

D.P.C.M. 15.10.2015

Interventi per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'area di Bagnoli - Coroglio.

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)"
CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - CUP: C65E19000390001



Presidenza del Consiglio dei Ministri
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO
PER LA BONIFICA AMBIENTALE E RIGENERAZIONE URBANA
DELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE
BAGNOLI - COROGLIO



STAZIONE APPALTANTE



Funzione Servizi di Ingegneria

Direzione Area Tecnica

Ambiente:

Ing. Edoardo Robortella Stacul

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Lorenzo MORRA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

_PROGER S.p.A. (mandataria)

_AMBIENTE S.p.A.

_RINA CONSULTING S.p.A.

_ARCADIS ITALIA S.r.l.

Coordinatore della Progettazione e Responsabile della Integrazione delle Relazioni Specialistiche PMI

_Ing. M. Balzarini (RINA)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.03)

_Ing. L. Rossi (ARCADIS)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.01)

_Ing. E. Scanferla (PROGER)

Responsabile Strutture (CAT. S.03)

_Ing. A. Tomarchio (RINA)

Archeologo

_Dott. F. Tiboni (ASPS)

Responsabile Paesaggistica

_Ing. F. Tamburini (AMBIENTE)

Responsabile Aspetti Naturalistici e S.I.A.

_Ing. L. Bertolé (ARCADIS)

Responsabile della Modellazione Numerica

_Ing. A. Pedroncini (DHI)

_FINALCA INGEGNERIA S.r.l.

_3BA S.r.l.

_DHI SRL A SOCIO UNICO

_ASPS Servizi Archeologici s.n.c.

Responsabile Impianti (CAT. IB.06)

_Ing. G. Morlando (FINALCA)

Responsabile Acustica

_Ing. C. Di Michele (PROGER)

Responsabile Geologia

_Geol. M. Sandrucci (PROGER)

Coor. Sicurezza in fase di Progettazione

_Ing. N. Sciarra (PROGER)

BIM MANAGER

_Geom. G. Pietrolungo (PROGER)

Responsabile Rilievi

_Geol. L. Bignotti (AMBIENTE)

Responsabile Indagini

_Geol. M. Mannocci (AMBIENTE)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Rimozione Sedimenti

_Geol. R. Costa (ARCADIS)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Capping

_Geol. P. Mauri (AMBIENTE)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE
PARTE 1 DI 2

ELABORATO	DATA	NOME	FIRMA
REDATTO	08/2023	Geol. G. Di Vincenzo (ARCADIS)	
VERIFICATO	08/2023	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	<i>L. Rossi</i>
APPROVATO	08/2023	Ing. Edoardo Robortella Stacul	
DATA	08/2023		
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA
Rev. 0	20/07/2023	PRIMA EMISSIONE	-
Rev. 1	07/08/2023	REVISIONE 1	CODICE FILE
Rev. 2	-		2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01



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

INVITALIA

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-COROGGIO (NA)".

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 –Agosto 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Prima Emissione	Geol. G. Di Vincenzo (ARCADIS)	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	Ing. E. Robortella Stacul	20/07/2023
1	Revisione 1	Geol. G. Di Vincenzo (ARCADIS)	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	Ing. E. Robortella 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.



INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	3
INDICE DELLE FIGURE	4
INDICE DEGLI ALLEGATI	5
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	6
1 PREMESSA	7
1.1 ITER AMMINISTRATIVO E FOCUS SULL'EVOLUZIONE DELL'APPROCCIO ALL'ANALISI DI RISCHIO PER IL SITO	8
1.2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO	12
2 SINTESI DEGLI INTERVENTI PREVISTI	18
3 ASPETTI GENERALI DELL'ANALISI DI RISCHIO	22
3.1 ASSUNZIONI GENERALI E LIMITAZIONI	22
3.2 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE ELABORAZIONI	22
3.2.1 Approccio nel calcolo del percorso di lisciviazione	25
3.2.2 Approccio nel caso di superamento delle Concentrazioni di saturazione	26
3.2.3 Approccio adottato per il Mercurio	27
3.2.4 Approccio adottato per gli Idrocarburi leggeri C \leq 12, pesanti C $>$ 12 e totali	27
3.2.5 Approccio adottato per le diossine e furani	28
3.2.6 Approccio adottato per il PCB	28
3.2.7 Approccio adottato per i composti organostannici	28
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO E PARAMETRI GENERALI PER L'APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO	29
4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	29
4.1.1 Inquadramento geologico	29
4.1.2 Inquadramento idrogeologico e MISE delle acque di falda	29
4.2 PARAMETRI METEOROLOGICI CARATTERISTICI DEL SITO E DI INTERESSE PER L'ANALISI DI RISCHIO	31
5 ANALISI DI RISCHIO ARENILE NORD	33
5.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO	33
5.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE	36
5.3 QUADRO AMBIENTALE	37
5.4 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI	42
5.5 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE	47
5.6 RECETTORI	47
5.7 PARAMETRI SITO SPECIFICI	48
5.8 RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO	54
5.8.1 Valutazione del rischio sanitario	54
5.8.2 Valutazione del percorso ambientale	55
6 ANALISI DI RISCHIO ARENILE SUD	60
6.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO	60
6.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE	62
6.3 QUADRO AMBIENTALE	63
6.4 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI	68
6.5 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE	74
6.6 RECETTORI	74

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

6.7	PARAMETRI SITO SPECIFICI	75
6.8	RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO	84
6.8.1	Valutazione del rischio sanitario	84
6.8.2	Valutazione del percorso ambientale	85
7	ANALISI DI RISCHIO SEDIMENTI SOTTOSTANTI LA COLMATA	90
7.1	UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO	90
7.2	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE	92
7.3	QUADRO AMBIENTALE	93
7.4	SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI	97
7.5	PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE	103
7.6	RECETTORI	103
7.7	PARAMETRI SITO SPECIFICI	104
7.8	RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO	110
7.8.1	Valutazione del rischio sanitario	110
7.8.2	Valutazione del percorso ambientale	111
8	METODOLOGICA PER ANALISI DI RISCHIO ACQUE DI MARE	115
8.1	UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO	115
8.2	QUADRO AMBIENTALE E SCREENING DI QUALITÀ	116
8.3	SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI	127
8.4	PERCORSI DI ESPOSIZIONE E RECETTORI	132
8.4.1	Percorso di contatto dermico	132
8.4.2	Percorso di ingestione accidentale	133
8.4.3	Percorso di inalazione aerosol	134
8.5	RISULTATI DELLA VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL RISCHIO	135
8.5.1	Zona antistante l'Arenile Nord	136
8.5.2	Zona antistante l'Arenile Sud	137
8.6	MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI MARE ONSHORE	138
9	CONCLUSIONI	140
9.1	SCENARIO ALLA BASE DELL'ANALISI DI RISCHIO E ASSUNZIONI	140
9.2	METODOLOGIA APPLICATA	140
9.3	ELABORAZIONI CONDOTTE SUI SEDIMENTI DEGLI ARENILI NORD E SUD E SOTTOSTANTI LA COLMATA	141
9.4	ELABORAZIONI CONDOTTE SULLE ACQUE DI MARE	142
9.5	PIANO DI MONITORAGGIO	143
10	BIBLIOGRAFIA	144

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1:	Limiti di riferimento adottati per le matrici Arenili Nord e Sud, sedimenti sottostanti la colmata e sedimenti onshore	13
Tabella 1.2:	Limiti di riferimento adottati per gli eluati dei test di cessione	14
Tabella 1.3:	Limiti di riferimento per lo screening preliminare di qualità delle acque di mare	16
Tabella 3.1:	Sintesi scenari di esposizione/migrazione considerati	24
Tabella 4.1:	Sintesi dei valori di gradiente idraulico	30
Tabella 5.1:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Nord	36
Tabella 5.2:	Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Nord	39
Tabella 5.3:	Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui campioni dell'Arenile Nord	41
Tabella 5.4:	Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori nell'Arenile Nord	43
Tabella 5.5:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare nell'Arenile Nord	43
Tabella 5.6:	Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nell'Arenile Nord	45
Tabella 5.7:	Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dell'Arenile Nord	46
Tabella 5.8:	Parametri di esposizione dei recettori considerati per l'Arenile Nord	48
Tabella 5.9:	Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per l'Arenile Nord	48
Tabella 5.10:	Identificazione della tessitura rappresentativa per l'Arenile Nord	49
Tabella 5.11:	Identificazione della densità rappresentativa per l'Arenile Nord	49
Tabella 5.12:	Identificazione del pH rappresentativo per l'Arenile Nord	50
Tabella 5.13:	Identificazione del foc rappresentativo per l'Arenile Nord	52
Tabella 5.14:	Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dell'Arenile Nord	53
Tabella 5.15:	Rischi sanitari associati alle concentrazioni rappresentative della sorgente insatura nell'Arenile Nord	54
Tabella 5.16:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nell'Arenile Nord	56
Tabella 5.17:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente satura nell'Arenile Nord	57
Tabella 6.1:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Sud	63
Tabella 6.2:	Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Sud	65
Tabella 6.3:	Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui campioni dell'Arenile Sud	67
Tabella 6.4:	Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori nell'Arenile Sud	69
Tabella 6.5:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare nell'Arenile Sud	69
Tabella 6.6:	Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nell'Arenile Sud	71
Tabella 6.7:	Valori rilevabili di Sommatoria PCB nei campioni dell'Arenile Sud e ripartizione tra PCB DL e PCB ND	72
Tabella 6.8:	Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dell'Arenile Sud	73
Tabella 6.9:	Parametri di esposizione dei recettori considerati per l'Arenile Sud	74
Tabella 6.10:	Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per l'Arenile Sud	75
Tabella 6.11:	Identificazione della tessitura rappresentativa per l'Arenile Sud	75
Tabella 6.12:	Identificazione della densità rappresentativa per l'Arenile Sud	76
Tabella 6.13:	Identificazione del pH rappresentativo per l'Arenile Sud	77
Tabella 6.14:	Identificazione del foc rappresentativo per l'Arenile Sud	79
Tabella 6.15:	Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dell'Arenile Sud	82

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Tabella 6.16:	Rischi sanitari associati alle concentrazioni rappresentative della sorgente insatura nell'Arenile Sud	84
Tabella 6.17:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nell'Arenile Sud	86
Tabella 6.18:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente satura nell'Arenile Sud	88
Tabella 7.1:	Concentrazioni massime e medie rilevate nei sedimenti sottostanti la colmata nel 2017-2021	95
Tabella 7.2:	Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui sedimenti sottostanti la colmata	96
Tabella 7.3:	Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori per l'hot-spot di Idrocarburi C>12 riscontrato nei sedimenti sottostanti la colmata	98
Tabella 7.4:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare per i sedimenti sottostanti la colmata	99
Tabella 7.5:	Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nei sedimenti sottostanti la colmata	100
Tabella 7.6:	Valori rilevabili di Sommatoria PCB nei campioni dei sedimenti sottostanti la colmata e ripartizione tra PCB DL e PCB NDL	101
Tabella 7.7:	Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dei sedimenti sottostanti la colmata	102
Tabella 7.8:	Parametri di esposizione dei recettori considerati per la zona di colmata	103
Tabella 7.9:	Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata	104
Tabella 7.10:	Identificazione della tessitura rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata	105
Tabella 7.11:	Identificazione della densità rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata	106
Tabella 7.12:	Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dei sedimenti sottostanti la colmata	108
Tabella 7.13:	Rischi sanitari associati alle concentrazioni hot-spot di Idrocarburi C>12 della sorgente satura dei sedimenti sottostanti la colmata	110
Tabella 7.14:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nei sedimenti sottostanti la colmata	111
Tabella 7.15:	Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente satura nei sedimenti sottostanti la colmata	112
Tabella 8.1:	Concentrazioni massime e medie rilevate nelle acque di mare nel 2021-2023	118
Tabella 8.2:	Concentrazioni massime e medie rilevate nelle acque di mare	121
Tabella 8.3:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerata nei percorsi sanitari di inalazione dalle acque di mare	128
Tabella 8.4:	Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per le sorgenti delle acque di mare	130
Tabella 8.5:	Parametri di esposizione per contatto dermico con acqua di mare	133
Tabella 8.6:	Parametri di esposizione per ingestione di acqua di mare	133
Tabella 8.7:	Parametri di esposizione per inalazione da acqua di mare	135

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Ubicazione dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio	8
Figura 1.2:	Area inibita alla balneazione	9
Figura 2.1:	Aree di intervento	20
Figura 2.2:	Nuovo profilo di spiaggia emersa e sommersa	20
Figura 4.1:	Carta della soggiacenza della falda (Stralcio elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.04)	30
Figura 5.1:	Area di interesse per l'Arenile Nord	33
Figura 5.2:	Stato attuale dell'Arenile Nord	35

Figura 5.3:	Punti di indagine di interesse nell'Arenile Nord	38
Figura 6.1:	Area di interesse per l'Arenile Sud	60
Figura 6.2:	Stato attuale dell'Arenile Sud	61
Figura 6.3:	Punti di indagine di interesse nell'Arenile Sud	64
Figura 7.1:	Panoramica area di colmata	90
Figura 7.2:	Area di interesse per i sedimenti sottostanti la colmata	91
Figura 7-3:	Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: <i>Microsoft Bing</i>)	91
Figura 7-4:	Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.) (Fonte foto aerea: <i>Microsoft Bing</i>)	92
Figura 7-5:	Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (topografia, interfaccia colmata-sedimenti e superficie piezometrica del marzo 2019)	93
Figura 7.6:	Punti di indagine di interesse in area di colmata	94
Figura 8.1:	Area di interesse le acque marine onshore	115
Figura 8.2:	Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – indagine 2021	116
Figura 8.3:	Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – PdC colonna d'acqua RTI 2023	117
Figura 8.4:	Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – PdCC Invitalia 2023	118
Figura 8.5:	Rapporto tra concentrazioni medie rilevate nei campioni di acqua di mare profondi / disturbati e nei campioni superficiali / indisturbati nella zona antistante l'Arenile Nord	123
Figura 8.6:	Rapporto tra concentrazioni medie rilevate nei campioni di acqua di mare profondi / disturbati e nei campioni superficiali / indisturbati nella zona antistante l'Arenile Sud	125
Figura 8.7:	Concentrazioni medie misurate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m – Zona Arenile Nord	126
Figura 8.8:	Concentrazioni medie misurate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m – Zona Arenile Sud	127

INDICE DEGLI ALLEGATI

Allegato 1.	Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM
Allegato 2.	Parere ISS prot. AOO-ISS N.17248 DAS 01.00 del 04/05/2022
Allegato 3.	Dati meteorologici (editabili dati grezzi da richiedere all'occorrenza)
Allegato 4.	Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sui sedimenti dell'Arenile Nord
Allegato 5.	Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze indice dell'Arenile Nord
Allegato 6.	Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sui sedimenti dell'Arenile Sud
Allegato 7.	Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze indice dell'Arenile Sud
Allegato 8.	Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sui sedimenti sottostanti la colmata
Allegato 9.	Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze indice dei sedimenti sottostanti la colmata
Allegato 10.	Tabelle di sintesi risultati AdR (stampa in pdf, editabili da richiedere all'occorrenza)
Allegato 11.	Elaborazioni Risk-net (stampa in pdf, editabili da richiedere all'occorrenza)
Allegato 12.	Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sulle acque di mare
Allegato 13.	Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze indice delle acque di mare
Allegato 14.	Tabelle di sintesi risultati valutazione preliminare rischio acque di mare (stampa in pdf, editabili da richiedere all'occorrenza)

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

AdR	Analisi di rischio
ARIN	Area di Rilevante Interesse Nazionale
ARPAC	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania
CdS	Conferenza di Servizi
ISPRA	Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale
foc	Frazione di carbonio organico
ISS	Istituto Superiore di Sanità
Kd	Coefficiente di ripartizione suolo / acqua
Koc	Coefficiente di ripartizione carbonio / acqua
LdR	Linea di riva
PdCC	Piano di Caratterizzazione Complementare, Invitalia, luglio-ottobre 2022
PFTE	Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
PRARU	Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli
SNPA	Sistema nazionale protezione ambiente

1 PREMESSA

Il presente documento è stato preparato 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
 - Pontile Sud
 - Pontile Sala Pompe
 - Pontile Città delle Scienze
- ✓ Realizzazione spiaggia pubblica nel tratto di lungomare compreso tra l'Arenile Nord e l'Arenile Sud avente le seguenti caratteristiche:
 - 2 km di lunghezza
 - 60 m larghezza minima
 - 120 m larghezza massima
 - 21,3 ettari di superficie
 - Porto turistico a Nisida

Al fine di consentire di completare/realizzare tutti gli interventi necessari e prodromici alla piena rigenerazione urbana definita dal PRARU, INVITALIA ha predisposto il Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale delle aree a terra e dell'area marina nell'area del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio (di seguito PFTE) sottoposto a Conferenza di Servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020.

Il PFTE è stato articolato sostanzialmente in tre principali linee di intervento:

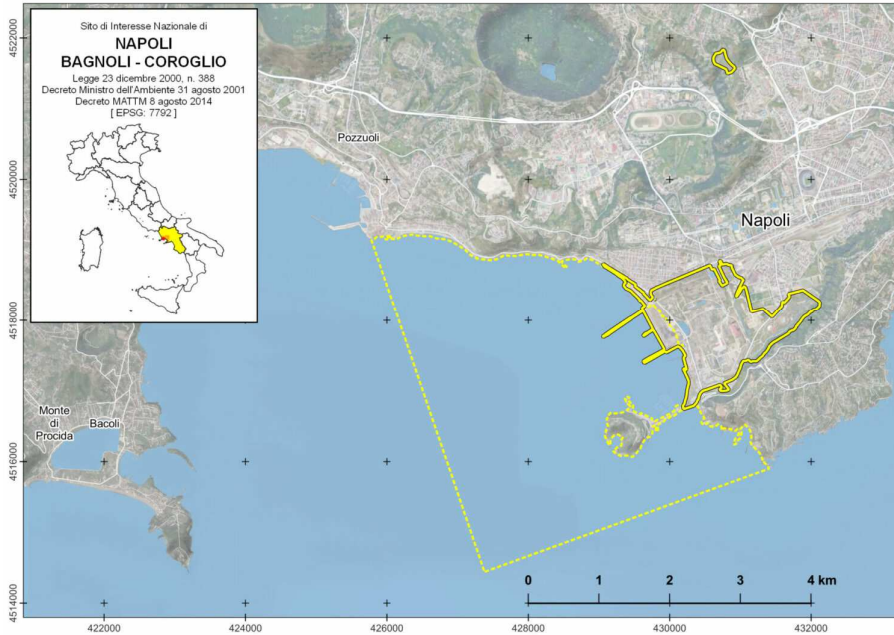
- ✓ aree a terra, sia di proprietà di INVITALIA che di competenza in qualità di Soggetto Attuatore in quanto ricadenti all'interno dell'Area Rilevante Interesse Nazionale (ARIN);
- ✓ MACROAREA 1: area di colmata, per la quale si deve intendere ricompresa anche la fascia degli arenili emersi a nord (arenile Bagnoli) e a sud (arenile Coroglio) nonché la porzione di sedimenti sui quali insiste l'area di colmata vera e propria;
- ✓ MACROAREA 2: area marina, comprendente le volumetrie di sedimenti sommersi ricadenti all'interno dell'ARIN, al netto di quelli di cui al punto precedente.

Il presente elaborato costituisce, per gli ambiti di intervento "MACROAREA 1 – ARENILI EMERSI NORD E SUD E SEDIMENTI SOTTOSTANTI LA COLMATA" e "MACROAREA 2 – SEDIMENTI ONSHORE FINO ALLA PROFONDITÀ DI CHIUSURA", l'Analisi di Rischio (di seguito AdR) associato allo stato qualitativo dei sedimenti emersi e sommersi residuali a valle dell'esecuzione delle attività di risanamento descritte negli elaborati **2021E014INV-01-D-02-OM-RS-REL-01-01 (Relazione Tecnica - Dimensionamento del Ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione)**, **2021E014INV-01-D-02-RI-RS-REL-01-01 (Relazione Illustrativa - Intervento di Ripascimento e relative opere di stabilizzazione)**, **2021E022INV-01-D-02-MA-DE-DEM-05-00 (Relazione tecnico-descrittiva dragaggi)**, **2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01 (Relazione Tecnica degli interventi**

di risanamento degli arenili) e 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-02-01 (Relazione Tecnica degli interventi di risanamento della colmata).

1.1 ITER AMMINISTRATIVO E FOCUS SULL'EVOLUZIONE DELL'APPROCCIO ALL'ANALISI DI RISCHIO PER IL SITO

Le aree oggetto di intervento previsto dal PFTE appartengono all'ARIN di Bagnoli-Coroglio, ubicato all'estremità sudoccidentale della città di Napoli, nell'area orientale del Golfo di Pozzuoli (Golfo di Napoli) tra la zona di Coroglio-Isla di Nisida e l'abitato di Pozzuoli (vedi Figura seguente).



Fonte: Perimetrazione dell'ARIN di Napoli Bagnoli-Coroglio (Gazzetta Ufficiale del 23-08-2014 n.195) dal Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche

Figura 1.1: Ubicazione dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio

Le aree di interesse per il presente lavoro sono costituite dagli Arenili emersi Nord e Sud, i sedimenti naturali sottostanti la colmata e i sedimenti marini onshore nella configurazione che avranno successivamente alla realizzazione degli interventi descritti al Capitolo 2.

Allo stato attuale per le aree di interesse è interdetta la balneazione. Infatti, il Comune di Napoli, alla luce di quanto riportato nel parere dell'Istituto Superiore di Sanità n. 0036149-0040996 AMPP/IA.12 del 27/07/06 e del 19/07/06 n. 6591 e 9198, ha emesso le seguenti ordinanze di divieto di balneazione

- ✓ **Ordinanza Sindacale n. 1304 del 02 agosto 2006 – Divieto di balneazione area marino-costiera prospiciente il Sito di Interesse Nazionale Bagnoli-Coroglio. Inibizione temporanea delle parti di arenili cosiddette "a sud della colmata"**

In tale Ordinanza viene riportato che:

- Vista l'Ordinanza Sindacale n. 360 del 07.07.2006 relativa al divieto di balneazione
- **ORDINA a tutta la cittadinanza è fatto divieto di balneazione sull'area marino costiera prospiciente il sito di interesse Nazionale Bagnoli Coroglio nonché di accedere e sostare sulle parti di arenili cosiddette a sud della colmata....**

- ✓ **Ordinanza Sindacale n. 3 del 26/04/2022 - Individuazione acque di balneazione per la stagione balneare 2022**

In tale Ordinanza viene riportato che:

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- **Considerato: che per quanto riguarda le acque di balneazione permanentemente vietate ricadenti nel proprio territorio, il Servizio Tutela del Mare - struttura comunale competente al controllo della balneazione - con nota PG 314381 del 22/04/2022 ha confermato per il 2022 i tratti di costa che già nel 2021 erano ritenuti permanentemente vietati alla balneazione per motivi diversi dall'inquinamento, compresi quelli di cui alla O.S. 1304 del 02 agosto 2006, con la quale è stata disposta l'interdizione della balneazione in tutta l'area marino costiera prospiciente il Sito di Interesse Nazionale Bagnoli/Coroglio.**
- **Rilevato che le aree marino costiere interdette con O.S. 1304/2006 possono essere riammesse alla balneazione solo a seguito del completamento delle operazioni di bonifica dei fondali.**
- Il Litorale di Bagnoli viene ricompreso nell'Allegato "B" - Acque non adibite alla balneazione

Di seguito si riportano le coordinate relative all'area inibita alla balneazione e la relativa immagine.

Denominazione	Coordinate Inizio		Coordinate Fine		Lunghezza (metri)
Litorale di Bagnoli	40,81671	14,15920	40,79900	14,17218 2250	2250

Ordinanza sindacale - Individuazione acque di balneazione per la stagione balneare 2022. - Prot. n. 3 del 26/04/2022



Figura 1.2: Area inibita alla balneazione

Di seguito viene riportato un elenco dei principali procedimenti amministrativi che si sono succeduti nel corso degli ultimi anni relativamente alle attività condotte sul sito 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;
- 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 on shore, 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.

Per quanto riguarda la procedura di AdR, un primo documento metodologico è stato presentato al Tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" nell'aprile 2022 (documento "Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di Analisi di Rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare", trasmesso da Invitalia agli Enti competenti in data 06-04-2022 e di seguito indicato come "proposta metodologica") e prevedeva:

- ✓ l'elaborazione in modalità inversa dello scenario attuale con il calcolo degli obiettivi di intervento da considerare nello sviluppo della progettazione delle attività di risanamento;
- ✓ l'implementazione dei percorsi di esposizione sanitaria già considerati dall'Istituto Superiore di Sanità (di seguito ISS) nelle Analisi di Rischio elaborate nel 2006 per la zona onshore ai fini della balneabilità (di seguito AdR ISS 2006) e nel 2016 per la zona degli arenili (di seguito AdR ISS 2016).

Nell'ambito dell'istruttoria della proposta metodologica, gli Enti competenti hanno espresso alcune considerazioni / osservazioni / richieste (si vedano il Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM in Allegato 1 e il Parere ISS prot. AOO-ISS N.17248 DAS 01.00 del 04/05/2022 in Allegato 2) tra cui:

- ✓ la richiesta di eseguire l'Analisi di Rischio in modalità diretta e nello scenario futuro post-intervento (cfr. parere ISPRA/ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM "Si ritiene che la valutazione del rischio debba essere effettuata esclusivamente in "modalità diretta", in quanto la metodologia proposta non può inquadarsi nelle previsioni dell'Allegato 1 alla Parte IV, Titolo V. Inoltre, c'è da osservare che gli arenili hanno caratteristiche diverse dai terreni oggetto delle procedure tecniche "standard" di analisi di rischio nell'ambito dei procedimenti di bonifica. Alla luce di quanto sopra si ritiene che la valutazione del rischio associato alla contaminazione presente nelle aree indagate sia finalizzata alla valutazione dell'accettabilità dell'esposizione dei recettori esposti e non si ritiene condivisibile la definizione di CSR o "valori obiettivo" calcolati in "modalità inversa". Viceversa, si osserva che gli interventi da predisporre in conformità al PFTE sono proprio mirati alla gestione dell'esposizione e del rischio");
- ✓ l'osservazione dell'influenza dell'evoluzione dinamica della costa nella caratterizzazione qualitativa degli arenili (cfr. parere ISPRA/ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM "Si ritiene in generale che la valutazione del rischio nello scenario attuale rappresenti una "fotografia" legata allo stato delle matrici rilevato in fase di caratterizzazione in quanto l'interazione con l'area marina antistante (erosione e deposizione dei sedimenti) può modificare significativamente lo stato di contaminazione. Infatti se si esamina l'arenile nord, oggetto di intervento nel 2009 e poi di manutenzione nel 2016, con la caratterizzazione del 2021 si rileva una nuova contaminazione dovuta all'apporto dell'azione del mare");
- ✓ la richiesta di integrare i percorsi di esposizione sanitari già considerati nell'AdR ISS 2006 e 2016 con ulteriori percorsi. Le indicazioni principali sono state le seguenti:
 - valutazione del rischio ambientale oltre che sanitario, tramite l'implementazione del trasporto della contaminazione in matrice acquosa verso l'area marina antistante (recettore ambientale) considerando i contaminanti inorganici negli eluati e i contaminanti organici valutati sulla base del carbonio organico disciolto negli eluati; tale richiesta è stata avanzata, oltre che per gli orizzonti

superficiali degli arenili già considerati nelle AdR ISS 2006 e 2016, anche per l'orizzonte profondo e saturo;

- valutazione del rischio sanitario associato al percorso di inalazione di vapori per presenza di aerosol generato dal moto ondoso in caso di presenza di sostanze volatili (superiori alla rilevabilità analitica) nelle acque;
- valutazione del rischio sanitario associato al percorso di contatto con i sedimenti presenti nel fondo marino fino alla batimetrica di - 2 m.

Le indicazioni suddette e l'ulteriore considerazione espressa a premessa del parere ISPRA/ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM "Si premette che la soluzione progettuale proposta nel PFTE degli arenili, capping con telo in HDPE TNT e deposizione sabbia pulita per uno spessore di massimo di 1 metro (sabbia relitta o proveniente da cava terrestre), ripropone di fatto quanto già attuato nel 2009 e mantenuto nel 2016, come misura provvisoria di prevenzione dei rischi sanitari. Considerate le scarse prestazioni garantite nel tempo dalla suddetta misura e alla luce della caratterizzazione integrativa effettuata nelle aree nel 2021, tale soluzione progettuale ha dimostrato scarsa efficacia nel contenimento della contaminazione e pertanto non può caratterizzarsi come Messa in Sicurezza Permanente e sarebbe opportuna una progettazione alternativa rispetto a quanto proposto nel PTFE che possa risolvere in maniera "definitiva" le problematiche ambientali e sanitarie dell'area" ha portato a riconfigurare sia gli interventi di progettazione del risanamento degli arenili emersi e, più a livello complessivo, di tutti i sedimenti emersi e sommersi, sia l'approccio metodologico all'elaborazione dell'AdR.

Considerando infatti la natura "dinamica" dei sedimenti (arenili emersi e sedimenti onshore) è stata sviluppata una progettazione integrata che, tenendo conto della loro evoluzione nel tempo, permettesse di agire correttamente su tutti i comparti che li caratterizzano, ovvero sul comparto "dinamico" (considerando con questo identificativo il volume di sedimento emerso e sommerso che evolve rimescolandosi in funzione del moto ondoso, maree e mareggiate) e sul comparto "statico" (considerando con questo identificativo il volume di sedimento emerso e sommerso che non viene coinvolto nel processo di rimescolamento operato dal moto ondoso, maree e mareggiate).

A livello generale, quindi, la progettazione dell'intervento permette il risanamento sia del comparto dinamico, sia di quello statico consentendo di rendere "permanenti" gli interventi progettati e, in tale contesto, la procedura di AdR si configura quale supporto di verifica dell'adeguatezza degli interventi andando a valutare l'accettabilità del rischio da esposizione alle contaminazioni residuali a valle dell'applicazioni degli interventi.

Tale valutazione è stata eseguita applicando un'opportuna AdR sito-specifica che, partendo dalle basi definite dalle precedenti AdR già condotte nel 2006 e 2016 da ISS, tiene conto delle osservazioni già emerse nell'ambito dei Tavoli Tecnici tenutisi con gli Enti competenti e dell'evoluzione dell'approccio metodologico legato all'interconnessione con gli altri criteri progettuali previsti.

1.2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

Ad oggi non risultano definiti né a livello nazionale, né internazionale, standards di riferimento per la valutazione del rischio sanitario associato alla balneazione o alla frequentazione di arenili in siti con sedimenti contaminati, pertanto in prima battuta è stata presa a riferimento la metodologia già utilizzata da ISS nelle AdR elaborate nel 2006 per la zona onshore ai fini della balneabilità e nel 2016 per la zona degli arenili e applicando quanto regolamentato dall'Allegato 1 al Titolo V Parte Quarta del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii. e quanto previsto nelle Linee Guida "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" (di seguito Manuale ISPRA) elaborate dal Gruppo di lavoro costituito da ISPRA (ex APAT), ISS e INAIL (ex ISPESL).

Nello specifico, l'elaborazione dell'AdR e la definizione dei parametri di input sono state condotte facendo riferimento alla seguente documentazione tecnica e normativa:

- ✓ Decreto Legislativo n. 152 / 2006; Titolo V "Bonifica dei Siti Contaminati";
- ✓ Nota del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Prot. 0029706/TRI del 18/11/2014 ed errata corrige Prot. 0002277/STA del 19/02/2015;
- ✓ Manuale ISPRA ex APAT, "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" rev.2, Marzo 2008 (sinteticamente Manuale ISPRA) e Appendice V;
- ✓ Documento ISPRA ex APAT, "Documento di riferimento per la determinazione e la valutazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06", Giugno 2008;

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- ✓ Bibliografia scientifica internazionale e specifica esperienza della scrivente, cercando sempre di adottare il criterio di un ragionevole margine cautelativo (reasonable worst case).

In analogia all'approccio utilizzato nella documentazione progressa, i dati analitici disponibili per le matrici ambientali sedimenti emersi e sommersi sono stati confrontati con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) nel suolo e sottosuolo, previsti dall'Allegato 5, alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 1 Colonna A per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" e Colonna B per i "Siti ad uso commerciale ed industriale". Per i contaminanti non normati dal D. Lgs.152/06 sono stati considerati, ove esistenti, i limiti di riferimento proposti dall'ISS.

Inoltre, sono stati considerati i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli definiti dalla Segreteria tecnica presso il Ministero dell'Ambiente in data 20/05/01, in considerazione della evidente scarsa sostenibilità in termini di efficacia nel tempo di un eventuale intervento che permetta di spingere l'abbattimento delle concentrazioni nei sedimenti a valori inferiori rispetto ad un fondo naturale già presente in sito o a valori che per i suoli non determinano la necessità di interventi di bonifica.

La tabella seguente sintetizza i limiti di riferimento adottati per le matrici Arenili Nord e Sud, sedimenti sottostanti la colmata e sedimenti onshore.

Tabella 1.1: Limiti di riferimento adottati per le matrici Arenili Nord e Sud, sedimenti sottostanti la colmata e sedimenti onshore

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale o <u>Limiti ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli
Antimonio	mg/Kg s.s.	10	30	-
Arsenico	mg/Kg s.s.	20	50	29
Bario	mg/Kg s.s.	150	1900	-
Berillio	mg/Kg s.s.	2	10	9
Cadmio	mg/Kg s.s.	2	15	-
Cobalto	mg/Kg s.s.	20	250	120
Cromo totale	mg/Kg s.s.	150	800	-
Cromo esavalente	mg/Kg s.s.	2	15	-
Mercurio	mg/Kg s.s.	1	5	-
Nichel	mg/Kg s.s.	120	500	-
Piombo	mg/Kg s.s.	100	1000	103
Rame	mg/Kg s.s.	120	600	-
Selenio	mg/Kg s.s.	3	15	-
Composti organostannici	mg/Kg s.s.	1	350	14
Tallio	mg/Kg s.s.	1	10	-
Vanadio	mg/Kg s.s.	90	250	100
Zinco	mg/Kg s.s.	150	1500	158
Cianuri	mg/Kg s.s.	1	100	-
Fluoruri	mg/Kg s.s.	100	2000	-
Benzo(a)antracene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Benzo(a)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Crisene	mg/Kg s.s.	5	50	-
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale o <u>Limiti ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	5	-
Pirene	mg/Kg s.s.	5	50	-
Sommatoria IPA	mg/Kg s.s.	10	100	-
Naftalene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Acenafilene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Acenaftene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fluorene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fenantrene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Antracene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fluorantene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Sommatoria PCB	mg/Kg s.s.	0,06	5	-
Benzene	mg/Kg s.s.	0,1	2	-
Etilbenzene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Xilene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Stirene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Toluene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg s.s.	1	100	-
Idrocarburi C≤12	mg/Kg s.s.	10	250	-
Idrocarburi C>12	mg/Kg s.s.	50	750	-
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/kg s.s.	10	100	-

Per la valutazione del rischio ambientale legato alla lisciviazione dei contaminanti dai sedimenti alle acque sotterranee e al mare sono state considerate le concentrazioni degli eluati dei test di cessione, confrontate con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) previste dall'Allegato 5, alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 2 – Acque sotterranee.

Per i contaminanti non normati dal D. Lgs.152/06 sono stati considerati, ove esistenti, i limiti di riferimento proposti per le acque sotterranee dall'ISS.

Inoltre, sono stati considerati i Valori di fondo naturale approvati in sede di segreteria tecnica al MATTM nell'ambito dell'iter di autorizzazione dei progetti di Bagnoli Futura (parametri Arsenico 380 µg/l, Berillio: 9 µg/l, Ferro: 3106 µg/l, Manganese: 1104 µg/l e Piombo:19 µg/l) e il valore di fondo dei Fluoruri (4.000 µg/l), riportata nell'Analisi di rischio sito-specifica rev.3 del dicembre 2019 (Rif.[3]) approvata in CdS di febbraio 2020.

La tabella seguente sintetizza i limiti di riferimento adottati.

Tabella 1.2: Limiti di riferimento adottati per gli eluati dei test di cessione

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli
Antimonio	µg/L	5	-
Arsenico	µg/L	10	380
Berillio	µg/L	4	9
Cadmio	µg/L	5	-
Cobalto	µg/L	50	-
Cromo totale	µg/L	50	-
Cromo esavalente	µg/L	5	-
Mercurio	µg/L	1	-

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli
Nichel	µg/L	20	-
Piombo	µg/L	10	19
Rame	µg/L	1000	-
Selenio	µg/L	10	-
Monobutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Dibutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Tributilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Tallio	µg/L	2	-
Vanadio	µg/L	<u>50</u>	-
Zinco	µg/L	3000	-
Cianuri totali	µg/L	50	50
Indice di fenolo	µg/L	<u>0,5</u>	-
Fluoruri	µg/L	1500	4000
Solfati	mg/L	250	-
Benzo(a)antracene	µg/L	0,1	-
Benzo(a)pirene	µg/L	0,01	-
Benzo(b+j)fluorantene*	µg/L	0,1	-
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0,01	-
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0,05	-
Crisene	µg/L	5	-
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0,01	-
Indenopirene	µg/L	0,1	-
Pirene	µg/L	50	-
Sommatoria IPA	µg/L	0,1	-
Naftalene	µg/L	<u>5</u>	-
Acenaftilene	µg/L	<u>5</u>	-
Acenaftene	µg/L	<u>5</u>	-
Fluorene	µg/L	<u>5</u>	-
Fenantrene	µg/L	<u>5</u>	-
Antracene	µg/L	<u>5</u>	-
Fluorantene	µg/L	<u>5</u>	-
Sommatoria PCB	µg/L	0,01	-
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	µg/L	350	-
Benzene	µg/L	1	-
Etilbenzene	µg/L	50	-
m,p-Xilene	µg/L	10	-
Stirene	µg/L	25	-
Toluene	µg/L	15	-
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/L	0,000004	-
Amianto	Fibre/L	7000000 ¹	-

¹ Come specificato nel documento "Sintesi delle conoscenze relative all'esposizione e al profilo tossicologico Amianto" del Ministero della Salute Direzione generale della prevenzione sanitaria al cap. 6 - Valori guida per le acque potabili e soglia di contaminazione per acque sotterranee "Il Safe drinking water committee della National Academy of Sciences statunitense ha stimato, basandosi su studi tossicologici in vivo, un rischio tumorale per l'uomo associato a consumo di acque potabili contenenti una concentrazione di circa 7x10⁶ fibre/litro nell'ordine di 1 caso addizionale di tumore gastrointestinale benigno ogni 100.000 abitanti. Su tali basi, l'Agenzia per la protezione ambientale statunitense (USEPA) ha stabilito un limite massimo di contaminazione (maximum contaminant level, MCL) in acque destinate al consumo umano di 7 milioni di fibre di lunghezza superiori a 10 µm, avvertendo sul potenziale rischio di sviluppo di polipi intestinali benigni a seguito di esposizioni prolungate a concentrazioni superiori ai 7 MFL. Ad integrazione di quanto sopra, è anche da considerare che, nell'ambito del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., non è stato definito un valore soglia di contaminazione per acque sotterranee sebbene sia indirettamente richiamato l'attuale valore USEPA, sopra indicato"

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli
* Considerato il Limite di riferimento definito per Benzo(b)fluorantene dal D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee			

Ai fini della verifica del rischio sanitario connesso con la balneabilità, è stata considerata anche la qualità delle acque marine onshore, sebbene il risanamento delle stesse sia, ragionevolmente, una conseguenza degli effetti degli interventi eseguiti sulle altre matrici ambientali (arenili, sedimenti sottostanti la colmata, sedimenti marini onshore) e dipenda in maniera sostanziale dell'interruzione delle altre fonti di contaminazione presenti nel sito (condotte a mare di scarichi civili, effetti delle attività portuali e del passaggio di imbarcazioni ecc.).

