla piantumazione di specie autoctone.

5.5 MODELLAZIONE CON CAPSIM

Per lo studio del capping è stato usato il software CapSim (versione 4.1) al fine di modellare il trasporto di sostanze chimiche attraverso gli strati del capping. Con CapSim è possibile stimare le concentrazioni di acqua interstiziale negli strati del capping. Il software è stato in grado di simulare diversi processi, tra cui strati multipli di materiali e miscele, processi di avvezione/diffusione/dispersione, bioturbazione, risalita delle acque sotterranee e flussi di marea, consolidamento e deposizione di sedimenti, assorbimento transitorio o di equilibrio lineare o non lineare, scambio all'interfaccia sedimento-acqua e dinamica di più specie con reazioni collegate nei sedimenti. Con il software CapSim è stata realizzata una modellazione attraverso le due metodologie di capping individuato.

5.5.1 Input di modellazione

Questa sezione elenca gli input del modello selezionato e le ipotesi:

- 1. Proprietà chimiche:** le proprietà chimiche come il peso molecolare, la diffusività in acqua e il coefficiente di partizione del carbonio organico disciolto (K_{doc}) sono state ottenute dal database CapSim incluso nel software di modellazione.
- 2. Proprietà del materiale del capping:** proprietà fisiche come densità apparente, dimensione delle particelle, permeabilità, porosità, frazione di carbonio organico dei geocompositi e sabbia sono stati ottenuti dalle fonti specificate in Appendice B. Le proprietà del sedimento, ad eccezione della permeabilità, sono state ottenute dai risultati discussi nelle Sezioni 5.1 e 5.1.2. Per quanto riguarda la permeabilità del sedimento è stata assunta un valore predefinito del software CapSim di 10^{-7} cm².
- 3. Proprietà di assorbimento:** i coefficienti di assorbimento rilevanti, inclusi K_{oc}, K_d e parametri per le isoterme di Freundlich o Langmuir sono basati sui parametri di assorbimento ottenuti dalla letteratura disponibile e/o dalle schede tecniche dei materiali utilizzati in fase di test. I coefficienti di assorbimento per ciascuna combinazione di materiale di copertura e contaminante sono presentati in Appendice A.
- 4. Proprietà di assorbimento:** i coefficienti di assorbimento rilevanti, inclusi K_{oc}, K_d e parametri per le isoterme di Freundlich o Langmuir, sono basati sui parametri di assorbimento ottenuti dalla letteratura disponibile e/o dalle schede tecniche dei materiali utilizzati in fase di test. I coefficienti di assorbimento per ciascuna combinazione di materiale di copertura e contaminante sono presentati in Appendice A.
- 5. Equilibrio e proprietà di reazione:** è stato ipotizzato che nel sistema non fosse presente alcuna reazione chimica; pertanto, questi processi non sono stati modellati.
- 6. Proprietà livello:** è stato ipotizzato che la dispersione idrodinamica fosse pari al 10% dello spessore dello strato in ogni singolo strato, coerente con il valore predefinito in CapSim. La concentrazione di materia organica disciolta *w* è stata assunta pari a 0 mg/L. Il manuale CapSim consiglia di utilizzare il modello Millington & Quirk per la correzione della tortuosità negli strati e il modello Boudreau per i materiali consolidati (CapSim 2020.8). Pertanto, il modello Millington & Quirk è stato selezionato per sabbia, carbone attivo e adsorbente cationico e il modello Boudreau è stato selezionato per i sedimenti.
- 7. Processo sedimentario:** nel sistema non viene ipotizzato alcuno scambio iporreico, erosione o consolidamento, Come descritto nella Sezione 4.3, la profondità di bioturbazione è stata assunta pari a 15 cm. Il coefficiente di

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

- biodiffusione delle particelle e il coefficiente di biodiffusione dell'acqua interstiziale sono stati mantenuti come valore predefinito CapSim di $1 \text{ cm}^2/\text{anno}$ e $10 \text{ cm}^2/\text{anno}$. Nessuna attività ionica è stata assunta in questo sistema.
- 8. Condizioni iniziali dei contaminanti:** la concentrazione iniziale del sedimento è stata scelta come valore massimo dalla concentrazione media calcolata per ciascuna profondità di campionamento, come mostrato nella Tabella 4.1. Per le concentrazioni iniziali dell'acqua interstiziale, si è ipotizzato che fossero in equilibrio con la concentrazione di solidi del sedimento. Pertanto, il modello CapSim è stato in grado di calcolarlo in automatico in base al relativo coefficiente di assorbimento. Come dato di partenza è stato assunto che il materiale di copertura composto da sabbia e geocompositi sia privo di tutti i contaminanti, pertanto, i dati di input iniziale sono stati impostati pari a zero.
 - 9. Condizioni al contorno bentoniche:** la condizione al contorno bentonica è stata impostata sulla condizione al contorno del trasferimento di massa. Viene utilizzato il coefficiente di trasferimento di massa predefinito e pari a $8.760 \text{ cm}^3/\text{anno}$. Ciò corrisponde a $1 \text{ cm}/\text{ora}$ tipico per un coefficiente di trasferimento di massa (CapSim 2020.10).
 - 10. Condizioni al contorno del fondo:** la condizione del fondo è stata fissata per il modello eseguito alla stessa concentrazione di acqua interstiziale della condizione iniziale. Pertanto, la concentrazione di acqua interstiziale sul fondo di uno strato di sedimenti contaminati è stata calcolata dalla concentrazione media di sedimenti nello strato più contaminato per ciascuna sostanza chimica assumendo che il sedimento e l'acqua interstiziale siano in equilibrio (Tabella 4.1).

6 SCELTE PROGETTUALI A SEGUITO DELLA MODELLAZIONE

In questo capitolo saranno presentati i risultati della modellazione:

6.1 CAPPING PASSIVO

Sulla base dei risultati della modellazione la durata del capping passivo dipende principalmente dalle concentrazioni dei contaminanti.³ La tabella successiva mostra l'efficacia del capping⁴ :

Tabella 6.1: Efficacia del capping passivo

Analita	Durata del capping (anni) ⁵	Concentrazione acqua interstiziale (µg/L) ⁶	Criteri di progettazione (µg/L)
Arsenico	19	85.2	91.8
Cadmio ⁷	0	NA	0.251
Cromo	30	0.00029	0.000308
Rame ⁸	100	3.2	4.11
Piombo	0	NA	0.817
Mercurio	100	0	0.0000000000618
Zinco	0	NA	31.5
BaP	100	0.0033	0.00388
Sommatoria IPA	1	19.8	23.9
Idrocarburi C>12	2	357	369

I dati della colonna "durata del capping" sono la conseguenza di una modellazione che ha tenuto conto delle massime concentrazioni medie di contaminazione presente negli strati (riferimento Tabella 4.1 sintesi della qualità dei sedimenti). Ad esempio, per l'arsenico le concentrazioni medie del sedimento vanno da 66.000 µg/kg nello strato 50-100 cm a 230.000 µg/kg nello strato da 300 a 400 cm. In questo caso si è scelto il valore pari a 230.000 µg/kg come condizione iniziale conservativa.