Non essendo stati fissati, né a livello nazionale, né internazionale, degli standards di qualità delle acque marine, in coerenza con la documentazione pregressa redatta a supporto del PFTE, un primo screening di qualità delle acque di mare è effettuato seguendo l'approccio illustrato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel documento "Guidelines for safe recreational water environments - Volume 1 Coastal and Fresh Waters" - (Geneve 2003).

Secondo quanto espresso dall'OMS, uno standard di qualità da adottare per le acque balneabili può essere dedotto da quello utilizzato per le acque potabili. Infatti, poiché mediamente nuotando si possono ingerire accidentalmente fino a 200 ml d'acqua al giorno, contro i 2 litri al giorno normalmente assunti come acqua potabile, è possibile accettare come valore massimo di sostanze chimiche rinvenibili in acque balneabili, un valore maggiorato di 10 volte rispetto a quello stabilito per le acque potabili.

Per tale ragione, i dati analitici di qualità dell'acqua di mare riscontrati nelle campagne di monitoraggio condotte in sito sono stati confrontati con i valori limite proposti nel D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 "Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. GU 06/03/2023"², maggiorati di 10 volte.

La tabella seguente sintetizza i limiti considerati nello screening preliminare di qualità delle acque di mare.

Tabella 1.3: Limiti di riferimento per lo screening preliminare di qualità delle acque di mare

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 23 febbraio 2023, n.	
		18	18 x 10
Alluminio	µg/L	200	2000
Ferro	µg/L	200	2000
Manganese	µg/L	50	500
Antimonio	µg/L	10	100
Arsenico	µg/L	10	100
Cadmio	µg/L	5	50
Cromo totale	µg/L	25	250
Mercurio	µg/L	1	10
Nichel	µg/L	20	200
Piombo	µg/L	5	50
Rame	µg/L	2000	20000
Selenio	µg/L	20	200
Vanadio	µg/L	140	1400
Cianuri	µg/L	50	500
Fluoruri	µg/L	1500	15000
Solfati	mg/l	250	2500
Benzo(a)pirene	µg/L	0,01	0,1
Benzo(b)fluorantene	µg/L	0,1*	1
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0,1*	1
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0,1*	1

² con l'art.25 ha abrogato il D.Lgs 2 febbraio 2001, n. 31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano"

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 23 febbraio 2023, n.	D.Lgs. 23 febbraio 2023, n.
		18	18 x 10
Indeno(1,2,3-c, d)pirene	µg/L	0,1*	1
Sommatoria policiclici aromatici	µg/L	0,1*	1
Benzene	µg/L	1	10

* Limite definito per la Somma delle concentrazioni dei seguenti composti specifici: benzo(b) fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)perilene e indeno(1,2,3-cd)pirene

Per la predisposizione del presente elaborato è stata inoltre considerata la seguente documentazione tecnica prodotta durante l'iter amministrativo sviluppato per il sito:

- [1] *IAMC-CNR, 2005. Indagini nell'area dello stabilimento dell'ex ILVA (Arenile di Bagnoli) – Risultati preliminari. Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – CNR, 2005, Napoli*
- [2] *"Caratterizzazione ambientale dei fondali e degli arenili inclusi nella perimetrazione del sito di bonifica di Napoli Bagnoli-Coroglio" ICRAM 2005*
- [3] *"Analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica delle aree Ex Ilva e Ex Italsider nel SIN di Bagnoli-Coroglio, Rev.3", Invitalia, Dicembre 2019*
- [4] *"Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio", Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università Politecnica delle Marche, 2020*
- [5] *"Progetto di Fattibilità Tecnico economica della Bonifica e Risanamento Ambientale" (PFTE), Invitalia, maggio 2020*
- [6] Documenti discussi nell'ambito del Tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" del 29 aprile 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";
- [7] *Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM con oggetto "Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022"*
- [8] *Verbale del Tavolo Tecnico Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio del 29 aprile 2022*
- [9] *Parere ISS prot. AOO-ISS N.17248 DAS 01.00 del 04/05/2022 con oggetto: "Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022".*
- [10] *Verbale Riunione Tavolo Tecnico "Risanamento marino" del 15/06/2022*
- [11] *"Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud", Invitalia, luglio 2022*
- [12] *Parere ARPAC del 12/10/2022 con oggetto "verbale di tavolo tecnico per espressione di parere" per la valutazione del "Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud", Invitalia, luglio 2022*
- [13] *"Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud" rev.2, Invitalia, ottobre 2022*

2 SINTESI DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Come auspicato nell'ambito del complessivo PRARU e in aderenza alle linee di indirizzo definite dal PTFE, gli interventi da attuare nella zona degli arenili emersi e dei sedimenti onshore sono finalizzati a garantire la piena fruibilità degli arenili stessi e la balneabilità del sito.

In particolare, l'aggiornamento del PRARU di Luglio 2021 ha declinato il seguente Obiettivo specifico e la conseguente azione da implementarsi

- **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:

- *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).*

- ✓ **Azione 1.2.1 - Risanamento ambientale delle aree a mare attraverso l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili.**

Si chiarisce, quindi, che **l'obiettivo della presente progettazione, per quanto riguarda il comparto sedimenti marini emersi e sedimenti marini onshore, è il risanamento dei sedimenti stessi al fine di garantire la balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito e la ricostituzione delle condizioni ambientali mediante l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili.**

In tal senso nel PTFE era stato previsto quanto segue:

- ✓ Interventi ambientali su arenili emersi Nord e Sud (scenario 1):
 - ***Arenile Nord:** ripascimento ambientale con sabbia relitta o proveniente da cava terrestre con idonee caratteristiche colorimetriche e mineralogiche per l'intera superficie dell'arenile per una volumetria tale che, integrando la volumetria di sabbia già posta in opera nel corso dell'intervento del 2016, sia garantito uno spessore di 1 metro sul telo posto in opera nel corso del medesimo intervento del 2016;*
 - ***Arenile Sud:** ripascimento ambientale con sabbia relitta o proveniente da cava terrestre con idonee caratteristiche colorimetriche e mineralogiche per l'intera superficie dell'arenile che raccorderà l'arenile emerso all'intervento di risanamento dei sedimenti marini, previa messa in opera di telo TNT, avente le medesime caratteristiche del telo posto in opera nei precedenti interventi presso l'Arenile Nord, al fine di eliminare i rischi (di ingestione, di contatto dermico e di inalazione di vapori contaminati) legati alla presenza di sabbia contaminata presente al di sotto della sabbia pulita relitta posta in opera.*
- ✓ Attività di risanamento dei sedimenti marini (scenario 1):
 - *Per le aree più vicine alla costa, sollecitate maggiormente dal moto ondoso, è prevista la rimozione selettiva dei sedimenti risultati 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.*
 - *Per le aree meno sollecitate dalle correnti è 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.*

Gli interventi di confinamento proposti danno luogo, nel complesso, alla formazione di un'unica "struttura mista" posta a contorno dell'area da risanare. Essa ha infatti la funzione di confinare l'area del fondale, assicurando che la stessa non sia soggetta a fenomeni di ri-contaminazione determinati dal trasporto di materiale solido dovuto alle correnti litoranee (longshore e/o

crossshore). La finalità di detti interventi è, pertanto, quella di impedire il rimescolamento tra i fondali risanati e quelli non risanati.

La "struttura mista" di confinamento proposta sarà composta da:

- 1. una fascia di capping che dalla batimetrica -7 si estenderà verso il largo che impedirà la migrazione dei sedimenti contaminati verso l'interno dell'area oggetto di risanamento;*
- 2. pennelli soffici, posti a nord e a sud dell'area, che collegheranno la fascia di capping alla riva del nuovo litorale chiudendo così l'area di intervento.*

Pertanto, per impedire la migrazione dei sedimenti contaminati di largo verso l'interno dell'area oggetto di risanamento, partendo dalla batimetrica - 7 m, si è 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

Per la zona di colmata il PFTE prevedeva (Scenario 3) la rimozione del volume di colmata e un risanamento differito dei sedimenti sottostanti inquinati. Per tali sedimenti era specificato che l'intervento avrebbe potuto essere correttamente definito in termini tecnico/economici a valle delle attività di caratterizzazione di dettaglio previste per la valutazione della qualità dei sedimenti stessi. Le indagini previste dal PFTE sono state eseguite nel 2021 ed hanno permesso di definire con maggior precisione la superficie di interfaccia colmata / sedimenti marini sottostanti, come descritto nel dettaglio nel documento **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-02-01**.

Gli approfondimenti tecnici sviluppati a partire dalle considerazioni riportate nel PFTE hanno permesso di individuare quale elemento fondamentale della progettazione il concetto di **intervento "unitario"** in quanto i comparti ambientali (sedimenti emersi e sommersi e acque marine) risultano fortemente interconnessi tra loro e la contaminazione presente nelle singole matrici e comparti ambientali (sedimenti emersi e sommersi e acque marine), se non affrontata con sistemi di bonifica da attuare in maniera coordinata e unitaria tra i comparti ambientali, anche se per lotti funzionali, può condizionare l'esito dei singoli interventi nel caso venissero eseguiti con tempistiche molto diverse, a causa dei possibili fenomeni di cross-contamination.

Sulla base di tale concetto cardine è risultato evidente come la progettazione non potesse prescindere da una valutazione di dettaglio della interconnessione tra sedimenti emersi e sommersi al fine di identificare interventi efficaci e duraturi nel tempo. Infatti, considerando la natura "dinamica" dei sedimenti (emersi e sommersi) è necessaria una progettazione integrata che tenga conto della loro evoluzione nel tempo e permetta di agire correttamente su tutti i comparti che le caratterizzano, ovvero sul comparto "dinamico" e sul comparto "statico", intendendo con comparto "dinamico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che può essere soggetta, nel corso della sua vita utile, a movimentazione a seguito dell'azione del moto ondoso e con comparto "statico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che, nel corso della relativa vita utile, non subisce movimentazioni anche nelle condizioni di moto ondoso più gravose. Il comparto "dinamico" è stato individuato attraverso l'applicazione di apposita modellistica numerica monodimensionale (cfr. elaborato **2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-11-01**) valutando la modifica del profilo trasversale di sabbia, principalmente per effetto del trasporto cross-shore, in diverse condizioni di mareggiata e di livello del mare. In particolare, si è fatto riferimento a mareggiate relative a tempi di ritorno pari a 1, 5, 10, 50 e 100 anni, anche tra loro combinate, e a condizioni di livello variabili, comprese tra il livello minimo di marea astronomica ed il livello estremo, incrementato del sovralzo previsto a causa dei cambiamenti climatici.

Lo studio dei fenomeni evolutivi e dinamici dei sedimenti ha permesso di identificare sia un profilo della linea di riva (di seguito LdR) progettuale stabile e duraturo nel tempo, sia le opere di confinamento necessarie alla sua stabilità e durabilità, sia gli spessori del volume dinamico dei sedimenti nella configurazione di progetto, definendo quindi i limiti tridimensionali (in termini di perimetro e spessore) complessivi di intervento, aggiornati rispetto quanto preventivato preliminarmente nel PFTE. La progettazione è stata quindi affrontata in maniera unitaria per gli arenili emersi nord e sud, i sedimenti sottostanti la colmata (a valle della rimozione della colmata stessa) e sedimenti onshore prospicienti l'intera LdR progettuale, fino alla "profondità di chiusura".

Tale approccio innovativo, frutto di attività e studi essenzialmente multidisciplinari, consente di affrontare tutte le problematiche del sito in maniera coordinata ed efficiente e di raggiungere efficacemente l'obiettivo di piena fruibilità degli arenili e di balneabilità a lungo termine, minimizzando opere correttive nel tempo e, pertanto, permettendo la sostenibilità tecnica ed economica degli investimenti previsti nei diversi interventi interconnessi tra loro.

La progettazione della LdR progettuale prevede pertanto, in sintesi (per i dettagli si rimanda agli elaborati specifici di progetto definitivo):

- ✓ la creazione della nuova linea di costa attestata su un profilo idrodinamicamente stabile nel lungo periodo, quale raccordo tra gli arenili esistenti;

- ✓ la realizzazione di un insieme di strutture a chiusura del sistema, con lo scopo di confinamento dell'area soggetta al risanamento, prevedendo un pennello di chiusura a nord e a sud della zona attualmente idronamicamente instabile raccordati ad una soglia di contenimento (barriera soffolta) da realizzarsi alla batimetrica - 5 m s.l.m. e un ulteriore pennello/soglia realizzato in corrispondenza dell'attuale pontile Nord.

Con tali strutture l'intera area di intervento è stata suddivisa in n.3 zone (si veda la seguente Figura 2.1)

- 1) "**microcella nord**", comprendente l'Arenile Nord dal pennello nord al pennello/soglia Pontile nord e la zona marina antistante sino alla barriera soffolta;
- 2) "**macrocella**", comprendente la zona della colmata, la zona tra la colmata e il pennello sud e la zona marina antistante sino alla barriera soffolta
- 3) "**zona Arenile Sud**", comprendente l'intero Arenile Sud e la zona marina antistante sino alla profondità di chiusura.

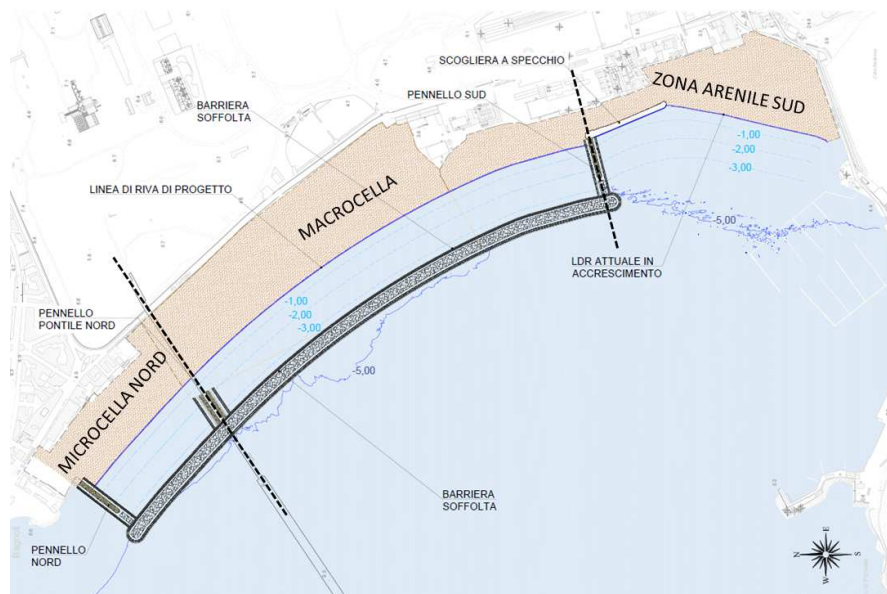


Figura 2.1: Aree di intervento

- ✓ la rimozione dello strato attivo di spiaggia, emersa e sommersa, e il ripascimento con materiale conforme in modo da evitare che le mareggiate movimentino materiale potenzialmente contaminato e che vi sia contatto diretto dei futuri fruitori della nuova spiaggia con sedimenti non conformi. Le caratteristiche granulometriche (D50) del materiale di prestito per la parte di ripascimento "attiva" saranno tali da rispettare la granulometria naturale e, al contempo, minimizzare i volumi di sabbia da approvvigionare e massimizzare gli effetti di stabilità.

Lo spessore di ripascimento è stato previsto pari ad almeno 1 m in corrispondenza dell'intera estensione della spiaggia emersa nella configurazione progettuale (microcella nord, macrocella e zona arenile sud).

La seguente Figura 2.2 mostra la sezione tipologica del nuovo profilo di spiaggia che sarà realizzato a valle delle rimozioni dello strato attivo e del ripascimento con materiale conforme.

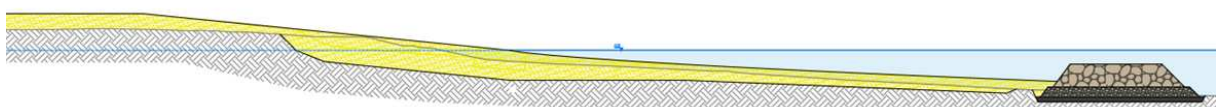


Figura 2.2: Nuovo profilo di spiaggia emersa e sommersa

Considerando i confini delle aree di progetto della nuova LdR, nella presente AdR sono state considerate :

1. le aree degli Arenili Nord e Sud nella configurazione della nuova spiaggia secondo i limiti definiti dalla LdR progettuale.

Sono incluse anche le zone oggi oggetto di concessione ad uso temporaneo (zone commerciali o adibite a parcheggi), solo parzialmente indagate nelle campagne di caratterizzazione del 2021-2023 in quanto contraddistinte da caratteristiche granulometriche peculiari differenti dagli arenili veri e propri, in corrispondenza delle quali sarà realizzata la nuova spiaggia in aderenza a quanto previsto dal PRARU.

Rispetto al confine dell'Arenile Nord previsto dal PFTE è stata stralciata l'area di spiaggia posta nella zona più a nord (i cosiddetti Arenile Agnano e Arenile Collettore Bagnoli) isolando l'area di progetto dalle eventuali contaminazioni dovute alla presenza dello scarico di piena dell'emissario di Bagnoli e la scogliera adiacente a via di Pozzuoli;

2. l'area dei sedimenti naturali sottostanti la colmata a valle della rimozione dei riporti costituenti la colmata stessa e gli interventi di scavo/ripascimento previsti dalla configurazione della nuova LdR;
3. l'area marina antistante la nuova spiaggia e compresa tra LdR e la barriera soffolta nella microcella nord e nella macrocella e tra la LdR e la profondità di chiusura (5 m slm) nella zona Arenile Sud.

3 ASPETTI GENERALI DELL'ANALISI DI RISCHIO

La metodica adottata per la valutazione del rischio sanitario è la Risk Based Corrective Action (RBCA), definita dall'American Society for Testing and Materials (ASTM), considerando, in particolare, un'analisi di secondo livello, eseguita cioè adottando valori sito-specifici e, qualora non disponibili, valori conservativi indicati nella bibliografia scientifica nazionale ed internazionale, scelti secondo il criterio di un ragionevole margine cautelativo (reasonable worst case).

I valori di accettabilità del rischio sanitario considerati sono:

- ✓ Rischio cancerogeno per esposizione ad un singolo agente cancerogeno: $R=10^{-6}$;
- ✓ Rischio cancerogeno cumulativo: $R_{cum}=10^{-5}$;
- ✓ Indice di Rischio relativo all'esposizione ad un singolo agente tossico (Hazard Quotient, HQ): <1 ;
- ✓ Indice di Rischio cumulativo (Hazard Index, HI): <1 .

Per la valutazione del percorso ambientale di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare è stata confrontata la concentrazione attesa nelle acque di mare (sia calcolata tramite l'implementazione del percorso di lisciviazione dei contaminanti presenti nei sedimenti, sia a partire dai dati disponibili di concentrazione dei contaminanti negli eluati dei test di cessione) con la concentrazione già attualmente presente nelle acque marine derivante dalle misure sito specifiche effettuate.

3.1 ASSUNZIONI GENERALI E LIMITAZIONI

La presente Analisi di Rischio si basa sul modello concettuale del sito (si veda il Capitolo 4), definito a seguito delle indagini ambientali eseguite in sito e degli interventi progettuali descritti sintetizzati nel Capitolo 2.

La formulazione delle assunzioni è stata effettuata sulla base del giudizio professionale, in accordo con le attuali conoscenze scientifiche e con gli standard adottati, al fine di garantire la conservatività ed il rigore scientifico dei risultati.

Per la valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice si è fatto riferimento ai valori contenuti nella Banca dati ISS-INAIL per AdR (ultimo aggiornamento di Marzo 2018).

In generale e in via cautelativa si è assunta l'additività del rischio delle singole sostanze cancerogene e l'additività dell'indice di rischio non cancerogeno delle singole sostanze, indipendentemente dagli organi-bersaglio. Non sono stati considerati eventuali effetti sinergici o interazioni antagonistiche delle sostanze indice.

Le elaborazioni di rischio effettuate sono finalizzate alla valutazione di esposizioni di recettori umani e di lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti verso mare e non includono valutazioni ecologiche od organolettiche relative alle matrici ambientali considerate.

3.2 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE ELABORAZIONI

Come descritto in premessa le elaborazioni riportate nel presente documento sono finalizzate alla verifica del rischio da esposizione alla contaminazione residua a valle degli interventi che saranno realizzati al fine di creare una LdR stabile e permanente nel tempo, per valutare il ripristino della balneabilità del sito.

A livello generale l'AdR può essere applicata in due modalità:

- ✓ modalità diretta (*forward mode*): permette di calcolare il rischio per un determinato recettore associato ad uno specifico percorso di esposizione e a partire da una determinata concentrazione di un contaminante;
- ✓ modalità indiretta o inversa (*backward mode*): permette di calcolare il valore massimo ammissibile di concentrazione di un composto, compatibile con il livello di rischio tollerabile per il recettore.

Per il sito in esame, gli Enti di controllo hanno specificato che tale valutazione indiretta non è ritenuta necessaria, pertanto, nell'ambito del progetto di intervento, **l'AdR è stata condotta esclusivamente in modalità diretta e nello scenario post-intervento.**

Nel presente lavoro, quindi, analogamente a quanto eseguito nelle AdR ISS 2006 e 2016 e di quanto indicato nella proposta metodologica di aprile 2022, sono stati calcolati i rischi sanitari (ovvero legati al recettore umano) associati alle concentrazioni rappresentative delle sorgenti individuate nei sedimenti non movimentati nella realizzazione della nuova LdR. Inoltre, in coerenza con quanto richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM sono stati valutati anche i rischi ambientali tramite l'implementazione del trasporto della

contaminazione in matrice acquosa verso l'area marina antistante (recettore ambientale), ipotizzando una migrazione "obbligata" del contaminante dagli arenili al mare, considerando anche gli esiti dei test di cessione eseguiti.

Pertanto, gli scenari di esposizione/migrazione "generali" definiti per l'applicazione dell'AdR, assumendo di assimilare a "suoli" i volumi di [arenili e sedimenti sottostanti la colmata](#), sono:

- ✓ orizzonte 0-1m da p.c. "insaturo": attivazione dei percorsi di contatto diretto (ingestione e contatto dermico), inalazione vapori (per i volatili ed eventualmente Idrocarburi C>12 nel caso di hot-spot superiori alla Concentrazione di Saturazione Residua) e polveri outdoor, lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso il mare;
- ✓ orizzonte 1-3m da p.c. considerato cautelativamente "insaturo": attivazione dei percorsi di inalazione vapori (per i volatili ed eventualmente Idrocarburi C>12 nel caso di hot-spot superiori alla Concentrazione di Saturazione Residua) e lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso il mare;
- ✓ orizzonte >3m da p.c. considerato "saturo": attivazione del percorso di trasporto dei contaminanti verso il mare.

Gli scenari di esposizione "generali" suddetti sono applicabili al volume di arenili e sedimenti sottostanti la colmata esterni al volume dinamico attivo (volume "statico"), ovvero laddove risulta effettivamente valida l'associazione del materiale presente con il "suolo" nell'accezione di "stabilità" della matrice ambientale oggetto di analisi.

Per il volume "dinamico" è stato invece previsto di applicare un'AdR conservativa considerando attivi tutti i percorsi di esposizione previsti per l'orizzonte 0-1 m insaturo (in particolare i percorsi di esposizione diretta), ipotizzando che tutto il materiale presente possa trovarsi in un certo istante sulla superficie del sedimento emerso, a seguito della continua miscelazione che contraddistingue tale volume, e assimilando, quindi, tale volume ad un "suolo superficiale" (convenzionalmente trattato nell'AdR come orizzonte insaturo 0-1 m).

Poiché la progettazione della nuova LdR ha previsto che il **volume dinamico** sia **costituito interamente da materiale di ripascimento conforme** e con specifiche caratteristiche fisiche che permettano la stabilità della spiaggia (si veda il cap. 2), il **rischio sanitario e ambientale associato a tale comparto risulta automaticamente accettabile**, in coerenza con quanto indicato nella Nota del MATTM Prot. 0029706/TRI del 18/11/2014 ed errata corrigée Prot. 0002277/STA del 19/02/2015 a proposito degli obiettivi di bonifica "*si ritiene accettabile l'adozione da parte dei proponenti delle CSC come obiettivi di bonifica per alcune sostanze, con contestuale applicazione dell'analisi del rischio-sito specifica per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC*".

Pertanto, **l'AdR è stata applicata in modalità diretta unicamente sul volume preesistente alla realizzazione della LdR e sottostante la zona di volume dinamico e di ripascimento.** Di conseguenza gli unici percorsi di esposizione/migrazione attivi per tali volumi sono quelli di inalazione vapori e lisciviazione/trasporto dei contaminanti verso mare.

Per quanto riguarda la [parte a mare onshore \(acque di mare e sedimenti marini\)](#) oltre allo screening preliminare già riportato nella proposta metodologica di aprile 2022 e al paragrafo 1.2³, dovrebbero essere considerati anche i seguenti scenari di esposizione integrando quelli riportati nella proposta metodologica di aprile 2022 con quelli aggiuntivi richiesti da ARPAC e ISPRA nel Parere congiunto prot. n. 062/2022:

- ✓ contatto dermico e ingestione accidentale delle acque di mare durante l'evento di nuoto;
- ✓ inalazione di vapori per presenza di aerosol che, in mancanza di equazioni specifiche che ne permettano la simulazione, è stata prevista adottando equazioni di inalazione di vapori, assumendo che il percorso di ingestione accidentale delle acque di mare durante l'evento di nuoto di cui al punto precedente "comprenda" anche l'esposizione dalla parte liquida dispersa nel mezzo gassoso degli aerosol;

³ Non essendo stati fissati, né a livello nazionale, né internazionale, degli standards di qualità per tali acque, un primo screening di qualità delle acque di mare è stato effettuato seguendo l'approccio illustrato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel documento "Guidelines for safe recreational water environments - Volume 1 Coastal and Fresh Waters" - (Geneve 2003), ripreso anche nell'AdR di ISS del 2006, secondo cui uno standard di qualità da adottare per le acque balneabili può essere dedotto da quello utilizzato per le acque potabili. Poiché mediamente nuotando si possono ingerire accidentalmente fino a 200 ml d'acqua al giorno, contro i 2 litri al giorno normalmente assunti come acqua potabile, è possibile accettare come valore massimo di sostanze chimiche rinvenibili in acque balneabili, un valore maggiorato di 10 volte rispetto a quello stabilito per le acque potabili. Pertanto, le concentrazioni disponibili sono state confrontate con i valori limite proposti nel D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 "Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. GU 06/03/2023" maggiorati di 10 volte.

- ✓ contatto dermico con i sedimenti marini fino alla batimetrica -2 m.

Poiché i **sedimenti marini costituiscono essenzialmente il comparto dinamico nella zona antistante gli arenili e la colmata** e poiché la progettazione della nuova LdR ha previsto che il volume dinamico sia **costituito interamente da materiale di ripascimento conforme** e con specifiche caratteristiche fisiche (si veda il cap. 2), per le medesime considerazioni sopra espresse per il volume dinamico anche **il rischio sanitario di contatto diretto con sedimenti marini** fino alla batimetrica -2 m previsto dal Parere congiunto ARPAC e ISPRA prot. n. 062/2022 **risulta automaticamente accettabile**.

L'AdR per le acque di mare dovrebbe essere eseguita nello scenario post-intervento, tuttavia, non conoscendo la variazione della qualità delle acque nello scenario futuro a valle degli interventi di realizzazione della nuova LdR progettuale, nel presente documento è stata riportata una **valutazione indicativa eseguita sulla base dei dati attuali di concentrazione** misurate nelle acque di mare, illustrando il percorso metodologico e le assunzioni che saranno la base per la reale stima del rischio che potrà essere eseguita a seguito del monitoraggio che sarà sviluppato successivamente alla realizzazione del progetto.

Per le elaborazioni numeriche è stato utilizzato sia il software Risk-net versione 3.1.1 Pro ("Risk-net")⁴, sia specifici fogli di calcolo excel per la simulazione dei percorsi non contemplati da software suddetto.

La tabella seguente sintetizza quanto sopra illustrato e i percorsi implementati con il software e quelli elaborati tramite fogli di calcolo excel.

Tabella 3.1: Sintesi scenari di esposizione/migrazione considerati

Matrice oggetto di analisi	Comparto / orizzonti oggetto di analisi		Scenario di esposizione / migrazione	Caratteristiche nello scenario post-intervento	Elaborazioni condotte tramite:
Arenili nord e sud e sedimenti sottostanti la colmata	Comparto dinamico		Contatto diretto (ingestione e contatto dermico)	Costituito da materiale conforme ⇒ Rischio accettabile	-
			Inalazione vapori outdoor		
			Inalazione polveri outdoor		
			Lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare		
	Comparto statico	orizzonte superficiale (0-1m da p.c.)	Contatto diretto (ingestione e contatto dermico)	Non presente, l'orizzonte superficiale dell'intera nuova spiaggia progettuale sarà costituita da materiale di ripascimento conforme	-
			Inalazione vapori outdoor		
			Inalazione polveri outdoor		
	orizzonte profondo insaturo (>1m da p.c.)	Inalazione vapori outdoor	Volume statico sottostante il comparto dinamico	Software Risk-net 3.1.1 Pro	
		Lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare			
	orizzonte profondo saturo (>1m da p.c.)	Lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare	Volume statico sottostante il comparto dinamico	Software Risk-net 3.1.1 Pro	
Sedimenti marini	Comparto dinamico		Contatto dermico con i sedimenti marini fino alla batimetrica -2 m	Costituito da materiale conforme ⇒ Rischio accettabile	-

⁴ Sviluppato su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata" e aderente alla procedura APAT-ISPRA di Analisi di Rischio in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08). Scaricabile gratuitamente al seguente sito internet: www.reconnet.net

Matrice oggetto di analisi	Comparto / orizzonti oggetto di analisi	Scenario di esposizione / migrazione	Caratteristiche nello scenario post-intervento	Elaborazioni condotte tramite:
	Comparto statico	Contatto dermico con i sedimenti marini fino alla batimetrica -2 m	Non presente, l'orizzonte superficiale dell'intera zona antistante la spiaggia progettuale fino alla profondità di chiusura sarà costituita da materiale di ripascimento conforme	-
Acque marine	Superficiali/indisturbate	Contatto dermico con le acque di mare	Non disponibili dati nello scenario futuro ⇒ Valutazione illustrativa del percorso metodologico sullo scenario attuale	Foglio di calcolo excel
		Ingestione accidentale delle acque di mare		
		Inalazione di vapori per presenza di aerosol		
	Profonde/disturbate	Contatto dermico con le acque di mare		
Ingestione accidentale delle acque di mare				

3.2.1 Approccio nel calcolo del percorso di lisciviazione

Considerando gli aspetti limitativi che caratterizzano la modellazione della lisciviazione nel caso in esame caratterizzato dalla natura dinamica delle matrici ambientali coinvolte nel calcolo, il percorso ambientale è stato valutato confrontando le concentrazioni attese in acqua in corrispondenza delle sorgenti con le concentrazioni massime rilevate nelle acque di mare onshore, al fine di comprenderne l'eventuale interrelazione. A tal fine, il percorso è stato implementato secondo due modalità:

- (a) tramite la modellistica del software Risk-net e l'utilizzo dei valori sito specifici di Kd per i contaminanti inorganici.

Si precisa che:

- o nelle opzioni di calcolo del software è stato disattivato il fattore di attenuazione che tiene conto della ridistribuzione della massa di contaminante durante il percorso dalla sorgente alle acque sotterranee (Soil Attenuation Model, SAM), in quanto, nel sito in esame, l'acqua sotterranea è stata posta in corrispondenza della base della sorgente;
- o per il calcolo a partire dalle sorgenti sature è stata applicata la medesima equazione che modella il percorso per l'insaturo adottando opportuni accorgimenti nei parametri di input, come descritto di seguito.

L'equazione prevede che il fattore di lisciviazione (LF) sia direttamente proporzionale al coefficiente di ripartizione Kws e inversamente proporzionale al fattore di diluizione LDF:

$$LF = \frac{Kws}{LDF}$$

Il coefficiente di ripartizione Kws è calcolato con la seguente equazione:

$$Kws = \frac{\rho_s}{\theta_w + K_s * \rho_s + H * \theta_a}$$

Con

ρ_s = densità del suolo

θ_w = contenuto volumetrico di acqua

θ_a = contenuto volumetrico di aria

H = costante di Henry

Ks = Kd per contaminanti inorganici e Koc * foc per i contaminanti organici

Pertanto, considerando che il contenuto volumetrico di acqua a saturazione è uguale alla porosità efficace, all'interno della equazione suddetta il contenuto volumetrico di acqua θ_w è stato posto pari al valore di porosità effettiva θ_e e, di conseguenza, il valore di contenuto volumetrico di aria θ_a è stato posto pari alla differenza tra porosità totale θ_T e θ_w ; inoltre, ps e foc sono stati posti pari a quelli stimati per l'orizzonte saturo.

Questo si traduce nell'inserire all'interno della sezione "parametri del sito – zona insatura" del software il valore di $\theta_w = \theta_e$ (derivato dalla tessitura specifica dell'orizzonte saturo) e il valore di $\theta_a = \theta_T - \theta_w$ ⁵.

Il fattore di diluizione LDF, che tiene conto della diluizione che il contaminante subisce una volta raggiunta l'acqua di falda, è calcolato con la seguente equazione:

$$LDF = 1 + \frac{V_{gw} * \delta_{gw}}{I_{eff} * W}$$

Con

I_{eff} = infiltrazione efficace

W = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda

v_{gw} = velocità di Darcy, stimata con la seguente equazione:

$$V_{gw} = K_{sat} * i$$

con K_{sat} = conducibilità idraulica e i = gradiente idraulico

δ_{gw} = spessore della zona di miscelazione in falda, stimato con la seguente equazione:

$$\delta_{gw} = (2 * 0,0056 * W^2)^{0,5} + da \left[1 - e^{-\frac{W * I_{eff}}{V_{gw} * da}} \right]$$

con da = spessore acquifero

Nel calcolo di LDF sono stati considerati i parametri I_{eff} e δ_{gw} stimati considerando la tessitura dell'orizzonte saturo (ovvero considerando i parametri già adattati per il calcolo di K_{sw} all'interno della sezione "parametri del sito – zona insatura" del software).

Si evidenzia che l'implementazione del percorso tramite il software porta generalmente ad una sovrastima delle concentrazioni attese in acqua, a causa delle assunzioni utilizzate dalle equazioni di calcolo, tra cui:

- o stato stazionario ($t \rightarrow \infty$);
- o emissione costante e continua di contaminante (ovvero sorgente che non si esaurisce nel tempo);
- o mezzo isotropo e omogeneo.

Nel caso specifico, inoltre, la natura dinamica dei sedimenti è difficilmente adattabile ad una modellazione semplificata come quella richiesta dalle equazioni di calcolo del software. In particolare, è stato implementato il percorso assumendo che l'acquifero sia presente in corrispondenza della base delle sorgenti stesse e che il trasporto avvenga obbligatoriamente verso mare, mentre nella realtà il percorso di migrazione è molto più complesso, con una interconnessione tra acqua sotterranee e acqua di mare e perturbazioni generate dalla presenza dai sistemi di MISE presenti nel sito (diaframmi plastici presenti negli arenili, sistema di emungimento presente a monte della colmata).

- (b) come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM tramite l'utilizzo delle concentrazioni rilevate negli eluati dei test di cessione condotti.

3.2.2 Approccio nel caso di superamento delle Concentrazioni di saturazione

In generale i modelli di trasporto implementati nella procedura di analisi di rischio si basano su modelli di ripartizione in cui viene assunto che il contaminante si ripartisca linearmente, secondo costanti specifiche del contaminante, come soluto, vapore e fase adsorbita alla matrice solida.

Tale assunzione risulta valida fintanto che la concentrazione totale presente nella matrice solida risulta inferiore alla concentrazione di saturazione (C_{sat}). La C_{sat} , infatti, corrisponde alla concentrazione del contaminante nel terreno alla quale viene raggiunto il limite di adsorbimento nella matrice solida, di solubilità nell'acqua contenuta

⁵ oltre al valore di θ_e pari alla porosità totale θ_T derivata dalla tessitura specifica dell'orizzonte saturo, parametro in ogni caso non utilizzato nel calcolo di K_{sw}

nei pori del terreno e di saturazione del vapore interstiziale. Raggiunta la concentrazione di saturazione di un determinato contaminante, l'emissione di vapore dal terreno verso l'aria raggiunge il suo valore massimo; quindi, l'emissione non aumenta se la concentrazione nel terreno aumenta ulteriormente (Soil Screening Guidance, EPA 1996)⁶. Pertanto, a basse concentrazioni, i rischi per i contatti indiretti (nel caso specifico volatilizzazione) crescono linearmente con la concentrazione fino ad arrivare ad un valore massimo (alla C_{sat}) in cui, come sopra descritto, si raggiungono nell'acqua e nell'aria dei pori del terreno la solubilità e la tensione di vapore della sostanza.

Al fine di valutare un rischio sanitario coerente con la natura fisica dei contaminanti e delle matrici ambientali del sito, per i contaminanti per i quali le concentrazioni rappresentative risultano superiori alla C_{sat} , il valore di rischio sanitario dovrebbe essere calcolato tenendo conto della C_{sat} , ovvero pari al massimo rischio sanitario associato alla massima emissione del contaminante in fase vapore.

Tuttavia, cautelativamente, nel presente lavoro i calcoli del rischio non hanno tenuto conto degli equilibri di ripartizione e dei rispettivi limiti fisici (solubilità e volatilità), trascurando quindi l'effetto di saturazione e determinando pertanto una valutazione di screening di tipo estremamente conservativo. Ciò si traduce con l'implementazione dei percorsi di inalazione vapori nel software di calcolo (Risk-net 3.1.1Pro) disattivando l'opzione "Considera C_{sat} per calcolo del Rischio e delle CSR".

Pertanto, nelle elaborazioni del presente lavoro sono stati calcolati valori di rischio per inalazione vapori anche per concentrazioni superiori alla C_{sat} e quindi anche per concentrazioni in fase vapore maggiori della massima concentrazione fisicamente possibile (tensione di vapore). Resta comunque inteso che tali valori teorici calcolati non possono essere considerati fisicamente significativi, in quanto in realtà la tensione di vapore di ogni sostanza, corrispondente alle condizioni di saturazione, limita in effetti la concentrazione raggiungibile in fase vapore.

3.2.3 Approccio adottato per il Mercurio

Nel Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL di marzo 2018 è specificato che per il Mercurio è opportuno considerare il composto più cautelativo in funzione della via di esposizione/migrazione attiva per la sorgente individuata:

- ✓ Cloruro di mercurio (e altri Sali del Mercurio) per la lisciviazione e il trasporto in falda, in quanto rappresenta la forma più solubile;
- ✓ Mercurio elementare per la volatilizzazione, in quanto rappresenta la forma più volatile;
- ✓ Metilmercurio per i contatti diretti (ingestione e contatto dermico di suolo) essendo la forma più tossica per ingestione.

In considerazione della tipologia dei percorsi di esposizione valutati nel presente lavoro e della indisponibilità di dati sito specifici di speciazione del mercurio, i rischi sanitari sono stati calcolati considerando l'intera concentrazione misurata associata al Mercurio elementare nei percorsi di inalazione⁷, mentre il percorso di lisciviazione è stato elaborato considerando l'intera concentrazione associata al Cloruro di mercurio.

3.2.4 Approccio adottato per gli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$, pesanti $C > 12$ e totali

I contaminanti Idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e pesanti $C > 12$ rilevati nei sedimenti ed Idrocarburi totali rilevati negli eluati e nelle acque di mare stati implementati nei calcoli adottando la classificazione MADEP riportata nella Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018.

Laddove non siano state eseguite analisi di speciazione degli idrocarburi, i contaminanti inseriti nella valutazione del rischio sono stati identificati selezionando, tra le frazioni MADEP, quelle maggiormente cautelative nel percorso di esposizione implementato.

In generale, in conformità a quanto indicato nel Documento di supporto del Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018, gli Idrocarburi $C > 12$ non sono stati considerati attivi nei percorsi di inalazione vapori; tuttavia, come richiesto da ISPRA nel parere prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, il calcolo è stato attivato nel caso in cui le

⁶ Si precisa inoltre che tale valore non corrisponde al limite discriminante per la presenza di fase libera mobile (come riportato da ASTM E2081-00, reapproved 2004). Infatti, è noto che solo a concentrazioni molto superiori alla concentrazione di saturazione (anche di diversi ordini di grandezza), in funzione delle caratteristiche litologiche del terreno, della viscosità e della densità del prodotto, si può innescare la mobilità della fase libera. La condizione caratterizzata da immobilità è denominata saturazione residua ("residual saturation", API 1999, Bedient et al. 1999, Charbeneau, 2000).

⁷ Non sono attivi, infatti, percorsi di contatto diretto per i quali il Metilmercurio risulterebbe il contaminante più critico.

concentrazioni misurate siano risultate superiori al valore di "saturazione residua" riportato dall'Appendice V del Manuale ISPRA per litologie di tipo sabbioso (7700 mg/Kg). In tal caso nel software Risk-net è stata disattivata l'opzione di calcolo "Attiva il percorso di volatilizzazione solo per i composti volatili (classi VC*, VOC* e SVOC*)".

3.2.5 Approccio adottato per le diossine e furani

Nella Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018 sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche del solo congenere di riferimento: 2,3,7,8-TCDD.

Nelle elaborazioni effettuate con il software di calcolo, cautelativamente, le Diossine/Furani (PCDD/F) sono state implementate come se fossero costituite interamente dal congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD.

In conformità a quanto indicato nel Documento di supporto del Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018 le Diossine / Furani (ovvero il congenere 2,3,7,8-TCDD) non sono state considerate attive nei percorsi di inalazione vapori.

3.2.6 Approccio adottato per il PCB

Nella Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018 sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche di due tipologie di PCB: i PCB DL ("dioxin like") e i PCB TOT, che è costituito dalla sommatoria di PCB DL e PCB NDL ("no dioxin like").

I congeneri rappresentativi delle due tipologie di PCB sono:

PCB DL: 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189

PCB NDL: 28, 52, 95, 99, 101, 110, 128, 138, 146, 149, 151, 153, 170, 177, 180, 183, 187

In conformità a quanto indicato nel Documento di supporto del Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018:

- ✓ il calcolo dei rischi è stato effettuato considerando entrambe le tipologie di PCB: PCB DL e PCB TOT.
Quale concentrazione rappresentativa di PCB DL è stata considerata la sommatoria delle singole concentrazioni rilevate per i congeneri 77,81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189.
- ✓ sia PCB DL, sia PCB TOT non sono stati considerati attivi nei percorsi di inalazione vapori.

3.2.7 Approccio adottato per i composti organostannici

Nel Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL di marzo 2018 è specificato che, tra i composti organostannici noti (ovvero composti organici che contengono almeno un legame fra carbonio e stagno come il Tributilstagno TBT, il Monobutilstagno MBT, il Dibutilstagno DBT), sono reperibili in letteratura valori scientificamente consolidati per i parametri chimico-fisici e tossicologici esclusivamente per il Tributilstagno (TBT). Pertanto, è stata attribuita alla classe dei "Composti organostannici" le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche del Tributilstagno (TBT).

Nel presente lavoro, in maniera cautelativa, tutti i singoli composti organostannici ricercati nelle indagini ambientali sono stati implementati nei calcoli assegnando ad essi le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche del Tributilstagno (TBT).

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO E PARAMETRI GENERALI PER L'APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO

Nel presente capitolo si riporta una descrizione a macro-scala dell'inquadramento geologico e idrogeologico dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio e dei parametri meteorologici di riferimento per tutte le matrici ambientali oggetto di analisi di rischio (Arenile Nord, Arenile Sud, sedimenti sottostanti la colmata, sedimenti marini e acque di mare)

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

4.1.1 Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico il territorio interessato dalla progettazione degli interventi di risanamento fa parte integrante del sistema vulcanico dei Campi Flegrei, un sistema formato da vari vulcani ancora attivi soggetto al bradisismo. Secondo diversi autori, la morfologia attuale dell'area è il risultato di un'alternanza di eventi vulcanici costruttivi e distruttivi e/o processi tettonici talvolta coevi. L'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale.

Nella parte centrale ed orientale della piana, il substrato è formato dal Tufo Giallo Napoletano che affiora lungo il margine della dorsale di Posillipo. La parte occidentale è invece dominata dalle vulcaniti di Agnano. Al di sopra delle successioni vulcaniche si rinviene una sequenza di sedimenti marini fossiliferi o di spiaggia, eolici, limo-palustri, vulcanoclastici, piroclastici e/o antropici.

L'area centrale della Piana di Bagnoli, si configura come una vasta e piatta depressione retrodunale delimitata verso mare da un cordone costiero. Tale depressione con caratteristiche deposizionali di tipo limo-palustre si è mantenuto come tale almeno dal Medioevo fino al 1800, quando è cominciata la bonifica e l'intensa antropizzazione. I processi di urbanizzazione ed industrializzazione hanno portato ad una completa trasformazione morfologica del territorio e di conseguenza del "naturale" substrato geologico. Un importante coltre di terreni di riporto formato anche da una componente di materiale litoide di provenienza "industriale" frammisto ai prodotti cineritici rimaneggiati hanno ricoperto in modo disuniforme l'intera piana a costituire un nuovo orizzonte litologico.

4.1.2 Inquadramento idrogeologico e MISE delle acque di falda

I dati stratigrafici e le prove di permeabilità condotte nel tempo nel sito hanno permesso di stimare come l'acquifero dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio sia caratterizzato da un sistema di due unità idrogeologiche sottostanti una coltre di riporti antropici non sempre interessata dalla falda. I dati hanno portato a identificare un modello di circolazione monofalda a "due velocità" dato che dalle prove in situ risultano dei valori di conducibilità idraulica orizzontale differenti di quasi un ordine di grandezza:

- ✓ unità idrogeologica 1 (fino a 15 m da p.c.): costituita schematicamente da una litologia prevalentemente sabbioso limosa e/o limoso sabbiosa con coefficiente medio $K_h = 2.87E-5$ m/s
- ✓ unità idrogeologica 2 (oltre 15 m da p.c.): costituita schematicamente da sabbia debolmente limosa-ghiaiosa alla quale è possibili attribuire un coefficiente medio $K_h = 8.68E-5$ m/s

L'immagine seguente mostra uno stralcio della carta della soggiacenza della falda riportata nel PFTE (elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.04).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023



Figura 4.1: Carta della soggiacenza della falda (Stralcio elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.04)

I valori di gradiente idraulico riportati nei documenti tecnici redatti per l'ARIN e/o calcolati sulla base dei dati piezometrici misurati nel tempo sono riportati nella tabella seguente. Il valore medio è pari a circa 0,0013.

Tabella 4.1: Sintesi dei valori di gradiente idraulico

Fonte	Anno	Valore di gradiente idraulico (%)
Studio idrogeologico ed idraulico a supporto delle attività di progettazione dell'intervento di messa in sicurezza permanente delle acque di falda nell'area di Bagnoli	2009	0,2
Bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli e Coroglio (NA) - Fase 0 - Arenili di Bagnoli Lotto 2 - Progetto Esecutivo	2008	0,15
Calcolo da piezometrie - Marzo 2019	2019	0,11
Calcolo da piezometrie - Luglio 2019	2019	0,096
Calcolo da piezometrie - Febbraio 2020	2020	0,11

In corrispondenza dell'ARIN è stato realizzato un sistema di messa in sicurezza delle acque di falda (MISE), composto dai seguenti impianti:

- ✓ una Barriera costituita da n. 31 pozzi di emungimento, localizzati all'interno dell'area di Invitalia, e di n. 42 pozzi di ricarica localizzati sulla colmata, oggi non più attivi (c.d. "Barriera BF");
- ✓ n. 2 diaframmi plastici, localizzati rispettivamente sugli arenili nord e sud dell'ARIN di Bagnoli Coroglio (c.d. "diaframmi plastici");
- ✓ un impianto di trattamento delle acque di falda provenienti dalla Barriera BF, localizzato all'interno dell'area di Invitalia (c.d. "TAF1"), oggi non più in funzione;
- ✓ un impianto di trattamento delle acque di falda provenienti dai diaframmi plastici, sito a via Coroglio sulla colmata (c.d. "TAF2").

È in corso Invitalia la progettazione, affidamento ed esecuzione di un nuovo sistema di messa in sicurezza delle acque di falda in sostituzione dell'esistente che sarà costituito da una nuova barriera idraulica (c.d. "Barriera Invitalia") ed un nuovo impianto di trattamento delle acque di falda (c.d. "TAF3"). Inoltre, vista l'obsolescenza dell'impianto TAF1, Invitalia ha progettato e realizzato un by-pass idraulico del TAF1 che dal luglio 2022 permette il collegamento della Barriera BF all'impianto TAF2, nel periodo transitorio di realizzazione della nuova barriera Invitalia e il nuovo impianto di trattamento TAF3.

Le acque trattate dall'impianto TAF2 sono scaricate in pubblica fognatura a fronte delle autorizzazioni allo scarico rilasciate dall'ATO 2 Napoli-Volturno in data 5 agosto 2009 (Prot./SCA b. 3483/2009) e successivi rinnovi.

4.2 PARAMETRI METEOROLOGICI CARATTERISTICI DEL SITO E DI INTERESSE PER L'ANALISI DI RISCHIO

I dati ambientali di interesse per la presente AdR sono le precipitazioni cumulate annue, la velocità media annua del vento nella zona di miscelazione, la direzione prevalente del vento e la temperatura dell'aria (quest'ultima per le elaborazioni del percorso di inalazione dalle acque di mare).

Per quanto riguarda i dati relativi alle precipitazioni cumulate, sono state considerate le misure effettuate dal 2009 al 2014 nella stazione Idrografica di Nisida⁸ (si veda l'**Allegato 3**).

Quale valore di precipitazione media annua (P) è stato considerato il valore massimo annuale pari a 1075 mm/anno.

Tale valore è stato utilizzato per il calcolo dell'infiltrazione efficace, parametro che rientra nella valutazione del percorso di dilavamento dei sedimenti verso le acque sotterranee e poi verso il mare.

L'infiltrazione efficace (I_{eff}), definita come il quantitativo di pioggia che effettivamente raggiunge le acque sotterranee al netto dell'evapotraspirazione, può essere stimata mediante l'equazione empirica consigliata da ISPRA nel Manuale ISPRA (pag. 64), considerando assente la pavimentazione:

$$I_{eff} = n \cdot P^2$$

dove:

P = precipitazione media annua (cm/anno);

n = coefficiente moltiplicativo, che varia in funzione della tessitura prevalente, secondo le seguenti classi:

- ✓ "Sand" che comprende le tessiture: Sand, Loamy Sand e Sandy Loam;
- ✓ "Silt", che comprende le tessiture: Sandy Clay Loam, Loam, Silt Loam e Silt;
- ✓ "Clay" che comprende le tessiture: Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Sandy Clay e Clay.

Nei calcoli è stato utilizzato il coefficiente "n" pari a 0,0018 (corrispondente alla classe Sand, caratteristica dei sedimenti oggetto di analisi di rischio) determinando un valore di infiltrazione efficace (I_{eff}) pari a 20,8 cm/anno.

Per quanto riguarda i dati anemometrici e relativi alla temperatura dell'aria, sono stati utilizzati i rilievi effettuati dal 2010 al 2022 dalla stazione di Napoli appartenente alla Rete Mareografica Nazionale⁹.

⁸ http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/Home_new.html#: dati disponibili esclusivamente dal 2009 al 2014

⁹ <http://www.mareografico.it/>: dati disponibili dal 2010 al 2016 e dal 2019 al 2022

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Il minimo valore di velocità del vento medio annuo è pari a 3 m/s. Tale valore si riferisce a misure effettuate a 10 m di quota dal piano campagna e pertanto, in accordo con le indicazioni di ISPRA, è stato corretto al fine di riferirlo alla quota di 2 m dal p.c. (spessore di miscelazione indicato da ISPRA), tramite la formula empirica di S. R. Hanna et al. 1982 (Criteri Metodologici di ISPRA, pag. 74), considerando una classe di stabilità atmosferica neutrale in area rurale, ottenendo un valore pari a 2,37 m/s.

La direzione di provenienza prevalente del vento è da ENE.

La temperatura media dell'aria è pari a 18°C.

In **Allegato 3** sono riportati i dati sorgente e le elaborazioni condotte per la stima dei dati meteorologici.

5 ANALISI DI RISCHIO ARENILE NORD

Nel presente capitolo si illustra l'AdR condotta per la matrice Arenile Nord, a partire dalla descrizione del modello concettuale del sito, sviluppato parametrizzando le tre componenti utili alla valutazione del rischio - sorgenti e contaminanti indice, vie e modalità di esposizione/migrazione e recettori - tramite l'identificazione dei valori rappresentativi dei parametri di input delle elaborazioni condotte, sino alla presentazione dei risultati dei calcoli eseguiti tramite il software Risk-net.

5.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO

L'area di interesse per l'Arenile Nord è costituita dalla zona compresa tra il pennello nord e il pennello pontile nord, ed è mostrata nella figura seguente.



In rosso il confine dell'Arenile Nord nella zona di progetto, in azzurro il confine dell'Arenile Nord ex PFTE, in arancione le opere previste nel progetto di creazione della LdR progettuale

Figura 5.1: Area di interesse per l'Arenile Nord

Nell'arenile Nord sono stati effettuati nel tempo alcuni interventi di risanamento ambientale sulla base degli esiti delle indagini condotte dal 1999 al 2014, in particolare:

- ✓ nel 2006-2009: INVITALIA (ex SIAP) ha redatto il "Progetto preliminare e definitivo di bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli – Coroglio", approvato il 28 febbraio 2006 in Conferenza dei Servizi decisoria ex art. 14 della Legge 241/90. Gli interventi eseguiti e collaudati nel 2009 hanno previsto:
 - Intervento di "Fase 0":
 - scavo dei sedimenti contaminati per uno spessore medio di 60 cm (20 cm sulla linea di battigia fino a 1 m a monte) e loro messa a dimora, in cumuli, sull'area di deposito preliminare;

- fornitura e posa in opera, a fondo scavo, di un telo semi-permeabile in TNT, al fine di impedire il contatto tra i sedimenti contaminati che non vengono scavati ed i sedimenti puliti posti a sostituzione del materiale rimosso;
- messa a dimora di sabbia pulita proveniente da cava per uno spessore di 1 metro;
- messa in opera di una protezione spondale in massi;
- Intervento di "Fase 1":
 - messa in opera di un diaframma plastico impermeabile a protezione degli arenili, corredato da trincea drenante per l'intercettazione delle acque di falda;
 - messa in opera di un impianto per l'emungimento dell'acqua di falda intercettata e di un impianto di trattamento delle acque stesse;
 - trattamento delle acque di falda.

Le attività suddette sono state certificate dalla Provincia di Napoli, ai sensi dell'art. 248 del D.Lgs. 152/06, con nota prot. 59 del 14/05/2009.

- ✓ nel 2016: INVITALIA ha dato corso ad un intervento di manutenzione per rendere fruibile ai fini della elioterapia il suddetto tratto di costa e ripristinare le condizioni di sicurezza della parte di spiaggia dell'arenile Nord di Bagnoli.

L'intervento di manutenzione è stato eseguito in particolare secondo le indicazioni dell'Istituto Superiore di Sanità che ha condotto un aggiornamento dell'Analisi di Rischio (Prot. 15/03/2016 – 0007513) la quale aveva concluso che *"dalle simulazioni effettuate non si evidenzia rischio, sia cancerogeno che tossico, sia per gli adulti che per i bambini, per tutte le vie di esposizione prese in considerazione"* (ingestione, contatto dermico, inalazione di vapori e poveri). *"Tale condizione di assenza di rischio si riferisce allo stato dei luoghi"* ovvero la presenza di un substrato di sabbia di riempimento con caratteristiche analoghe a quelle prelevate in sede di collaudo degli interventi di Bonifica con messa in Sicurezza condotte nel 2009.

In sintesi, le attività eseguite nel 2016 hanno previsto:

- posa in opera di un telo semi-permeabile in TNT, al fine di impedire il contatto tra la sabbia potenzialmente contaminata e la sabbia pulita di cui al successivo punto;
- ripascimento con sabbia con caratteristiche definite proveniente da cava che potesse assicurare la massima compatibilità con la sabbia posta in opera nel corso dell'intervento realizzato nel 2009 in considerazione del colore, granulometria, natura sedimentologica, chimismo, caratteristiche microbiologiche;
- ripristino della protezione spondale in massi presente sulla battigia e finalizzata ad impedire il contatto tra sedimenti marini e sabbia pulita posta in opera ed a protezione dell'intervento di ripascimento effettuato.

L'immagine seguente mostra lo stato attuale della porzione di Arenile Nord oggetto di Analisi di Rischio.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023



Figura 5.2: Stato attuale dell'Arenile Nord



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

5.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

Sulla base delle indagini effettuate in sito, in particolare quelle condotte da IAM-CNR nel 2005 (Rif. [1]) ed elaborate nel progetto di bonifica degli arenili condotto da Sviluppo Italia Attività Produttive S.p.a. nel 2006, il modello geologico dell'arenile Nord è risultato caratterizzato da una successione lito-stratigrafica così costituita:

- ✓ nei primi 6-7 metri dal p.c. sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi, aventi granulometria variabile da medio-fine a medio-grossolana, a cui si intercalano lenti discontinue di depositi ghiaiosi e tufacei (tufo di colore ocra); questi ultimi sono caratterizzati da uno spessore massimo di un metro circa;
- ✓ a parte da 6-7 m dal p.c. fino alla profondità indicata di circa 20 metri, si rinviene un substrato di natura prevalentemente tufacea di colore grigio, che localmente presenta intercalazioni discontinue di lenti ghiaiose.

Alcune tomografie elettriche hanno permesso di valutare l'ingressione del cuneo salino in corrispondenza di tre distinte aree: Lido l'Arenile (zona più a sud dell'Arenile Nord, confinante con la Colmata), Lido Fortuna (zona più a nord dell'Arenile Nord) e Lido Comunale (zona compresa tra gli altri due lidi). Nell'area del Lido Fortuna già ad una profondità di 0,5 m dal piano campagna sembra verificarsi la presenza di acqua con caratteristiche di salinità ascrivibile ad acqua di mare. Diversamente per il Lido l'Arenile e Lido Comunale tale presenza si verifica tra i 2,0 ed i 4,0 m dal piano campagna.

Nell'ambito della redazione delle stratigrafie dei sondaggi realizzati nel 2021 e 2023 sono state annotate le quote degli eventuali risconti delle acque di falda per ciascuna verticale realizzata. Per l'Arenile Nord la falda è stata riscontrata da un minimo di 1 m da p.c. ad un massimo di 3,2 m da p.c.; la sintesi di tutti i rilievi è riportata nella tabella seguente.

Tabella 5.1: Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Nord

Sondaggio	Arenile Nord	
	Anno realizzazione	Quota falda (m da p.c.)
S1	2021	Nd
S10	2021	2,2

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Arenile Nord		
Sondaggio	Anno realizzazione	Quota falda (m da p.c.)
S11	2021	1,9
S12	2021	Nd
S2	2021	2,1
S3	2021	Nd
S4	2021	1,3
S5	2021	2,0
S6	2021	1,3
S7	2021	1,0
S8	2021	1,6
S9	2021	1,9
S1	2023	Nd
S1/2	2023	2,0
S10-PZ(ARN)3	2023	2,5
S11	2023	2,5
S13	2023	2,5
S14	2023	2,6
S15	2023	2,2
S2	2023	2,0
S2/3	2023	2,0
S3	2023	Nd
S3-1	2023	2,1
S3-2	2023	Nd
S3-3	2023	Nd
S4	2023	2,0
S4/5-PZ(ARN)2	2023	2,1
S5	2023	2,0
S5/6-PZ(ARN)4	2023	2,0
S6	2023	1,9
S6/7	2023	1,9
S7	2023	1,8
S8	2023	2,3
S8/9	2023	3,2
S9/10	2023	3,2
S9-PZ(ARN)1	2023	2,0
SUT3	2023	2,0

nd = falda non rinvenuta in fase di perforazione del sondaggio

Per l'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto in falda verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti è necessario parametrizzare alcune caratteristiche specifiche dell'acquifero.

Nel caso del sito in esame, è stata considerata l'unità idrogeologica più superficiale descritta la paragrafo 4.1.2, ovvero l'unità idrogeologica 1 caratterizzata da conducibilità idraulica orizzontale pari a $2.87E-5$ m/s, spessore pari a 15 m e gradiente idraulico medio pari a 0,0013.

5.3 QUADRO AMBIENTALE

Per l'implementazione dell'AdR sono stati considerati gli esiti delle indagini eseguite nel 2021 e 2023¹⁰, considerando esclusivamente i sondaggi inclusi nell'area di interesse definita dalla LdR progettuale.

¹⁰ sono state escluse le indagini antecedenti in quanto il parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM con oggetto "Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della

Nello specifico, sono state considerate:

- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 tramite Appalto Specifico n.18, con la realizzazione di n. 12 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 36 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S1, S2, S3, S8 ubicati esternamente all'area di interesse per l'AdR; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.24 campioni prelevati da n.8 sondaggi;
- ✓ Caratterizzazione integrativa eseguita da Invitalia nel 2023 in attuazione del Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud dell'ottobre 2022, tramite Appalto Specifico n.2 con la realizzazione di n.25 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 102 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S1, S1/2, S2, S2/3, S3, S3-1, S3-2, S3-3 e S8 ubicati esternamente all'area di interesse per l'AdR; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.68 campioni prelevati da n.16 sondaggi.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei punti di indagine di interesse.



Figura 5.3: Punti di indagine di interesse nell'Arenile Nord

progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022" ha esplicitato che "Si fa presente che i dati delle caratterizzazioni ante 2009 non possono essere utilizzati per l'implementazione dell'Analisi di Rischio perché lo stato di contaminazione è fortemente influenzato dalle azioni del mare e del vento e delle acque sotterranee in relazione al trasporto dei contaminanti"

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

In entrambe le campagne di indagine è emerso come i principali contaminanti presenti nell'Arenile Nord siano quelli appartenenti alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, Idrocarburi pesanti C>12 e gli Inorganici, con sporadiche e localizzate presenze di Idrocarburi leggeri C≤12 e Benzene.

La tabella in **Allegato 4** riporta tutte le analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale. Per ciascun campione sono state ricalcolate le quote di prelievo in m slm considerando la quota assoluta del piano campagna ricavata dal rilievo topografico LIDAR effettuato nel 2022 per l'intera ARIN.

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini del 2021 - 2023 riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti nel sedimento insaturo e saturo, considerando:

- ✓ campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (> 0 m slm), considerando cautelativamente in questa categoria anche i campioni che si trovano a quota intermedia rispetto al piano di interfaccia insaturo/saturo, ovvero con bottom di prelievo a quote inferiori a 0 m slm;
- ✓ campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm), ovvero che si trovano interamente all'interno dello strato saturo.

Le concentrazioni massime e medie dei campioni insaturi e saturi sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.1).

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 5.2: Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Nord

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Max	media	max	media
		pH	-	-	-	-	10,50	8,92
Conducibilità	µs/cm	-	-	-	391,00	123,21	706,00	216,64
Antimonio	mg/Kg	30	10	-	3,42	1,20	2,09	1,03
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	141,00	24,28	196,00	78,86
Berillio	mg/Kg	10	2	9	4,57	1,57	9,67	3,62
Cadmio	mg/Kg	15	2	-	0,72	0,37	0,70	0,52
Cobalto	mg/Kg	250	20	120	7,28	2,85	9,39	3,74
Cromo totale	mg/Kg	800	150	-	103,00	9,07	22,80	6,60
Cromo esavalente	mg/Kg	15	2	-	1,00	0,67	1,00	0,69
Mercurio	mg/Kg	5	1	-	0,74	0,20	0,46	0,15
Nichel	mg/Kg	500	120	-	6,87	4,58	13,00	3,58
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	137,00	27,37	305,00	117,18
Rame	mg/Kg	600	120	-	47,10	7,74	237,00	19,72
Selenio	mg/Kg	15	3	-	3,63	0,82	2,69	0,99
Stagno	mg/Kg	350	1	14	4,68	1,91	8,42	3,12
Composti organostannici	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tallio	mg/Kg	10	1	-	6,54	0,91	1,73	0,63
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	138,00	26,42	78,60	40,40
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	253,00	55,01	548,00	163,42
Cianuri	mg/Kg	100	1	-	0,50	0,32	0,50	0,43
Fluoruri	mg/Kg	2000	100	-	219,00	49,34	306,00	118,90
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5	-	9,02	1,43	70,30	11,00
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	13,30	1,53	66,90	11,32
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	10,30	2,63	63,60	19,55

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Max	media	max	media
Benzo(b+j)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	16,60	2,28	82,40	13,99
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1	-	12,60	1,82	62,00	10,38
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	3,88	0,70	19,20	4,13
Crisene	mg/Kg	50	5	-	10,10	1,66	49,00	10,44
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	5,39	0,69	29,80	3,35
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1	-	1,82	0,24	12,40	1,94
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	7,36	1,11	43,60	5,95
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	3,55	0,51	19,00	2,46
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	2,80	0,35	11,20	1,24
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg	5	0,1	-	18,30	2,26	90,60	14,07
Pirene	mg/Kg	50	5	-	17,30	2,52	136,00	22,18
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10	-	72,60	11,62	453,00	75,57
Naftalene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,17	0,04	0,70	0,15
Acenaftilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	1,61	0,20	2,22	0,54
Acenaftene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,19	0,04	1,70	0,52
Fluorene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,54	0,08	4,03	0,85
Fenantrene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	6,41	0,81	56,00	7,06
Antracene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	1,88	0,38	13,70	2,54
Fluorantene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	21,60	2,77	159,00	25,42
Benzene	mg/Kg	2	0,1	-	0,12	0,04	0,11	0,03
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5	-	0,04	0,01	0,03	0,01
Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,15	0,05	0,10	0,04
m,p-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
o-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stirene	mg/Kg	50	0,5	-	0,00	0,00	0,01	0,00
Toluene	mg/Kg	50	0,5	-	0,32	0,06	0,24	0,07
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg	100	1	-	0,57	0,11	0,39	0,12
Idrocarburi totali	mg/Kg	-	-	-	246,00	94,70	2670,00	836,84
Idrocarburi C≤12	mg/Kg	250	10	-	19,50	8,71	10,60	7,94
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50	-	2649,00	139,43	2663,00	379,64
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06	-	0,01	0,00	0,04	0,01
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/kg	100	10	-	4,84	2,02	3,99	2,90
Amianto	-	-	-	-	Assente	Assente	Assente	Assente

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevabilità)

Per la verifica del rischio ambientale legato alla lisciviazione dei contaminanti dai sedimenti e trasporto verso il mare sono stati considerate le concentrazioni degli eluati dei test di cessione eseguiti nelle campagne di indagine 2021 e 2023.

Tutti i risultati delle analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale sono riportati in **Allegato 4**, mentre la tabella seguente sintetizza gli esiti dei test di cessione riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei campioni insaturi e nei campioni saturi (così come sopra definiti), confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.2).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC/Limiti ISS o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 5.3: Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui campioni dell'Arenile Nord

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord					
		CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Antimonio	µg/L	5	-	10,20	5,73	54,90	12,40
Arsenico	µg/L	10	380	47,40	7,64	86,80	30,44
Bario	µg/L	-	-	130,00	28,02	9,46	8,70
Berillio	µg/L	4	9	0,49	0,49	2,46	1,56
Cadmio	µg/L	5	-	0,84	0,84	n.d.	n.d.
Cobalto	µg/L	50	-	1,13	1,07	2,46	1,75
Cromo totale	µg/L	50	-	5,30	2,59	3,03	1,82
Cromo esavalente	µg/L	5	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Mercurio	µg/L	1	-	0,61	0,61	0,21	0,15
Molibdeno	µg/L	-	-	19,00	11,73	257,00	69,53
Nichel	µg/L	20	-	4,29	1,83	2,51	1,51
Piombo	µg/L	10	19	59,60	8,61	91,80	38,10
Rame	µg/L	1000	-	15,70	2,30	20,90	4,44
Selenio	µg/L	10	-	2,40	2,40	4,75	2,94
Monobutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dibutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tributilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tallio	µg/L	2	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vanadio	µg/L	<u>50</u>	-	26,60	5,25	19,40	7,56
Zinco	µg/L	3000	-	43,00	14,27	88,60	46,40
Cianuri totali	µg/L	50	50	3,00	1,80	5,00	2,00
Cloruri	mg/L	-	-	265,00	46,49	2310,00	338,86
Indice di fenolo	mg/L	<u>0.0005</u>	-	0,07	0,06	0,08	0,06
Fluoruri	mg/L	1,5	4	1,95	0,37	5,25	0,97
Nitrati	mg/L	-	-	2,47	2,10	11,10	5,63
Solfati	mg/L	250	-	1160,00	137,95	678,00	114,40
Carbonio organico disciolto (DOC)	mg/L	-	-	3,09	2,22	4,02	2,88
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	µg/L	350	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo(a)antracene	µg/L	0,1	-	0,75	0,10	0,56	0,08
Benzo(a)pirene	µg/L	0,01	-	0,75	0,10	0,56	0,08
Benzo(b+j)fluorantene	µg/L	0,1	-	1,06	0,16	1,20	0,15
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0,01	-	0,71	0,10	0,48	0,07
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0,05	-	0,21	0,04	0,21	0,03
Crisene	µg/L	5	-	0,37	0,09	0,35	0,06
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0,01	-	0,16	0,03	0,03	0,02
Indenopirene	µg/L	0,1	-	1,34	0,19	0,84	0,12
Pirene	µg/L	50	-	0,77	0,09	0,52	0,09
Sommatoria IPA	µg/L	0,1	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Naftalene	µg/L	<u>5</u>	-	0,03	0,02	0,02	0,02
Acenaftilene	µg/L	<u>5</u>	-	0,07	0,02	0,13	0,04
Acenaftene	µg/L	<u>5</u>	-	0,04	0,04	0,04	0,04

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord					
		CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti JSS</u>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Fluorene	µg/L	5	-	0,05	0,01	0,06	0,02
Fenantrene	µg/L	5	-	0,09	0,02	0,07	0,02
Antracene	µg/L	5	-	0,07	0,03	0,05	0,02
Fluorantene	µg/L	5	-	1,18	0,10	0,67	0,11
Sommatoria PCB	µg/L	0,01	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzene	µg/L	1	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Etilbenzene	µg/L	50	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
m,p-Xilene	µg/L	10	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stirene	µg/L	25	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Toluene	µg/L	15	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/L	0,000004	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
pH	unità pH	-	-	10,40	9,91	10,40	9,85
Amianto	mg/L	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevanza)

5.4 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI

Le sorgenti di contaminazione su cui effettuare l'AdR sono identificate nei comparti ambientali in cui sono stati rinvenuti superamenti dei limiti di riferimento, ovvero, nello specifico, i sedimenti insaturi e saturi dell'Arenile Nord.

Nel caso in esame i superamenti dei limiti di riferimento nella configurazione post-intervento considerato nella presente AdR, ovvero a valle degli interventi di realizzazione della nuova linea di riva e della nuova spiaggia così come previsto dal PRARU, sono presenti esclusivamente nell'orizzonte profondo insaturo e saturo. Sull'arenile, infatti, sarà riportato sedimento conforme con uno spessore variabile localmente sulla base delle pendenze di raccordo della LdR ma con un franco minimo pari ad 1 m rispetto alla quota esistente pre-intervento.

Per la definizione dell'estensione areale della sorgente, in generale, secondo le indicazioni del Manuale ISPRA, si dovrebbe assegnare ad ogni punto di campionamento un'area rappresentativa, costituita da un poligono costruito secondo il metodo di Thiessen e prendendo a riferimento l'"analisi del vicinato" ed il rispetto del "principio di continuità della sorgente". Nel caso specifico, considerando la natura dinamica del sedimento oggetto di indagine nel tempo, è stato preferito considerare cautelativamente una sorgente insatura e una sorgente satura, entrambe di estensione pari all'intero confine dell'Arenile Nord nella configurazione post-intervento.

Inoltre:

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi sanitari di inalazione vapori outdoor, attivi unicamente nell'orizzonte insaturo, le caratteristiche geometriche della sorgente sono state ricavate considerando la direzione del vento da ENE (come identificata nella stazione mareografica di Napoli, cfr. par. 4).

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata pari a 5 m, considerando la distanza tra:

- il minimo top dei campioni eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. attuale)
- il massimo bottom dei campioni insaturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (5 m da p.c. attuale).

Poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e, pertanto, la sorgente è stata cautelativamente posta ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi sanitari di inalazione outdoor dai sedimenti profondi insaturi nell'Arenile Nord.

Tabella 5.4: Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori nell'Arenile Nord

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	m	187	Massima dimensione dell'intero Arenile Nord (nella configurazione di LdR progettuale) lungo la direzione principale del vento (da ENE)
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds	m	5	Differenza tra minimo top dei campioni con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni insaturi con eccedenza dei limiti di riferimento

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare, attivi sia per l'orizzonte insaturo, sia per quello saturo, è stato considerato un movimento "obbligato" dai sedimenti verso mare, indipendentemente dalla attuale direzione di falda e dalle perturbazioni date dalla presenza del diaframma plastico presente nel sito per la MISE delle acque sotterranee (cfr. par. 4.1.2); cautelativamente, quindi, le dimensioni delle sorgenti sono state poste nelle elaborazioni pari alla massima estensione delle sorgenti stesse perpendicolare alla LdR progettuale.

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata:

- ✓ pari a 5 m per l'orizzonte insaturo, considerando, analogamente alla sorgente considerata nei percorsi di inalazione vapori, la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. attuale)
 - il massimo bottom dei campioni insaturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (5 m da p.c. attuale).
- ✓ pari a 5,1 m per l'orizzonte saturo, considerando la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (1,9 m da p.c. attuale)
 - il massimo bottom dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (7 m da p.c. attuale).

Anche in questo caso, poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e pertanto le sorgenti sono state cautelativamente poste ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti profondi insaturi e saturi dell'Arenile Nord.

Tabella 5.5: Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare nell'Arenile Nord

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	m	163	Massima dimensione dell'intero Arenile Nord (nella configurazione di LdR progettuale) perpendicolare alla LdR progettuale

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo rispetto al p.c.	Ls,SP _{ins}	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds _{ind}	m	5	Differenza tra minimo top dei campioni con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni insaturi con eccedenza dei limiti di riferimento
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo saturo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	2,9	Minimo top dei campioni saturi + minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo saturo	ds _{sat}	m	5,1	Differenza tra minimo top dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti sono illustrate nell'elaborato grafico **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-PLA-01-00**.

Le sostanze indice di contaminazione sono state identificate considerando tutti quei parametri che hanno mostrato almeno un superamento dei limiti di riferimento nelle analisi realizzate dal 2021 al 2023 in corrispondenza dei punti di indagine ubicati all'interno della sorgente insatura e saturo.

Le Concentrazioni rappresentative delle sostanze indice (C_{RS}) nella sorgente insatura e saturo sono state poste cautelativamente pari alle concentrazioni massime rilevate nelle indagini del 2021-2023 rispettivamente nei campioni insaturi e saturi.

Si precisa che, in maniera estremamente cautelativa nella presente valutazione del rischio non è stato considerato l'intervento di scavo previsto per la creazione della LdR progettuale e, pertanto, nella definizione delle sostanze indice e delle concentrazioni rappresentative sono stati utilizzati gli esiti delle indagini del 2021 e 2023 sulla totalità dei campioni prelevati nell'area sorgente. Cautelativamente, inoltre, sono stati considerati anche gli esiti del sondaggio SUT3 posto a sud-est dell'arenile nord, in un'area condivisa tra il perimetro dell'Arenile Nord e il perimetro di colmata che sarà oggetto di scavo specifico di rimozione come descritto nell'elaborato **2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01**.

Per le sostanze indice Idrocarburi leggeri C_s<12 e pesanti C_s>12, poiché sono costituite da una miscela di composti con caratteristiche fisiche, chimiche e tossicologiche molto diverse, sono state considerate le speciazioni eseguite nella campagna di indagine del 2023 secondo l'approccio MADEP (Massachusetts Department of Environmental Protection, Bureau of Waste Site Cleanup), in cui gli idrocarburi risultano suddivisi in frazioni tossicologicamente affini.

La seguente tabella mostra i risultati delle speciazioni eseguite nei campioni dei sondaggi appartenenti alle sorgenti dell'Arenile Nord. Per le classi C_s>12 la speciazione è stata rivalutata in termini di percentuali delle singole frazioni rispetto alla concentrazione complessiva delle classi degli Idrocarburi pesanti C_s>12 (tale operazione non è stata eseguita per le classi C_s<12 in quanto sono risultate inferiori al limite di rilevanza in tutte le speciazioni disponibili).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Tabella 5.6: Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nell'Arenile Nord

Sondaggio	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Speciazione – dati in mg/kg						Somma Classi leggere C≤12 (mg/kg)	Somma Classi pesanti C>12 (mg/kg)	Speciazione – ripartizione % rispetto alla somma classi leggere C≤12 e pesanti C>12					
	da	a	da	a	Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12					Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12		
					Alif. C5 - C8	Alif. C9 - C12	Arom. C9 - C10	Alif. C13 - C18	Alif. C19 - C36	Arom. C13 - C22			Alif. C5 - C8	Alif. C9 - C12	Arom. C9 - C10	Alif. C13 - C18	Alif. C19 - C36	Arom. C13 - C22
S8/9	0,3	1	2,10	1,40	< 1	< 1	< 1	24	592	28	-	644	-	-	-	4%	92%	4%
S4	0	1	1,60	0,60	< 1	< 1	< 1	46	2300	114	-	2460	-	-	-	2%	93%	5%
S8/9	3,2	5	-0,80	-2,60	< 1	< 1	< 1	59	524	227	-	810	-	-	-	7%	65%	28%
S8/9	5	7	-2,60	-4,60	< 1	< 1	< 1	51	306	185	-	542	-	-	-	9%	56%	34%
S4	5	7	-3,41	-5,41	< 1	< 1	< 1	124	569	205	-	898	-	-	-	14%	63%	23%
S7	5	7	-3,54	-5,54	< 1	< 1	< 1	100	364	298	-	762	-	-	-	13%	48%	39%

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Nella tabella seguente sono sintetizzate le sostanze indice di interesse, le caratteristiche di volatilità e le C_{RS} considerate per le elaborazioni condotte dalla zona insatura e satura.

Si precisa che:

- ✓ il parametro "Sommatoria IPA" non è stato implementato nell'AdR in quanto, essendo sommatorie di differenti sostanze, non presenta caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche univoche; in ogni caso è valutato sulla base delle elaborazioni condotte sulle singole sostanze che le compongono;
- ✓ poiché nelle indagini del 2023 il parametro Benzo(b)fluorantene è stato determinato insieme al parametro Benzo(j)fluorantene, cautelativamente sono stati considerati entrambi i parametri come sostanze indice.

La concentrazione rappresentativa di Benzo(b)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per i parametri Benzo(b)fluorantene e Benzo(b+j)fluorantene, mentre la concentrazione rappresentativa di Benzo(j)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per Benzo(b+j)fluorantene.