Arsenico

Dalla tabella sopra si può vedere che il capping di sabbia risulta protettivo per l'arsenico fino a 19 anni. Tuttavia, i risultati dell'arsenico in tabella sono basati sulla concentrazione dello strato di profondità compreso tra 3,0 e 4,0 m. e non sulla concentrazione superficiale compresa tra 0 e 50 cm pari di 77.000 µg / kg. Pertanto, considerando la concentrazione pari a 77.000 ug/kg questa tipologia di capping risulterebbe efficace per un tempo di 49 anni. Inoltre,

³ Ai fini della presente relazione, la durata di progetto di un capping per un contaminante specifico è il numero di anni in cui la concentrazione di acqua interstiziale del contaminante è inferiore ai criteri di progettazione a 15 cm (fondo della zona di bioturbazione).

⁴ I PCB non hanno criteri di progettazione, ma sulla base di una revisione dei risultati della modellazione, il capping di sola sabbia risulta efficace nel ridurre la concentrazione disponibile di PCB nell'acqua interstiziale.

⁵ Ai fini della presente relazione, la durata di progetto del capping per un contaminante specifico è il numero di anni in cui la concentrazione di acqua interstiziale del contaminante è inferiore ai criteri di progettazione a 15 cm (fondo della zona di bioturbazione).

⁶ Questa è la concentrazione di acqua interstiziale modellata a 15 cm (fondo della zona di bioturbazione) alla fine della vita del progetto.

⁷ I risultati per il cadmio sono esclusivamente un equilibrio di diffusione tra l'acqua dei sedimenti e le acque superficiali, poiché si presume che la sabbia non abbia capacità di assorbimento e le concentrazioni di acque superficiali di cadmio sono inferiori ai criteri di progettazione.

⁸ La concentrazione di acqua interstiziale dei sedimenti utilizzata per la modellazione non supera i criteri di progettazione.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

va considerato il fatto che il parametro Arsenico è un elemento naturale abbondante in sito al quale difficilmente è applicabile un limite di intervento.

Piombo e Zinco

Poiché il piombo e lo zinco hanno entrambi concentrazioni medie di acqua interstiziali e acque superficiali superiori ai criteri di progettazione e non vi è assorbimento di questi composti nella sabbia, la modellazione indica che questo tipo di capping non è mai protettivo per questi composti. Detto quanto sopra questa tipologia di capping sarebbe efficace solo nelle aree in cui le concentrazioni di sedimenti di piombo e zinco risultano inferiori ai criteri di progettazione.

Cadmio

I risultati per il cadmio sono esclusivamente un equilibrio di diffusione tra l'acqua dei sedimenti e le acque superficiali, poiché si presume che la sabbia non abbia capacità di assorbimento e le concentrazioni di acque superficiali di cadmio sono inferiori ai criteri di progettazione.

Idrocarburi C>12 e IPA

Risulta essere presente una minima capacità di abbattimento per i parametri idrocarburi >C12 e sommatoria di IPA rispettivamente per un tempo pari a due anni e un anno.

Per la sommatoria IPA questo risultato è principalmente guidato dal naftalene che supera da solo dopo 1 anno i criteri di progettazione della Sommatoria di IPA.

A valle dei risultati ottenuti dalla modellazione e dalle considerazioni indicate sopra, il capping passivo costituito dalla sola sabbia potrebbe essere efficace nelle aree in cui le concentrazioni di piombo, zinco, idrocarburi C>12 e sommatoria IPA risultino minori dei limiti normativi.

Dai risultati dello studio redatto dalla Stazione Zoologica "Anton Dohrn" incaricata dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (AbbaCo) è stata valutata la possibilità di inserire il capping passivo con la sola sabbia nella "Zona Arenile Sud" (ricadente nella Macroarea 2), comprendente l'intero Arenile Sud in quanto in quest'area le concentrazioni dei sedimenti prelevati risultano conformi ai limiti normativi. In tabella successiva sono mostrati i risultati:

Tabella 6.2: Risultati delle caratterizzazioni eseguite in zona arenile sud

Tipologia di Capping		Attivo	Passivo			
Sondaggio	Profondità (m)	VC 70	VC 71	VC 81	VC 82	Limiti
Unità di misura		mg/Kg				
Piombo	0.0- 0.50	214	40.8	68.6	60.6	103
Zinco	0.0- 0.50	315	93.6	129	101	158
IDROC C>12	0.0- 0.50	80	34	28	53	50
Sommatoria IPA	0.0- 0.50	13.0	0.432	0.681	0.386	1

Nell'area in cui si andrà ad installare il capping passivo i risultati riportati in Tabella 5.3 mostrano un solo superamento del limite normativo riscontrato nel parametro Idrocarburi C>12 prelevato dal sondaggio VC82. La concentrazione riscontrata è comunque di poco superiore al limite normativo. Il campione VC70 rappresenta il limite dell'installazione della tipologia di capping. In figura successiva si mostra l'area sulla quale si prevede di installare la tipologia di capping passivo e l'ubicazione dei sondaggi eseguiti:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

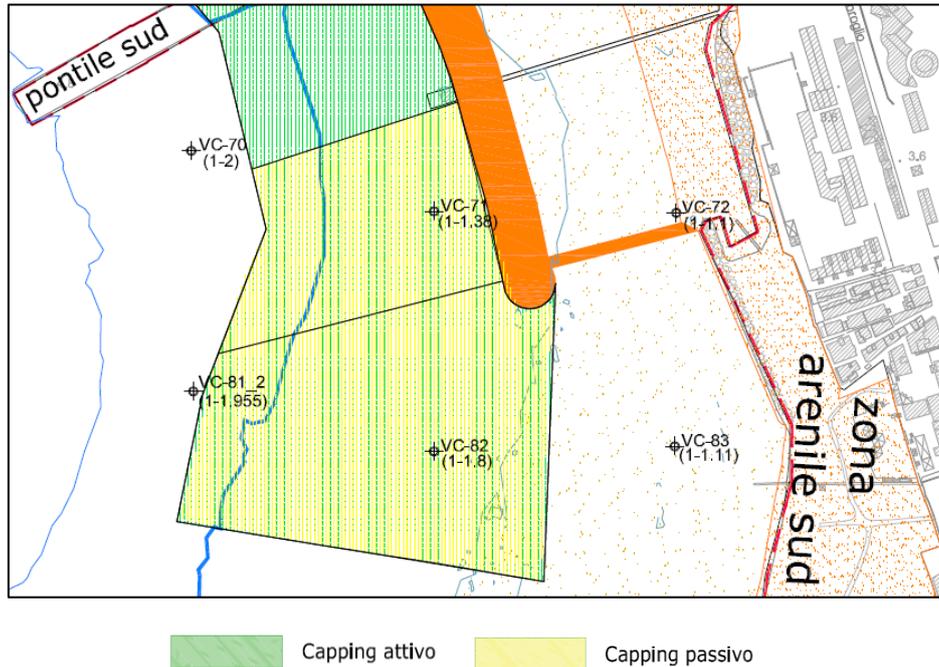


Figura 6.1: Superficie di capping passivo

La superficie di capping passivo stimata all'interno della macrocella dell'arenile sud è pari a:

Tabella 6.3: Superficie stimata di capping passivo

Area	Superficie (mq)
Macrocella colmata	29.284
Macrocella arenile sud	57.326

Per la macrocella arenile sud sono riportate le elaborazioni complessive dei risultati della caratterizzazione. In quest'area sono state prodotte le mappe di concentrazione per i singoli inquinanti alla profondità compresa tra 0 e 50 cm. Nella creazione delle mappe sono stati considerati i limiti di riferimento del D. Lgs 152/2006 (colonna A e colonna B della Tab. 1 dell'Allegato 5), i valori d'intervento definiti da ICRAM per i siti di bonifica di interesse nazionale della Regione Campania per la definizione della qualità dei sedimenti (doc. ICRAM # CII-Pr-CA-valori intervento - approvato dalla Conferenza di Servizi "decisoria" del 10/05/2005), i valori di fondo come modificati dalla Segreteria tecnica presso il Ministero dell'Ambiente in data 20/05/01. Di seguito si mostrano le mappe per i contaminanti considerati:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

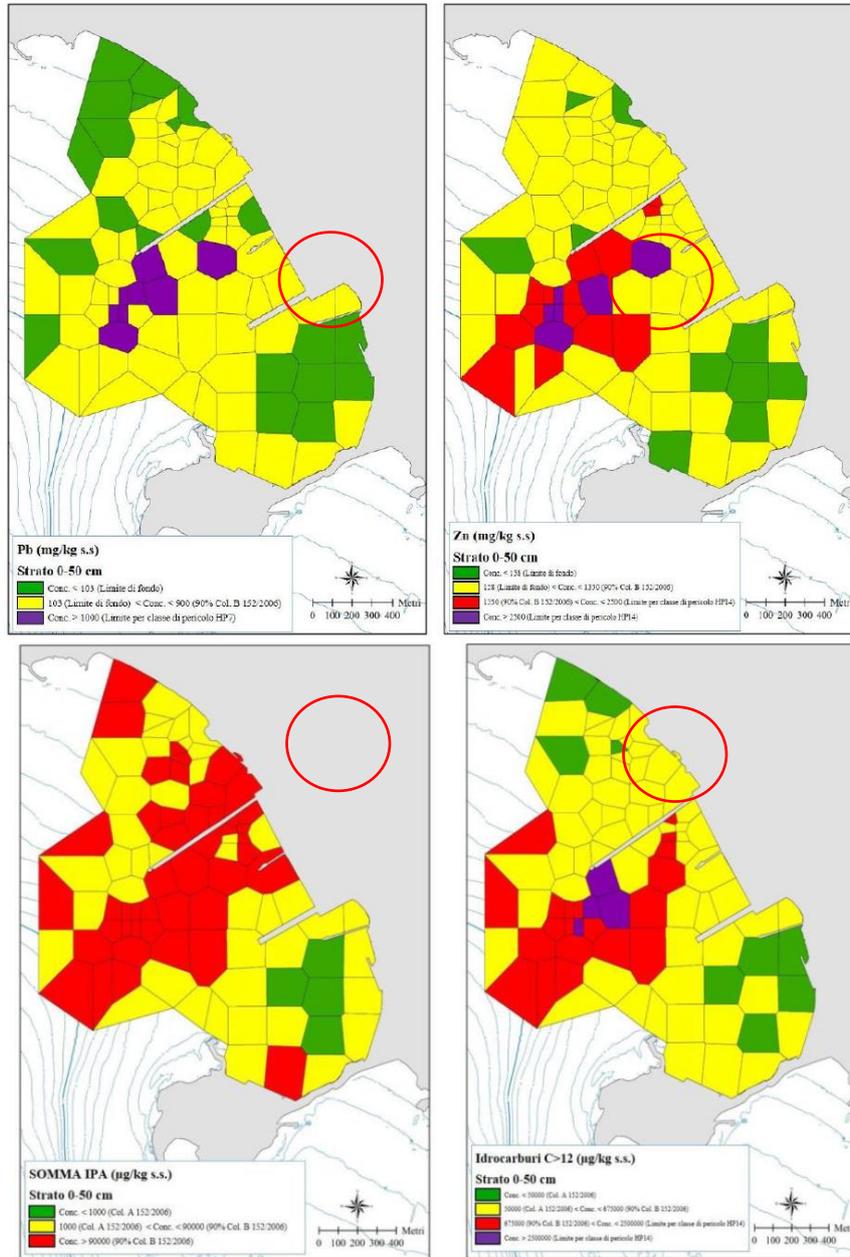


Figura 6.2: Mappe di concentrazione

Le figure delle mappe di concentrazione mostrano graficamente i risultati della Tabella 5.3. Come indicato nelle mappe il posizionamento del capping passivo è progettato in aree a bassa contaminazione. La mappa della sommatoria degli IPA mostra chiaramente una cella di contaminazione presente nei pressi della penisola di Nisida. Per la progettazione del *capping* si fa riferimento alla tensione tangenziale al fondo, generata da una combinazione di onde e correnti, ossia tenendo conto sia del contributo dei *radiation stress*, sia soprattutto delle velocità orbitali delle onde che, in assenza del *capping*, possono mettere in sospensione il materiale costituente il fondale anche a profondità ben superiori rispetto a quelle "attive" dal punto di vista della morfodinamica costiera. Nel presente studio la distribuzione delle tensioni tangenziali nell'area di intervento è stata studiata mediante l'applicazione di opportuna modellistica numerica in riferimento ad una condizione cautelativa, ossia al picco della mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni. Le tensioni tangenziali al fondo, per questa mareggiata eccezionale, sono significative nella fascia compresa tra le batimetriche di -10 m e -5 m, fatta eccezione per la zona a tergo della penisola di Nisida che

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

risulta protetta sia dalla penisola stessa, che dal molo dell'omonimo porticciolo. In generale lo studio del clima ondoso ha mostrato che il settore prevalente di direzione delle onde è quello da Sud-Ovest; per queste direzioni, grazie all'effetto schermo offerto dalla penisola di Nisida e dal molo del porticciolo e grazie agli importanti fenomeni di rifrazione (ossia la tendenza dei fronti d'onda a disporsi parallelamente alle isobate), le onde raggiungono il tratto costiero meridionale con un'energia molto attenuata. Di conseguenza anche le velocità orbitali ed i *radiation stress*, e quindi le tensioni tangenziali da esse generati, risultano modesti. D'altra parte, dal settore di Nord-Ovest, per il quale le onde risulterebbero pressoché perpendicolari a questo tratto di litorale e non schermate da Nisida, le onde sono in generale basse e poco frequenti. Per quanto sopradetto, si ritiene che il basso moto ondoso presente nel poligono potenzialmente contaminato da IPA a Nisida non provochi la messa in sospensione dei sedimenti contaminati costituenti il fondale. In figura successiva si mostra la distribuzione delle tensioni tangenziali al fondo al picco della mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni.

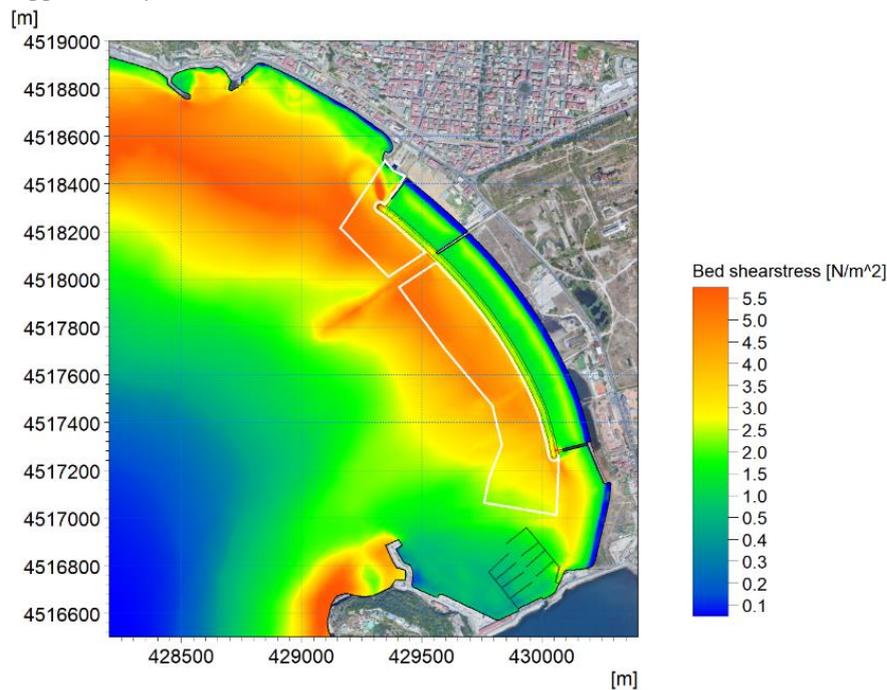


Figura 6.3: Distribuzione delle tensioni tangenziali al fondo al picco della mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni

6.2 CAPPING ATTIVO

In questo paragrafo saranno descritti i risultati della modellazione ottenuti ipotizzando l'installazione di un capping attivo che prevede l'utilizzo di due strati di geocompositi ad adsorbente cationico e carbone attivo. Questo modello mostra una riduzione dei contaminanti al di sotto dei criteri di progettazione nel periodo di modellazione di 100 anni. In tabella successiva si riportano i risultati ottenuti:

Tabella 6.4: Efficacia del capping attivo

Analita	Durata del capping (anni) ⁹	Concentrazione acqua interstiziale ($\mu\text{g/L}$) ¹⁰	Criteri di progettazione ($\mu\text{g/L}$)
Arsenico	25	90.8	91.8

⁹ Ai fini della presente relazione, la durata di progetto di un capping per un contaminante specifico è il numero di anni in cui la concentrazione di acqua di poro del contaminante è inferiore ai criteri di progettazione a 15 cm (fondo della zona di bioturbazione).

¹⁰ Questa è la concentrazione di acqua interstiziale modellata a 15 cm (fondo della zona di bioturbazione) alla fine della vita del progetto.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

Analita	Durata del capping (anni) ⁹	Concentrazione acqua interstiziale (µg/L) ¹⁰	Criteri di progettazione (µg/L)
Cadmio	100	0.0671	0.251
Cromo ¹¹	31	0.000269	0.000308
Rame	100	1.77	4.11
Piombo	0	NA	0.817
Mercurio	100	0	0.000000000618
Zinco	4	29.4	31.5
Bap	100	0.00268	0.00388
Sommatoria di IPA	10	23.8	23.9
Idrocarburi C>12	49	362	369

Come per la modellazione del capping passivo, anche in questo caso i dati della colonna "durata del capping" sono la conseguenza di una modellazione che ha tenuto conto delle massime concentrazioni medie di contaminazione presente negli strati (riferimento Tabella 4.1 sintesi della qualità dei sedimenti). Queste concentrazioni pongono il modello nella massima condizione conservativa.

Arsenico

Dalla Tabella 5.5 si può vedere che il capping attivo risulta protettivo per l'arsenico fino a 25 anni. Tuttavia, i risultati dell'arsenico in tabella sono basati sulla concentrazione dello strato di profondità compreso tra 3,0 e 4,0 m. e non sulla concentrazione superficiale compresa tra 0 e 50 cm pari di 77.000 µg / kg. Pertanto, considerando la concentrazione pari a 77.000 ug/kg questa tipologia di capping risulterebbe efficace per un tempo di 63 anni.

Inoltre, va considerato il fatto che il parametro arsenico è un elemento naturale abbondante in sito al quale difficilmente è applicabile un limite di intervento.

Piombo e Zinco

L'installazione del capping attivo per i parametri piombo e zinco risulta non essere efficace in parte a causa, della ricontaminazione dalle concentrazioni delle acque superficiali. Nella porzione superficiale di capping al di sopra dei materassini per uno spessore di circa 30 cm, le concentrazioni di piombo sono al di sotto dei criteri di progettazione per un tempo di 28 anni. Per il parametro zinco la tipologia di capping risulterebbe efficace per un tempo di 4 anni nei soli strati vicini al geocomposito. Il potenziale di ricontaminazione del capping proveniente dall'acqua piovana e dai metalli presenti in natura potrebbe annullarsi con la riqualificazione dell'area di Bagnoli che prevede un progetto di rimozione della colmata, il ripascimento degli arenili e la realizzazione di nuove infrastrutture capaci di convogliare scarichi conformi in mare.

Idrocarburi e IPA

L'efficacia del capping attivo per gli idrocarburi risulta essere aumentata da 2 a 49 anni e da 1 a 10 anni per la sommatoria IPA. Per la sommatoria degli IPA, questi risultati sono influenzati dalle concentrazioni di naftalene. Escludendo tale parametro, il capping attivo risulterebbe efficace per 37 anni.

Dai risultati della caratterizzazione del sito è stato valutato la necessità di inserire il capping di tipo reattivo in una superficie pari a:

Tabella 6.5: Superficie stimata di capping attivo

Area	Superficie (mq)
Microcella arenile nord	32.163
Macrocella colmata	185.698

Di seguito si mostra la planimetria con l'ubicazione del capping attivo:

¹¹ Analogamente al capping passivo, le concentrazioni di cromo a 15 cm iniziano a superare i criteri di progettazione a 32 anni a causa delle concentrazioni di acque superficiali che causano fenomeni di ricontaminazione del capping.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