Nello specifico, poiché le concentrazioni massime di Benzo(b+j)fluorantene sono risultate le più elevate, per i due parametri sono state adottate le medesime C_{RS} ;

- ✓ per gli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$, poiché le speciazioni disponibili non hanno permesso di valutare la ripartizione delle concentrazioni nelle classi MADEP, in ciascun percorso di esposizione/migrazione implementata è stata considerata la classe maggiormente conservativa (più volatile o più solubile), associando alla stessa classe l'intera C_{RS} degli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$ (nello specifico la classe più cautelativa in tutti i percorsi è risultata l'Aromatica C9-C10);
- ✓ per gli Idrocarburi pesanti $C > 12$ sono state considerate le speciazioni eseguite sui campioni insaturi e saturi che hanno mostrato le concentrazioni maggiori, ovvero è stato considerato il campione S4 (0-1 m da p.c. attuale) rappresentativo della zona insatura e il campione S4 (5-7 m da p.c. attuale) rappresentativo della zona satura. Le C_{RS} di ciascuna classe MADEP sono state calcolate moltiplicando la C_{RS} degli Idrocarburi pesanti $C > 12$ per le percentuali derivanti dalle speciazioni rappresentative.

Tabella 5.7: Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dell'Arenile Nord

Parametro	Volatilità	u.d.m.	C_{RS} insaturo	C_{RS} saturo
Arsenico	non volatile	mg/Kg	141,00	196,00
Berillio	non volatile	mg/Kg	-	9,67
Piombo	non volatile	mg/Kg	137,00	305,00
Rame	non volatile	mg/Kg	-	237,00
Selenio	non volatile	mg/Kg	3,63	-
Tallio	non volatile	mg/Kg	6,54	1,73
Vanadio	non volatile	mg/Kg	138,00	-
Zinco	non volatile	mg/Kg	253,00	548,00
Fluoruri	volatile	mg/Kg	219,00	306,00
Benzo(a)antracene	non volatile	mg/Kg	9,02	70,30
Benzo(a)pirene	non volatile	mg/Kg	13,30	66,90
Benzo(b)fluorantene ^(a)	non volatile	mg/Kg	16,60	82,40
Benzo(j)fluorantene ^(b)	non volatile	mg/Kg	16,60	82,40
Benzo(g,h,i)perilene	non volatile	mg/Kg	12,60	62,00
Benzo(k)fluorantene	non volatile	mg/Kg	3,88	19,20
Crisene	non volatile	mg/Kg	10,10	49,00
Dibenzo(a,e)pirene	non volatile	mg/Kg	5,39	29,80
Dibenzo(a,h)antracene	non volatile	mg/Kg	1,82	12,40
Dibenzo(a,h)pirene	non volatile	mg/Kg	7,36	43,60
Dibenzo(a,i)pirene	non volatile	mg/Kg	3,55	19,00
Dibenzo(a,l)pirene	non volatile	mg/Kg	2,80	11,20
Indeno(1,2,3-cd)pirene	non volatile	mg/Kg	18,30	90,60
Pirene	non volatile	mg/Kg	17,30	136,00
Sommatoria IPA ^(c)	non volatile	mg/Kg	72,60	453,00
Fenantrene	volatile	mg/Kg	6,41	56,00

Parametro	Volatilità	u.d.m.	C _{RS} insaturo	C _{RS} saturo
Antracene	volatile	mg/Kg	-	13,70
Fluorantene	non volatile	mg/Kg	21,60	159,00
Benzene	volatile	mg/Kg	0,116	0,11
Idrocarburi leggeri C≤12 ^(d)	volatile	mg/Kg	19,50	10,60
Idrocarburi pesanti C>12 ^(e)	non volatile	mg/Kg	2649,00	2663,00
Alifatici C13 - C18	non volatile	mg/Kg	50 ^(f)	368 ^(g)
Alifatici C19 - C36	non volatile	mg/Kg	2477 ^(f)	1687 ^(g)
Aromatici C13 - C22	non volatile	mg/Kg	122 ^(f)	608 ^(g)

Note:

- concentrazione massima inferiore ai valori di riferimento
- (a) concentrazione massima rilevata per parametri Benzo(b)fluorantene e Benzo(b+j)fluorantene
- (b) concentrazione massima rilevata per Benzo(b+j)fluorantene
- (c) sostanza non implementata nell'AdR in quanto essendo una sommatoria di altre sostanze non presenta caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche univoche. È comunque valutata sulla base delle elaborazioni condotte sulle singole sostanze che la compongono
- (d) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP più cautelative per il percorso di esposizione/migrazione considerato
- (e) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP determinate dalle speciazioni sito specifiche
- (f) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguite sul campione S4 (0-1 m da p.c.)
- (g) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguite sul campione S4 (5-7 m da p.c.)

Le proprietà chimico-fisiche-tossicologiche dei composti di interesse sono state reperite dalla Banca Dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 ad eccezione dei parametri Fluoruri e Benzo(j)fluorantene per i quali sono state utilizzate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche proposte dal database RAIS¹¹. In **Allegato 5** sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche delle sostanze indice.

5.5 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE

I percorsi di esposizione/migrazione potenzialmente attivi per l'Arenile Nord nello scenario post-intervento sono:

1. percorsi di esposizione sanitaria: inalazione vapori outdoor dai sedimenti profondi dell'arenile;
2. percorsi ambientali: lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti profondi dell'arenile verso le acque di mare.

Il percorso sanitario n.1 di inalazione vapori outdoor è stato implementato per le sole sostanze definite volatili dal D.Lgs. 152/06 e dalla Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018.

Considerando gli aspetti limitativi che caratterizzano la modellazione della lisciviazione nel caso in esame, il percorso ambientale n.2 è stato valutato confrontando le concentrazioni attese in falda dall'arenile con le concentrazioni massime rilevate nelle acque di mare onshore, al fine di comprenderne l'eventuale interrelazione. A tali fine, come indicato al par. 3.2.1, il percorso è stato implementato secondo due modalità:

- (a) tramite la modellistica del software Risk-net e l'utilizzo dei valori sito specifici di Kd per i contaminanti inorganici.
- (b) tramite l'utilizzo delle concentrazioni rilevate negli eluati come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM.

5.6 RECETTORI

In considerazione dell'obiettivo primario del PRARU che prevede il ripristino della balneabilità del sito è stato considerato un recettore on site ricreativo adulto e bambino.

¹¹ The Risk Assessment Information System https://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX_search?select=chemspcf

I parametri di esposizione di recettori on site sono riportati nella tabella seguente¹². Rispetto ai parametri di default del Manuale ISPRA è stata considerata una frequenza di esposizione pari a 30, 90 e 180 giorni/anno, corrispondente a 1, 3 e 6 mesi di esposizione, ovvero l'intera stagione estiva di fruizione degli arenili.

Tabella 5.8: Parametri di esposizione dei recettori considerati per l'Arenile Nord

Parametri di esposizione	Simbolo	u.d.m.	Bambini	Adulti
Peso Corporeo	BW	kg	15	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70	70
Durata di esposizione	ED	y	6	24
Frequenza di esposizione	EF	d/y	30-90-180	30-90-180

Come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM è stato attivato anche il percorso di lisciviazione dei contaminanti presenti nell'arenile e il trasporto verso mare, considerando quest'ultimo come recettore ambientale.

5.7 PARAMETRI SITO SPECIFICI

La tabella seguente sintetizza i valori dei parametri sito specifici della zona insatura e satura utilizzati nelle elaborazioni condotte.

Tabella 5.9: Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per l'Arenile Nord

Parametro	Simbolo	u.d.m.	Valore
<u>Caratteristiche della Zona Insatura</u>			
Tessitura	-	-	Loamy Sand
Densità	ps	g/cm ³	1,7
pH	pH	-	8,2
Frazione di carbonio organico	foc	g/g	0,001
<u>Caratteristiche della Zona Satura</u>			
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	m	Pari al bottom della sorgente
Tessitura	-	-	Loamy Sand
Densità	ps	g/cm ³	1,59
pH	pH	-	7,8
Frazione di carbonio organico	foc,sat	g/g	0,002
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	m/s	2,87E-5
Spessore acquifero	da	m	15
Gradiente idraulico	i	m/m	0,0013
Contenuto volumetrico di acqua	θw	-	0,353
Contenuto volumetrico di aria	θa	-	0,057

¹² Si precisa che non è stato specificato il parametro di esposizione "tasso di inalazione" in quanto, insieme al "peso corporeo" non sono considerati nelle elaborazioni in accordo all'approccio della Banca Dati ISS-INAIL per l'AdR - marzo 2018 secondo cui le equazioni per la stima del rischio sanitario di inalazione di composti volatili sono governate dai parametri *Inhalation Unit Risk* (IUR) e *Reference Concentration* (RfC), indipendenti dai parametri suddetti. Infatti, come riportato nel Documento di Supporto alla Banca Dati: "[...] Non è appropriato modificare lo IUR e la RfC sulla base dei due suddetti parametri, in quanto:

- *la quantità di sostanza chimica che raggiunge il bersaglio attraverso la via di esposizione inalatoria non è una semplice funzione del peso corporeo e del tasso di inalazione;*
- *la stima dello IUR e della RfC tiene conto della variabilità del dato, che quindi può essere utilizzato, senza fattori correttivi, sia per un bersaglio adulto che bambino, sia in uno scenario residenziale che ricreativo, indipendentemente dall'intensità dell'attività fisica."*

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Di seguito si descrivono in dettaglio, per ogni parametro sito specifico, i dati di base e le scelte che hanno portato alla identificazione valori rappresentativi indicati in tabella.

Per la definizione delle caratteristiche tessiturali delle sorgenti insature e sature dell'Arenile Nord sono state analizzate le granulometrie disponibili tramite la tabella e il Diagramma Triangolare di classificazione dei terreni sviluppata da U.S. Department of Agriculture e riportata nel Manuale ISPRA (considerando la distribuzione percentuale delle classi Sabbia¹³, Limo e Argilla). La tessitura maggiormente frequente nella matrice insatura e satura è stata quindi scelta quale rappresentativa per la sorgente analizzata.

La tabella seguente sintetizza i dati disponibili e la tessitura rappresentativa identificata per l'Arenile Nord.

Tabella 5.10: Identificazione della tessitura rappresentativa per l'Arenile Nord

Punto di indagine	Arenile Nord							
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Argilla (<0,002 mm) [%]	Limo (0,002 mm < x < 0,06 mm) [%]	Sabbia + Ghiaia + Ciottoli (> 0,06 mm) [%]	Tessitura
	da	a	da	a				
S9/10	0,00	0,10	2,78	2,68	8,7	3	88,3	Loamy Sand
S9/10	0,00	1,00	2,78	1,78	12,2	3,5	84,3	Loamy Sand
S8/9	0,00	0,10	2,40	2,30	10,63	3,35	86,02	Loamy Sand
S8/9	0,00	1,00	2,40	1,40	11,17	3,4	85,44	Loamy Sand
S14	0,00	0,10	2,32	2,22	6,89	1,8	91,32	Sand
S14	0,00	1,00	2,32	1,32	5,88	2,45	91,67	Sand
S9/10	1,00	3,20	1,78	-0,42	12,41	5,11	82,48	Loamy Sand
S8/9	1,00	3,20	1,40	-0,80	8,94	3,11	87,95	Loamy Sand
S14	1,00	2,60	1,32	-0,28	7,42	2,95	89,63	Sand
Tessitura maggiormente frequente nella zona insatura: <u>Loamy Sand</u>								
S14	2,60	5,00	-0,28	-2,68	9,64	2,04	88,32	Loamy Sand
S9/10	3,20	5,00	-0,42	-2,22	9,15	1,72	89,13	Loamy Sand
S8/9	3,20	5,00	-0,80	-2,60	6,83	5,36	87,81	Loamy Sand
S5	3,00	5,00	-1,30	-3,30	0	2,7	97,3	Sand
S4	3,00	5,00	-1,41	-3,41	0	4,8	95,2	Sand
S6	3,00	5,00	-1,44	-3,44	0	2,4	97,6	Sand
S7	3,00	5,00	-1,54	-3,54	0	2,49	97,51	Sand
S9/10	5,00	7,00	-2,22	-4,22	8,39	4,29	87,32	Loamy Sand
S8/9	5,00	7,00	-2,60	-4,60	7,54	4,1	88,36	Loamy Sand
S14	5,00	7,00	-2,68	-4,68	10,23	3,06	86,71	Loamy Sand
Tessitura maggiormente frequente nella zona satura: <u>Loamy Sand</u>								

Per quanto riguarda la densità è stato considerato il valore massimo dei dati disponibili di massa volumica apparente (soil bulk density) ρ_s , che rappresenta il rapporto tra la massa del suolo essiccato (105° C) ed il suo volume totale, riportati nella tabella seguente.

Tabella 5.11: Identificazione della densità rappresentativa per l'Arenile Nord

Punto di indagine	Arenile Nord				Massa volumica apparente [g/cm ³]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S9/10	0,00	0,10	2,78	2,68	1,53

¹³ Cautelativamente la percentuale di ghiaia e ciottoli è stata sommata alla sabbia

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Arenile Nord				Massa volumica apparente [g/cm ³]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S9/10	0,00	1,00	2,78	1,78	1,56
S8/9	0,00	0,10	2,40	2,30	1,59
S8/9	0,00	1,00	2,40	1,40	1,7
S14	0,00	0,10	2,32	2,22	1,43
S14	0,00	1,00	2,32	1,32	1,48
S9/10	1,00	3,20	1,78	-0,42	1,46
S8/9	1,00	3,20	1,40	-0,80	1,44
S14	1,00	2,60	1,32	-0,28	1,46
Densità rappresentativa nella zona insatura (valore massimo): 1,7 g/cm³					
S14	2,60	5,00	-0,28	-2,68	1,54
S9/10	3,20	5,00	-0,42	-2,22	1,43
S8/9	3,20	5,00	-0,80	-2,60	1,48
S9/10	5,00	7,00	-2,22	-4,22	1,57
S8/9	5,00	7,00	-2,60	-4,60	1,57
S14	5,00	7,00	-2,68	-4,68	1,59
Densità rappresentativa nella zona satura (valore massimo): 1,59 g/cm³					

Per quanto riguarda il pH è stato considerato il valore minimo dei dati disponibili nell'orizzonte anche se, nel caso specifico del sito in esame, per alcuni parametri (Arsenico, Selenio, Tallio, Berillio e Vanadio) sono stati determinati i valori sito specifici del coefficiente di ripartizione Kd e, quindi, per essi il parametro pH non influenza i calcoli di AdR. I dati disponibili sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 5.12: Identificazione del pH rappresentativo per l'Arenile Nord

Punto di indagine	Arenile Nord				pH [-]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
SUT3	0,00	1,00	3,60	2,60	10,50
S9/10	0,00	1,00	2,78	1,78	8,60
S9/10	0,00	0,30	2,78	2,48	8,60
S9/10	0,00	0,10	2,78	2,68	8,70
SUT3	1,00	2,00	2,60	1,60	8,90
S13	0,00	1,00	2,50	1,50	8,70
S13	0,00	0,10	2,50	2,40	9,20
S9/10	0,30	1,00	2,48	1,78	8,60
S8/9	0,00	1,00	2,40	1,40	8,30
S8/9	0,00	0,30	2,40	2,10	9,20
S8/9	0,00	0,10	2,40	2,30	8,60
S9-PZ(ARN)1	0,00	1,00	2,37	1,37	9,20
S9-PZ(ARN)1	0,00	0,10	2,37	2,27	9,10
S14	0,00	1,00	2,32	1,32	9,00
S14	0,00	0,10	2,32	2,22	8,50
S11	0,00	1,00	2,26	1,26	8,20
S11	0,00	0,10	2,26	2,16	8,90
S10-PZ(ARN)3	0,00	1,00	2,25	1,25	8,60
S10-PZ(ARN)3	0,00	0,10	2,25	2,15	8,60
S8/9	0,30	1,00	2,10	1,40	9,50
S15	0,00	1,00	2,06	1,06	8,90
S15	0,00	0,10	2,06	1,96	8,20

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Arenile Nord				pH [-]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S9/10	1,00	3,20	1,78	-0,42	8,50
S5	0,00	1,00	1,70	0,70	9,30
S5	0,00	0,10	1,70	1,60	8,90
SUT3	2,00	5,00	1,60	-1,40	8,50
S4	0,00	1,00	1,60	0,60	9,00
S4	0,00	0,10	1,60	1,50	9,10
S6	0,00	1,00	1,56	0,56	8,90
S6	0,00	0,10	1,56	1,46	8,80
S4/5-PZ(ARN)2	0,00	1,00	1,51	0,51	9,30
S4/5-PZ(ARN)2	0,00	0,10	1,51	1,41	9,40
S13	1,00	2,50	1,50	0,00	8,70
S5/6-PZ(ARN)4	0,00	1,00	1,46	0,46	8,90
S5/6-PZ(ARN)4	0,00	0,10	1,46	1,36	8,60
S7	0,00	1,00	1,46	0,46	9,20
S7	0,00	0,10	1,46	1,36	8,90
S8/9	1,00	3,20	1,40	-0,80	9,10
S14	1,00	2,60	1,32	-0,28	8,90
S6/7	0,00	1,00	1,08	0,08	9,50
S6/7	0,00	0,10	1,08	0,98	9,80
S15	1,00	2,20	1,06	-0,14	8,60
S4/5-PZ(ARN)2	1,00	2,10	0,51	-0,59	8,60
S5/6-PZ(ARN)4	1,00	2,00	0,46	-0,54	8,70
S6/7	1,00	1,90	0,08	-0,82	9,60
S13	2,50	5,00	0,00	-2,50	8,90
pH rappresentativo nella zona insatura (valore minimo): 8,2					
Nel software Risk-net è stato inserito un valore di pH pari a 8 (massimo implementabile)					
S15	2,20	5,00	-0,14	-2,94	8,10
S14	2,60	5,00	-0,28	-2,68	8,30
S9/10	3,20	5,00	-0,42	-2,22	9,10
S5/6-PZ(ARN)4	2,00	5,00	-0,54	-3,54	8,20
S4/5-PZ(ARN)2	2,10	5,00	-0,59	-3,49	9,00
S8/9	3,20	5,00	-0,80	-2,60	9,20
S6/7	1,90	5,00	-0,82	-3,92	9,10
S9/10	5,00	7,00	-2,22	-4,22	9,30
S13	5,00	7,00	-2,50	-4,50	8,20
S8/9	5,00	7,00	-2,60	-4,60	8,70
S9-PZ(ARN)1	5,00	7,00	-2,63	-4,63	9,30
S14	5,00	7,00	-2,68	-4,68	8,00
S11	5,00	7,00	-2,74	-4,74	8,80
S10-PZ(ARN)3	5,00	7,00	-2,75	-4,75	8,60
S15	5,00	7,00	-2,94	-4,94	7,90
S5	5,00	7,00	-3,30	-5,30	9,30
S4	5,00	7,00	-3,41	-5,41	8,80
S6	5,00	7,00	-3,44	-5,44	8,60
S4/5-PZ(ARN)2	5,00	7,00	-3,49	-5,49	8,50
S5/6-PZ(ARN)4	5,00	7,00	-3,54	-5,54	8,10
S7	5,00	7,00	-3,54	-5,54	7,80
S6/7	5,00	7,00	-3,92	-5,92	8,50
pH rappresentativo nella zona satura (valore minimo): 7,8					

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Per quanto riguarda la frazione di carbonio organico foc è stato considerato il valore minimo dei dati disponibili nell'orizzonte insaturo e saturo riportati nella tabella seguente, selezionati escludendo i campioni che hanno mostrato eccedenze delle CSC di Tab. 1 A del D.Lgs.152/06 per sostanze idrocarburiche.

Tabella 5.13: Identificazione del foc rappresentativo per l'Arenile Nord

Punto di indagine	Arenile Nord				foc [g/g]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
SUT3	0,00	1,00	3,60	2,60	0,005
S9/10	0,00	0,10	2,78	2,68	0,003
S9/10	0,00	0,30	2,78	2,48	0,003
SUT3	1,00	2,00	2,60	1,60	0,001
S13	0,00	0,10	2,50	2,40	0,003
S8/9	0,00	0,10	2,40	2,30	0,003
S9-PZ(ARN)1	0,00	0,10	2,37	2,27	0,005
S11	0,00	0,10	2,26	2,16	0,007
S11	0,00	1,00	2,26	1,26	0,003
S10-PZ(ARN)3	0,00	0,10	2,25	2,15	0,003
S10-PZ(ARN)3	0,00	1,00	2,25	1,25	0,003
S15	0,00	0,10	2,06	1,96	0,004
S15	0,00	1,00	2,06	1,06	0,007
S5	0,00	0,10	1,70	1,60	0,003
S5	0,00	1,00	1,70	0,70	0,003
SUT3	2,00	5,00	1,60	-1,40	0,003
S4	0,00	0,10	1,60	1,50	0,003
S6	0,00	0,10	1,56	1,46	0,002
S6	0,00	1,00	1,56	0,56	0,003
S4/5-PZ(ARN)2	0,00	0,10	1,51	1,41	0,005
S5/6-PZ(ARN)4	0,00	0,10	1,46	1,36	0,004
S5/6-PZ(ARN)4	0,00	1,00	1,46	0,46	0,008
S7	0,00	0,10	1,46	1,36	0,004
S7	0,00	1,00	1,46	0,46	0,004
S6/7	0,00	0,10	1,08	0,98	0,006
S6/7	0,00	1,00	1,08	0,08	0,004
S15	1,00	2,20	1,06	-0,14	0,005
S5/6-PZ(ARN)4	1,00	2,00	0,46	-0,54	<0,001
S6/7	1,00	1,90	0,08	-0,82	0,005
Foc rappresentativo nella zona insatura (valore minimo): 0,001 g/g					
S15	2,20	5,00	-0,14	-2,94	0,004
S14	2,60	5,00	-0,28	-2,68	0,003
S5/6-PZ(ARN)4	2,00	5,00	-0,54	-3,54	0,003
S6/7	1,90	5,00	-0,82	-3,92	0,005
S13	5,00	7,00	-2,50	-4,50	0,007
S9-PZ(ARN)1	5,00	7,00	-2,63	-4,63	0,003
S14	5,00	7,00	-2,68	-4,68	0,004
S11	5,00	7,00	-2,74	-4,74	0,003
S10-PZ(ARN)3	5,00	7,00	-2,75	-4,75	0,003
S15	5,00	7,00	-2,94	-4,94	0,007
S5	5,00	7,00	-3,30	-5,30	0,003
S6	5,00	7,00	-3,44	-5,44	0,005
S5/6-PZ(ARN)4	5,00	7,00	-3,54	-5,54	0,002

Punto di indagine	Arenile Nord				foc [g/g]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S6/7	5,00	7,00	-3,92	-5,92	0,004
Foc rappresentativo nella zona saturata (valore minimo): <u>0,002 g/g</u>					

Per quanto riguarda gli altri parametri sito specifici della zona saturata:

- ✓ I valori di conducibilità idraulica, spessore dell'acquifero e gradiente idraulico sono stati posti pari a quelli identificati nell'unità idrogeologica più superficiale (unità idrogeologica 1) descritta la paragrafo 4.1.2.
- ✓ la soggiacenza della falda è stata assunta in maniera cautelativa attestata alla base della sorgente individuata nell'orizzonte insaturo/saturo, ricalcolando la quota nello scenario futuro, ovvero considerando il minimo spessore di 1 m di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale;
- ✓ la porosità efficace del saturo è stata posta pari a 0,353, valore corrispondente alla tessitura Loamy Sand, rappresentativa dell'orizzonte saturo dell'Arenile Nord.

Come illustrato al par. 3.2.1, nel calcolo della lisciviazione dall'orizzonte saturo, considerando che il contenuto volumetrico di acqua a saturazione è uguale alla porosità efficace, il valore suddetto 0,353 è stato assegnato al contenuto volumetrico di acqua θ_w e il valore di contenuto volumetrico di aria θ_a è stato posto pari a 0,057, ovvero pari alla differenza tra porosità totale θ_T (0,41 per la tessitura Loamy Sand) e θ_w (0,353).

Ulteriori parametri sito specifici per le elaborazioni del presente lavoro sono i valori di coefficiente di ripartizione Kd dei contaminanti inorganici che, come specificato al par. 5.5, sono stati utilizzati nell'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto verso le acque di mare.

Cautelativamente, per ciascun contaminante inorganico, è stato considerato il minimo tra i valori disponibili a seguito delle analisi di laboratorio effettuate nelle indagini del 2021 e 2023, come mostrato nella tabella seguente.

Tabella 5.14: Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dell'Arenile Nord

Punto di indagine	Arenile Nord								
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Kd ARSENICO	Kd BERILLIO	Kd TALLIO	Kd VANADIO	Kd SELENIO
	da	a	da	a	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
SUT3	0,00	1,00	3,60	2,60			679,00	9,98	29
S15	1,00	2,20	1,06	-0,14	29,5				
Kd rappresentativo nell'insaturo (valore minimo):					<u>29,5</u>		<u>679</u>	<u>9,98</u>	<u>29</u>
S15	2,20	5,00	-0,14	-2,94	32,2				
S9/10	3,20	5,00	-0,42	-2,22	97,3	197,00			
S6	3,00	5,00	-1,44	-3,44	150,00	5200,00	0,50		
S13	5,00	7,00	-2,50	-4,50	15,6				
S9-PZ(ARN)1	5,00	7,00	-2,63	-4,63	15,8				
S15	5,00	7,00	-2,94	-4,94	22,8				
S7	5,00	7,00	-3,54	-5,54	83				
S6/7	5,00	7,00	-3,92	-5,92	15,9				
Kd rappresentativo nel saturo (valore minimo):					<u>15,6</u>	<u>197</u>	<u>0,5</u>		

5.8 RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO

Nelle Tabelle riportate in **Allegato 10** sono sintetizzati tutti i risultati delle valutazioni di rischio condotte. In particolare, per ogni sorgente (insatura e satura) vengono riepilogati:

1. i dati relativi alle caratteristiche delle sorgenti e cioè:
 - ✓ i contaminanti (COC) che hanno mostrato superamenti dei limiti di riferimenti (Tabella 1.1),
 - ✓ la concentrazione rappresentativa della sorgente (C_{RS}) e le sue modalità di valutazione,
 - ✓ le profondità del tetto e della base della sorgente e la soggiacenza delle acque sotterranee,
2. i risultati dell'AdR sanitaria svolta in modalità diretta e cioè i rischi sanitari tossici (HI) e cancerogeni (R) associati alla concentrazione rappresentativa della sorgente C_{RS} ;
3. la valutazione del rischio ambientale di lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti verso le acque di mare considerando:
 - ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente;
 - ✓ la concentrazione stimata a partire dai valori dei contaminanti negli eluati dei test di cessione;
 - ✓ l'attuale concentrazione dei contaminanti nelle acque di mare.

Le schermate delle elaborazioni effettuate con Risk-net sono riportate in **Allegato 11¹⁴**; di seguito si commentano i risultati emersi dalle valutazioni eseguite.

5.8.1 Valutazione del rischio sanitario

Nella seguente Tabella 5.15 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata in **Allegato 10**) sono riportati i rischi sanitari associati alla inalazione dei vapori outdoor a partire dalle concentrazioni rappresentative della sorgente di contaminazione presenti nell'orizzonte insaturo dell'Arenile Nord.

Tabella 5.15: Rischi sanitari associati alle concentrazioni rappresentative della sorgente insatura nell'Arenile Nord

COCs	Caratteristiche sorgente C_{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Rischi sanitari associati alle C_{RS} (valutazione in modalità diretta)							
	mg/kg	note	Frequenza di esposizione = 30 gg/anno		Frequenza di esposizione = 90 gg/anno		Frequenza di esposizione = 180 gg/anno		Note	
			R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]		
Arsenico	141	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Piombo	137	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Selenio	3,63	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Tallio	6,54	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Vanadio	138	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Zinco	253	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Fluoruri	219	(a)	-	-	-	-	-	-	-	volatile ma H non disponibile
Benzo(a)antracene	9,02	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzo(a)pirene	13,3	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzo(b)fluorantene	16,6	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzo(j)fluorantene	16,6	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzo(g,h,i)perilene	12,6	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile

¹⁴ I file editabili possono essere richiesti ad INVITALIA all'occorrenza

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

COCs	Caratteristiche sorgente C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Rischi sanitari associati alle C _{RS} (valutazione in modalità diretta)							
	mg/kg	note	Frequenza di esposizione = 30 gg/anno		Frequenza di esposizione = 90 gg/anno		Frequenza di esposizione = 180 gg/anno		Note	
			R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]		
Benzo(k)fluorantene	3,88	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Crisene	10,1	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Dibenzo(a,e)pirene	5,39	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Dibenzo(a,h)antracene	1,82	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Dibenzo(a,h)pirene	7,36	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Dibenzo(a,i)pirene	3,55	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Dibenzo(a,l)pirene	2,8	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Indeno(1,2,3-cd)pirene	18,3	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Pirene	17,3	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Fenantrene	6,41	(a)	-	7,00E-04	-	2,10E-03	-	4,20E-03	-	volatile
Fluorantene	21,6	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzene	0,116	(a)	1,13E-08	1,13E-04	3,39E-08	3,38E-04	6,78E-08	6,76E-04	-	volatile
Idrocarburi C≤12	19,5	(a)	-	-	-	-	-	-	-	volatile
Aromatici C9-C10	19,5	(b)	-	1,22E-02	-	3,67E-02	-	7,35E-02	-	volatile
Idrocarburi C>12	2649	(a)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Alifatici C13 - C18	50	(c)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Alifatici C19 - C36	2477	(c)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
Aromatici C13 - C22	122	(c)	-	-	-	-	-	-	-	non volatile
TOTALE			1,13E-08	1,30E-02	3,39E-08	3,91E-02	6,78E-08	7,84E-02		

Note:
 (a) C_{RS} = concentrazione massima
 (b) considerata la frazione MADEP Aromatica C9-C10 maggiormente cautelativa nei percorsi di esposizione di inalazione outdoor e lisciviazione
 (c) Alifatici C13-C18 = 1,9% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 93,5% Idrocarburi C>12; Aromatici C12-C22 = 4,6% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S4_0-1 m da p.c.)

Dall'esame dei risultati riportati in tabella, **sono rispettati i valori di accettabilità per il rischio tossico (HI = 1) e/o cancerogeno (R = 10⁻⁶/10⁻⁵) per il possibile fruitore dell'Arenile Nord considerando una frequenza di esposizione compresa tra 30 e 180 giorni all'anno (1-6 mesi).**

5.8.2 Valutazione del percorso ambientale

5.8.2.1 Sorgente insatura

Nella seguente Tabella 5.16 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte insaturo dell'Arenile Nord.
- Si precisa che in tabella è riportata anche la concentrazione pari alla sommatoria delle concentrazioni calcolate dal software per le singole frazioni MADEP rappresentative degli Idrocarburi leggeri C≤12 e pesanti C>12 (si veda parametro Idrocarburi totali);
- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni insaturi dell'Arenile Nord;
- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio antistanti l'Arenile Nord (stazioni 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2.1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 3-1, CDN1 e CDN2, si veda cap. 8).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Tabella 5.16: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nell'Arenile Nord

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	141	(a)	3,14E+03	4,74E+01	7,64E+00	1,55E+01	4,58E+00
Piombo	137	(a)	1,00E+02	5,96E+01	8,61E+00	2,13E+01	2,78E+00
Selenio	3,63	(a)	8,21E+01	2,40E+00	2,40E+00	1,67E+00	1,26E+00
Tallio	6,54	(a)	6,33E+00	<1	<1	<1	<1
Vanadio	138	(a)	9,04E+03	2,66E+01	5,25E+00	6,86E+00	1,64E+00
Zinco	253	(a)	3,14E+02	4,30E+01	1,43E+01	1,51E+02	2,97E+01
Fluoruri	219	(a)	9,60E+02	1,95E+03	3,67E+02	1,57E+03	1,18E+03
Benzo(a)antracene	9,02	(a)	3,35E+01	7,52E-01	9,71E-02	3,07E+00	1,68E-01
Benzo(a)pirene	13,3	(a)	1,49E+01	7,52E-01	9,55E-02	3,16E+00	1,67E-01
Benzo(b)fluorantene	16,6	(a)	1,82E+01	1,06E+00	1,61E-01	2,12E+00	1,83E-01
Benzo(j)fluorantene	16,6	(a)	1,82E+01	1,06E+00	1,61E-01	5,02E-01	1,18E-01
Benzo(g,h,i)perilene	12,6	(a)	5,24E+00	7,10E-01	9,65E-02	2,71E+00	1,51E-01
Benzo(k)fluorantene	3,88	(a)	4,35E+00	2,09E-01	3,51E-02	1,26E+00	7,82E-02
Crisene	10,1	(a)	3,67E+01	3,71E-01	8,58E-02	3,00E+00	2,65E-01
Dibenzo(a,e)pirene	5,39	(a)	5,47E-01	nd	nd	6,40E-02	2,90E-02
Dibenzo(a,h)antracene	1,82	(a)	6,27E-01	1,59E-01	2,56E-02	5,18E-01	4,75E-02
Dibenzo(a,h)pirene	7,36	(a)	2,01E-01	nd	nd	2,10E-02	1,91E-02
Dibenzo(a,i)pirene	3,55	(a)	9,69E-02	nd	nd	5,50E-02	3,39E-02
Dibenzo(a,l)pirene	2,8	(a)	9,64E-01	nd	nd	8,15E-03	8,15E-03
Indeno(1,2,3-cd)pirene	18,3	(a)	6,17E+00	nd	nd	2,70E+00	1,72E-01
Pirene	17,3	(a)	2,09E+02	7,68E-01	9,47E-02	8,68E+00	3,26E-01
Fenantrene	6,41	(a)	2,98E+02	8,51E-02	2,02E-02	3,35E-01	6,60E-02
Fluorantene	21,6	(a)	2,56E+02	1,18E+00	1,01E-01	1,70E+00	2,26E-01
Benzene	0,116	(a)	3,18E+02	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Somma Idrocarburi			2,26E+04	<40	<40	2,03E+02	1,11E+02
Idrocarburi C≤12	19,5	(a)					
Aromatici C9-C10	19,5	(b)	6,79E+03				
Idrocarburi C>12	2649	(a)					
Alifatici C13 - C18	50	(c)	4,76E+01				
Alifatici C19 - C36	2477	(c)	4,09E+00				
Aromatici C13 - C22	122	(c)	1,58E+04				

Note:

nd: parametro non determinato nei test di cessione

(a) C_{RS} = concentrazione massima

(b) considerata la frazione MADEP Aromatica C9-C10 maggiormente cautelativa nei percorsi di esposizione di inalazione outdoor e lisciviazione

(c) Alifatici C9-C18 = 1,9% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 93,5% Idrocarburi C>12; Aromatici C11-C22 = 4,6% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S4_0-1 m da p.c.)

Dalla tabella è possibile osservare che:

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano significativamente superiori rispetto ai valori misurati negli eluati dei test di cessione, confermando come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software (ipotesi di emissione costante e continua di contaminante, ovvero sorgente che non si esaurisce nel tempo, mezzo in cui si sviluppa la lisciviazione isotropo e omogeneo, stima della concentrazione nelle

acque nello stato stazionario, ovvero ad un tempo infinito) porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua.

La sovrastima varia tra 1 e 3 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni massime misurate negli eluati e tra 1 e 4 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni medie misurate negli eluati. Eccezione al trend generale è rappresentata dai Fluoruri, per i quali la concentrazione massima negli eluati è circa il doppio di quella stimata dal software (la concentrazione media è comunque inferiore di circa 3 volte).

In generale, quindi, risulta più opportuno utilizzare i dati misurati negli eluati del test di cessione per la verifica del percorso ambientale di lisciviazione e trasporto in mare rispetto alla modellistica del software;

- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per alcuni contaminanti (Arsenico, Piombo, Vanadio e Benzo(j)fluorantene) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, per altri contaminanti (Zinco, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Pirene, Fenantrene e Idrocarburi totali) le prime risultano inferiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, mentre per altri ancora il comportamento dei valori massimi è differente da quello dei valori medi.

Da quanto sopra esposto non è possibile stabilire la presenza di un chiaro percorso di contaminazione dagli arenili alle acque di mare o viceversa. Infatti, anche all'interno della medesima famiglia (inorganici, idrocarburi totali, IPA) vi sono parametri che mostrano comportamento opposto con concentrazioni nelle acque di mare talora superiori o talora inferiori rispetto a quelle derivanti dai test di cessione eseguiti.

Tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione degli arenili e acque di mare, permettono di escludere ragionevolmente la presenza di un percorso univoco di cross-contaminazione dall'Arenile Nord al mare e di supportare quindi la correttezza della scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi. Si ritiene infatti che tale progettazione integrata possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilizzazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

5.8.2.2 Sorgente saturata

Nella seguente Tabella 5.17 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte saturo dell'Arenile Nord.
Si precisa che in tabella è riportata anche la concentrazione pari alla sommatoria delle concentrazioni calcolate dal software per le singole frazioni MADEP rappresentative degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12} (si veda parametro Idrocarburi totali);
- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni saturi dell'Arenile Nord;
- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio antistanti l'Arenile Nord (stazioni 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2.1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 3-1, CDN1 e CDN2, si veda cap. 8).

Tabella 5.17: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente saturata nell'Arenile Nord

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	196,00	(a)	8,15E+03	8,68E+01	3,04E+01	1,55E+01	4,58E+00
Berillio	9,67	(a)	3,23E+01	2,46E+00	1,56E+00	2,55E+00	1,24E+00
Piombo	305,00	(a)	2,23E+02	9,18E+01	3,81E+01	2,13E+01	2,78E+00
Rame	237,00	(a)	4,43E+03	2,09E+01	4,44E+00	3,72E+01	3,19E+00
Tallio	1,73	(a)	1,58E+03	<1	<1	<1	<1

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Zinco	548,00	(a)	1,16E+03	8,86E+01	4,64E+01	1,51E+02	2,97E+01
Fluoruri	306,00	(a)	1,34E+03	5,25E+03	9,68E+02	1,57E+03	1,18E+03
Benzo(a)antracene	70,30	(a)	1,31E+02	5,64E-01	8,35E-02	3,07E+00	1,68E-01
Benzo(a)pirene	66,90	(a)	3,75E+01	5,64E-01	7,61E-02	3,16E+00	1,67E-01
Benzo(b)fluorantene	63,60	(a)	4,52E+01	1,20E+00	1,50E-01	2,12E+00	1,83E-01
Benzo(j)fluorantene	82,40	(a)	4,52E+01	1,20E+00	1,50E-01	5,02E-01	1,18E-01
Benzo(g,h,i)perilene	62,00	(a)	1,29E+01	4,82E-01	6,86E-02	2,71E+00	1,51E-01
Benzo(k)fluorantene	19,20	(a)	1,08E+01	2,11E-01	3,33E-02	1,26E+00	7,82E-02
Crisene	49,00	(a)	8,90E+01	3,49E-01	6,12E-02	3,00E+00	2,65E-01
Dibenzo(a,e)pirene	29,80	(a)	1,51E+00	nd	nd	6,40E-02	2,90E-02
Dibenzo(a,h)antracene	12,40	(a)	2,13E+00	3,30E-02	1,56E-02	5,18E-01	4,75E-02
Dibenzo(a,h)pirene	43,60	(a)	5,95E-01	nd	nd	2,10E-02	1,91E-02
Dibenzo(a,i)pirene	19,00	(a)	2,59E-01	nd	nd	5,50E-02	3,39E-02
Dibenzo(a,l)pirene	11,20	(a)	1,93E+00	nd	nd	8,15E-03	8,15E-03
Indeno(1,2,3-cd)pirene	90,60	(a)	1,53E+01	nd	nd	2,70E+00	1,72E-01
Pirene	136,00	(a)	8,22E+02	5,17E-01	9,04E-02	8,68E+00	3,26E-01
Fenantrene	56,00	(a)	1,30E+03	6,77E-02	2,09E-02	3,35E-01	6,60E-02
Antracene	13,70	(a)	2,73E+02	4,52E-02	2,24E-02	1,54E-01	4,75E-02
Fluorantene	159,00	(a)	9,40E+02	6,69E-01	1,07E-01	1,70E+00	2,26E-01
Benzene	0,11	(a)	1,41E+02	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Idrocarburi totali			4,11E+04	<40	<40	2,03E+02	1,11E+02
Idrocarburi C≤12	10,60	(a)					
Aromatici C9-C10	10,60	(b)	1,84E+03				
Idrocarburi C>12	2663,00	(a)					
Alifatici C13 - C18	368	(c)	1,78E+02				
Alifatici C19 - C36	1687	(c)	1,39E+00				
Aromatici C13 - C22	608	(c)	3,91E+04				

Note:
 nd: parametro non determinato nei test di cessione
 (a) C_{RS} = concentrazione massima
 (b) considerata la frazione MADEP Aromatica C9-C10 maggiormente cautelativa nel percorso di lisciviazione
 (c) Alifatici C9-C18 = 13,8% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 63,4% Idrocarburi C>12; Aromatici C11-C22 = 22,8% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S4_5-7 m da p.c.)

Dalla tabella è possibile osservare che:

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano significativamente superiori rispetto ai valori misurati negli eluati dei test di cessione, confermando, analogamente alla valutazione eseguita per l'orizzonte insaturo, come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua.

La sovrastima varia tra 1 e 5 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni massime e medie misurate negli eluati. Eccezione al trend generale è rappresentata dai Fluoruri, per i quali la concentrazione massima misurata negli eluati è superiore a quella stimata dal software e la concentrazione media paragonabile.

Anche per l'orizzonte saturo, quindi, risulta più opportuno utilizzare i dati misurati negli eluati del test di cessione per la verifica del percorso ambientale di lisciviazione e trasporto in mare rispetto alla modellistica del software;

- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per alcuni contaminanti (Arsenico e Piombo) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

massimi che di valori medi, per altri contaminanti (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(g,h,i)perilene, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene Pirene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene e Idrocarburi totali) le prime risultano inferiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, mentre per altri ancora il comportamento dei valori massimi è differente da quello dei valori medi. Pertanto, analogamente a quanto osservato per l'orizzonte insaturo, non è possibile stabilire la presenza di un chiaro percorso di contaminazione dagli arenili alle acque di mare o viceversa.

Analogamente a quanto indicato per l'orizzonte insaturo, tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione degli arenili e acque di mare, permettono di escludere ragionevolmente la presenza di un percorso univoco di cross-contamination dall'Arenile Nord al mare e di supportare quindi la correttezza della scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi che si ritiene possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilitazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

6 ANALISI DI RISCHIO ARENILE SUD

Nel presente capitolo si illustra l'AdR condotta per la matrice Arenile Sud, a partire dalla descrizione del modello concettuale del sito, sviluppato parametrizzando le tre componenti utili alla valutazione del rischio - sorgenti e contaminanti indice, vie e modalità di esposizione/migrazione e recettori - tramite l'identificazione dei valori rappresentativi dei parametri di input delle elaborazioni condotte, sino alla presentazione dei risultati dei calcoli eseguiti tramite il software Risk-net.

6.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO

L'area di interesse per l'Arenile Sud è l'intera porzione del litorale di Coroglio che si estende dal braccio di Nisida alla colmata, antistante al vecchio Borgo marinaro denominato Borgo Coroglio, alla Città della Scienza e al Circolo ILVA ed è mostrata nella figura seguente.



In rosso il confine dell'Arenile Sud nella zona di progetto, il blu il confine dell'Arenile Sud ex PFTE, in arancione le opere previste nel progetto di creazione della LdR progettuale

Figura 6.1: Area di interesse per l'Arenile Sud

Per l'Arenile sud, INVITALIA (ex SIAP), sulla base delle indagini condotte dal 2004, aveva redatto il "Progetto preliminare e definitivo di bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli – Coroglio", approvato il 28

febbraio 2006 in Conferenza dei Servizi decisoria ex art. 14 della Legge 241/90. Gli interventi non sono stati eseguiti.

L'Autorità Portuale di Napoli, organo competente sulle aree demaniali, con propria Ordinanza n. 19 del 2006, sulla scorta del parere ISS 09/02/2006-0007038, ha vietato, nell'area demaniale marittima facente parte del sito di interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio, posta a sud della Colmata, "il transito di persone e/o mezzi, nonché qualsiasi altra attività connessa con l'uso del pubblico demanio marittimo.." ed ha inibito "l'accesso e la sosta alla cittadinanza tutta sugli arenili...nei quali può essere possibile un contatto diretto con la sabbia".

Nel 2017 l'area è stata oggetto di un intervento di pulizia dei rifiuti abbandonati.

L'immagine seguente mostra lo stato attuale dell'Arenile Sud e alcune prese fotografiche dello stato di fatto di maggio 2023.



Figura 6.2: Stato attuale dell'Arenile Sud



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12

6.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

Le indagini nel sottosuolo effettuate nell'arenile di Coroglio hanno mostrato la presenza di un banco di fanghi torbosi nerastri intercalati nei primi 10 m di spessore alle sabbie che formano il deposito litoraneo.

Tale deposito, molto soffice e comprimibile, è verosimilmente da ascrivere ad un locale episodio di sedimentazione in ambiente di lama costiera compresa all'interno di antichi tomboli che collegavano l'isola di Nisida alla terraferma. Lo strato torboso ha uno spessore massimo di 7 m circa e si assottiglia sino ad azzerarsi lungo i suoi margini.

Nell'ambito della redazione delle stratigrafie dei sondaggi realizzati nel 2021 e 2023 sono state annotate le quote degli eventuali risconti delle acque di falda per ciascuna verticale realizzata. Per l'Arenile Sud la falda è stata riscontrata da un minimo di 0,6 m da p.c. ad un massimo di 3 m da p.c.; la sintesi di tutti i rilievi è riportata nella tabella seguente.

Tabella 6.1: Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Sud

Sondaggio	Arenile Sud	
	Anno realizzazione	Quota falda (m da p.c.)
S1	2021	0,6
S2	2021	1,1
S3	2021	0,8
S4	2021	1,4
S5	2021	1,4
S6	2021	1,5
S7	2021	2,6
S8	2021	1,5
S9	2021	1,6
S1	2023	1,0
S1/2	2023	1,6
S10BIS-PZ(ARS)3	2023	2,0
S2	2023	1,6
S2/8	2023	1,6
S3/4	2023	1,6
S3-PZ(ARS)2	2023	1,2
S4	2023	1,8
S4/5	2023	1,8
S5	2023	1,8
S5/6	2023	1,8
S5BIS	2023	2,1
S6/10-PZ(ARS)4	2023	1,9
S6-PZ(ARS)5	2023	1,9
S7	2023	3,0
S8/9	2023	2,3
S8BIS	2023	2,5
S8-PZ(ARS)1	2023	2,0
S9	2023	2,0
SUT1	2023	2,3
SUT2	2023	2,1

Per l'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto in falda verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti è necessario parametrizzare alcune caratteristiche specifiche dell'acquifero.

Analogamente all'Arenile Nord, è stata considerata l'unità idrogeologica più superficiale descritta la paragrafo 4.1.2, ovvero l'unità idrogeologica 1 caratterizzata da conducibilità idraulica orizzontale pari a $2.87E-5$ m/s e spessore pari a 15 m.

6.3 QUADRO AMBIENTALE

Analogamente all'Arenile Nord, per l'implementazione dell'AdR sono stati considerati gli esiti delle indagini eseguite nel 2021 e 2023¹⁰, considerando esclusivamente i sondaggi inclusi nell'area di interesse definita dalla LdR progettuale.

Nello specifico, sono state considerate:

- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 tramite Appalto Specifico n.18 e n.25, con la realizzazione di un totale di n. 12 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 36 campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S12 e S13 ubicati esternamente all'area di interesse per l'AdR; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.30 campioni prelevati da n.10 sondaggi;
- ✓ Caratterizzazione integrativa eseguita da Invitalia nel 2023 in attuazione del "Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud" dell'ottobre 2022, tramite Appalto Specifico n.2 con la realizzazione di n.21 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 87 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi al sondaggio SUT1 ubicato esternamente all'area di interesse per l'AdR; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.84 campioni prelevati da n.20 sondaggi.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei punti di indagine di interesse.



Figura 6.3: Punti di indagine di interesse nell'Arenile Sud

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

In entrambe le campagne di indagine è emerso come i principali contaminanti presenti nell'Arenile Sud siano quelli appartenenti alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, Idrocarburi pesanti C>12 e gli Inorganici, con sporadiche e localizzate presenze di Idrocarburi leggeri C≤12, Benzene, PCB e PCDD/F.

La tabella in **Allegato 6** riporta tutte le analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale. Per ciascun campione sono state ricalcolate le quote di prelievo in m slm considerando la quota del piano campagna ricavata dal rilievo topografico LIDAR effettuato nel 2022 per l'intera ARIN.

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini del 2021-2023 riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti nel sedimento insaturo e saturo, considerando:

- ✓ campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (ovvero 0 m slm), considerando cautelativamente in questa categoria anche i campioni che si trovano a quota intermedia rispetto al piano di interfaccia insaturo/saturo, ovvero con bottom di prelievo a quote inferiori a 0 m slm;
- ✓ campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm), ovvero che si trovano interamente all'interno dello strato saturo.

Le concentrazioni massime e medie dei campioni insaturi e saturi sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.1).

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 6.2: Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Sud

Parametro	u.d.m.	Arenile Sud			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Max	media	max	media
pH	-	-	-	-	10,00	8,69	9,60	7,71
Conducibilità	µs/cm	-	-	-	4530,00	304,08	2650,00	521,53
Antimonio	mg/Kg	30	10	-	5,97	1,79	4,24	1,63
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	113,00	69,21	110,00	62,52
Berillio	mg/Kg	10	2	9	6,24	3,80	6,35	4,05
Cadmio	mg/Kg	15	2	-	0,70	0,27	0,70	0,35
Cobalto	mg/Kg	250	20	120	12,80	5,17	21,40	5,58
Cromo totale	mg/Kg	800	150	-	522,00	21,04	246,00	12,07
Cromo esavalente	mg/Kg	15	2	-	1,00	0,31	1,00	0,34
Mercurio	mg/Kg	5	1	-	1,38	0,33	0,96	0,31
Nichel	mg/Kg	500	120	-	76,20	8,28	7,90	5,15
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	594,00	220,13	496,00	221,34
Rame	mg/Kg	600	120	-	606,00	182,56	796,00	268,15
Selenio	mg/Kg	15	3	-	2,00	0,46	2,32	0,71
Stagno	mg/Kg	350	1	14	21,00	8,55	15,10	7,72
Composti organostannici	mg/Kg	350	1	14	0,56	0,56	3,13	1,57
Tallio	mg/Kg	10	1	-	1,71	0,78	2,00	0,80
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	105,00	49,13	70,90	46,58
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	1000,00	431,46	1085,00	410,18
Cianuri	mg/Kg	100	1	-	0,50	0,22	0,50	0,15
Fluoruri	mg/Kg	2000	100	-	189,00	34,17	224,00	56,32
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5	-	19,70	1,75	59,70	6,60
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	17,80	1,69	54,40	5,86

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Arenile Sud			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Max	media	max	media
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	9,03	2,12	21,80	7,29
Benzo(b)fluorantene + benzo(j)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	26,60	3,05	78,90	9,94
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1	-	8,34	1,02	24,00	3,21
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	6,09	0,67	19,10	2,37
Crisene	mg/Kg	50	5	-	16,10	1,60	56,50	6,37
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	3,14	0,24	9,00	0,95
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1	-	3,07	0,26	8,75	0,88
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	5,12	0,53	14,40	1,81
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	1,78	0,16	5,62	0,56
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	1,83	0,10	2,72	0,44
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg	5	0,1	-	20,20	1,90	57,00	5,74
Pirene	mg/Kg	50	5	-	29,80	2,53	102,00	10,39
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10	-	107,00	10,51	323,00	36,50
Naftalene	mg/Kg	50	5	-	0,27	0,03	0,54	0,10
Acenaftilene	mg/Kg	50	5	-	0,63	0,08	1,75	0,29
Acenaftene	mg/Kg	50	5	-	0,07	0,03	0,22	0,05
Fluorene	mg/Kg	50	5	-	0,30	0,06	1,10	0,15
Fenantrene	mg/Kg	50	5	-	6,94	0,65	16,80	1,95
Antracene	mg/Kg	50	5	-	2,65	0,28	12,90	1,63
Fluorantene	mg/Kg	50	5	-	44,20	3,43	155,00	14,10
Benzene	mg/Kg	2	0,1	-	0,10	0,04	0,10	0,04
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5	-	0,24	0,10	0,16	0,05
Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,40	0,09	0,14	0,06
m,p-Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,02	0,02	0,02	0,02
o-Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Stirene	mg/Kg	50	0,5	-	0,05	0,01	0,00	0,00
Toluene	mg/Kg	50	0,5	-	0,18	0,04	0,10	0,04
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg	100	1	-	0,51	0,07	0,19	0,04
Idrocarburi totali	mg/Kg	-	-	-	1660,00	454,04	911,00	357,05
Idrocarburi C≤12	mg/Kg	250	10	-	62,00	8,86	15,90	5,11
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50	-	1661,00	186,96	907,00	250,64
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06	-	23,80	1,96	0,06	0,01
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/kg	100	10	-	62,90	5,33	9,23	3,52
Amianto	-	-	-	-	Assente	Assente	Assente	Assente

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevabilità)

Per la verifica del rischio ambientale legato alla lisciviazione dei contaminanti dai sedimenti e trasporto verso il mare sono state considerate le concentrazioni degli eluati dei test di cessione eseguiti nelle campagne di indagine 2021 e 2023.

Tutti i risultati delle analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale sono riportati in **Allegato 6**, mentre la tabella seguente sintetizza gli esiti dei test di cessione riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei campioni insaturi e nei campioni saturi (così come sopra definiti), confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.2).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC/Limiti ISS o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 6.3: Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui campioni dell'Arenile Sud

Parametro	u.d.m.	Arenile Sud					
		CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Antimonio	µg/L	5	-	4,79	1,25	11,60	3,23
Arsenico	µg/L	10	380	144,00	25,27	112,00	24,80
Bario	µg/L	-	-	106,00	43,51	41,50	23,50
Berillio	µg/L	4	9	1,10	0,22	1,15	0,16
Cadmio	µg/L	5	-	0,00	0,00	0,11	0,03
Cobalto	µg/L	50	-	1,82	0,59	2,20	0,67
Cromo totale	µg/L	50	-	12,00	4,85	17,00	3,37
Cromo esavalente	µg/L	5	-	1,35	1,35	n.d.	n.d.
Mercurio	µg/L	1	-	0,25	0,08	0,24	0,08
Molibdeno	µg/L	-	-	12,60	7,12	26,20	14,53
Nichel	µg/L	20	-	10,60	3,90	10,80	2,25
Piombo	µg/L	10	19	299,00	75,51	329,00	54,27
Rame	µg/L	1000	-	148,00	25,65	317,00	36,35
Selenio	µg/L	10	-	6,50	1,40	10,40	1,85
Monobutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dibutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tributilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tallio	µg/L	2	-	0,02	0,01	0,06	0,03
Vanadio	µg/L	<u>50</u>	-	84,90	12,79	46,10	10,46
Zinco	µg/L	3000	-	596,00	163,18	542,00	97,58
Cianuri totali	µg/L	50	50	1,00	1,00	n.d.	n.d.
Cloruri	mg/L	-	-	59,00	20,63	298,00	96,35
Indice di fenolo	mg/L	<u>0,0005</u>	-	0,06	0,05	0,07	0,07
Fluoruri	mg/L	1,5	4	5,74	0,97	5,39	1,91
Nitrati	mg/L	-	-	2,03	2,00	4,05	2,43
Solfati	mg/L	250	-	22,30	7,73	70,70	35,00
Carbonio organico disciolto (DOC)	mg/L	-	-	21,20	14,72	20,70	15,33
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	µg/L	350	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo(a)antracene	µg/L	0,1	-	1,02	0,21	3,75	0,67
Benzo(a)pirene	µg/L	0,01	-	1,49	0,19	3,92	0,72
Benzo(b+j)fluorantene	µg/L	0,1	-	2,90	0,25	5,99	1,13
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0,01	-	1,06	0,11	2,19	0,41
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0,05	-	0,66	0,09	1,08	0,27
Crisene	µg/L	5	-	1,03	0,18	2,08	0,57
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0,01	-	0,27	0,05	0,40	0,11
Indenopirene	µg/L	0,1	-	2,17	0,24	3,97	0,71
Pirene	µg/L	50	-	1,73	0,13	5,20	0,72
Sommatoria IPA	µg/L	0,1	-	6,79	0,60	13,10	2,47
Naftalene	µg/L	<u>5</u>	-	0,08	0,04	0,17	0,06
Acenaftilene	µg/L	<u>5</u>	-	0,12	0,05	0,19	0,11
Acenaftene	µg/L	<u>5</u>	-	0,01	0,01	0,02	0,02
Fluorene	µg/L	<u>5</u>	-	0,03	0,01	0,09	0,04

Parametro	u.d.m.	Arenile Sud					
		CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Fenantrene	µg/L	5	-	0,16	0,03	0,76	0,13
Antracene	µg/L	5	-	0,23	0,05	0,93	0,19
Fluorantene	µg/L	5	-	2,28	0,14	7,44	1,11
Sommatoria PCB	µg/L	0,01	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzene	µg/L	1	-	0,05	0,05	0,10	0,07
Etilbenzene	µg/L	50	-	0,31	0,31	0,51	0,43
m,p-Xilene	µg/L	10	-	0,96	0,96	1,46	1,25
Stirene	µg/L	25	-	0,08	0,08	0,11	0,09
Toluene	µg/L	15	-	2,21	2,21	3,91	3,41
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/L	0,000004	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
pH	unità pH	-	-	10,30	9,48	10,40	9,59
Amianto	mg/L	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nella campagna di indagine o sempre inferiore al limite di rilevabilità)

6.4 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI

Come illustrato per l'Arenile Nord, le sorgenti di contaminazione su cui effettuare l'AdR, sono identificate nei comparti ambientali in cui sono stati rinvenuti superamenti dei limiti di riferimento, ovvero nello specifico i sedimenti insaturi e saturi dell'Arenile Sud.

Nel caso in esame i superamenti dei limiti di riferimento nella configurazione post-intervento considerato nella presente AdR, ovvero a valle degli interventi di realizzazione della nuova linea di riva e della nuova spiaggia così come previsto dal PRARU, sono presenti esclusivamente nell'orizzonte profondo saturo e insaturo. Sull'arenile, infatti, sarà riportato sedimento conforme con uno spessore variabile localmente sulla base delle pendenze di raccordo della LdR ma con un franco minimo pari a ad 1 m rispetto alla quota esistente pre-intervento.

Analogamente all'Arenile Nord, considerando la natura dinamica del sedimento oggetto di AdR, è stato deciso di considerare cautelativamente una sorgente insatura e una sorgente saturo, entrambe di estensione pari all'intero confine dell'Arenile Sud nella configurazione post-intervento.

Inoltre:

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi sanitari di inalazione vapori outdoor, attivi unicamente nell'orizzonte insaturo, le caratteristiche geometriche della sorgente sono state ricavate considerando la direzione del vento da ENE (come identificata nella stazione mareografica di Napoli, cfr. par. 4).

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata pari a 5 m, considerando la distanza tra:

- il minimo top dei campioni eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. attuale)
- il massimo bottom dei campioni insaturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (3 m da p.c. attuale).

Poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e, pertanto, la sorgente è stata cautelativamente posta ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi sanitari di inalazione outdoor dai sedimenti profondi insaturi nell'Arenile Sud.

Tabella 6.4: Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori nell'Arenile Sud

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	m	240	Massima dimensione dell'intero Arenile Sud (nella configurazione di LdR progettuale) lungo la direzione principale del vento (da ENE)
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds	m	3	Differenza tra minimo top dei campioni con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni insaturi con eccedenza dei limiti di riferimento

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare, attivi sia per l'orizzonte insaturo, sia per quello saturo, è stato considerato un movimento "obbligato" dai sedimenti verso mare, indipendentemente dalla attuale direzione di falda e dalle perturbazioni date dalla presenza del diaframma plastico presente nel sito per la MISE delle acque sotterranee (cfr. par. 4.1.2); cautelativamente, quindi, le dimensioni delle sorgenti sono state poste nelle elaborazioni pari alla massima estensione delle sorgenti stesse perpendicolare alla LdR progettuale.

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata:

- ✓ pari a 3 m per l'orizzonte insaturo, considerando, analogamente alla sorgente considerata nei percorsi di inalazione vapori, la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. attuale)
 - il massimo bottom dei campioni insaturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (3 m da p.c. attuale).
- ✓ pari a 6,7 m per l'orizzonte saturo, considerando la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0,3 m da p.c. attuale)
 - il massimo bottom dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (7 m da p.c. attuale).

Anche in questo caso, poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e pertanto le sorgenti sono state cautelativamente poste ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti profondi insaturi e saturi dell'Arenile Sud.

Tabella 6.5: Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare nell'Arenile Sud

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	m	195	Massima dimensione dell'intero Arenile Sud (nella configurazione di LdR progettuale) perpendicolare alla LdR progettuale
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte	Ls,SP _{ins}	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
profondo insaturo rispetto al p.c.				
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds _{ind}	m	3	Differenza tra minimo top dei campioni con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni insaturi con eccedenza dei limiti di riferimento
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo saturo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	1,3	Minimo top dei campioni saturi + minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo saturo	ds _{sat}	m	6,7	Differenza tra minimo top dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti sono illustrate nell'elaborato grafico **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-PLA-02-00**.

Le sostanze indice di contaminazione sono state identificate considerando tutti quei parametri che hanno mostrato almeno un superamento dei limiti di riferimento nelle analisi realizzate dal 2021 al 2023 in corrispondenza dei punti di indagine ubicati all'interno della sorgente insatura e saturo.

Le Concentrazioni rappresentative delle sostanze indice (C_{RS}) nella sorgente insatura e saturo sono state poste cautelativamente pari alle concentrazioni massime rilevate nelle indagini del 2021-2023 rispettivamente nei campioni insaturi e saturi.

Si precisa che, in maniera estremamente cautelativa nella presente valutazione del rischio non è stato considerato l'intervento di scavo previsto per la creazione della LdR progettuale e, pertanto, nella definizione delle sostanze indice e delle concentrazioni rappresentative sono stati utilizzati gli esiti delle indagini del 2021 e 2023 sulla totalità dei campioni prelevati nell'area sorgente.

Per le sostanze indice Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12} sono state considerate le speciazioni eseguite nella campagna di indagine del 2023 secondo l'approccio MADEP, in cui gli idrocarburi risultano suddivisi in frazioni tossicologicamente affini.

La seguente tabella mostra i risultati delle speciazioni eseguite nei campioni dei sondaggi appartenenti alle sorgenti dell'Arenile Sud. La speciazione è stata rivalutata in termini di percentuali delle singole frazioni rispetto alla concentrazione complessiva delle classi degli Idrocarburi leggeri C_{<12} e pesanti C_{>12}.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Tabella 6.6: Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nell'Arenile Sud

Sondaggio	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Speciazione – dati in mg/kg						Somma Classi leggere C≤12 (mg/kg)	Somma Classi pesanti C>12 (mg/kg)	Speciazione – ripartizione % rispetto alla somma classi leggere C≤12 e pesanti C>12					
	da	a	da	a	Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12					Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12		
					Alif. C5 - C8	Alif. C9 - C12	Arom. C9 - C10	Alif. C13 - C18	Alif. C19 - C36	Arom. C13 - C22			Alif. C5 - C8	Alif. C9 - C12	Arom. C9 - C10	Alif. C13 - C18	Alif. C19 - C36	Arom. C13 - C22
S7	0	0,1	2,54	2,44	< 1	< 1	< 1	20	29	21	-	70	-	-	-	28,6%	41,4%	30,0%
S8-PZ(ARS)1	0	0,1	1,40	1,30	< 1	< 1	< 1	23	53	18	-	94	-	-	-	24,5%	56,4%	19,1%
S3-PZ(ARS)2	0	1,0	0,68	-0,32	< 1	< 1	< 1	22	70	7	-	99	-	-	-	22,2%	70,7%	7,1%
S2	0	0,1	0,63	0,53	< 1	< 1	< 1	47	59	13	-	119	-	-	-	39,5%	49,6%	10,9%
S6-PZ(ARS)5	0	1,0	0,62	-0,38	< 1	62	< 1	8	79	67	62	154	-	100%	-	5,2%	51,3%	43,5%
S6/10-PZ(ARS)4	1	1,7	-0,21	-0,91	< 1	< 1	< 1	94	571	124	-	789	-	-	-	11,9%	72,4%	15,7%
S8-PZ(ARS)1	5	7	-3,60	-5,60	< 1	< 1	< 1	67	366	53	-	486	-	-	-	13,8%	75,3%	10,9%
S10BIS-PZ(ARS)3	5	7	-3,70	-5,70	< 1	< 1	< 1	15	42	16	-	73	-	-	-	20,5%	57,5%	21,9%
S4	5	7	-3,74	-5,74	< 1	< 1	< 1	40	194	53	-	287	-	-	-	13,9%	67,6%	18,5%

Per i PCB è stato adottato l'approccio illustrato al par. 3.2.6, ovvero sono stati considerati sia i PCB DL ("dioxin like"), sia i PCB TOT, costituito dalla sommatoria di PCB DL e PCB NDL ("no dioxin like").

La seguente tabella mostra la sintesi dei valori di concentrazione superiore al limite di riferimento per Sommatoria PCB e la rispettiva somma delle concentrazioni dei congeneri PCB DL (77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167¹⁵, 169, 189) e PCB NDL (28, 52, 95, 99, 101, 110, 128¹⁵, 138, 146, 149, 151, 153, 170, 177, 180, 183, 187) determinati nelle analisi di laboratorio effettuate sui campioni dei sondaggi ubicati nella sorgente. Si rimanda alle tabelle dell'**Allegato 6** per la visione dei singoli valori di concentrazione degli specifici congeneri.

Tabella 6.7: Valori rilevabili di Sommatoria PCB nei campioni dell'Arenile Sud e ripartizione tra PCB DL e PCB NDL

Sondaggio	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Sommatoria PCB (mg/kg)	PCB DL (mg/kg)	PCB NDL (mg/kg)
	da	a	da	a			
S9	0,30	1,00	1,43	0,73	0,0786	<LR	0,0786
S9	0,00	1,00	1,73	0,73	0,1690	0,0000	0,17
S5BIS	1,00	2,10	0,50	-0,60	0,2250	0,0154	0,21
S5BIS	0,00	1,00	1,50	0,50	11,0000	1,1611	9,88
S5BIS	0,00	0,10	1,50	1,40	23,8000	1,9434	21,84

< LR = tutti i congeneri hanno mostrato concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità

Nella tabella seguente sono sintetizzate le sostanze indice di interesse, le caratteristiche di volatilità e le C_{RS} considerate per le elaborazioni condotte dalla zona insatura e satura.

Si precisa che:

- ✓ per il parametro Mercurio i rischi sanitari sono stati calcolati considerando l'intera concentrazione misurata associata al Mercurio elementare (maggiormente cautelativo nei percorsi di inalazione), mentre il percorso di lisciviazione è stato elaborato considerando l'intera concentrazione associata al Cloruro di mercurio;
- ✓ il parametro "Sommatoria IPA" non è stato implementato nell'AdR in quanto, essendo sommatorie di differenti sostanze, non presenta caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche univoche; in ogni caso è valutato sulla base delle elaborazioni condotte sulle singole sostanze che le compongono;
- ✓ poiché nelle indagini del 2023 il parametro Benzo(b)fluorantene è stato determinato insieme al parametro Benzo(j)fluorantene, cautelativamente sono stati considerati entrambi i parametri come sostanze indice.

La concentrazione rappresentativa di Benzo(b)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per i parametri Benzo(b)fluorantene e Benzo(b+j)fluorantene, mentre la concentrazione rappresentativa di Benzo(j)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per Benzo(b+j)fluorantene.

Nello specifico, poiché le concentrazioni massime di Benzo(b+j)fluorantene sono risultate le più elevate, per i due parametri sono state adottate le medesime C_{RS};

- ✓ per gli Idrocarburi leggeri C_{≤12} le speciazioni disponibili hanno permesso di valutare la ripartizione delle concentrazioni nelle classi MADEP esclusivamente nell'orizzonte insaturo, rappresentato dal campione S6-PZ(ARS)5 (0-1 m da p.c. attuale). Pertanto, per la sorgente insatura, le C_{RS} di ciascuna classe MADEP sono state calcolate moltiplicando la C_{RS} degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} per le percentuali derivanti dalla speciazione rappresentativa (nello specifico, considerando la speciazione riportata in Tabella 6.6, tutta la C_{RS} degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} è stata assegnata alla classe Alifatica C9-C12). Per la sorgente satura, in ciascun percorso di esposizione/migrazione implementata è stata considerata la classe maggiormente conservativa, associando alla stessa classe l'intera C_{RS} degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} (nello specifico, la classe più cautelativa per il percorso di lisciviazione, l'unico percorso attivo nell'orizzonte saturo, è risultata l'aromatica C9-C10);
- ✓ per gli Idrocarburi pesanti C_{>12} sono state considerate le speciazioni eseguite sui campioni insaturi e saturi che hanno mostrato le concentrazioni maggiori, ovvero è stato considerato il campione S6-PZ(ARS)5 (0-1 m da p.c. attuale) rappresentativo della zona insatura e il campione S6/10-PZ(ARS)4 (1-

¹⁵ Nelle indagini effettuate il congenere "DL" 167 è stato determinato insieme al congenere "NDL" 128. Cautelativamente, nella valutazione della concentrazione dei PCB DL è stata considerata l'intera concentrazione di PCB128+167

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

1,7 m da p.c. attuale) rappresentativo della zona satura. Le C_{RS} di ciascuna classe MADEP sono state calcolate moltiplicando la C_{RS} degli Idrocarburi pesanti $C>12$ per le percentuali derivanti dalle spezzazioni rappresentative;

- ✓ come anticipato al par. 3.2.6 e descritto in precedenza, i PCB sono stati implementati nei calcoli eseguiti considerando sia i PCB DL ("dioxin like") sia i PCB TOT. La C_{RS} dei PCB DL è stata posta pari al valore massimo riportato in Tabella 7.6 per l'orizzonte insaturo (1,9434 mg/kg)
- ✓ il parametro Diossine/Furani (PCDD/F) è stato implementato come se fosse costituito interamente dal congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD (cfr. par. 3.2.5).

Tabella 6.8: Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dell'Arenile Sud

Parametro	Volatilità	u.d.m.	C_{RS} insaturo	C_{RS} saturo
Arsenico	non volatile	mg/Kg	113,00	110,00
Cromo Totale	non volatile	mg/Kg	522,00	246,00
Mercurio ^(a)	volatile	mg/Kg	1,38	-
Piombo	non volatile	mg/Kg	594,00	496,00
Rame	non volatile	mg/Kg	606,00	796,00
Stagno	non volatile	mg/Kg	21,00	15,10
Tallio	non volatile	mg/Kg	1,71	2,00
Vanadio	non volatile	mg/Kg	105,00	-
Zinco	non volatile	mg/Kg	1000,00	1085,00
Fluoruri	volatile	mg/Kg	189,00	224,00
Benzo(a)antracene	non volatile	mg/Kg	19,70	59,70
Benzo(a)pirene	non volatile	mg/Kg	17,80	54,40
Benzo(b)fluorantene ^(b)	non volatile	mg/Kg	26,60	78,90
Benzo(j)fluorantene ^(c)	non volatile	mg/Kg	26,60	78,90
Benzo(g,h,i)perilene	non volatile	mg/Kg	8,34	24,00
Benzo(k)fluorantene	non volatile	mg/Kg	6,09	19,10
Crisene	non volatile	mg/Kg	16,10	56,50
Dibenzo(a,e)pirene	non volatile	mg/Kg	3,14	9,00
Dibenzo(a,h)antracene	non volatile	mg/Kg	3,07	8,75
Dibenzo(a,h)pirene	non volatile	mg/Kg	5,12	14,40
Dibenzo(a,i)pirene	non volatile	mg/Kg	1,78	5,62
Dibenzo(a,l)pirene	non volatile	mg/Kg	1,83	2,72
Indeno(1,2,3-cd)pirene	non volatile	mg/Kg	20,20	57,00
Pirene	non volatile	mg/Kg	29,80	102,00
Sommatoria IPA ^(d)	non volatile	mg/Kg	107,00	323,00
Fenantrene	volatile	mg/Kg	6,94	16,80
Antracene	volatile	mg/Kg	-	12,90
Fluorantene	non volatile	mg/Kg	44,20	155,00
Benzene	volatile	mg/Kg	-	0,101
Idrocarburi leggeri $C\leq 12$	volatile	mg/Kg	62,00 ^(e)	15,90 ^(f)
Alifatici C9 – C12	volatile	mg/Kg	62,00 ^(g)	-
Idrocarburi pesanti $C>12$ ^(e)	non volatile	mg/Kg	1661,00	907,00
Alifatici C13 - C18	non volatile	mg/Kg	86 ^(g)	108 ^(h)
Alifatici C19 - C36	non volatile	mg/Kg	852 ^(g)	656 ^(h)
Aromatici C13 - C22	non volatile	mg/Kg	723 ^(g)	143 ^(h)
Sommatoria PCB ⁽ⁱ⁾	non volatile	mg/Kg	23,80	-
PCB DL	non volatile	mg/Kg	1,9434	-
PCB TOT	non volatile	mg/Kg	23,80	-
Sommatoria PCDD, PCDF ^(l)	non volatile	mg/Kg	0,0000629	-

Parametro	Volatilità	u.d.m.	C _{RS} insaturo	C _{RS} saturo
<p>Note:</p> <ul style="list-style-type: none"> - concentrazione massima inferiore ai valori di riferimento (a) sostanza implementata nell'AdR come Mercurio elementare nei percorsi di inalazione e Cloruro di mercurio nel percorso di lisciviazione (b) concentrazione massima rilevata per parametri Benzo(b)fluorantene e Benzo(b+j)fluorantene (c) concentrazione massima rilevata per Benzo(b+j)fluorantene (d) sostanza non implementata nell'AdR in quanto essendo una sommatoria di altre sostanze non presenta caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche univoche. È comunque valutata sulla base delle elaborazioni condotte sulle singole sostanze che la compongono (e) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP determinate dalle speciazioni sito specifiche (f) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP più cautelative per il percorso di esposizione/migrazione considerato (g) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguite sul campione S6-PZ(ARS)5 (0-1 m da p.c.) (h) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguite sul campione S6/10-PZ(ARS)4 (1-1,7 m da p.c.) (i) sostanza implementata nell'AdR considerando entrambe le tipologie di PCB: PCB DL e PCB TOT (l) sostanza implementata nell'AdR come se fosse costituita interamente dal congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD 				

Le proprietà chimico-fisiche-tossicologiche dei composti di interesse sono state reperite dalla Banca Dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 ad eccezione dei parametri Stagno, Fluoruri e Benzo(j)fluorantene per i quali sono state utilizzate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche proposte dal database RAIS¹¹. In **Allegato 5** sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche delle sostanze indice.

6.5 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE

I percorsi di esposizione/migrazione potenzialmente attivi per l'Arenile Sud nello scenario post-intervento sono:

1. percorsi di esposizione sanitaria: inalazione vapori outdoor dai sedimenti profondi dell'arenile;
2. percorsi ambientali: lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti profondi dell'arenile verso le acque di mare.

Il percorso sanitario n.1 di inalazione vapori outdoor è stato implementato per le sole sostanze definite volatili dal D.Lgs. 152/06 e dalla Banca dati ISS-INAIL per AdR – Marzo 2018.

Considerando gli aspetti limitativi che caratterizzano la modellazione della lisciviazione nel caso in esame, il percorso ambientale n.2 è stato valutato confrontando le concentrazioni attese in falda dall'arenile con le concentrazioni massime rilevate nelle acque di mare onshore, al fine di comprenderne l'eventuale interrelazione. A tali fine, come indicato al par. 3.2.1, il percorso è stato implementato secondo due modalità:

- (a) tramite la modellistica del software Risk-net e l'utilizzo dei valori sito specifici di Kd per i contaminanti inorganici.
- (b) tramite l'utilizzo delle concentrazioni rilevate negli eluati come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM.

6.6 RECETTORI

Analogamente all'Arenile Nord, in considerazione dell'obiettivo primario del PRARU che prevede il ripristino della balneabilità del sito è stato considerato anche per l'Arenile Sud un recettore on site ricreativo adulto e bambino.

I parametri di esposizione di recettori on site sono riportati nella tabella seguente¹². Rispetto ai parametri di default del Manuale ISPRA è stata considerata una frequenza di esposizione pari a 30, 90 e 180 giorni/anno, corrispondente a 1, 3 e 6 mesi di esposizione, ovvero l'intera stagione estiva di fruizione degli arenili.

Tabella 6.9: Parametri di esposizione dei recettori considerati per l'Arenile Sud

Parametri di esposizione	Simbolo	u.d.m.	Bambini	Adulti
Peso Corporeo	BW	kg	15	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70	70

Parametri di esposizione	Simbolo	u.d.m.	Bambini	Adulti
Durata di esposizione	ED	y	6	24
Frequenza di esposizione	EF	d/y	30-90-180	30-90-180

Come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM è stato attivato anche il percorso di lisciviazione dei contaminanti presenti nell'arenile e il trasporto verso mare, considerando quest'ultimo come recettore ambientale.

6.7 PARAMETRI SITO SPECIFICI

La tabella seguente sintetizza i valori dei parametri sito specifici della zona insatura e satura utilizzati nelle elaborazioni condotte.

Tabella 6.10: Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per l'Arenile Sud

Parametro	Simbolo	u.d.m.	Valore
Caratteristiche della Zona Insatura			
Tessitura	-	-	Sand
Densità	ps	g/cm ³	1,73
pH	pH	-	7,2
Frazione di carbonio organico	foc	g/g	0,001
Caratteristiche della Zona Satura			
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	m	Pari al bottom della sorgente
Tessitura	-	-	Loamy Sand
Densità	ps	g/cm ³	1,64
pH	pH	-	6,4
Frazione di carbonio organico	foc,sat	g/g	0,001
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	m/s	2,87E-5
Spessore acquifero	da	m	15
Gradiente idraulico	i	m/m	0,0013
Contenuto volumetrico di acqua	θw	-	0,353
Contenuto volumetrico di aria	θa	-	0,057

Di seguito si descrivono in dettaglio, per ogni parametro sito specifico, i dati di base e le scelte che hanno portato alla identificazione valori rappresentativi indicati in tabella.

Per la definizione delle caratteristiche tessiturali delle sorgenti insature e sature dell'Arenile Sud sono state analizzate le granulometrie disponibili tramite la tabella e il Diagramma Triangolare di classificazione dei terreni sviluppata da U.S. Department of Agriculture e riportata nel Manuale ISPRA (considerando la distribuzione percentuale delle classi Sabbia¹³, Limo e Argilla). La tessitura maggiormente frequente nella matrice insatura e satura è stata quindi scelta quale rappresentativa per la sorgente analizzata.

La tabella seguente sintetizza i dati disponibili e la tessitura rappresentativa identificata per l'Arenile Sud.