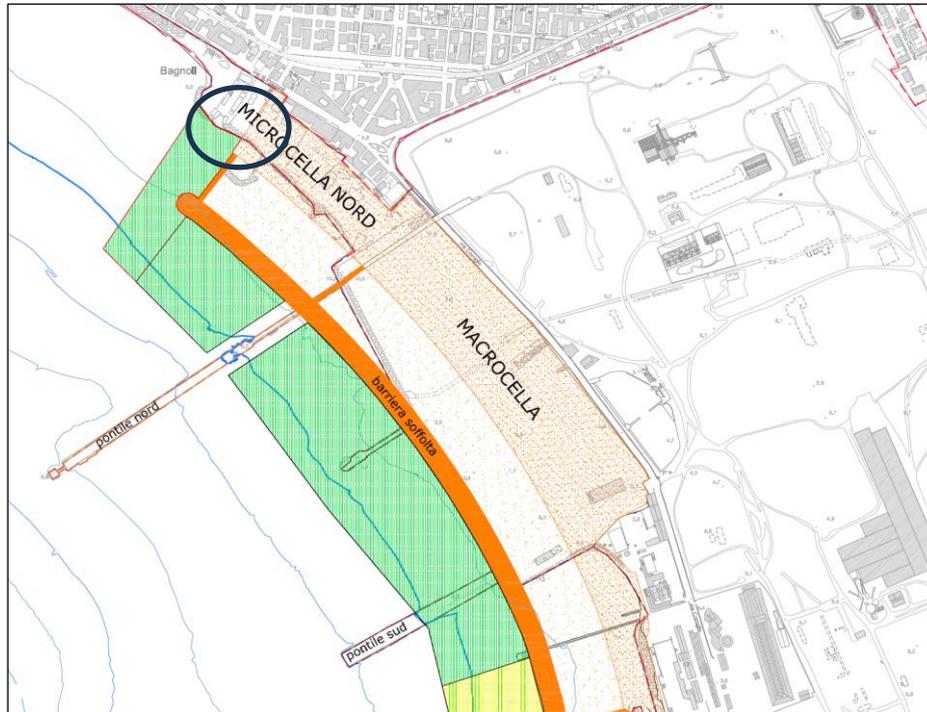


Figura 6.4: Superficie di capping attivo (nel cerchio è indicato l'area prospiciente lo scolmatore)

Come si vede in figura, è stato previsto l'utilizzo del capping attivo anche allo sbocco dello scolmatore nella microcella Nord. Nella realtà si tende a non installare il capping alle batimetrie più vicine alla costa in quanto sollecitate maggiormente dal moto ondoso. Il motivo per cui in quest'area è necessaria l'installazione del capping è dovuto alla difficoltà di riuscire a operare con una draga a causa del basso fondale che non permette la corretta esecuzione del lavoro. Vista la particolarità dell'area, si ritiene che in fase esecutiva debba essere predisposto un piano di monitoraggio strutturale che preveda frequenti controlli e di tenuta del capping.

7 STRUTTURA E POSA IN OPERA DEL CAPPING

In base a quanto sopra esposto in questo capitolo saranno descritte la struttura delle due tipologie di capping considerate, i quantitativi dei materiali da utilizzare per la costruzione degli stessi e le varie fasi operative di installazione.

7.1 STRUTTURA DEL CAPPING

La struttura che andremo a descrivere sarà a partire dal basso verso l'alto. In entrambe le tipologie di capping è prevista la posa di:

1. **Strato di base con spessore pari a 20 cm:** questo strato dovrà essere composto da sabbia opportunamente livellata per migliorare la posa del capping durante il posizionamento dei geotessuti. Inoltre, il materiale (sabbia) da utilizzare dovrà essere certificato con caratteristiche chimico fisiche prestazionali nonché di Classe di Qualità A ai sensi dell'Allegato tecnico al DM 173/2016. Per questo strato si stima un quantitativo di sabbia pari a 60.894,20 mc suddiviso in:
 - capping attivo 43.572,20 mc
 - capping passivo 17.322 mc
2. **Geocompositi:**
 - Capping attivo: considerando una superficie stimata pari a 217.861 mq, una dimensione dei geocompositi pari a 50mlx5,10 ml ed una sovrapposizione degli stessi in entrambe le direzioni di 1,0 m si ipotizza un numero di rotoli pari a 1.465 di entrambe le tipologie.
 - Capping passivo: considerando una superficie stimata pari a 86.610 mq, una dimensione dei geocompositi pari a 50mlx5,10 ml ed una sovrapposizione degli stessi in entrambe le direzioni di 1,0 m si ipotizza un numero di rotoli pari a 583.

Per entrambe le tipologie di capping dovranno essere previsti un numero di rotoli aggiuntivi pari al 10% delle quantità stimate.
3. **Strato superiore di isolamento con spessore pari a 60 cm:** questo strato dovrà essere composto da sabbia in grado di garantire un barrieramento fisico tra il biota ed il sedimento contaminato sottostante. Questo strato sarà in grado di fornire anche una certa capacità di assorbimento per la contaminazione che potrebbe migrare attraverso l'acqua interstiziale. Inoltre, offre una protezione fisica per i geotessuti soggetti alle pressioni dell'acqua superficiale e alla bioturbazione. Il materiale (sabbia) da utilizzare dovrà essere certificato con caratteristiche chimico fisiche prestazionali nonché di Classe di Qualità A ai sensi dell'Allegato tecnico al DM 173/2016. Per questo strato si stima un quantitativo di sabbia pari a 182.682,60 mc suddiviso in:
 - capping attivo 130.716,60 mc
 - capping passivo 51.966 mc
4. **Strato di protezione dall'erosione composto da materiale ghiaioso con spessore pari a 10 cm:** questo strato progettato con particelle sufficientemente grandi permetterà di resistere all'erosione all'interno dell'area di capping. Le dimensioni del materiale necessarie a prevenire l'erosione sono comprese tra da 5 a 19 mm. Si prevede un quantitativo di ghiaia pari a 30.447,10 mc suddivisi in:
 - capping attivo 21.786,10 mc
 - capping passivo 8.661 mc

Di seguito un riepilogo delle quantità dei materiali sopra elencati

Tabella 7.1: Sintesi delle superfici di capping previste e stima delle quantità dei materiali

		CAPPING ATTIVO	CAPPING PASSIVO
Microcella Nord	Superficie (mq)	32.163,0	-
	Geocompositi	434,0	-
	Sabbia (mc)	25.730,4	-

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

		CAPPING ATTIVO	CAPPING PASSIVO
	Ghiaia (mc)	3.216,3	-
Colmata	Superficie (mq)	185.698,0	29.284,0
	Geocompositi	2.496,0	198,0
	Sabbia (mc)	148.558,4	23.427,2
	Ghiaia (mc)	18.569,8	2.928,4
Arenile Sud	Superficie (mq)	-	57.326,0
	Geocompositi	-	385,0
	Sabbia (mc)	-	45.860,8
	Ghiaia (mc)	-	5.732,6

7.2 POSA IN OPERA DEL CAPPING

Di seguito sono descritte le fasi operative per una corretta installazione dei materiali sopra elencati. La realizzazione del capping avverrà attraverso l'utilizzo di mezzi marittimi dedicati, quali pontoni, bette apribili e rimorchiatori dotati di plough, uno speciale attrezzo che si utilizza per lo spianamento del materiale scaricato. Come descritto nei precedenti paragrafi, il capping sarà realizzato attraverso la posa di più strati, ognuno dei quali necessita di un metodo di installazione e di accortezze specifiche. Al fine di una corretta realizzazione è necessario che siano rimossi tutti i detriti presenti sull'area per evitare che questi possano danneggiare i geotessuti.

7.2.1 Posizionamento dello strato di base

Come definito nel progetto e prima del posizionamento dei materassini, la sabbia sarà posizionata in uno strato uniforme di 20 cm di spessore sui sedimenti esistenti per fungere da strato di substrato sotto i materassini. La posa della sabbia avverrà o idraulicamente utilizzando un diffusore o attraverso una betta a fondo apribile con successivo spianamento attraverso la tecnica del ploughing (attrezzo trainato da un rimorchiatore).