Tabella 6.11: Identificazione della tessitura rappresentativa per l'Arenile Sud

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Arenile Sud			Tessitura
	da	a	da	a	Argilla (<0,002 mm) [%]	Limo (0,002 mm < x < 0,06 mm) [%]	Sabbia + Ghiaia + Ciottoli (> 0,06 mm) [%]	
S8BIS	0,00	0,10	2,11	2,01	9,5%	4,8%	85,7%	Loamy Sand
S8BIS	0,00	1,00	2,11	1,11	8,5%	1,7%	89,8%	Sand
S8/9	0,00	0,10	1,70	1,60	7,0%	3,2%	89,8%	Sand

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Arenile Sud			Tessitura
	da	a	da	a	Argilla (<0,002 mm) [%]	Limo (0,002 mm < x < 0,06 mm) [%]	Sabbia + Ghiaia + Ciottoli (> 0,06 mm) [%]	
	S8/9	0,00	1,00	1,70	0,70	8,7%	1,9%	
S8BIS	1,00	2,50	1,11	-0,39	8,1%	4,0%	87,9%	Loamy Sand
S8	0,30	1,00	1,10	0,40	0,0%	2,7%	97,3%	Sand
S5/6	0,00	0,10	0,95	0,85	8,7%	2,7%	88,6%	Loamy Sand
S5/6	0,00	1,00	0,95	-0,05	10,3%	2,0%	87,7%	Loamy Sand
S8/9	1,00	2,30	0,70	-0,60	8,9%	3,4%	87,7%	Loamy Sand
S4	1,00	3,00	0,26	-1,74	0,0%	4,0%	96,0%	Sand
S5	1,00	3,00	0,05	-1,95	0,0%	4,8%	95,2%	Sand
Tessitura maggiormente frequente nella zona insatura: <u>Sand</u>								
S5/6	1,00	1,80	-0,05	-0,85	13,1%	2,0%	84,9%	Loamy Sand
S8BIS	2,50	5,00	-0,39	-2,89	11,6%	3,7%	84,7%	Loamy Sand
S8/9	2,30	5,00	-0,60	-3,30	11,3%	5,4%	83,3%	Loamy Sand
S5/6	1,80	5,00	-0,85	-4,05	10,9%	2,9%	86,2%	Loamy Sand
S8	3,00	5,00	-1,60	-3,60	0,0%	5,8%	94,2%	Sand
S4	3,00	5,00	-1,74	-3,74	0,0%	4,2%	95,8%	Sand
S5	3,00	5,00	-1,95	-3,95	0,2%	2,8%	97,0%	Sand
S8BIS	5,00	7,00	-2,89	-4,89	14,1%	4,7%	81,2%	Sandy Loam
S8/9	5,00	7,00	-3,30	-5,30	8,5%	5,4%	86,2%	Loamy Sand
S5/6	5,00	7,00	-4,05	-6,05	15,1%	5,3%	79,6%	Sandy Loam
Tessitura maggiormente frequente nella zona satura: <u>Loamy Sand</u>								

Per quanto riguarda la densità è stato considerato il valore massimo dei dati disponibili di massa volumica apparente (soil bulk density) ps, che rappresenta il rapporto tra la massa del suolo essiccato (105° C) ed il suo volume totale, riportati nella tabella seguente.

Tabella 6.12: Identificazione della densità rappresentativa per l'Arenile Sud

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Massa volumica apparente [g/cm³]
	da	a	da	A	
	S8BIS	0,00	1,00	2,11	
S8BIS	0,00	0,10	2,11	2,01	1,4
S8/9	0,00	1,00	1,70	0,70	1,36
S8/9	0,00	0,10	1,70	1,60	1,49
S8BIS	1,00	2,50	1,11	-0,39	1,73
S5/6	0,00	0,10	0,95	0,85	1,57
S5/6	0,00	1,00	0,95	-0,05	1,48
S8/9	1,00	2,30	0,70	-0,60	1,6
Densità rappresentativa nella zona insatura (valore massimo): <u>1,73 g/cm³</u>					
S5/6	1,00	1,80	-0,05	-0,85	1,56
S8BIS	2,50	5,00	-0,39	-2,89	1,55
S8/9	2,30	5,00	-0,60	-3,30	1,55
S5/6	1,80	5,00	-0,85	-4,05	1,64
S8BIS	5,00	7,00	-2,89	-4,89	1,51
S8/9	5,00	7,00	-3,30	-5,30	1,58

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Arenile Sud				Massa volumica apparente [g/cm ³]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S5/6	5,00	7,00	-4,05	-6,05	1,58
Densità rappresentativa nella zona satura (valore massimo): <u>1,64 g/cm³</u>					

Per quanto riguarda il pH è stato considerato il valore minimo dei dati disponibili nell'orizzonte anche se, nel caso specifico del sito in esame, per alcuni parametri (Arsenico, Mercurio, Piombo, Rame, Zinco, Cromo Totale, Tallio, Berillio e Vanadio) sono stati determinati i valori sito specifici del coefficiente di ripartizione Kd e, quindi, per essi il parametro pH non influenza i calcoli di AdR. I dati disponibili sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 6.13: Identificazione del pH rappresentativo per l'Arenile Sud

Punto di indagine	Arenile Sud				pH [-]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S7	0,00	1,00	2,54	1,54	8,60
S7	0,00	0,10	2,54	2,44	8,20
S8BIS	0,00	1,00	2,11	1,11	8,70
S8BIS	0,00	0,10	2,11	2,01	8,50
SUT2	0,00	1,00	1,84	0,84	8,30
S9	0,00	1,00	1,73	0,73	8,30
S9	0,00	0,10	1,73	1,63	7,80
S8/9	0,00	1,00	1,70	0,70	8,50
S8/9	0,00	0,10	1,70	1,60	7,30
S5BIS	0,00	1,00	1,50	0,50	9,10
S5BIS	0,00	0,10	1,50	1,40	9,20
S8-PZ(ARS)1	0,00	1,00	1,40	0,40	9,10
S8-PZ(ARS)1	0,00	0,10	1,40	1,30	9,00
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	0,30	1,30	1,00	8,90
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	1,00	1,30	0,30	8,90
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	0,10	1,30	1,20	8,40
S4	0,00	1,00	1,26	0,26	9,80
S4	0,00	0,10	1,26	1,16	9,30
S8BIS	1,00	2,50	1,11	-0,39	9,00
S5	0,00	1,00	1,05	0,05	1,00
S5	0,00	0,10	1,05	0,95	9,60
S10BIS-PZ(ARS)3	0,30	1,00	1,00	0,30	8,80
S1/2	0,00	1,00	0,95	-0,05	9,40
S1/2	0,00	0,10	0,95	0,85	9,20
S5/6	0,00	1,00	0,95	-0,05	9,60
S5/6	0,00	0,10	0,95	0,85	8,80
S3/4	0,00	1,00	0,86	-0,14	8,70
S3/4	0,00	0,30	0,86	0,56	8,00
S3/4	0,00	0,10	0,86	0,76	7,50
SUT2	1,00	2,10	0,84	-0,26	8,40
S4/5	0,00	1,00	0,82	-0,18	8,50
S4/5	0,00	0,10	0,82	0,72	7,50
S6/10-PZ(ARS)4	0,00	1,00	0,79	-0,21	7,20
S6/10-PZ(ARS)4	0,00	0,10	0,79	0,69	8,00
S8/9	1,00	2,30	0,70	-0,60	8,60

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Arenile Sud				pH [-]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
S3-PZ(ARS)2	0,00	1,00	0,68	-0,32	8,90
S3-PZ(ARS)2	0,00	0,10	0,68	0,58	9,10
S2/8	0,00	1,00	0,65	-0,35	8,10
S2/8	0,00	0,10	0,65	0,55	8,60
S2	0,00	1,00	0,63	-0,37	9,10
S2	0,00	0,10	0,63	0,53	9,20
S6-PZ(ARS)5	0,00	1,00	0,62	-0,38	9,60
S6-PZ(ARS)5	0,00	0,10	0,62	0,52	8,40
S3/4	0,30	1,00	0,56	-0,14	8,80
S5BIS	1,00	2,10	0,50	-0,60	9,00
S10BIS-PZ(ARS)3	1,00	2,00	0,30	-0,70	8,50
S1	0,00	1,00	0,30	-0,71	8,10
S1	0,00	0,10	0,30	0,20	8,90
pH rappresentativo nella zona insatura (valore minimo): 7,2					
S1/2	1,00	1,60	-0,05	-0,65	8,60
S5/6	1,00	1,80	-0,05	-0,85	9,60
S3/4	1,00	2,00	-0,14	-1,14	8,00
S4/5	1,00	1,80	-0,18	-0,98	7,60
S6/10-PZ(ARS)4	1,00	1,70	-0,21	-0,91	7,10
SUT2	2,10	5,00	-0,26	-3,16	9,30
S2/8	1,00	1,60	-0,35	-0,95	8,40
S8BIS	2,50	5,00	-0,39	-2,89	8,00
S8/9	2,30	5,00	-0,60	-3,30	7,50
S5BIS	2,10	5,00	-0,60	-3,50	8,70
S1/2	1,60	5,00	-0,65	-4,05	8,60
S10BIS-PZ(ARS)3	2,00	5,00	-0,70	-3,70	7,20
S5/6	1,80	5,00	-0,85	-4,05	7,40
S6/10-PZ(ARS)4	1,70	5,00	-0,91	-4,21	7,20
S2/8	1,60	5,00	-0,95	-4,35	7,60
S4/5	1,80	5,00	-0,98	-4,18	7,20
S3/4	2,00	5,00	-1,14	-4,14	7,40
S7	5,00	7,00	-2,46	-4,46	8,00
S8BIS	5,00	7,00	-2,89	-4,89	7,50
S9	5,00	7,00	-3,27	-5,27	8,00
S8/9	5,00	7,00	-3,30	-5,30	7,10
S5BIS	5,00	7,00	-3,50	-5,50	6,80
S8-PZ(ARS)1	5,00	7,00	-3,60	-5,60	8,80
S10BIS-PZ(ARS)3	5,00	7,00	-3,70	-5,70	6,40
S4	5,00	7,00	-3,74	-5,74	7,60
S5	5,00	7,00	-3,95	-5,95	7,50
S1/2	5,00	7,00	-4,05	-6,05	7,70
S5/6	5,00	7,00	-4,05	-6,05	7,20
S3/4	5,00	7,00	-4,14	-6,14	7,20
S4/5	5,00	7,00	-4,18	-6,18	6,90
S6/10-PZ(ARS)4	5,00	7,00	-4,21	-6,21	7,20
S3-PZ(ARS)2	5,00	7,00	-4,32	-6,32	7,90
S2/8	5,00	7,00	-4,35	-6,35	7,40
S2	5,00	7,00	-4,37	-6,37	7,90
S6-PZ(ARS)5	5,00	7,00	-4,38	-6,38	7,60
S1	5,00	7,00	-4,71	-6,71	7,40

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Arenile Sud					
Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		pH [-]
	da	a	da	A	
	pH rappresentativo nella zona satura (valore minimo): 6,4				

Per quanto riguarda la frazione di carbonio organico *foc* è stato considerato il valore minimo dei dati disponibili riportati nella tabella seguente, selezionati escludendo i campioni che hanno mostrato eccedenze delle CSC di Tab. 1 A del D.Lgs.152/06 per sostanze idrocarburiche.

Tabella 6.14: Identificazione del foc rappresentativo per l'Arenile Sud

Arenile Nord					
Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		foc [g/g]
	da	a	da	A	
	S7	0,00	1,00	2,54	
S8BIS	0,00	1,00	2,11	1,11	0,007
S8BIS	0,00	0,10	2,11	2,01	0,003
SUT2	0,00	1,00	1,84	0,84	0,006
S9	0,00	1,00	1,73	0,73	0,01
S9	0,00	0,10	1,73	1,63	0,003
S8/9	0,00	1,00	1,70	0,70	0,007
S8/9	0,00	0,10	1,70	1,60	0,004
S5BIS	0,00	0,10	1,50	1,40	0,002
S5BIS	0,00	1,00	1,50	0,50	0,003
S8-PZ(ARS)1	0,00	1,00	1,40	0,40	0,001
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	0,10	1,30	1,20	0,004
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	0,30	1,30	1,00	0,003
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	1,00	1,30	0,30	0,006
S4	0,00	0,10	1,26	1,16	0,001
S8BIS	1,00	2,50	1,11	-0,39	0,002
S5	0,00	0,10	1,05	0,95	0,002
S10BIS-PZ(ARS)3	0,30	1,00	1,00	0,30	0,004
S1/2	0,00	1,00	0,95	-0,05	0,002
S1/2	0,00	0,10	0,95	0,85	0,005
S5/6	0,00	1,00	0,95	-0,05	0,002
S5/6	0,00	0,10	0,95	0,85	0,001
S3/4	0,00	1,00	0,86	-0,14	0,002
S3/4	0,00	0,10	0,86	0,76	0,007
S3/4	0,00	0,30	0,86	0,56	0,001
SUT2	1,00	2,10	0,84	-0,26	0,003
S6/10-PZ(ARS)4	0,00	1,00	0,79	-0,21	0,005
S6/10-PZ(ARS)4	0,00	0,10	0,79	0,69	0,003
S8/9	1,00	2,30	0,70	-0,60	0,003
S2/8	0,00	0,10	0,65	0,55	0,005
S2/8	0,00	1,00	0,65	-0,35	0,002
S2	0,00	1,00	0,63	-0,37	0,001
S6-PZ(ARS)5	0,00	0,10	0,62	0,52	0,006
S3/4	0,30	1,00	0,56	-0,14	0,022
S5BIS	1,00	2,10	0,50	-0,60	0,004
S10BIS-PZ(ARS)3	1,00	2,00	0,30	-0,70	0,003
S1	0,00	1,00	0,30	-0,71	0,009

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Arenile Nord				foc [g/g]
	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		
	da	a	da	A	
Foc rappresentativo nella zona insatura (valore minimo): <u>0,001 g/g</u>					
S1/2	1,00	1,60	-0,05	-0,65	0,002
S5/6	1,00	1,80	-0,05	-0,85	0,002
S3/4	1,00	2,00	-0,14	-1,14	0,001
SUT2	2,10	5,00	-0,26	-3,16	0,006
S8/9	2,30	5,00	-0,60	-3,30	0,001
S5BIS	2,10	5,00	-0,60	-3,50	0,001
S1/2	1,60	5,00	-0,65	-4,05	0,002
S10BIS-PZ(ARS)3	2,00	5,00	-0,70	-3,70	0,004
S5/6	1,80	5,00	-0,85	-4,05	0,003
S6/10-PZ(ARS)4	1,70	5,00	-0,91	-4,21	0,005
S2/8	1,60	5,00	-0,95	-4,35	0,002
S3/4	2,00	5,00	-1,14	-4,14	0,002
S7	5,00	7,00	-2,46	-4,46	0,001
S8BIS	5,00	7,00	-2,89	-4,89	0,005
S9	5,00	7,00	-3,27	-5,27	0,001
S8/9	5,00	7,00	-3,30	-5,30	0,003
S5BIS	5,00	7,00	-3,50	-5,50	0,003
S5	5,00	7,00	-3,95	-5,95	0,004
S1/2	5,00	7,00	-4,05	-6,05	0,002
S5/6	5,00	7,00	-4,05	-6,05	0,006
S3/4	5,00	7,00	-4,14	-6,14	0,002
S4/5	5,00	7,00	-4,18	-6,18	0,005
S6/10-PZ(ARS)4	5,00	7,00	-4,21	-6,21	0,004
S3-PZ(ARS)2	5,00	7,00	-4,32	-6,32	0,001
S2/8	5,00	7,00	-4,35	-6,35	0,001
S2/8	5,00	7,00	-4,35	-6,35	0,003
S2	5,00	7,00	-4,37	-6,37	0,004
S6-PZ(ARS)5	5,00	7,00	-4,38	-6,38	0,004
S1	5,00	7,00	-4,71	-6,71	0,002
Foc rappresentativo nella zona satura (valore minimo): <u>0,001 g/g</u>					

Per quanto riguarda gli altri parametri sito specifici della zona satura:

- ✓ I valori di conducibilità idraulica, spessore dell'acquifero e gradiente idraulico sono stati posti pari a quelli identificati nell'unità idrogeologica più superficiale (unità idrogeologica 1) descritta al paragrafo 4.1.2.
- ✓ la soggiacenza della falda è stata assunta in maniera cautelativa attestata alla base della sorgente individuata nell'orizzonte insaturo/saturo, ricalcolando la quota nello scenario futuro, ovvero considerando il minimo spessore di 1 m di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale;
- ✓ la porosità efficace del saturo è stata posta pari a 0,353, valore corrispondente alla tessitura Loamy Sand, rappresentativa dell'orizzonte saturo dell'Arenile Sud.

Come illustrato al par. 3.2.1, nel calcolo della lisciviazione dall'orizzonte saturo, considerando che il contenuto volumetrico di acqua a saturazione è uguale alla porosità efficace, il valore suddetto 0,353 è stato assegnato al contenuto volumetrico di acqua θ_w e il valore di contenuto volumetrico di aria θ_a è stato posto pari a 0,057, ovvero pari alla differenza tra porosità totale θ_T (0,41 per la tessitura Loamy Sand) e θ_w (0,353).

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 -Agosto 2023

Ulteriori parametri sito specifici per le elaborazioni del presente lavoro sono i valori di coefficiente di ripartizione Kd dei contaminanti inorganici che, come specificato al par.6.5, sono stati utilizzati nell'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto verso le acque di mare.

Cautelativamente, per ciascun contaminante inorganico, è stato considerato il minimo tra i valori disponibili a seguito delle analisi di laboratorio effettuate nelle indagini del 2021 e 2023, come mostrato nella tabella seguente.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 --Agosto 2023

Tabella 6.15: Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dell'Arenile Sud

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Kd ARSENICO	Kd BERILLIO	Kd MERCURIO	Kd PIOMBO	Kd RAME	Kd TALLIO	Kd ZINCO	Kd VANADIO	Kd CROMO TOTALE
	da	a	da	a	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
S7	0,00	1,00	2,54	1,54	-	-	-	828,0	-	-	1040,0	-	-
S9	0,00	1,00	1,73	0,73	-	-	-	-	-	500,0	-	40,6	-
S8/9	0,00	1,00	1,70	0,70	-	-	-	305,0	-	-	355,0	-	-
S8/9	0,00	0,10	1,70	1,60	-	-	-	105,0	-	-	137,0	-	-
S5BIS	0,00	0,10	1,50	1,40	-	-	-	-	43,6	-	-	-	597,0
S5BIS	0,00	1,00	1,50	0,50	-	-	-	-	96,40	-	-	-	401,0
S8-PZ(ARS)1	0,00	0,10	1,40	1,30	-	160,0	-	-	-	-	-	-	-
S10BIS-PZ(ARS)3	0,00	0,10	1,30	1,20	55,3	98,8	-	189,0	-	-	126,0	-	-
S8	0,30	1,00	1,10	0,40	3440,0	4040,0	-	14400,0	-	-	0,5	-	-
S5	0,00	1,00	1,05	0,05	-	-	-	-	-	-	272,0	-	-
S1/2	0,00	1,00	0,95	-0,05	-	-	-	-	-	-	70,4	-	-
S3/4	0,00	0,30	0,86	0,56	-	-	-	-	-	919,0	-	-	-
S4/5	0,00	1,00	0,82	-0,18	-	-	-	-	-	1060,0	-	-	-
S4/5	0,00	0,10	0,82	0,72	-	233,0	-	-	-	-	-	-	-
S6/10-PZ(ARS)4	0,00	1,00	0,79	-0,21	-	-	-	309,0	-	-	65,6	-	-
S8/9	1,00	2,30	0,70	-0,60	-	-	-	39,3	-	-	47,3	-	-
S2/8	0,00	1,00	0,65	-0,35	-	-	-	-	249,0	-	-	-	-
S2/8	0,00	0,10	0,65	0,55	46,2	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	0,00	0,10	0,63	0,53	-	204,0	-	-	-	-	-	-	-
S3/4	0,30	1,00	0,56	-0,14	115,0	204,0	-	-	-	1140,0	-	-	-
S10BIS-PZ(ARS)3	1,00	2,00	0,30	-0,70	-	-	-	-	-	-	84,4	-	-
S1	0,00	1,00	0,30	-0,71	-	-	-	-	64,2	-	-	-	-
S1	0,00	0,10	0,30	0,20	33,6	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	1,00	3,00	0,26	-1,74	304,0	674,0	221,0	1940,0	1070,0	-	0,5	-	-
S5	1,00	3,00	0,05	-1,95	222,0	3300,0	-	2490,0	-	-	3200,0	-	-
Kd rappresentativo nell'insaturo (valore minimo):					33,6	98,8	221,0	39,3	43,6	500,0	0,5	40,6	401,0
S1/2	1,00	1,60	-0,05	-0,65	-	-	-	1980,0	381,0	-	-	-	-

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 --Agosto 2023

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.)		Quota prelievo campione (m slm)		Kd ARSENICO	Kd BERILLIO	Kd MERCURIO	Kd PIOMBO	Kd RAME	Kd TALLIO	Kd ZINCO	Kd VANADIO	Kd CROMO TOTALE
	da	a	da	a	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
S5/6	1,00	1,80	-0,05	-0,85	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-
S3/4	1,00	2,00	-0,14	-1,14	-	-	-	83,4	-	-	-	-	-
S4/5	1,00	1,80	-0,18	-0,98	-	-	-	255,0	-	-	-	-	-
S6/10-PZ(ARS)4	1,00	1,70	-0,21	-0,91	17,8	237,0	-	1750,0	442,0	-	41,8	-	-
SUT2	2,10	5,00	-0,26	-3,16	-	367,0	-	-	318,0	703,0	-	-	-
S1/2	1,60	5,00	-0,65	-4,05	-	382,0	-	2850,0	-	-	-	-	-
S5/6	1,80	5,00	-0,85	-4,05	121,0	126,0	-	2140,0	-	-	86,1	-	-
S6/10-PZ(ARS)4	1,70	5,00	-0,91	-4,21	-	89,6	-	1110,0	549,0	-	7,23	-	-
S4/5	1,80	5,00	-0,98	-4,18	-	198,0	-	1680,0	488,0	-	55,0	-	-
S3/4	2,00	5,00	-1,14	-4,14	-	-	-	1530,0	-	-	5,23	-	-
S8	3,00	5,00	-1,60	-3,60	4530,0	4850,0	-	163000,0	1750,0	-	3650,0	-	-
S4	3,00	5,00	-1,74	-3,74	820,0	7910,0	-	117000,0	8130,0	-	0,5	-	-
S5	3,00	5,00	-1,95	-3,95	1360,0	7590,0	-	5020,0	-	-	0,5	-	-
S9	5,00	7,00	-3,27	-5,27	-	-	-	-	176,0	-	-	-	-
S8/9	5,00	7,00	-3,30	-5,30	-	-	-	-	-	605,0	-	-	-
S5BIS	5,00	7,00	-3,50	-5,50	-	-	-	-	-	1270,0	-	-	-
S10BIS-PZ(ARS)3	5,00	7,00	-3,70	-5,70	-	28,3	-	-	-	642,0	-	-	-
S5	5,00	7,00	-3,95	-5,95	324,0	13,7	-	-	-	80,0	-	-	-
S1/2	5,00	7,00	-4,05	-6,05	-	-	-	-	126,0	-	-	-	-
S5/6	5,00	7,00	-4,05	-6,05	-	-	-	2490,0	366,0	-	5,25	-	-
S4/5	5,00	7,00	-4,18	-6,18	-	-	-	1050,0	-	-	7,09	-	-
S6/10-PZ(ARS)4	5,00	7,00	-4,21	-6,21	-	110,0	-	-	-	-	-	-	-
S2	5,00	7,00	-4,37	-6,37	-	-	-	-	71,1	-	-	-	-
S6-PZ(ARS)5	5,00	7,00	-4,38	-6,38	-	-	-	-	-	-	0,34	-	-
S1	5,00	7,00	-4,71	-6,71	-	-	-	-	84,7	-	-	-	-
Kd rappresentativo nel saturo (valore minimo):					17,8	13,7	:-	83,4	71,1	80,0	0,341	:-	:-

6.8 RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO

Nelle Tabelle riportate in **Allegato 10** sono sintetizzati tutti i risultati delle valutazioni di rischio condotte. In particolare, per ogni sorgente (insatura e saturata) vengono riepilogati:

4. i dati relativi alle caratteristiche delle sorgenti e cioè:
 - ✓ i contaminanti (COC) che hanno mostrato superamenti dei limiti di riferimenti (Tabella 1.1),
 - ✓ la concentrazione rappresentativa della sorgente (C_{RS}) e le sue modalità di valutazione,
 - ✓ le profondità del tetto e della base della sorgente e la soggiacenza delle acque sotterranee,
5. i risultati dell'AdR sanitaria svolta in modalità diretta e cioè i rischi sanitari tossici (HI) e cancerogeni (R) associati alla concentrazione rappresentativa della sorgente C_{RS} ;
6. la valutazione del rischio ambientale di lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti verso le acque di mare considerando:
 - ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente;
 - ✓ la concentrazione stimata a partire dai valori dei contaminanti negli eluati dei test di cessione;
 - ✓ l'attuale concentrazione dei contaminanti nelle acque di mare.

Le schermate delle elaborazioni effettuate con Risk-net sono riportate in **Allegato 11**¹⁴; di seguito si commentano i risultati emersi dalle valutazioni eseguite.

6.8.1 Valutazione del rischio sanitario

Nella seguente Tabella 6.16 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata in **Allegato 10**) sono riportati i rischi sanitari associati alla inalazione dei vapori outdoor a partire dalle concentrazioni rappresentative della sorgente di contaminazione presenti nell'orizzonte insaturo dell'Arenile Sud.

Tabella 6.16: Rischi sanitari associati alle concentrazioni rappresentative della sorgente insatura nell'Arenile Sud

COCs	Caratteristiche sorgente C_{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Rischi sanitari associati alle C_{RS} (valutazione in modalità diretta)						Note
	mg/kg	note	Frequenza di esposizione = 30 gg/anno		Frequenza di esposizione = 90 gg/anno		Frequenza di esposizione = 180 gg/anno		
			R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	
Arsenico	113	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Cromo totale	522	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Mercurio	1,38	(b)	-	1,83E-02	-	5,48E-02	-	1,10E-01	volatile
Piombo	594	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Rame	606	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Stagno	21	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Tallio	1,71	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Vanadio	105	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Zinco	1000	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Fluoruri	189	(a)	-	-	-	-	-	-	volatile ma H non disponibile
Benzo(a)antracene	19,7	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile
Benzo(a)pirene	17,8	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

COCs	Caratteristiche sorgente C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Rischi sanitari associati alle C _{RS} (valutazione in modalità diretta)							
	mg/kg	note	Frequenza di esposizione = 30 gg/anno		Frequenza di esposizione = 90 gg/anno		Frequenza di esposizione = 180 gg/anno		Note	
			R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]		
Benzo(b)fluorantene	26,6	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Benzo(j)fluorantene	26,6	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Benzo(g,h,i)perilene	8,34	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Benzo(k)fluorantene	6,09	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Crisene	16,1	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Dibenzo(a,e)pirene	3,14	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Dibenzo(a,h)antracene	3,07	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Dibenzo(a,h)pirene	5,12	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Dibenzo(a,i)pirene	1,78	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Dibenzo(a,l)pirene	1,83	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Indeno(1,2,3-cd)pirene	20,2	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Pirene	29,8	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Fenantrene	6,94	(a)	-	1,80E-03	-	5,40E-03	-	1,08E-02	volatile	
Fluorantene	44,2	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Idrocarburi C≤12	62	(a)	-	-	-	-	-	-	volatile	
Aromatici C9-C10	62	(c)	-	6,30E-03	-	1,89E-02	-	3,78E-02	volatile	
Idrocarburi C>12	1661	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Alifatici C13 - C18	86	(c)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Alifatici C19 - C36	852	(c)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Aromatici C13 - C22	723	(c)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Sommatoria PCB	23,8	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
PCB DL	1,9434	(d)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
PCB TOT	23,8	(a)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
Sommatoria PCDD, PCDF	0,0000629	(e)	-	-	-	-	-	-	non volatile	
			TOTALE	-	2,64E-02	-	7,91E-02	-	1,59E-01	

Note:
 (a) C_{RS} = concentrazione massima
 (b) C_{RS} = concentrazione massima assegnata al Mercurio elementare
 (c) Alifatici C9-C12 = 100% Idrocarburi C≤12; Alifatici C12-C18 = 5,2% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 51,3% Idrocarburi C>12; Aromatici C12-C22 = 43,5% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S6-PZ(ARS)5_0-1 m da p.c.)
 (d) C_{RS} = sommatoria dei congeneri DL
 (e) C_{RS} attribuita interamente al congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD

Dall'esame dei risultati riportati in tabella, **sono rispettati i valori di accettabilità per il rischio tossico (HI = 1) e/o cancerogeno (R = 10⁻⁶/10⁻⁵) per il possibile fruitore dell'Arenile Sud considerando una frequenza di esposizione compresa tra 30 e 180 giorni all'anno (1-6 mesi).**

6.8.2 Valutazione del percorso ambientale

6.8.2.1 Sorgente insatura

Nella seguente Tabella 6.17 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata in **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte insaturo dell'Arenile Sud.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Si precisa che in tabella è riportata anche la concentrazione pari alla sommatoria delle concentrazioni calcolate dal software per le singole frazioni MADEP rappresentative degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12} (si veda parametro Idrocarburi totali);

- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni insaturi dell'Arenile Sud;
- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio antistanti l'Arenile Sud (stazioni 4.1, 4.2, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, CDS1 e CDS2, si veda cap. 8).

Tabella 6.17: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nell'Arenile Sud

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	113	(a)	2,34E+03	1,44E+02	2,53E+01	1,76E+01	2,59E+00
Cromo Totale	522	(a)	9,07E+02	1,20E+01	4,85E+00	5,38E+00	1,75E+00
Mercurio	1,38	(b)	4,35E+00	2,49E-01	7,87E-02	2,10E-01	1,74E-01
Piombo	594	(a)	1,05E+04	2,99E+02	7,55E+01	6,05E+01	5,00E+00
Rame	606	(a)	9,68E+03	1,48E+02	2,57E+01	8,97E+01	7,92E+00
Stagno	21	(a)	5,85E+01	nd	nd	nd	nd
Tallio	1,71	(a)	2,38E+00	2,00E-02	8,69E-03	nd	nd
Vanadio	105	(a)	1,80E+03	8,49E+01	1,28E+01	2,64E+01	2,23E+00
Zinco	1000	(a)	1,29E+06	5,96E+02	1,63E+02	1,32E+02	3,13E+01
Fluoruri	189	(a)	8,78E+02	5,74E+03	9,70E+02	1,56E+03	1,16E+03
Benzo(a)antracene	19,7	(a)	7,75E+01	1,02E+00	2,09E-01	7,84E-01	1,74E-01
Benzo(a)pirene	17,8	(a)	2,11E+01	1,49E+00	1,93E-01	8,49E-01	1,05E-01
Benzo(b)fluorantene	26,6	(a)	3,09E+01	2,90E+00	2,50E-01	8,58E-01	4,13E-01
Benzo(j)fluorantene	26,6	(a)	3,09E+01	2,90E+00	2,50E-01	8,58E-01	4,13E-01
Benzo(g,h,i)perilene	8,34	(a)	3,68E+00	1,06E+00	1,06E-01	5,04E-01	6,83E-02
Benzo(k)fluorantene	6,09	(a)	7,23E+00	6,61E-01	9,06E-02	2,31E-01	3,69E-02
Crisene	16,1	(a)	6,20E+01	1,03E+00	1,76E-01	5,66E-01	1,78E-01
Dibenzo(a,e)pirene	3,14	(a)	3,38E-01	nd	nd	1,37E-01	6,22E-02
Dibenzo(a,h)antracene	3,07	(a)	1,12E+00	2,65E-01	5,15E-02	4,15E-02	1,69E-02
Dibenzo(a,h)pirene	5,12	(a)	1,48E-01	nd	nd	1,56E-01	6,97E-02
Dibenzo(a,i)pirene	1,78	(a)	5,15E-02	nd	nd	5,29E-02	3,80E-02
Dibenzo(a,l)pirene	1,83	(a)	6,68E-01	nd	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pirene	20,2	(a)	7,22E+00	nd	nd	9,67E-01	1,23E-01
Pirene	29,8	(a)	3,82E+02	1,73E+00	1,35E-01	8,87E-01	1,80E-01
Fenantrene	6,94	(a)	3,42E+02	1,64E-01	2,66E-02	2,79E-01	1,11E-01
Fluorantene	44,2	(a)	5,55E+02	2,28E+00	1,37E-01	1,24E+00	1,39E-01
Somma Idrocarburi			1,00E+05	<40	<40	2,46E+02	1,42E+02
Idrocarburi C _{≤12}	62	(a)					
Alifatici C9-C12	62	(c)	6,23E+01				
Idrocarburi C _{>12}	1661	(a)					
Alifatici C13 - C18	86	(c)	8,65E+01				
Alifatici C19 - C36	852	(c)	1,49E+00				
Aromatici C13 - C22	723	(c)	9,98E+04				
Sommatoria PCB	23,8	(a)					
PCB DL	1,9434	(d)	9,65E+00	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB TOT	23,8	(a)	2,12E+02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sommatoria PCDD, PCDF	0,0000629	(e)	1,76E+02	<0,004	<0,004	0,54	0,33

Note:

nd: parametro non determinato nei test di cessione

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
(a) C _{RS} = concentrazione massima (b) C _{RS} = concentrazione massima assegnata al Cloruro di mercurio (c) Alifatici C9-C12 = 100% Idrocarburi C≤12; Alifatici C12-C18 = 5,2% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 51,3% Idrocarburi C>12; Aromatici C12-C22 = 43,5% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S6-PZ(ARS)5_0-1 m da p.c.) (d) C _{RS} = sommatoria dei congeneri DL (e) C _{RS} attribuita interamente al congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD							

Dalla tabella è possibile osservare che:

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano significativamente superiori rispetto ai valori misurati negli eluati dei test di cessione, confermando come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software (ipotesi di emissione costante e continua di contaminante, ovvero sorgente che non si esaurisce nel tempo, mezzo in cui si sviluppa la lisciviazione isotropo e omogeneo, stima della concentrazione nelle acque nello stato stazionario, ovvero ad un tempo infinito) porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua.

Analogamente a quanto osservato per l'Arenile Nord, la sovrastima varia tra 1 e 3 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni massime misurate negli eluati e tra 1 e 4 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni medie misurate negli eluati. Eccezione al trend generale è rappresentata dai Fluoruri, per i quali la concentrazione massima misurata negli eluati è superiore a quella stimata dal software, quella media risulta invece paragonabile.

In generale, quindi, risulta più opportuno utilizzare i dati misurati negli eluati del test di cessione per la verifica del percorso ambientale di lisciviazione e trasporto in mare rispetto alla modellistica del software;

- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per alcuni contaminanti (Arsenico, Cromo totale, Piombo, Rame, Vanadio, Zinco, Benzo(a)pirene, Benzo (g,h,i)perilene, Benzo(k)fluorantene e Dibenzo(a,h)antracene) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, per altri contaminanti (Fenantrene e Idrocarburi totali) le prime risultano inferiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, mentre per altri ancora il comportamento dei valori massimi è differente da quello dei valori medi.

Da quanto sopra esposto non è possibile stabilire la presenza di un chiaro percorso di contaminazione dagli arenili alle acque di mare o viceversa.

Tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione degli arenili e acque di mare, permettono di escludere ragionevolmente la presenza di un percorso univoco di cross-contamination dall'Arenile Sud al mare e di supportare quindi la correttezza della scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi. Si ritiene infatti che tale progettazione integrata possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilizzazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

6.8.2.2 Sorgente saturata

Nella seguente Tabella 6.18 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte saturo dell'Arenile Sud.
Si precisa che in tabella è riportata anche la concentrazione pari alla sommatoria delle concentrazioni calcolate dal software per le singole frazioni MADEP rappresentative degli Idrocarburi leggeri C≤12 e pesanti C>12 (si veda parametro Idrocarburi totali);
- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni saturi dell'Arenile Sud;

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio antistanti l'Arenile Sud stazioni 4.1, 4.2, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, CDS1 e CDS2, si veda cap. 8).

Tabella 6.18: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente saturo nell'Arenile Sud

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	110	(a)	4,25E+03	1,12E+02	2,48E+01	1,76E+01	4,58E+00
Cromo totale	246	(a)	2,23E-01	1,70E+01	3,37E+00	5,38E+00	1,31E+00
Piombo	496	(a)	4,13E+03	3,29E+02	5,43E+01	6,05E+01	2,78E+00
Rame	796	(a)	7,78E+03	3,17E+02	3,64E+01	8,97E+01	3,19E+00
Stagno	15,1	(a)	4,21E+01	nd	nd	nd	nd
Tallio	2	(a)	1,74E+01	5,82E-02	2,65E-02	<1	<1
Zinco	1085	(a)	1,36E+06	5,42E+02	9,76E+01	1,32E+02	2,97E+01
Fluoruri	224	(a)	1,04E+03	5,39E+03	1,91E+03	1,56E+03	1,18E+03
Benzo(a)antracene	59,7	(a)	2,35E+02	3,75E+00	6,69E-01	7,84E-01	1,68E-01
Benzo(a)pirene	54,4	(a)	6,46E+01	3,92E+00	7,22E-01	8,49E-01	1,67E-01
Benzo(b)fluorantene	78,9	(a)	9,18E+01	5,99E+00	1,13E+00	8,58E-01	4,13E-01
Benzo(j)fluorantene	78,9	(a)	9,18E+01	5,99E+00	1,13E+00	8,58E-01	4,13E-01
Benzo(g,h,i)perilene	24	(a)	1,06E+01	2,19E+00	4,10E-01	5,04E-01	6,83E-02
Benzo(k)fluorantene	19,1	(a)	2,27E+01	1,08E+00	2,68E-01	2,31E-01	3,69E-02
Crisene	56,5	(a)	2,17E+02	2,08E+00	5,68E-01	5,66E-01	1,78E-01
Dibenzo(a,e)pirene	9	(a)	9,68E-01	nd	nd	1,37E-01	6,22E-02
Dibenzo(a,h)antracene	8,75	(a)	3,19E+00	3,96E-01	1,10E-01	4,15E-02	1,69E-02
Dibenzo(a,h)pirene	14,4	(a)	4,16E-01	nd	nd	1,56E-01	6,97E-02
Dibenzo(a,i)pirene	5,62	(a)	1,62E-01	nd	nd	5,29E-02	3,80E-02
Dibenzo(a,l)pirene	2,72	(a)	9,92E-01	nd	nd	n.d.	n.d.
Indeno(1,2,3-cd)pirene	57	(a)	2,04E+01	nd	nd	9,67E-01	1,23E-01
Pirene	102	(a)	1,30E+03	5,20E+00	7,22E-01	8,87E-01	1,80E-01
Fenantrene	16,8	(a)	8,18E+02	7,60E-01	1,31E-01	2,79E-01	1,11E-01
Antracene	12,9	(a)	5,41E+02	9,26E-01	1,90E-01	1,59E-01	8,15E-02
Fluorantene	155	(a)	1,94E+03	7,44E+00	1,11E+00	1,24E+00	1,39E-01
Benzene	0,101	(a)	1,91E+02	1,02E-01	6,59E-02	<0,1	<0,1
Idrocarburi totali			2,47E+04	<40	<40	2,46E+02	1,42E+02
Idrocarburi C≤12	15,9	(a)					
Aromatici C9-C10	15,9	(b)	5,52E+03				
Idrocarburi C>12	907	(a)					
Alifatici C13 - C18	108	(c)	1,10E+02				
Alifatici C19 - C36	656	(c)	1,15E+00				
Aromatici C13 - C22	143	(c)	1,91E+04				

Note:
 nd: parametro non determinato nei test di cessione
 (a) C_{RS} = concentrazione massima
 (b) considerata la frazione MADEP Aromatica C9-C10 maggiormente cautelativa nel percorso di lisciviazione
 (c) Alifatici C9-C18 = 11,9% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 72,4% Idrocarburi C>12; Aromatici C12-C22 = 15,7% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione S6/10-PZ(ARS)4_1-1.7 m da p.c.)