7.2.2 Geocompositi con nucleo passivo o reattivo

I produttori di PCM (geotessuti passivi) e RCM (geotessuti attivi) dovrà fornire all'appaltatore le certificazioni di garanzia di qualità/controllo qualità (QA/QC) della produzione per tutti i materassini che saranno presenti in cantiere.

Il geotessuto RCM sarà costituito da uno strato di carbone attivo e/o assorbente cationico incapsulato tra geotessili e sarà conforme a tutti i criteri elencati in progetto; il geotessuto PCM sarà costituito da materiale inerte isolante incapsulato fra geotessuti e sarà conforme a tutti i criteri elencati in progetto.

Le dimensioni minime accettabili dei geotessuti RCM e PCM saranno di 50 metri di lunghezza per 5,1 metri di larghezza. I geotessuti potranno essere tagliati per adattarsi ad aree più piccole di quelle specificate, in base alle esigenze delle aree di progetto, ma dovranno essere coperti dallo strato di protezione entro 24 ore dall'installazione. Per facilitare la loro movimentazione, i materassini dovranno essere avvolti attorno a un'anima rigida (tubolare in acciaio), dovranno essere etichettati e insaccati in imballaggi resistenti alla fotodegradazione da parte della luce ultravioletta (UV).

Nell'area di lavoro dovrà essere individuata un'area di stoccaggio dedicata che sia lontana dalle aree ad alto traffico, piana, asciutta e ben drenata.

I materassini arrotolati dovranno essere conservati in modo da impedire lo scivolamento o il rotolamento dalle pile. Tutti i materassini stoccati dovranno essere coperti con un foglio di plastica o telone fino alla loro installazione.

L'integrità e la leggibilità delle etichette dovranno essere preservate durante la conservazione.

7.2.2.1 POSIZIONAMENTO MATERASSINI PCM ed RCM

- I materassini dovranno essere caricati a bordo dei mezzi marittimi (pontone) utilizzando idonee attrezzature.
- I materassini dovranno essere installati parallelamente alla direzione della pendenza, mantenendo una sovrapposizione di almeno 1 metro con i materassini adiacenti in tutte le direzioni.
- Per mantenere i materassini in posizione fino all'installazione dello strato superiore di sabbia, potranno essere utilizzati sacchi di sabbia.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023



Figura 7.1: Esempio di modalità di posa dei geocompositi

7.2.2.2 Prescrizioni operative per la posa dei materassini

- All'interno dell'area di capping non sarà consentito l'uso di pali di ancoraggio o altri dispositivi di ancoraggio per evitare di danneggiare i materassini di tipo passivo (PCM) o reattivi (RCM).
- Prima di ogni attività di posa è necessario identificare e rimuovere dall'area di capping i detriti superficiali non sedimentati che potrebbero interferire con l'installazione del capping.

7.2.2.3 Riparazione dei danni

- Nel caso in cui il materassino dovesse subire danneggiamenti (strappato, forato, perforato, ecc.) durante l'installazione, si dovrà effettuare una sostituzione attraverso l'utilizzo di un nuovo materassino o tagliarlo su misura in modo da ottenere una sovrapposizione minima di 1 metro attorno a tutta l'area danneggiata.

7.2.3 **Strato superiore di isolamento**

Come definito nel progetto e dopo il posizionamento dei materassini, la sabbia verrà posizionata in uno strato uniforme di 60 cm di spessore sopra i materassini per fungere da strato di protezione ed isolamento. La posa della sabbia avverrà o idraulicamente utilizzando un diffusore o attraverso una betta a fondo apribile con successivo spianamento attraverso la tecnica del ploughing (attrezzo trainato da un rimorchiatore).

7.2.4 **Strato di protezione dall'erosione**

Come definito nel progetto e dopo il posizionamento dello strato di isolamento, la ghiaia verrà posata in uno strato uniforme di 10 cm di spessore per fungere da protezione dall'erosione. La ghiaia verrà posizionata idraulicamente

utilizzando un diffusore sommerso o scaricata attraverso bette apribili e successivamente spianata come già descritto per la sabbia.

7.3 MONITORAGGIO AMBIENTALE IN FASE DI ESECUZIONE E A LUNGO TERMINE

L'elaborato **2021E022INV-01-D-02-AQ-AM-REL-01-00** riporta il dettaglio delle attività da eseguire prima, durante e dopo la realizzazione del capping previsto per la Microcella Nord, nella Zona Arenile Sud e nella Macrocella, la cui sintesi è riportata nella tabella successiva. Considerando le opere in progetto, le matrici ambientali potenzialmente impattate e, quindi, oggetto di monitoraggio sono: acqua di mare, rumore subacqueo, morfologia del sito, sedimenti marini e componente biologica, biodiversità. Per ciascuna di queste matrici ambientali sono state previste campagne di monitoraggio con cadenza periodica da eseguirsi nelle fasi ante operam, in corso d'opera e post operam in funzione dell'interazione che potranno avere con le opere di progetto. Il piano potrà essere revisionato/integrato in fase di progettazione esecutiva sulla base delle osservazioni che potranno essere espresse nell'ambito della procedura di valutazione di impatto ambientale a cui le attività di risanamento saranno sottoposte e a seguito del necessario preventivo coordinamento con gli Enti di controllo.

Tabella 7.2: Sintesi PMA

Matrici ambientali monitorate	Attività di monitoraggio previste		
	Ante operam	In corso d'opera	Post operam
Acqua marina	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la - 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> 2 campagne di monitoraggio da attuarsi 3 mesi prima dell'inizio delle attività di cantiere</p>	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la - 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> Profili verticali chimico-fisici con sonda multiparametrica: Due volte alla settimana spot per l'intera durata delle attività</p>	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la - 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> 4 campagne di monitoraggio (semestrali) nei due anni successivi alla chiusura e al ripristino dell'area di cantiere.</p>
Sedimenti marini	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> 1 campagna di monitoraggio da attuarsi 3 mesi prima dell'inizio delle attività di cantiere per la verifica delle condizioni iniziali</p>	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche: una campagna ogni 3 mesi. Tasso di sedimentazione: una campagna ogni 6 mesi.</p>	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> 4 monitoraggi (semestrali) nei due anni successivi alla chiusura dell'area di cantiere.</p>
Componente biologica	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p>	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p>	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p> <p><u>Frequenza:</u> Una campagna dopo la fine delle attività di cantiere.</p>