Dalla tabella è possibile osservare che:

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano significativamente superiori rispetto ai valori misurati negli eluati dei test di cessione, confermando, analogamente alla valutazione eseguita per l'orizzonte insaturo, come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua.

La sovrastima varia tra 1 e 4 di grandezza rispetto alle concentrazioni massime misurate negli eluati e tra 1 e 4 ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni medie misurate negli eluati. Eccezioni al trend generale sono rappresentate dal Cromo totale e dai Fluoruri: per il primo sia la concentrazione massima che media misurata negli eluati è superiore a quella stimata dal software, mentre per il secondo parametro la concentrazione massima misurata negli eluati è superiore a quella stimata dal software e la concentrazione media paragonabile.

Anche per l'orizzonte saturo, quindi, risulta più opportuno utilizzare i dati misurati negli eluati del test di cessione per la verifica del percorso ambientale di lisciviazione e trasporto in mare rispetto alla modellistica del software;

- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per alcuni contaminanti (Arsenico, Piombo, Rame, Zinco, Fluoruri, Benzo(b)fluorantene e Benzo(j)fluorantene) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, per altri contaminanti (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(g,h,i)perilene, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene, Pirene, Fenantrene, Antracene e Fluorantene) le prime risultano inferiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi. Pertanto, analogamente a quanto osservato per l'orizzonte insaturo, non è possibile stabilire la presenza di un chiaro percorso di contaminazione dagli arenili alle acque di mare o viceversa.

Tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione

Analogamente a quanto indicato per l'orizzonte insaturo, tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione degli arenili e acque di mare, permettono di escludere ragionevolmente la presenza di un percorso univoco di cross-contamination dall'Arenile Sud al mare e di supportare quindi la correttezza della scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi che si ritiene possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilitazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

7 ANALISI DI RISCHIO SEDIMENTI SOTTOSTANTI LA COLMATA

Nel presente capitolo si illustra l'AdR condotta per la matrice sedimenti sottostanti la colmata, a partire dalla descrizione del modello concettuale del sito, sviluppato parametrizzando le tre componenti utili alla valutazione del rischio - sorgenti e contaminanti indice, vie e modalità di esposizione/migrazione e recettori - tramite l'identificazione dei valori rappresentativi dei parametri di input delle elaborazioni condotte, sino alla presentazione dei risultati dei calcoli eseguiti tramite il software Risk-net e fogli di calcolo excel.

7.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO

L'area di interesse per la zona di Colmata è costituita dai sedimenti naturali che risultano presenti al di sotto dei riporti. L'area di colmata di Bagnoli è stata realizzata nel periodo 1963 - 1965 con il riempimento a mare del tratto compreso tra i due pontili, Nord e Sud, e il tombamento della relativa fascia costiera. Per la sua realizzazione è stato effettuato il riempimento di una superficie di circa 160.000 m² del fondale marino e di circa 40.000 m² della spiaggia originaria (area di proprietà ex Bagnolifutura).



Figura 7.1: Panoramica area di colmata

L'area di interesse per la presente AdR è quella rappresentata dal sedimento naturale sottostante la colmata, a valle della rimozione dei riporti contenuti nella colmata stessa e a valle degli scavi e ripascimenti previsti per la creazione della LdR progettuale.

La Figura 7.2 seguente mostra la superficie della colmata che sarà occupata dalla nuova spiaggia a valle dell'intervento di rimozione dei riporti e di creazione della LdR progettuale, mentre la successiva Figura 7-3 riporta la superficie di interfaccia tra materiali di riporto presenti nella colmata e sedimenti naturali sottostanti.

Tale superficie è stata determinata interpolando con il metodo geostatistico *Kriging* utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC) la quota di rinvenimento dei sedimenti naturali descritta nelle stratigrafie dei sondaggi realizzati nel 2018-2021 (un totale n. 124 verticali d'indagine); si rimanda all'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-02-01** per i dettagli relativi alle elaborazioni condotte.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023



In giallo il confine della colmata ex PFTE, in arancione le opere previste nel progetto di creazione della LdR progettuale
Figura 7.2: Area di interesse per i sedimenti sottostanti la colmata

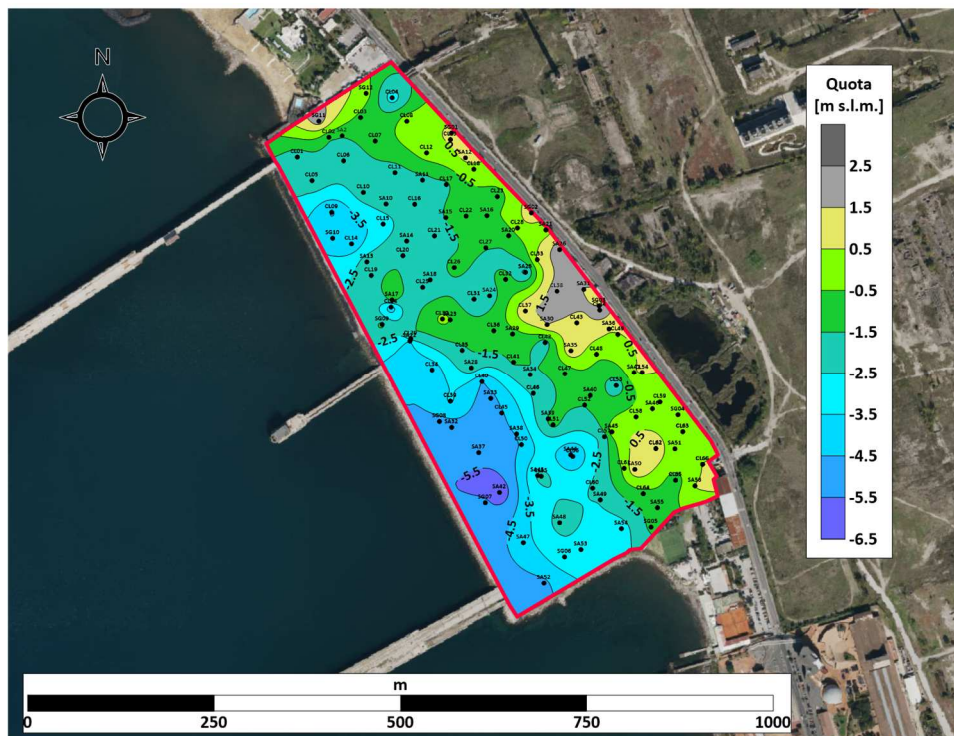


Figura 7-3: Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

7.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

L'ex area industriale di Bagnoli ha risentito dell'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare, che hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale. Pertanto, la depressione risulta colmata con prodotti di diversi ambienti deposizionali e diverse dinamiche sedimentologiche (oscillazioni del livello medio mare, alluvioni, lagune, paludi, eruzioni vulcaniche, etc.) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio.

Le stratigrafie dei sondaggi che si spingono oltre la coltre dei terreni di riporto evidenziano le circostanze sopra descritte, infatti, si rinvencono a diverse profondità sedimenti di origine marina, paleosuoli e sedimenti fini depositi in ambienti a bassa energia di carattere lagunare o palustre (torbe, limi).

L'area di colmata di Bagnoli venne realizzata nel periodo 1963 – 1965, con la funzione di ampliare le aree di stoccaggio per il carbone fossile, i rottami di ferro e semi lavorati delle acciaierie, con il riempimento a mare del tratto compreso tra i due pontili, Nord e Sud, e il tombamento della relativa fascia costiera.

Dal punto di vista stratigrafico la colmata è costituita da riporti di natura antropica prevalentemente rappresentati da sabbie, limi e subordinatamente da ghiaie e clasti e/o frammenti provenienti dalle attività industriali condotte nell'area ex-Ilva. I sondaggi realizzati in hanno mostrato che lo spessore della coltre dei riporti, insistente su un'area in pianta di 204.508 m², oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 11 m, con una media pari a circa 5 m. Tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

Considerando i dati freaticometrici misurati nei piezometri PFRF-12/2, PFRF-15/2, PFRF-6/2, PFRS3, PFR10, PFR3, Pz26, Pz27 e Pz28 presenti in corrispondenza della colmata nella campagna di monitoraggio eseguita nel mese di marzo 2019 in condizioni statiche, ovvero con la barriera idraulica inattiva, con il metodo geostatistico *Kriging* utilizzato dal software Surfer è stata effettuata la ricostruzione riportata nelle figure seguenti, rispettivamente con visualizzazione in pianta e tridimensionale. Si rimanda all'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-02-01** per i dettagli relativi alle elaborazioni condotte.

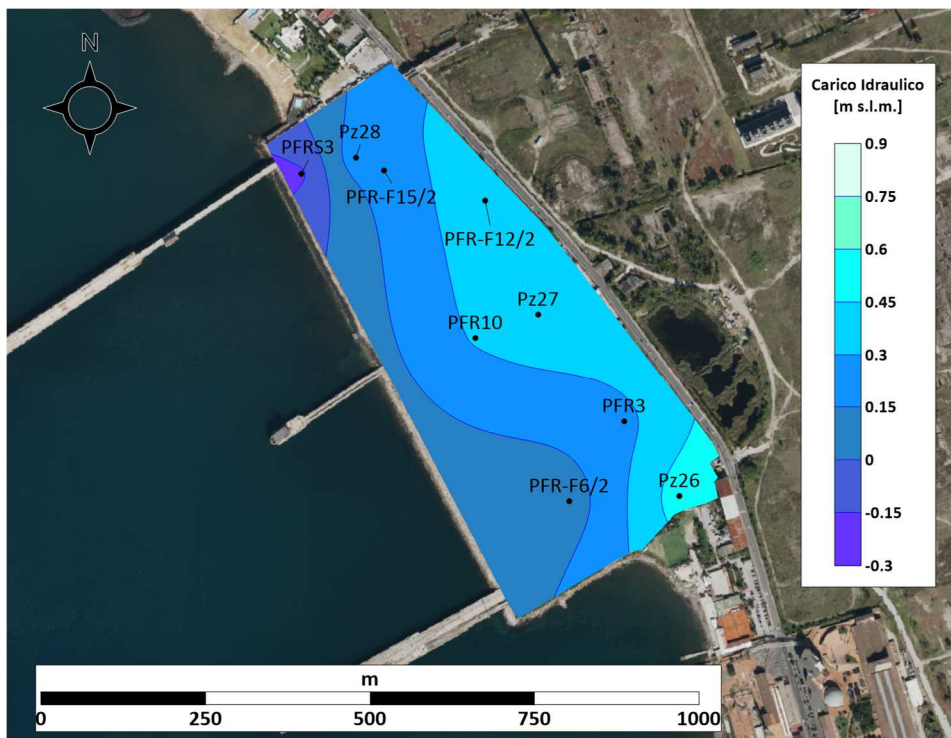


Figura 7-4: Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.) (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

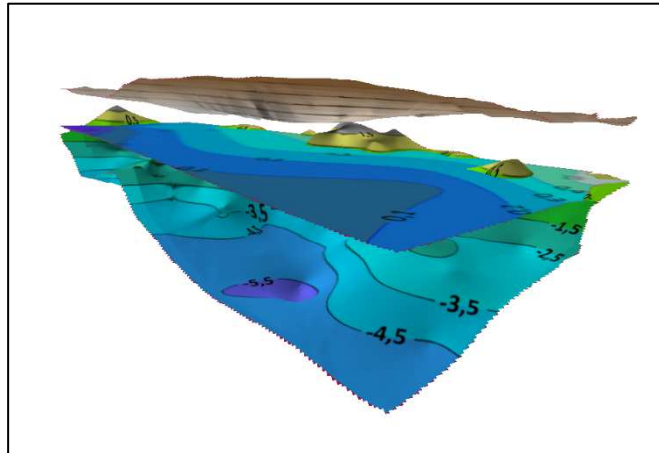


Figura 7-5: Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (topografia, interfaccia colmata-sedimenti e superficie piezometrica del marzo 2019)

Per l'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto in falda verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti è necessario parametrizzare alcune caratteristiche specifiche dell'acquifero.

Nel caso del sito in esame, è stata considerata l'unità idrogeologica più superficiale descritta la paragrafo 4.1.2, ovvero l'unità idrogeologica 1 caratterizzata da conducibilità idraulica orizzontale pari a $2.87E-5$ m/s, spessore pari a 15 m e gradiente idraulico medio pari a 0,0013.

7.3 QUADRO AMBIENTALE

Per l'implementazione dell'AdR sono stati considerati gli esiti delle indagini eseguite nel 2017, 2018 e 2021 che hanno permesso di caratterizzare i sedimenti sottostanti i riporti della colmata.

Nello specifico, sono state considerate le seguenti indagini:

- ✓ Piano di caratterizzazione eseguito da Invitalia nel 2017, con la realizzazione di un totale di n. 23 sondaggi geognostici ambientali "S", dai quali sono stati prelevati n. 36 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio; di questi, n.2 campioni prelevati da n.2 sondaggi sono di interesse in quanto riguardano i sedimenti sottostanti la colmata;
- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2018 tramite Appalto Specifico n.2, con la realizzazione di un totale di n. 66 sondaggi geognostici ambientali "CL", dai quali sono stati prelevati n. 198 campioni totali da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio; di questi, n.14 campioni prelevati da n.13 sondaggi sono di interesse in quanto riguardano i sedimenti sottostanti la colmata;
- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 tramite Appalto Specifico n.18, con la realizzazione di n. 56 sondaggi geognostici ambientali "SA" dai quali sono stati prelevati n. 168 campioni di sedimenti sottostanti la colmata da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio e n. 12 sondaggi geotecnici "SG", dai quali sono stati prelevati n.30 campioni di sedimenti sottostanti la colmata da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei punti di indagine di interesse.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023



Figura 7.6: Punti di indagine di interesse in area di colmata

Dalle indagini eseguite è emerso come i principali contaminanti presenti nei sedimenti sottostanti a colmata siano quelli appartenenti alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, Idrocarburi pesanti C>12 e gli Inorganici, con più sporadiche e localizzate presenze di Idrocarburi leggeri C≤12, Aromatici, PCB e PCDD/F.

La tabella in **Allegato 8** riporta tutte le analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale. Per ciascun campione sono state ricalcolate le quote di prelievo:

- ✓ in m dalla quota post-rimozione della colmata (quota interfaccia colmata / sedimenti naturali sottostanti);
- ✓ in m slm considerando la quota assoluta del piano campagna ricavata dal rilievo topografico LIDAR effettuato nel 2022 per l'intera ARIN.

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini del 2021 - 2023 riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti nel sedimento insaturo e saturo, considerando:

- ✓ campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (> 0 m slm), considerando cautelativamente in questa categoria anche i campioni che si trovano a quota intermedia rispetto al piano di interfaccia insaturo/saturo, ovvero con bottom di prelievo a quote inferiori a 0 m slm;
- ✓ campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm), ovvero che si trovano interamente all'interno dello strato saturo.

Le concentrazioni massime e medie dei campioni insaturi e saturi sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.1).

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 7.1: Concentrazioni massime e medie rilevate nei sedimenti sottostanti la colmata nel 2017-2021

Sedimenti sottostanti la colmata								
Parametro	u.d.m.	Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
					Max	media	max	media
Alluminio	mg/Kg	-	-	-	61500	34995,2	86900	34200,8
Antimonio	mg/Kg	30	10	-	n.d.	n.d.	9	5,4
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	200	120,3	291	83,5
Berillio	mg/Kg	10	2	9	4,1	3,0	4,6	3,2
Cadmio	mg/Kg	15	2	-	5,1	1,2	12,8	1,8
Cromo totale	mg/Kg	800	150	-	94,5	10,7	84,3	14,5
Cromo esavalente	mg/Kg	15	2	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cobalto	mg/Kg	250	20	120	5,2	3,8	29	14,4
Ferro	mg/Kg	-	-	-	78200	36360,0	341000	42340,4
Mercurio	mg/Kg	5	1	-	0,711	0,43	1,47	0,30
Nichel	mg/Kg	500	120	-	31,7	7,0	95,3	12,5
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	1260	266,6	1580	283,1
Rame	mg/Kg	600	120	-	149	37,1	239	41,6
Selenio	mg/Kg	15	3	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stagno	mg/Kg	350	1	14	4,5	3,4	40	21,6
Composti organostannici	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tallio	mg/Kg	10	1	-	n.d.	n.d.	2,5	1,4
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	221	58,7	552	74,0
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	2470	620,2	3710	723,8
Fluoruri	mg/Kg	2000	100	-	11,3	11,3	29	14,7
Cianuri	mg/Kg	100	1	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi totali	mg/Kg	-	-	-	166	68,0	9170	479,8
Idrocarburi C≤12	mg/Kg	250	10	-	9,6	3,1	109	9,1
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50	-	163	66,6	9165	477,7
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5	-	1,52	0,30	112	7,6
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	1,5	0,29	89,1	6,1
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	2,29	0,42	108	7,4
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	2,29	0,44	108	7,5
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	0,739	0,15	36,9	2,5
Benzo(e)pirene	mg/Kg	-	-	-	1,15	0,26	57,9	4,1
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1	-	1,06	0,25	55,1	3,8
Crisene	mg/Kg	50	5	-	1,51	0,32	101	6,8
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	n.d.	n.d.	0,021	0,021
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	n.d.	n.d.	0,074	0,07
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	n.d.	n.d.	0,062	0,06
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	n.d.	n.d.	0,047	0,047
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1	-	0,264	0,07	13,4	0,92
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	mg/Kg	5	0,1	-	1,35	0,28	60,9	4,4
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10	-	1,1	1,1	1,3	1,3
Acenafte	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,0338	0,011	116	4,3
Acenafilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,17	0,041	56	2,2

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Sedimenti sottostanti la colmata						
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
					Max	media	max	media
Antracene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,322	0,06	128	5,3
Fenantrene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,901	0,14	307	18,6
Fluorantene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	2,2	0,43	298	18,7
Fluorene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,0785	0,016	101	4,5
Naftalene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	1,42	0,12	291	14,3
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06	-	0,4212	0,42	0,6952	0,14
Benzene	mg/Kg	2	0,1	-	0,0122	0,011	0,298	0,030
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5	-	n.d.	n.d.	0,289	0,06
Stirene	mg/Kg	50	0,5	-	n.d.	n.d.	1,22	0,20
Toluene	mg/Kg	50	0,5	-	n.d.	n.d.	0,727	0,10
Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	n.d.	n.d.	4,49	0,39
Esaclorobenzene	mg/Kg	5	0,05	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sommatoria PCDD, PCDF	mg/Kg	100	10	-	n.d.	n.d.	11,4	6,8
Amianto	mg/Kg	1000	1000	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevanza)

Per la verifica del rischio ambientale legato alla lisciviazione dei contaminanti dai sedimenti alle acque sotterranee e al mare sono stati considerate le concentrazioni degli eluati dei test di cessione eseguiti nelle campagne di indagine 2018 e 2021.

Tutti i risultati delle analisi disponibili per i sondaggi/campioni prelevati all'interno dell'area oggetto della definizione della LdR progettuale sono riportati in **Allegato 8**, mentre la tabella seguente sintetizza gli esiti dei test di cessione riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei campioni insaturi e nei campioni saturi (così come sopra definiti), confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006 con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 1.2).

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC/Limiti ISS o, se superiori, dei Valori di fondo.

Tabella 7.2: Concentrazioni massime e medie rilevate negli eluati dei test di cessione effettuati sui sedimenti sottostanti la colmata

Parametro	u.d.m.	Sedimenti sottostanti la colmata					
		CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Antimonio	µg/L	5	-	12,9	3,7	45,4	8,4
Arsenico	µg/L	10	380	1000	109,7	428	99,0
Bario	µg/L	-	-	526	112,2	263	34,0
Berillio	µg/L	4	9	3,28	1,0	7,4	1,1
Cadmio	µg/L	5	-	1,87	1,0	6	1,2
Cobalto	µg/L	50	-	4,54	1,1	6,75	1,1
Cromo totale	µg/L	50	-	5,5	2,4	141	4,4
Mercurio	µg/L	1	-	1,16	0,36	2,19	0,53
Molibdeno	µg/L	-	-	26,1	5,2	286	12,2
Nichel	µg/L	20	-	11,8	4,0	320	8,3

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Sedimenti sottostanti la colmata							
Parametro	u.d.m.	CSC Tab 2, D.Lgs. 152/2006 o <i>Limiti ISS</i>	Valori di Fondo ARIN Bagnoli	Concentrazioni negli eluati dei campioni insaturi		Concentrazioni negli eluati dei campioni saturi	
				max	media	max	media
Piombo	µg/L	10	19	655	117,8	885	134,0
Rame	µg/L	1000	-	119	28,1	268	22,4
Selenio	µg/L	10	-	4,95	1,6	42,8	4,2
Vanadio	µg/L	50	-	327	44,5	634	64,7
Zinco	µg/L	3000	-	1657	478,8	1643	325,1
Carbonio organico disciolto (DOC)	mg/L	-	-	20,7	11,2	27,9	10,6
Cloruri	mg/L	-	-	12,1	3,3	438	18,4
Fluoruri	mg/L	1,5	4	3,12	1,3	13,4	2,4
Cianuri	µg/L	50	50	9	5,0	50	3,7
Indice di fenolo	mg/L	0,0005	-	0,84	0,39	0,77	0,25
Nitrati	mg/L	-	-	1,94	0,35	0,88	0,29
pH	unità pH	-	-	11,1	9,4	12,8	9,8
Solfati	mg/L	250	-	78,9	13,3	1640	58,7
Solidi totali disciolti	mg/L	-	-	368	96,7	5630	299,8
Amianto	mg/L	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = concentrazione non determinata (parametro sempre inferiore al limite di rilevabilità)

7.4 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI

Come illustrato per l'Arenile Nord e Sud, le sorgenti di contaminazione su cui effettuare l'AdR sono identificate nei comparti ambientali in cui sono stati rinvenuti superamenti dei limiti di riferimento, ovvero nello specifico i sedimenti insaturi e saturi sottostanti la colmata.

Nel caso in esame i superamenti dei limiti di riferimento nella configurazione post-intervento considerato nella presente AdR, ovvero a valle degli interventi di rimozione della colmata e di realizzazione della nuova linea di riva e della nuova spiaggia così come previsto dal PRARU, sono presenti esclusivamente nell'orizzonte profondo insaturo e saturo. Sulla superficie di interfaccia colmata/sedimenti sottostanti, infatti, sarà riportato sedimento conforme con uno spessore variabile localmente sulla base delle pendenze di raccordo della LdR ma con un franco minimo pari ad 1 m rispetto alla quota esistente pre-intervento.

Considerando la natura dinamica del sedimento sottostante la colmata, nelle elaborazioni di AdR è stata considerata cautelativamente una sorgente insatura e una sorgente saturo, entrambe di estensione pari all'intero confine della colmata.

Inoltre:

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi sanitari di inalazione vapori outdoor, le caratteristiche geometriche della sorgente sono state ricavate considerando la direzione del vento da ENE (come identificata nella stazione mareografica di Napoli, cfr. par. 4).

Come meglio specificato di seguito, nell'orizzonte insaturo nessuna sostanza volatile ha mostrato eccedenze dei limiti di riferimento; pertanto, il percorso di inalazione vapori outdoor è stato elaborato esclusivamente per la concentrazione hot-spot di Idrocarburi pesanti C>12 riscontrata nel campione saturo SA43 (0-1 m dalla quota port-rimozione colmata), così come richiesto dal Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, in caso di eccedenza del valore di "saturazione residua" riportato dall'Appendice V del Manuale ISPRA per litologie di tipo sabbioso (7700 mg/Kg).

In maniera estremamente cautelativa la concentrazione hot-spot è stata associata ad un'area di dimensione pari a 108 m lungo la direzione del vento, considerando che si estenda sino ai sondaggi SA44 e SA42 rispettivamente a ENE e OSO del sondaggio SA43.

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata pari a 1 m, considerando lo spessore del campione hot-spot.

Poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e pertanto la sorgente è stata cautelativamente posta ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale. In maniera cautelativa è stata trascurata l'attività di escavo necessario per la creazione della LdR stabile che comprenderà lo spessore del campione hot-spot.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi sanitari di inalazione outdoor.

Tabella 7.3: Caratteristiche geometriche della sorgente considerata nei percorsi sanitari di inalazione vapori per l'hot-spot di Idrocarburi C>12 riscontrato nei sedimenti sottostanti la colmata

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	m	108	Assunzione conservativa - Massima dimensione dei sedimenti sottostanti la colmata (nella configurazione di LdR progettuale) lungo la direzione principale del vento (da ENE)
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds	m	1	Spessore campione hot-spot

- ✓ Per le elaborazioni dei percorsi di lisciviazione e trasporto dei contaminanti verso mare, attivi sia per l'orizzonte insaturo, sia per quello saturo, è stato considerato un movimento "obbligato" dai sedimenti verso mare, indipendentemente dalla attuale direzione di falda e dalle perturbazioni date dalla presenza della MISE delle acque sotterranee (cfr. par. 4.1.2); cautelativamente, quindi, nelle elaborazioni le dimensioni delle sorgenti sono state poste pari alla massima estensione delle sorgenti stesse perpendicolare alla LdR progettuale.

L'estensione verticale della sorgente è stata valutata:

- ✓ pari a 3,2 m per l'orizzonte insaturo, considerando la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. post rimozione della colmata)
 - il massimo bottom dei campioni insaturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (3,2 m da p.c. post rimozione della colmata).
- ✓ pari a 4 m per l'orizzonte saturo, considerando la massima distanza tra:
 - il minimo top dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più superficialmente (0 m da p.c. post rimozione della colmata)
 - il massimo bottom dei campioni saturi eccedenti i limiti di riferimento posizionati più in profondità (4 m da p.c. post rimozione della colmata).

Anche in questo caso, poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota del piano campagna post rimozione della colmata e pertanto le sorgenti sono state cautelativamente poste ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna post rimozione della colmata.

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche geometriche della sorgente considerata per i percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare dei contaminanti presenti nei sedimenti profondi insaturi e saturi sottostanti la colmata.

Tabella 7.4: Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerate nei percorsi ambientali di lisciviazione e trasporto verso mare per i sedimenti sottostanti la colmata

Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	m	341	Massima dimensione dei sedimenti sottostanti la colmata perpendicolare alla LdR progettuale
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo rispetto al p.c.	Ls,SP _{ins}	m	1	Minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo insaturo	ds _{ind}	m	3,2	Differenza tra minimo top dei campioni con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni insaturi con eccedenza dei limiti di riferimento
Profondità del top della sorgente nell'orizzonte profondo saturo rispetto al p.c.	Ls,SP	m	1	Minimo top dei campioni saturi + minimo spessore di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale
Spessore della sorgente nell'orizzonte profondo saturo	ds _{sat}	m	4	Differenza tra minimo top dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento e massimo bottom dei campioni saturi con eccedenza dei limiti di riferimento

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti sono illustrate nell'elaborato grafico **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-PLA-03-00**.

Le sostanze indice di contaminazione sono state identificate considerando tutti quei parametri che hanno mostrato almeno un superamento dei limiti di riferimento nelle analisi realizzate dal 2017 al 2021 in corrispondenza dei punti di indagine ubicati all'interno della sorgente insatura e saturo.

Le Concentrazioni rappresentative delle sostanze indice (C_{RS}) nella sorgente insatura e saturo sono state poste cautelativamente pari alle concentrazioni massime rilevate nelle indagini del 2017-2021 rispettivamente nei campioni insaturi e saturi.

Come già anticipato, si precisa che, in maniera estremamente cautelativa, nella presente valutazione del rischio non è stato considerato l'intervento di scavo previsto per la creazione della LdR progettuale e, pertanto, nella definizione delle sostanze indice e delle concentrazioni rappresentative sono stati utilizzati gli esiti delle indagini del 2017 - 2021 sulla totalità dei campioni prelevati nell'area sorgente.

Per le sostanze indice Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12}, poiché sono costituite da una miscela di composti con caratteristiche fisiche, chimiche e tossicologiche molto diverse, sono state considerate le speciazioni eseguite nella campagna di indagine del 2021 secondo l'approccio MADEP, in cui gli idrocarburi risultano suddivisi in frazioni tossicologicamente affini.

La seguente tabella mostra i risultati delle speciazioni eseguite nei campioni dei sondaggi appartenenti alle sorgenti dei sedimenti sottostanti la colmata. La speciazione è presentata sia in concentrazioni (mg/kg), sia in termini di percentuali delle singole frazioni rispetto alla concentrazione complessiva delle classi di Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12}.

Tabella 7.5: Risultati della speciazione MADEP nei campioni prelevati nei sedimenti sottostanti la colmata

Sondaggio	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)		Speciazione – dati in mg/kg						Somma Classi leggere C≤12 (mg/kg)	Somma Classi pesanti C>12 (mg/kg)	Speciazione – ripartizione % rispetto alla somma classi leggere C≤12 e pesanti C>12					
	da	a	da	a	da	a	Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12					Classi leggere C≤12			Classi pesanti C>12		
							Alifatici C5 - C8	Alifatici C9 - C12	Aromatici C9 - C10	Alifatici C13 - C18	Alifatici C19 - C36	Aromatici C13 - C22			Alifatici C5 - C8	Alifatici C9 - C12	Aromatici C9 - C10	Alifatici C13 - C18	Alifatici C19 - C36	Aromatici C13 - C22
SA19	3,4	4,4	0	1	-0,35	-1,35	< 5	< 5	< 5	153	657	26,9	<LR	836,9	-	-	-	18,3%	78,5%	3,2%
SA23	3,2	4,2	0	1	-0,55	-1,55	< 5	43,1	< 5	883	1787	508,5	43,1	3178,5	-	100,0%	-	27,8%	56,2%	16,0%
SA45	5	6	1	2	-0,86	-1,86	< 5	< 5	< 5	30	102	45,7	<LR	177,7	-	-	-	16,9%	57,4%	25,7%
SA23	4,2	5,2	1	2	-1,55	-2,55	< 5	8,3	< 5	142	394	104,6	8,3	640,6	-	100,0%	-	22,2%	61,5%	16,3%
SA40	6	7	1	2	-1,65	-2,65	< 5	< 5	< 5	26	92	123,4	<LR	241,4	-	-	-	10,8%	38,1%	51,1%
SA14	4	5	0	1	-1,69	-2,69	5,5	68,9	< 5	2061	2079	305	74,4	4445	7,4%	92,6%	-	46,4%	46,8%	6,9%
SA28	4,5	5,5	0	1	-1,72	-2,72	< 5	< 5	< 5	109	246,1	194,7	<LR	549,8	-	-	-	19,8%	44,8%	35,4%
SA6	4,5	5,5	0	1	-1,81	-2,81	< 5	< 5	< 5	21,4	50,5	17,8	<LR	89,7	-	-	-	23,9%	56,3%	19,8%
SA11	4,6	5,6	0	1	-1,85	-2,85	< 5	< 5	< 5	49	147	41,3	<LR	237,3	-	-	-	20,6%	61,9%	17,4%
SA45	6	7	2	3	-1,86	-2,86	< 5	< 5	< 5	72	262	62,8	<LR	396,8	-	-	-	18,1%	66,0%	15,8%
SA17	5	6	1	2	-1,86	-2,86	5,7	81,8	< 5	171	607	232	87,5	1010	6,5%	93,5%	-	16,9%	60,1%	23,0%
SA13	5	6	0	1	-1,88	-2,88	< 5	< 5	< 5	288	819	210	<LR	1317	-	-	-	21,9%	62,2%	15,9%
SA10	4,5	5,5	0,1	1,1	-1,99	-2,99	< 5	< 5	< 5	26	83	41,1	<LR	150,1	-	-	-	17,3%	55,3%	27,4%
SA9	5	6	0	1	-2,00	-3,00	< 5	< 5	< 5	25	163	127	<LR	315	-	-	-	7,9%	51,7%	40,3%
SA24	5,5	6,5	0	1	-2,11	-3,11	24,6	42	7,3	524	1253	268,3	73,9	2045,3	33,3%	56,8%	9,9%	25,6%	61,3%	13,1%
SA18	4,5	5,5	-0,2	0,8	-2,13	-3,13	< 5	15,9	< 5	113	285	89	15,9	487	-	100,0%	-	23,2%	58,5%	18,3%
SA43	6,8	7,8	0	1	-2,39	-3,39	< 5	< 5	< 5	2883,8	5159,9	759,1	<LR	8802,8	-	-	-	32,8%	58,6%	8,6%
SA39	5,5	6,5	1	2	-2,43	-3,43	< 5	< 5	< 5	142	429	141,2	<LR	712,2	-	-	-	19,9%	60,2%	19,8%
SA34	6	7	1	2	-2,55	-3,55	< 5	< 5	< 5	65	235	65,2	<LR	365,2	-	-	-	17,8%	64,3%	17,9%
SA23	5,2	6,2	2	3	-2,55	-3,55	< 5	< 5	< 5	39,5	92,2	63	<LR	194,7	-	-	-	20,3%	47,4%	32,4%
SA14	5	6	1	2	-2,69	-3,69	< 5	< 5	< 5	64	178	57,2	<LR	299,2	-	-	-	21,4%	59,5%	19,1%
SA6	5,5	6,5	1	2	-2,81	-3,81	< 5	< 5	< 5	18,7	44,7	28,9	<LR	92,3	-	-	-	20,3%	48,4%	31,3%
SA10	5,5	6,5	1,1	2,1	-2,99	-3,99	< 5	< 5	< 5	20,5	48,5	53,2	<LR	122,2	-	-	-	16,8%	39,7%	43,5%
SA24	6,5	7,5	1	2	-3,11	-4,11	< 5	< 5	< 5	48	138	31	<LR	217	-	-	-	22,1%	63,6%	14,3%
SA18	5,5	6,5	0,8	1,8	-3,13	-4,13	< 5	< 5	< 5	51	145	25,7	<LR	221,7	-	-	-	23,0%	65,4%	11,6%
SA43	7,8	8,8	1	2	-3,39	-4,39	< 5	< 5	< 5	1216,9	2513	542,2	<LR	4272,1	-	-	-	28,5%	58,8%	12,7%
SA27	8	9	0	1	-3,58	-4,58	10,1	< 5	< 5	784	790	484	10,1	2058	100,0%	-	-	38,1%	38,4%	23,5%
SA14	6	7	2	3	-3,69	-4,69	< 5	< 5	< 5	29	100	37,9	<LR	166,9	-	-	-	17,4%	59,9%	22,7%
SA28	6,5	7,5	2	3	-3,72	-4,72	< 5	< 5	< 5	10	21,7	31,3	<LR	63	-	-	-	15,9%	34,4%	49,7%
SA5	6,8	7,8	2,1	3,1	-3,75	-4,75	< 5	< 5	< 5	76	450	89,1	<LR	615,1	-	-	-	12,4%	73,2%	14,5%
SA6	6,5	7,5	2	3	-3,81	-4,81	< 5	< 5	< 5	17,5	43	38,1	<LR	98,6	-	-	-	17,7%	43,6%	38,6%
SA10	6,5	7,5	2,1	3,1	-3,99	-4,99	< 5	< 5	< 5	13,1	31,1	69,5	<LR	113,7	-	-	-	11,5%	27,4%	61,1%
SA18	6,5	7,5	1,8	2,8	-4,13	-5,13	< 5	< 5	< 5	11	28	96	<LR	135	-	-	-	8,1%	20,7%	71,1%
SA22	8	9	0,5	1,5	-4,24	-5,24	< 5	< 5	< 5	131	320	108	<LR	559	-	-	-	23,4%	57,2%	19,3%
SA43	8,8	9,8	2	3	-4,39	-5,39	< 5	< 5	< 5	50,4	164,1	186,7	<LR	401,2	-	-	-	12,6%	40,9%	46,5%
SA38	7,5	8,5	0	1	-4,42	-5,42	< 5	< 5	< 5	15,6	38,4	64,5	<LR	118,5	-	-	-	13,2%	32,4%	54,4%
SA27	9	10	1	2	-4,58	-5,58	10,1	< 5	< 5	188	558	434	10,1	1180	100,0%	-	-	15,9%	47,3%	36,8%
SA33	7,6	8,6	-0,1	0,9	-4,68	-5,68	< 5	< 5	< 5	31,7	75	48	<LR	154,7	-	-	-	20,5%	48,5%	31,0%
SA47	10	11	1	2	-4,88	-5,88	< 5	< 5	< 5	64	253	61,8	<LR	378,8	-	-	-	16,9%	66,8%	16,3%
SA37	9	10	0	1	-5,14	-6,14	28,4	74,8	5,8	2240,2	2452,7	295,2	109	4988,1	26,1%	68,6%	5,3%	44,9%	49,2%	5,9%
SA22	9	10	1,5	2,5	-5,24	-6,24	< 5	< 5	< 5	144	97	140	<LR	381	-	-	-	37,8%	25,5%	36,7%
SA32	10,5	11,5	1	2	-5,83	-6,83	< 5	< 5	< 5	15,6	33,6	26,1	<LR	75,3	-	-	-	20,7%	44,6%	34,7%
SA37	10	11	1	2	-6,14	-7,14	17	37,1	< 5	626,8	1604,1	397,3	54,1	2628,2	31,4%	68,6%	-	23,8%	61,0%	15,1%
SA42	11	12	0	1	-6,42	-7,42	< 5	< 5	< 5	129,2	450,1	63,5	<LR	642,8	-	-	-	20,1%	70,0%	9,9%
SA33	9,6	10,6	1,9	2,9	-6,68	-7,68	< 5	< 5	< 5	5,04	10,8	85	<LR	100,84	-	-	-	5,0%	10,7%	84,3%
SA52	12	13	2,5	3,5	-7,25	-8,25	< 5	< 5	< 5	60	341	166,4	<LR	567,4	-	-	-	10,6%	60,1%	29,3%
SA42	12	13	1	2	-7,42	-8,42	< 5	< 5	< 5	28,3	79,8	124,5	<LR	232,6	-	-	-	12,2%	34,3%	53,5%
SA42	13	14	2	3	-8,42	-9,42	< 5	< 5	< 5	33,1	80,8	48,6	<LR	162,5	-	-	-	20,4%	49,7%	29,9%

Per i PCB è stato adottato l'approccio illustrato al par. 3.2.6, ovvero sono stati considerati sia i PCB DL ("dioxin like"), sia i PCB TOT, costituito dalla sommatoria di PCB DL e PCB NDL ("no dioxin like").

La seguente tabella mostra la sintesi dei valori di concentrazione superiore al limite di riferimento per Sommatoria PCB e la rispettiva somma delle concentrazioni dei congeneri PCB DL (77,81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189) e PCB NDL (28, 52, 95, 99, 101, 110, 128, 138, 146, 149, 151, 153, 170, 177, 180, 183, 187) determinati nelle analisi di laboratorio effettuate sui campioni insaturi e saturi dei sondaggi ubicati nella sorgente. Si rimanda alle tabelle dell'**Allegato 8** per la visione dei singoli valori di concentrazione degli specifici congeneri.