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

Matrici ambientali monitorate	Attività di monitoraggio previste		
	Ante operam	In corso d'opera	Post operam
	Frequenza: Una campagna prima dell'inizio delle attività.	Frequenza: Una campagna ogni settimana durante le attività.	
Morfologia dei fondali (batimetria)	<p>Indagine batimetrica su intera area su cui è prevista la realizzazione del capping maggiorata del 20% su ogni lato.</p> <p>Frequenza: 1 campagna di monitoraggio prima dell'inizio delle attività di cantiere.</p>	Non previsto	<p>Indagine batimetrica su intera area di realizzazione del capping maggiorata del 20% su ogni lato.</p> <p>Frequenza: 2 campagne di monitoraggio, una da eseguire nell'anno successivo alla chiusura e al ripristino dell'area di cantiere, l'altra dopo 2 anni.</p>
Caratterizzazione ambiente fisico	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p>Frequenza: Raccolta dati ondametrici e correntometrici (serie storica) e per tutto l'anno prima delle attività di cantiere.</p>	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p>Frequenza: In continuo durante tutto il periodo di cantiere.</p>	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p>Frequenza: In continuo per 1 anno dalla chiusura del cantiere.</p>
Rumore	<p>Monitoraggio acustico su 6 punti tra la batimetria di -5 e -20. 4 in prossimità del cantiere e due a largo.</p> <p>Frequenza: 2 campagne di monitoraggio semestrali da attuarsi nell'arco dell'anno precedente all'inizio delle attività di cantiere per la caratterizzazione dello scenario acustico di riferimento delle aree di indagine e per l'individuazione di eventuali situazioni di criticità acustica preesistenti alla realizzazione del progetto di capping. In continuo per 24 ore.</p>	<p>Monitoraggio acustico su 6 punti tra la batimetria di -5 e -20. 4 in prossimità del cantiere e due a largo.</p> <p>Frequenza: 2 monitoraggi/anno da attuarsi in corrispondenza delle lavorazioni maggiormente impattanti, atti a verificare gli impatti nelle condizioni più critiche in continuo per 24 ore</p>	Non previsto

In fase esecutiva, sarà necessario prevedere un piano di monitoraggio a lungo termine della struttura del capping al fine di garantire l'effettivo funzionamento dello stesso. Dovranno essere monitorati attraverso rilievi batimetrici e strutturali l'esatta configurazione dell'opera. In caso di deterioramento di alcune parti dovranno essere previste immediate manutenzioni ordinarie del capping al fine di non dover affrontare manutenzioni straordinarie su vasta scala. Nel dettaglio la superficie del capping dovrà essere suddivisa in aree minori su cui valutare la condizione geometrica, la condizione dello strato di protezione dall'erosione. Tali accorgimenti consentiranno di migliorare le caratteristiche geotecniche del capping.

Appendice A

Coefficienti di assorbimento utilizzati per i contaminanti ed i materiali di copertura

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Appendice A

Contaminant	Applicable Media	Type	Value	Units	Reference
Arsenico	Carbone attivo	Langmuir Equation	$Q_{max}=37.8 \cdot 10^3, b=536$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\mu\text{g}$	Gu, Zhimang et al. 2005
Arsenico	Assorbente cationico	Kd	925.3846	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore Genç-Fuhrman et al. 2007
Arsenico	Sabbia	Kd	40	L/kg	USEPA 2005
Arsenico	Sedimento	Kd	316	L/kg	
Cadmio	Carbone attivo	Freundlich Equation	$K = 12.18 \cdot 10^3, N = 0.54$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\text{kg}$	Karnib, Mona, et al. 2014
Cadmio	Assorbente cationico	Kd	615.1333	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Cadmio	Sabbia	Kd	0	L/kg	Genç-Fuhrman et al. 2007
Cadmio	Sedimento	Kd	3981	L/kg	USEPA 2005
Cromo	Carbone attivo, Sabbia, Sedimento	Freundlich Equation	$K = 1.1 \cdot 10^5, N = 0.44$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\text{kg}$	CapSim 2023
Cromo	Assorbente cationico	Kd	946.5891	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Rame	Carbone attivo	Langmuir Equation	$q_{max}=6.14 \cdot 10^6, b=0.18 \cdot 10^3$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\mu\text{g}$	Chen, J. Paul, et al. 2003
Rame	Assorbente Cationico	Kd	1153.333	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Rame	Sabbia	Kd	50	L/kg	Genç-Fuhrman et al. 2007
Rame	Sedimento	Kd	15849	L/kg	USEPA 2005
Piombo	Carbone attivo	Freundlich Equation	$K = 7.244 \cdot 10^3, N = 1.38$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\text{kg}$	Karnib, Mona, et al. 2014
Piombo	Assorbente cationico	Kd	955.7778	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Piombo	Sabbia	Kd	0	L/kg	Nessuna assunzione
Piombo	Sedimento	Kd	125893	L/kg	USEPA 2005
Mercurio	Carbone attivo, Sabbia, Sedimento	Freundlich Equation	$8.34 \cdot 10^5, N = 0.46$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\text{kg}$	CapSim 2023
Mercurio	Assorbente cationico	Kd	934.2424	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Zinco	Carbone attivo	Freundlich Equation	$K = 7.414 \cdot 10^3, N = 0.75$	$\mu\text{g}/\text{kg}, \text{L}/\text{kg}$	Karnib, Mona, et al. 2014

Contaminant	Applicable Media	Type	Value	Units	Reference
Zinco	Assorbente Cationico	Kd	768.8889	L/kg	Calcolo su indicazione del produttore
Zinco	Sabbia	Kd	0	L/kg	Genç-Fuhrman et al. 2007
Zinco	Sedimento	Kd	5012	L/kg	USEPA 2005
Acenafte	All	Koc	3.6	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Acenafilene	All	Koc	3.84	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Antracene	All	Koc	4.37	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Benzo(a)antracene	All	Koc	5.55	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Benzo(a)pirene	All	Koc	5.98	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Benzo(b)fluorantene	All	Koc	6.08	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Benzo(g,h,i)perilene	All	Koc	6.2	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Benzo(k)fluorantene	All	Koc	6.09	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Chrisene	All	Koc	5.49	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Dibenzo(a,h)antracene	All	Koc	6.28	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Fluorantene	All	Koc	4.69	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Fluorene	All	Koc	3.88	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Indeno(1,2,3-cd)pirene	All	Koc	6.54	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Naftalene	All	Koc	3.19	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Fenantrene	All	Koc	4.15	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
Pirene	All	Koc	4.58	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
PCB-028	All	Koc	4.85	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
PCB-189	All	Koc	6.56	$\log(\text{L}/\text{kg})$	CapSim 2023
C12-16 composti aromatici	All	Koc	3.7	$\log(\text{L}/\text{kg})$	Texas Natural Resource Conservation Commission. 2010

Appendice B

Proprietà chimico-fisiche dei materiali di copertura

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Appendice B

Materiali	Densità (g/cm ³)	Foc	Dimensione delle particelle (mm)	Permeabilità (m/s)	Porosità	Spessore (cm)
RCM carboni attivi	0,37	1	1,5	1,07E-8	0,6	1
RCM adsorbente cationico	0,43	0	1,25	1,07E-08	0,57	0,45
PCM	1,43	0,002	0,2	1,61E-05	0,5	1,2
Sabbia	1,25	0,000566	1,03	1,1E-06	0,5	n.a.

Appendice C

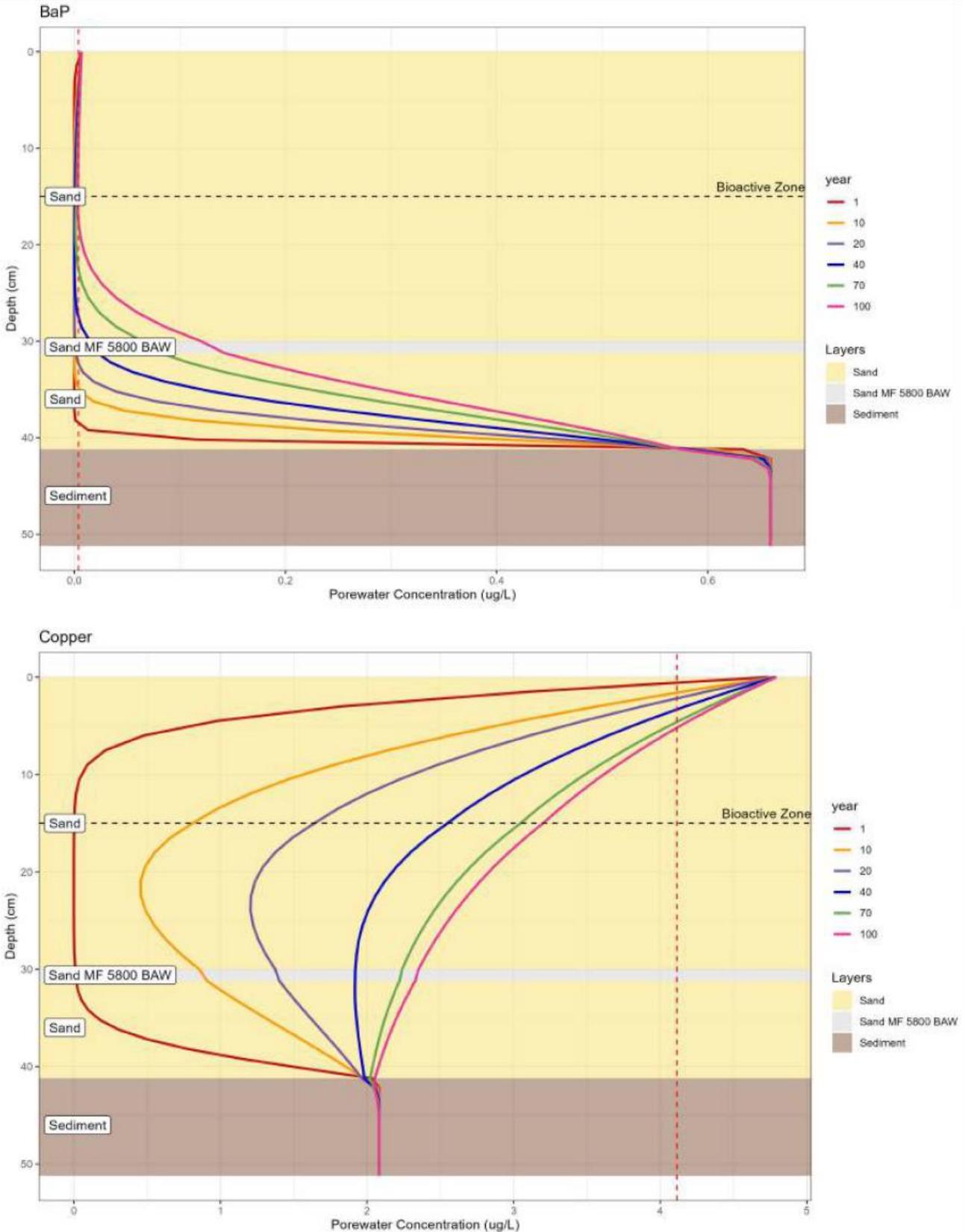
Esempio rappresentazioni grafiche CapSim

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-02-CA-RS-REL-01-00 – Agosto 2023

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Appendice C

Capping Passivo

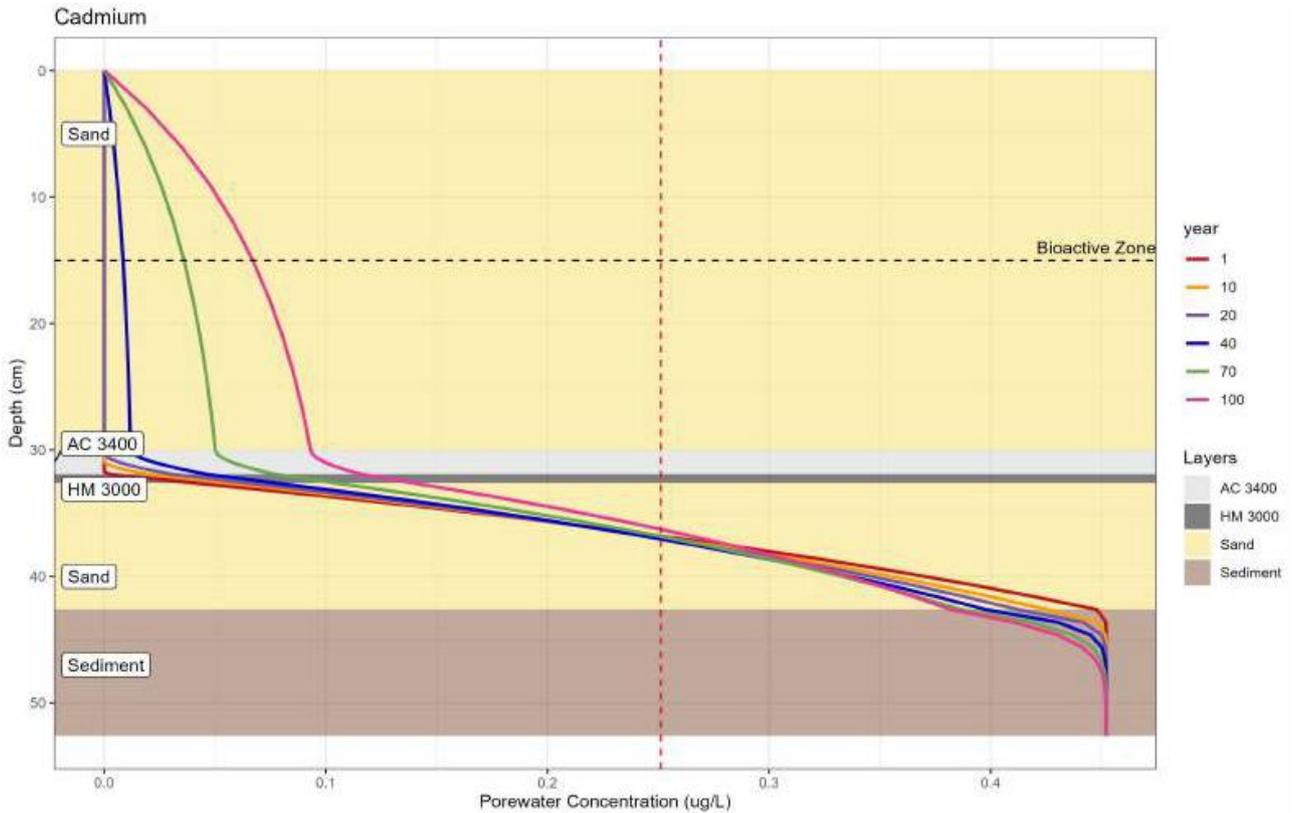


RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Appendice C



Capping Reattivo



RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CAPPING

Appendice C