Tabella 7.6: Valori rilevabili di Sommatoria PCB nei campioni dei sedimenti sottostanti la colmata e ripartizione tra PCB DL e PCB NDL

Sondaggio	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)		Sommatoria PCB (mg/kg)	PCB DL (mg/kg)	PCB NDL (mg/kg)
	da	a	da	a	da	a			
S54	2	2,7	0,5	1,2	1,58	0,88	0,4212	0,147	0,2742
S63	3	4	1	2	-0,06	-1,06	0,6952	0,0389	0,6563
SA55	5	6	-2,5	-1,5	-1,01	-2,01	0,0625	0,0249	0,03186
SA53	7	8	-2	-1	-2,90	-3,90	0,0785	0,00806	0,0606
SA53	8	9	1	2	-3,90	-4,90	0,104	<LR	0,10446

< LR = tutti i congeneri hanno mostrato concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità

Nella tabella seguente sono sintetizzate le sostanze indice di interesse, le caratteristiche di volatilità e le C_{RS} considerate per le elaborazioni condotte dalla zona insatura e satura. Come già anticipato, si evidenzia che nessuna sostanza volatile è stata rilevata con concentrazioni eccedenti i valori di riferimento nell'orizzonte insaturo.

Si precisa che:

- ✓ per gli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e pesanti $C > 12$:
 - nell'orizzonte insaturo gli unici parametri che hanno mostrato eccedenze del valore di riferimento sono gli Idrocarburi pesanti $C > 12$ in concentrazioni ridotte (163 mg/kg); non essendo disponibili speciazioni eseguite nell'orizzonte insaturo, nel percorso di migrazione implementato (percorso ambientale di lisciviazione) è stata considerata la classe maggiormente conservativa (più solubile), associando alla stessa classe l'intera C_{RS} degli Idrocarburi pesanti $C > 12$ (nello specifico l'Aromatica C13-C22);
 - nell'orizzonte saturo sia gli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$, sia gli Idrocarburi pesanti $C > 12$ hanno mostrato eccedenze dei valori di riferimento; per le elaborazioni condotte per tale orizzonte sono state considerate le speciazioni eseguite sui campioni saturi che hanno mostrato le concentrazioni maggiori, ovvero è stato considerato per gli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$ il campione SA37 (0-1 m da quota post rimozione colmata) e per Idrocarburi pesanti $C > 12$ il campione hot-spot SA43 (0-1 m da quota post rimozione colmata). Le C_{RS} di ciascuna classe MADEP sono state calcolate moltiplicando la C_{RS} degli Idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e pesanti $C > 12$ per le percentuali derivanti dalle speciazioni rappresentative.

Come già anticipato, in conformità al Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, è stato attivato il percorso di inalazione vapori per gli Idrocarburi pesanti $C > 12$ in quando la concentrazione massima rilevata risulta superiore al valore di "saturazione residua" riportato dall'Appendice V del Manuale ISPRA per litologie di tipo sabbioso (7700 mg/Kg);

- ✓ come anticipato al par. 3.2.5, le Diossine/Furani (PCDD/F) sono state implementate nei calcoli eseguiti associando la C_{RS} interamente al congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD;
- ✓ come anticipato al par. 3.2.6 e descritto in precedenza, i PCB sono stati implementati nei calcoli eseguiti considerando sia i PCB DL ("dioxin like") sia i PCB TOT. La C_{RS} dei PCB DL è stata posta pari al valore massimo riportato in Tabella 7.6 per l'orizzonte insaturo (0,147 mg/kg) e per l'orizzonte saturo (0,0389 mg/kg);

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- ✓ come anticipato al par.3.2.3, il Mercurio è stato implementato come Cloruro di Mercurio nei percorsi di lisciviazione.

Tabella 7.7: Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per la sorgente dei sedimenti sottostanti la colmata

Parametro	volatilità	u.d.m.	C _{RS} insaturo	C _{RS} saturo
Arsenico	non volatile	mg/Kg	200	291
Cadmio	non volatile	mg/Kg	5,1	12,8
Mercurio ^(a)	volatile	mg/Kg	-	1,47
Piombo	non volatile	mg/Kg	1260	1580
Rame	non volatile	mg/Kg	149	239
Stagno	non volatile	mg/Kg	-	40
Tallio	non volatile	mg/Kg	-	2,5
Vanadio	non volatile	mg/Kg	221	552
Zinco	non volatile	mg/Kg	2470	3710
Benzo(a)antracene	non volatile	mg/Kg	1,52	112
Benzo(a)pirene	non volatile	mg/Kg	1,5	89,1
Benzo(b)fluorantene	non volatile	mg/Kg	2,29	108
Benzo(j)fluorantene	non volatile	mg/Kg	2,29	108
Benzo(k)fluorantene	non volatile	mg/Kg	0,739	36,9
Benzo(g,h,i)perilene	non volatile	mg/Kg	1,06	55,1
Crisene	non volatile	mg/Kg	-	101
Dibenzo(a,h)antracene	non volatile	mg/Kg	0,264	13,4
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	non volatile	mg/Kg	1,35	60,9
Acenaftene	volatile	mg/Kg	-	116
Acenaftilene	volatile	mg/Kg	-	56
Antracene	volatile	mg/Kg	-	128
Fenantrene	volatile	mg/Kg	-	307
Fluorantene	non volatile	mg/Kg	-	298
Fluorene	volatile	mg/Kg	-	101
Naftalene	volatile	mg/Kg	-	291
Sommatoria PCB ^(b)	non volatile	mg/Kg	0,4212	0,6952
PCB DL	non volatile	mg/Kg	0,147 ^(c)	0,0389 ^(c)
PCB TOT	non volatile	mg/Kg	0,4212	0,6952
Benzene	volatile	mg/Kg	-	0,298
Stirene	volatile	mg/Kg	-	1,22
Toluene	volatile	mg/Kg	-	0,727
Xilene	volatile	mg/Kg	-	4,49
Sommatoria PCDD, PCDF ^(d)	non volatile	ng-I-TEQ/Kg	-	11,4
Idrocarburi leggeri C≤12 ^(e)	volatile	mg/Kg	-	109
Alifatici C5 - C8	volatile	mg/Kg	-	28 ^(f)
Alifatici C9 - C12	volatile	mg/Kg	-	75 ^(f)
Aromatici C9 - C10	volatile	mg/Kg	-	6 ^(f)
Idrocarburi pesanti C>12 ^(g)	non volatile ^(h)	mg/Kg	163	9165
Alifatici C13 - C18	non volatile ^(h)	mg/Kg		3002 ⁽ⁱ⁾
Alifatici C19 - C36	non volatile ^(h)	mg/Kg	163 ⁽ⁱ⁾	5372 ⁽ⁱ⁾
Aromatici C13 - C22	non volatile ^(h)	mg/Kg		790 ⁽ⁱ⁾

Note:

- concentrazione massima inferiore ai valori di riferimento

(a) sostanza implementata nell'AdR come Cloruro di mercurio nel percorso di lisciviazione

(b) nelle elaborazioni sono stati considerati sia i PCB DL sia i PCB TOT

(c) concentrazione pari al valore massimo della somma delle concentrazioni dei singoli congeneri rappresentativi dei PCB DL

(d) nelle elaborazioni è stato considerato il congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD

Parametro	volatilità	u.d.m.	C _{RS} insaturo	C _{RS} saturo
(e) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP determinate dalle speciazioni sito specifiche				
(f) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguite sul campione SA37 (0-1 m da quota post-rimozione colmata)				
(g) sostanza implementata nell'AdR secondo le classi MADEP più cautelative per il percorso di migrazione attivo nella zona insatura e considerando le classi MADEP determinate dalle speciazioni sito specifiche per i percorsi di esposizione/migrazione attivi nella zona saturo				
(h) sostanza non volatile ma implementata nei percorsi di inalazione valori in quanto la C _{RS} > C _{sat} residua in conformità alla richiesta contenuta nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM				
(i) sostanza implementata nell'AdR considerando le classi MADEP più cautelative per il percorso di migrazione attivo nella zona insatura				
(l) concentrazione ricavata dalla speciazione eseguita sul campione SA43 (0-1 m da quota post-rimozione colmata)				

Le proprietà chimico-fisiche-tossicologiche dei composti di interesse sono state reperite dalla Banca Dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 ad eccezione dei parametri Stagno e Benzo(j)fluorantene per i quali sono state utilizzate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche proposte dal database RAIS¹¹. In **Allegato 9** sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche delle sostanze indice.

7.5 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E MIGRAZIONE

I percorsi di esposizione/migrazione potenzialmente attivi per la zona di colmata nello scenario post-intervento sono:

1. percorsi di esposizione sanitaria: inalazione vapori outdoor dai sedimenti profondi;
2. percorsi ambientali: lisciviazione dei contaminanti dai sedimenti e trasporto verso le acque di mare.

Come già evidenziato in precedenza, nessun contaminante volatile è stato riscontrato nella sorgente insatura, pertanto il percorso sanitario n.1 di inalazione vapori outdoor è stato implementato esclusivamente per gli Idrocarburi pesanti C>12 che, in corrispondenza del sondaggio SA43, hanno mostrato una concentrazione pari a 9165 mg/kg, superiore al valore di "saturazione residua" riportato dall'Appendice V del Manuale ISPRA per litologie di tipo sabbioso (7700 mg/Kg), così come richiesto da ISPRA nel parere prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM.

Considerando gli aspetti limitativi che caratterizzano la modellazione della lisciviazione nel caso in esame, il percorso ambientale n.2 è stato valutato confrontando le concentrazioni attese in falda dai sedimenti sottostanti la colmata con le concentrazioni massime rilevate nelle acque di mare onshore, al fine di comprenderne l'eventuale interrelazione. A tali fine, come indicato al par. 3.2.1, il percorso è stato implementato secondo due modalità:

- (a) tramite la modellistica del software Risk-net e l'utilizzo dei valori sito specifici di K_d per i contaminanti inorganici
- (b) tramite l'utilizzo delle concentrazioni rilevate negli eluati come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM.

7.6 RECETTORI

Analogamente all'Arenile Nord e Sud, in considerazione dell'obiettivo primario del PRARU che prevede il ripristino della balneabilità del sito è stato considerato anche per la zona di colmata, nella sua configurazione a valle della ricostruzione della linea di riva progettuale, un recettore on site ricreativo adulto e bambino.

I parametri di esposizione di recettori on site sono riportati nella tabella seguente¹². Rispetto ai parametri di default del Manuale ISPRA è stata considerata una frequenza di esposizione pari a 30, 90 e 180 giorni/anno, corrispondente a 1, 3 e 6 mesi di esposizione, ovvero l'intera stagione estiva di fruizione delle spiagge.

Tabella 7.8: Parametri di esposizione dei recettori considerati per la zona di colmata

Parametri di esposizione	Simbolo	u.d.m.	Bambini	Adulti
Peso Corporeo	BW	kg	15	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70	70
Durata di esposizione	ED	y	6	24
Frequenza di esposizione	EF	d/y	30-90-180	30-90-180

Come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM è stato attivato anche il percorso di lisciviazione dei contaminanti presenti nei sedimenti e il trasporto verso mare, considerando quest'ultimo come recettore ambientale.

7.7 PARAMETRI SITO SPECIFICI

La tabella seguente sintetizza i valori dei parametri sito specifici della zona insatura e satura utilizzati nelle elaborazioni condotte.

Tabella 7.9: Sintesi parametri sito specifici rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata

Parametro	Simbolo	u.d.m.	Valore
<u>Caratteristiche della Zona Insatura</u>			
Tessitura	-	-	Sand
Densità	ps	g/cm ³	1,85
pH	pH	-	6,8 (default)
Frazione di carbonio organico	foc	g/g	0,001 (cautelativo)
<u>Caratteristiche della Zona Saturata</u>			
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	m	Pari al bottom della sorgente
Tessitura	-	-	Sandy Loam
Densità	ps	g/cm ³	1,78
pH	pH	-	6,8 (default)
Frazione di carbonio organico	foc,sat	g/g	0,001 (cautelativo)
Conducibilità idraulica del terreno saturo	Ksat	m/s	2,87E-5
Spessore acquifero	da	m	15
Gradiente idraulico	i	m/m	0,0013
Contenuto volumetrico di acqua	θw	-	0,345
Contenuto volumetrico di aria	θa	-	0,065

Di seguito si descrivono in dettaglio, per ogni parametro sito specifico, i dati di base e le scelte che hanno portato alla identificazione valori rappresentativi indicati in tabella.

Per la definizione delle caratteristiche tessiturali della matrice sedimenti sottostanti la colmata sono state analizzate le granulometrie disponibili tramite la tabella e il Diagramma Triangolare di classificazione dei terreni sviluppata da U.S. Department of Agriculture e riportata nel Manuale ISPRA (considerando la distribuzione percentuale delle classi Sabbia¹³, Limo e Argilla). La tessitura maggiormente frequente è stata quindi scelta quale rappresentativa per la matrice analizzata.

Si precisa che per i sedimenti sottostanti la colmata sono state considerate esclusivamente le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geotecnici realizzati nel 2021 in quanto le ulteriori analisi eseguite nel 2018-2021 non permettono di discriminare le percentuali di limo e argilla.

La tabella seguente sintetizza i dati disponibili e la tessitura rappresentativa identificata per i sedimenti sottostanti la colmata.

Tabella 7.10: Identificazione della tessitura rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata

Sedimenti sottostanti la colmata										
Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)		Argilla (<0,002 mm) [%]	Limo (0,002 mm < x < 0,06 mm) [%]	Sabbia + Ghiaia (> 0,06 mm) [%]	Tessitura
	da	a	da	a	da	a				
SG11	1,5	2	0,00	0,50	2,11	1,61	4,35	26,61	66,04	Sandy Loam
SG02	3	3,5	0,00	0,50	1,05	0,55	0,56	11,94	87,5	Sand
SG03	4	4,5	1,00	1,50	0,33	-0,17	0,82	10,78	88,4	Sand
Tessitura maggiormente frequente nella zona insatura: <u>Sand</u>										
SG04	5	5,5	0,30	0,80	-0,74	-1,24	0,08	3,77	96,15	Sand
SG11	4,5	5	3,00	3,50	-0,89	-1,39	2,3	16,67	81,03	Loamy Sand
SG09	5,5	6	0,80	1,30	-2,05	-2,55	2,36	31,94	65,7	Sandy Loam
SG05	6,5	7	1,20	1,70	-2,47	-2,97	0,13	13,83	86,04	Sand
SG02	7	7,5	4,00	4,50	-2,95	-3,45	3,04	57,17	39,79	Silt Loam
SG03	7,4	7,9	4,40	4,90	-3,07	-3,57	3,13	29,32	67,55	Sandy Loam
SG01	7,5	8	4,20	4,70	-3,56	-4,06	4,29	32,17	63,54	Sandy Loam
SG06	8	8,5	1,00	1,50	-3,74	-4,24	0,17	8,12	91,71	Sand
SG10	7	7,5	0,00	0,50	-3,76	-4,26	1,84	36,53	61,63	Sandy Loam
SG08	9,5	10	0,00	0,50	-4,80	-5,30	0,68	30,83	68,49	Sandy Loam
SG05	9	9,5	3,70	4,20	-4,97	-5,47	0,37	17,16	82,47	Loamy Sand
SG07	10,4	10,9	0,00	0,50	-5,26	-5,76	1,11	23,44	75,45	Loamy Sand
SG12	9	9,5	5,40	5,90	-5,40	-5,90	6,96	47,61	45,43	Sandy Loam
SG01	10,5	11	7,20	7,70	-6,56	-7,06	6,46	58,29	35,25	Silt Loam
SG05	11	11,5	5,70	6,20	-6,97	-7,47	1,33	60,82	37,85	Silt Loam
SG10	10,5	11	3,50	4,00	-7,26	-7,76	3,82	48,64	47,54	Sandy Loam
SG02	11,5	12	8,50	9,00	-7,45	-7,95	5,58	51,78	42,64	Silt Loam
SG03	13	13,5	10,00	10,50	-8,67	-9,17	3,71	32,78	63,51	Sandy Loam
SG12	13	13,5	9,40	9,90	-9,40	-9,90	4,66	55,57	39,77	Silt Loam
SG09	13	13,5	8,30	8,80	-9,55	-10,05	3,35	45,92	50,73	Sandy Loam
SG12	16	16,5	12,40	12,90	-	-12,90	3,91	26,16	69,93	Sandy Loam
SG09	16	16,5	11,30	11,80	-	-13,05	4,79	63,62	31,59	Silt Loam
Tessitura maggiormente frequente nella zona satura: <u>Sandy Loam</u>										

Per quanto riguarda la densità sono stati considerati i valori di massa volumica apparente [g/cm^3] ricavati dal peso di volume secco γ_d [kN/m^3] determinato nei sondaggi geotecnici realizzati nel 2021, diviso per g = accelerazione di gravità ($9,81 m/s^2$). Quale rappresentativo per i sedimenti sottostanti la colmata è stato preso il massimo dei valori calcolati.

Tabella 7.11: Identificazione della densità rappresentativa per i sedimenti sottostanti la colmata

Punto di indagine	Sedimenti sottostanti la colmata						Peso di volume secco γ_d [kN/m ³]	Massa volumica apparente [g/cm ³]
	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)			
	da	a	da	a	da	a		
SG11	1,5	2	0,00	0,50	2,11	1,61	12,25	1,25
SG02	3	3,5	0,00	0,50	1,05	0,55	14,53	1,48
SG03	4	4,5	1,00	1,50	0,33	-0,17	18,11	1,85
Densità rappresentativa nella zona insatura (valore massimo): 1,85 g/cm³								
SG04	5	5,5	0,30	0,80	-0,74	-1,24	10,11	1,03
SG11	4,5	5	3,00	3,50	-0,89	-1,39	17,45	1,78
SG09	5,5	6	0,80	1,30	-2,05	-2,55	14,58	1,49
SG05	6,5	7	1,20	1,70	-2,47	-2,97	15,17	1,55
SG02	7	7,5	4,00	4,50	-2,95	-3,45	8,78	0,90
SG03	7,4	7,9	4,40	4,90	-3,07	-3,57	14,25	1,45
SG01	7,5	8	4,20	4,70	-3,56	-4,06	15,86	1,62
SG06	8	8,5	1,00	1,50	-3,74	-4,24	15,46	1,58
SG10	7	7,5	0,00	0,50	-3,76	-4,26	13,03	1,33
SG08	9,5	10	0,00	0,50	-4,80	-5,30	14,26	1,45
SG05	9	9,5	3,70	4,20	-4,97	-5,47	13,55	1,38
SG07	10,4	10,9	0,00	0,50	-5,26	-5,76	13,07	1,33
SG12	9	9,5	5,40	5,90	-5,40	-5,90	12,88	1,31
SG01	10,5	11	7,20	7,70	-6,56	-7,06	13,13	1,34
SG05	11	11,5	5,70	6,20	-6,97	-7,47	14,35	1,46
SG10	10,5	11	3,50	4,00	-7,26	-7,76	13,57	1,38
SG02	11,5	12	8,50	9,00	-7,45	-7,95	15,17	1,55
SG03	13	13,5	10,00	10,50	-8,67	-9,17	11,94	1,22
SG12	13	13,5	9,40	9,90	-9,40	-9,90	13,14	1,34
SG09	13	13,5	8,30	8,80	-9,55	-10,05	8	0,82
SG12	16	16,5	12,40	12,90	-12,40	-12,90	10,57	1,08
SG09	16	16,5	11,30	11,80	-12,55	-13,05	13,6	1,39
Densità rappresentativa nella zona satura (valore massimo): 1,78 g/cm³								

Per quanto riguarda il pH e la frazione di carbonio organico foc, non essendo disponibili valori sito specifici sono stati considerati:

- ✓ un valore di default per il pH (6,8);
- ✓ un valore conservativo di foc pari a 0,001 g/g analogo a quello identificato per gli Arenili Nord e Sud.

Per quanto riguarda gli altri parametri sito specifici della zona satura:

- ✓ I valori di conducibilità idraulica, spessore dell'acquifero e gradiente idraulico sono stati posti pari a quelli identificati nell'unità idrogeologica più superficiale (unità idrogeologica 1) descritta la paragrafo 4.1.2.
- ✓ la soggiacenza della falda è stata assunta in maniera cautelativa attestata alla base della sorgente individuata nell'orizzonte insaturo/saturo, ricalcolando la quota nello scenario futuro, ovvero considerando il minimo spessore di 1 m di ripascimento nella configurazione di LdR progettuale;
- ✓ la porosità efficace del saturo è stata posta pari a 0,345, valore corrispondente alla tessitura Sandy Loam, rappresentativa dell'orizzonte saturo.

Come illustrato al par. 3.2.1, considerando che il contenuto volumetrico di acqua a saturazione è uguale alla porosità efficace, nel calcolo della lisciviazione dall'orizzonte saturo il valore suddetto 0,345 è stato assegnato al contenuto volumetrico di acqua θ_w e il valore di contenuto volumetrico di aria θ_a è stato

posto pari a 0,065, ovvero pari alla differenza tra porosità totale θ_T (0,41 per la tessitura Loamy Sand) e θ_w (0,345).

Ulteriori parametri sito specifici per le elaborazioni del presente lavoro sono i valori di coefficiente di ripartizione Kd dei contaminanti inorganici che, come specificato al par.7.5, sono stati utilizzati nell'implementazione del percorso di lisciviazione e trasporto verso le acque di mare.

Cautelativamente, per ciascun contaminante inorganico, è stato considerato il minimo tra i valori disponibili a seguito delle analisi di laboratorio effettuate nelle indagini del 2021, come mostrato nella tabella seguente. Nel caso di valori inferiori al limite di rilevabilità è stato considerato il limite di rilevabilità stesso.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 -Agosto 2023

Tabella 7.12: Identificazione dei Kd rappresentativi dei contaminanti inorganici dei sedimenti sottostanti la colmata

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)		Kd ARSENICO	Kd CADMIO	Kd CROMO Totale	Kd FERRO	Kd NICHEL	Kd PIOMBO	Kd RAME	Kd VANADIO	Kd ZINCO
	da	a	da	a	da	a	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
SA41	3,30	4,30	0,00	1,00	0,40	-0,60	126	-	-	-	-	27200	-	36,9	-
Kd rappresentativo nell'insaturo (valore minimo):							126					27200		36,9	
SA46	4,00	5,00	0,00	1,00	-0,05	-1,05	38,3	-	-	-	-	483	33,6	-	1720
SA19	3,40	4,40	0,00	1,00	-0,35	-1,35	-	-	-	-	-	1030	-	448	3720
SA36	4,00	5,00	1,00	2,00	-0,38	-1,38	28	-	-	-	-	-	-	-	-
SA23	3,20	4,20	0,00	1,00	-0,55	-1,55	-	0	-	-	-	2470	-	-	749
SA50	5,00	6,00	2,00	3,00	-0,72	-1,72	21,9	-	-	-	-	34,6	-	-	29,8
SA45	5,00	6,00	1,00	2,00	-0,86	-1,86	5,65	-	-	-	-	10,4	-	-	14,4
SA55	5,00	6,00	0,00	1,00	-1,01	-2,01	233	-	-	-	-	8430	-	-	< 0,5
SA23	4,20	5,20	1,00	2,00	-1,55	-2,55	23,6	30,4	-	-	-	46,5	-	24,6	57,1
SA40	6,00	7,00	1,00	2,00	-1,65	-2,65	6,15	-	-	-	-	209	41,9	27,8	241
SA14	4,00	5,00	0,00	1,00	-1,69	-2,69	-	-	-	-	-	-	-	-	372
SA28	4,50	5,50	0,00	1,00	-1,72	-2,72	198	-	-	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5
SA11	4,60	5,60	0,00	1,00	-1,85	-2,85	2,6	-	-	-	-	4,28	-	-	3,29
SA45	6,00	7,00	2,00	3,00	-1,86	-2,86	9,68	-	-	-	-	18,2	-	9,08	26,7
SA13	5,00	6,00	0,00	1,00	-1,88	-2,88	62,3	300	-	-	-	906	-	120	4250
SA10	4,50	5,50	0,10	1,10	-1,99	-2,99	13,2	-	-	-	-	29,7	-	-	54,8
SA9	5,00	6,00	0,00	1,00	-2,00	-3,00	37,5	80,5	-	-	-	4020	-	168	< 0,5
SA24	5,50	6,50	0,00	1,00	-2,11	-3,11	13,1	876	-	-	-	220	-	18,6	490
SA18	4,50	5,50	-0,20	0,80	-2,13	-3,13	22	-	-	-	-	2370	-	-	559
SA48	7,00	8,00	0,00	1,00	-2,19	-3,19	7,13	-	-	-	-	40,9	-	-	39,6
SA43	6,80	7,80	0,00	1,00	-2,39	-3,39	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,5
SA39	5,50	6,50	1,00	2,00	-2,43	-3,43	8,91	469	-	-	-	615	-	-	-
SA49	7,00	8,00	0,00	1,00	-2,45	-3,45	33,4	-	-	-	-	1720	-	-	10500
SA34	6,00	7,00	1,00	2,00	-2,55	-3,55	7,56	156	-	-	-	121	-	5,78	136
SA23	5,20	6,20	2,00	3,00	-2,55	-3,55	14,3	150	-	-	-	62,4	-	-	75,3
SA14	5,00	6,00	1,00	2,00	-2,69	-3,69	16,2	-	-	-	-	29,5	-	-	49,7
SA6	5,50	6,50	1,00	2,00	-2,81	-3,81	-	-	-	-	-	-	-	224	-
SA17	6,00	7,00	2,00	3,00	-2,86	-3,86	32,3	205	-	-	-	653	-	294	771
SA53	7,00	8,00	0,00	1,00	-2,90	-3,90	1,85	-	< 0,5	0,052	< 0,5	14,2	6,14	1,61	23,7
SA10	5,50	6,50	1,10	2,10	-2,99	-3,99	9,07	-	-	-	-	324	-	-	< 0,5
SA24	6,50	7,50	1,00	2,00	-3,11	-4,11	13	115	-	-	-	85,8	-	20	360
SA43	7,80	8,80	1,00	2,00	-3,39	-4,39	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,5
SA39	6,50	7,50	2,00	3,00	-3,43	-4,43	10,8	21,1	-	-	-	13,8	-	10,7	19,5
SA49	8,00	9,00	1,00	2,00	-3,45	-4,45	420	-	-	-	-	219	-	-	351
SA34	7,00	8,00	2,00	3,00	-3,55	-4,55	12,8	42,2	-	-	-	32	-	5,34	49,5
SA27	8,00	9,00	0,00	1,00	-3,58	-4,58	6,7	1180	-	-	-	2590	-	16,1	0
SA14	6,00	7,00	2,00	3,00	-3,69	-4,69	1,31	-	-	-	-	-	-	-	-

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Punto di indagine	Quota prelievo campione (m da p.c. colmata)		Quota prelievo campione (m da quota post-rimozione colmata)		Quota prelievo campione (m slm)		Kd ARSENICO	Kd CADMIO	Kd CROMO Totale	Kd FERRO	Kd NICHEL	Kd PIOMBO	Kd RAME	Kd VANADIO	Kd ZINCO
	da	a	da	a	da	a	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
SA5	6,80	7,80	2,10	3,10	-3,75	-4,75	199	949	-	-	-	-	-	-	-
SA6	6,50	7,50	2,00	3,00	-3,81	-4,81	8,27	-	-	-	-	249	-	-	-
SA13	7,00	8,00	2,00	3,00	-3,88	-4,88	81,5	650	-	-	-	5610	-	-	< 0,5
SA53	8,00	9,00	1,00	2,00	-3,90	-4,90	10,1	-	-	-	-	331	-	-	689
SA54	8,00	9,00	1,00	2,00	-3,98	-4,98	246	-	-	-	-	453	-	-	534
SA10	6,50	7,50	2,10	3,10	-3,99	-4,99	9,01	-	-	-	-	-	-	-	< 0,5
SA48	9,00	10,00	2,00	3,00	-4,19	-5,19	36,3	32,5	-	-	-	39,2	-	46,7	30,7
SA22	8,00	9,00	0,50	1,50	-4,24	-5,24	14,3	21,6	-	-	-	25,5	-	30,3	39,1
SA38	7,50	8,50	0,00	1,00	-4,42	-5,42	18,3	2050	-	-	-	4190	-	-	-
SA27	9,00	10,00	1,00	2,00	-4,58	-5,58	23	729	-	-	-	2210	19,6	52,2	< 0,5
SA47	10,00	11,00	1,00	2,00	-4,88	-5,88	2,79	-	-	-	-	6,46	-	12,3	6,11
SA22	9,00	10,00	1,50	2,50	-5,24	-6,24	9,72	42	-	-	-	51,2	-	23,3	110
SA42	10,00	11,00	-1,00	0,00	-5,42	-6,42	5,91	88,3	-	-	-	47,8	-	-	108
SA37	10,00	11,00	1,00	2,00	-6,14	-7,14	14,5	893	-	-	-	698	-	-	-
SA42	11,00	12,00	0,00	1,00	-6,42	-7,42	4,33	-	-	-	-	63,4	-	-	337
SA37	11,00	12,00	2,00	3,00	-7,14	-8,14	71,3	1720	-	-	-	-	-	673	-
SA52	12,00	13,00	2,50	3,50	-7,25	-8,25	69,2	-	-	-	-	1410	-	-	-
SA42	12,00	13,00	1,00	2,00	-7,42	-8,42	9,33	-	-	-	-	68,6	-	19,9	4930
Kd rappresentativo nel saturo (valore minimo):							1,31	21,1	0,5	0,052	0,5	0,5	6,14	1,61	0,5

7.8 RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO

Nelle Tabelle riportate in **Allegato 10** sono sintetizzati tutti i risultati delle valutazioni dei rischi condotte. In particolare, per ogni sorgente vengono riepilogati:

- I dati relativi alle caratteristiche delle sorgenti e cioè:
 - ✓ i contaminanti (COC) che hanno mostrato superamenti dei limiti di riferimenti (Tabella 1.1),
 - ✓ la concentrazione rappresentativa della sorgente (C_{RS}) e le sue modalità di valutazione,
 - ✓ le profondità del tetto e della base della sorgente e la soggiacenza delle acque sotterranee,
- i risultati dell'AdR sanitaria svolta in modalità diretta e cioè i rischi sanitari tossici (HI) e cancerogeni (R) associati alla concentrazione rappresentativa della sorgente C_{RS} ;
- la valutazione del rischio ambientale di lisciviazione e trasporto dei contaminanti dai sedimenti verso le acque di mare considerando:
 - ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente;
 - ✓ la concentrazione stimata a partire dai valori dei contaminanti negli eluati dei test di cessione;
 - ✓ l'attuale concentrazione dei contaminanti nelle acque di mare.

Le schermate delle elaborazioni effettuate con Risk-net sono riportate in **Allegato 11**¹⁴; di seguito si commentano i risultati emersi dalle valutazioni eseguite.

7.8.1 Valutazione del rischio sanitario

I contaminanti presenti nella zona insatura dei sedimenti sottostanti la colmata sono tutti non volatili; pertanto, **sono rispettati i valori di accettabilità per il rischio tossico ($HI = 1$) e/o cancerogeno ($R = 10^{-6}/10^{-5}$) per il possibile fruitore dell'area di colmata a valle dell'intervento di rimozione considerando qualsiasi frequenza di esposizione.**

In conformità a quanto richiesto da ISPRA nel parere prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, per la concentrazione hot-spot di Idrocarburi pesanti $C>12$ riscontrata nell'orizzonte saturo (9165 mg/kg) è stato attivato il percorso di inalazione vapori outdoor. La seguente Tabella 7.13 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) risposta l'esito del calcolo suddetto.

Tabella 7.13: Rischi sanitari associati alle concentrazioni hot-spot di Idrocarburi $C>12$ della sorgente saturo dei sedimenti sottostanti la colmata

COCs	Caratteristiche sorgente C_{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Rischi sanitari associati alle C_{RS} (valutazione in modalità diretta)						
	mg/kg	note	Frequenza di esposizione = 30 gg/anno		Frequenza di esposizione = 90 gg/anno		Frequenza di esposizione = 180 gg/anno		
			R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	R outdoor on site [-]	HI outdoor on site [-]	
Idrocarburi $C>12$	9165	(a)							
Alifatici C13 - C18	3002	(c)	-	5,05E-02	-	1,52E-01	-	3,03E-01	
Alifatici C19 - C36	5372	(c)	-	6,87E-03	-	2,06E-02	-	4,12E-02	
Aromatici C13 - C22	790	(c)	-	5,32E-02	-	1,60E-01	-	3,19E-01	
			TOTALE	0,00E+00	1,11E-01	0,00E+00	3,33E-01	0,00E+00	6,63E-01

Note:

(a) C_{RS} = concentrazione massima

(c) Alifatici C9-C18 = 32,8% Idrocarburi $C>12$; Alifatici C19 - C36 = 58,6% Idrocarburi $C>12$; Aromatici C13-C22 = 8,6% Idrocarburi $C>12$ (speciazione eseguita sul campione SA43_0-1 m da quota post-rimozione colmata)

Dall'esame dei risultati riportati in tabella, **sono rispettati i valori di accettabilità per il rischio tossico (HI = 1) e/o cancerogeno (R = 10⁻⁶/10⁻⁵) per il possibile fruitore dell'area di colmata a valle dell'intervento di rimozione considerando una frequenza di esposizione compresa tra 30 e 180 giorni all'anno (1-6 mesi).**

7.8.2 Valutazione del percorso ambientale

7.8.2.1 Sorgente insatura

Nella seguente Tabella 7.14 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte insaturo dei sedimenti sottostanti la colmata.
- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni insaturi dei sedimenti sottostanti la colmata (si precisa che nei test di cessione sono stati ricercati esclusivamente i parametri inorganici);
- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio presenti in prossimità della colmata, ovvero antistanti l'Arenile Nord e Sud (stazioni 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2.1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 3-1, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, CDN1, CDN2, CDS1 e CDS2, si veda cap. 8).

Tabella 7.14: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente insatura nei sedimenti sottostanti la colmata

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	200	(a)	1,27E+03	1,00E+03	1,10E+02	1,76E+01	3,85E+00
Cadmio	5,1	(a)	5,44E+01	1,87E+00	1,03E+00	1,04E+00	1,02E+00
Piombo	1260	(a)	3,71E+01	6,55E+02	1,18E+02	6,05E+01	3,46E+00
Rame	149	(a)	3,41E+03	1,19E+02	2,81E+01	8,97E+01	5,17E+00
Vanadio	221	(a)	4,79E+03	3,27E+02	4,45E+01	2,64E+01	1,95E+00
Zinco	2470	(a)	3,19E+04	1,66E+03	4,79E+02	1,51E+02	3,01E+01
Benzo(a)antracene	1,52	(a)	6,88E+00	nd	nd	3,07E+00	1,69E-01
Benzo(a)pirene	1,5	(a)	2,05E+00	nd	nd	3,16E+00	1,49E-01
Benzo(b)fluorantene	2,29	(a)	3,06E+00	nd	nd	2,12E+00	1,34E-01
Benzo(j)fluorantene	2,29	(a)	3,06E+00	nd	nd	8,58E-01	2,22E-01
Benzo(k)fluorantene	0,739	(a)	1,01E+00	nd	nd	1,26E+00	6,61E-02
Benzo(g,h,i)perilene	1,06	(a)	5,37E-01	nd	nd	2,71E+00	1,25E-01
Dibenzo(a,h)antracene	0,264	(a)	1,11E-01	nd	nd	5,18E-01	4,08E-02
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	1,35	(a)	5,54E-01	nd	nd	2,70E+00	1,57E-01
Sommatoria PCB	0,4212	(a)					
PCB DL	0,147	(b)	9,27E-01	nd	nd	<0,01	<0,01
PCB TOT	0,4212	(c)	4,32E+00	nd	nd	<0,01	<0,01
Idrocarburi C>12	163	(a)					
Aromatici C13 - C22	3	(d)	2,59E+04	nd	nd	2,46E+02	1,19E+02

Note:
 nd: parametro non determinato nei test di cessione
 (a) C_{RS} = concentrazione massima
 (b) C_{RS} = valore massimo della sommatoria dei congeneri DL
 (c) C_{RS} = concentrazione massima Sommatoria PCB
 (d) considerata la frazione MADEP Aromatica C13-C22 maggiormente cautelativa nei percorsi di esposizione di lisciviazione

Dalla tabella è possibile osservare che:

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano generalmente superiori ai valori misurati negli eluati dei test di cessione (unica eccezione è rappresentata dal Piombo la cui concentrazione stimata dal software è pari a circa un decimo della concentrazione rilevata negli eluati) confermando come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua;
- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per alcuni contaminanti (Arsenico, Piombo, Vanadio e Zinco) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi mentre per altri contaminanti (Cadmio e Rame) i valori sono simili o in termini di valori massimi o in termini di valori medi.

Le osservazioni suddette, oltre alla mancata completezza dei dati relativi sia alla concentrazione negli eluati (limitati ai soli contaminanti inorganici), sia alla concentrazione nelle acque di mare antistanti la colmata (disponibili esclusivamente i dati rilevati in prossimità degli Arenili Nord e Sud), non permettono di valutare in maniera completa la sussistenza di un chiaro percorso di contaminazione dai sedimenti sottostanti la colmata e le acque di mare.

In ogni caso, si ritiene che la scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilizzazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

7.8.2.2 Sorgente saturata

Nella seguente Tabella 7.15 (che rappresenta uno stralcio della Tabella riportata **Allegato 10**) è riportata:

- ✓ la concentrazione calcolata con il software Risk-net in corrispondenza della sorgente a seguito del percorso di lisciviazione dall'orizzonte saturo dei sedimenti sottostanti la colmata.
Si precisa che in tabella è riportata anche la concentrazione pari alla sommatoria delle concentrazioni calcolate dal software per le singole frazioni MADEP rappresentative degli Idrocarburi leggeri C_{≤12} e pesanti C_{>12} (si veda parametro Idrocarburi totali);
- ✓ la concentrazione massima e media misurata negli eluati dei test di cessione eseguiti nei campioni saturi dei sedimenti sottostanti la colmata;
- ✓ la concentrazione massima e media misurata nelle acque di mare dalle stazioni di monitoraggio presenti in prossimità della colmata, ovvero antistanti l'Arenile Nord e Sud (stazioni 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2.1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 3-1, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, CDN1, CDN2, CDS1 e CDS2, si veda cap. 8).

Tabella 7.15: Valutazione del percorso ambientale dalla sorgente saturata nei sedimenti sottostanti la colmata

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Arsenico	291	(a)	1,55E+05	4,28E+02	9,90E+01	1,76E+01	3,85E+00
Cadmio	12,8	(a)	4,81E+02	6,00E+00	1,15E+00	1,04E+00	1,02E+00
Mercurio	1,47	(b)	2,26E+01	2,19E+00	5,32E-01	3,98E-01	1,59E-01
Piombo	1580	(a)	2,83E+05	8,85E+02	1,34E+02	6,05E+01	3,46E+00
Rame	239	(a)	3,02E+04	2,68E+02	2,24E+01	8,97E+01	5,17E+00
Stagno	40	(a)	1,28E+02	nd	nd	2,83E-01	7,63E-02
Tallio	2,5	(a)	2,81E+01	nd	nd	<1	<1
Vanadio	552	(a)	2,45E+05	6,34E+02	6,47E+01	2,64E+01	1,95E+00
Zinco	3710	(a)	4,28E+06	1,64E+03	3,25E+02	1,51E+02	3,01E+01
Benzo(a)antracene	112	(a)	5,06E+02	nd	nd	3,07E+00	1,69E-01
Benzo(a)pirene	89,1	(a)	1,22E+02	nd	nd	3,16E+00	1,49E-01
Benzo(b)fluorantene	108	(a)	1,44E+02	nd	nd	2,12E+00	1,34E-01
Benzo(j)fluorantene	108	(a)	1,44E+02	nd	nd	8,58E-01	2,22E-01
Benzo(k)fluorantene	36,9	(a)	5,03E+01	nd	nd	1,26E+00	6,61E-02

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

COCs	C _{RS} (Concentrazione Rappresentativa)		Concentrazione attesa in falda in corrispondenza della sorgente (µg/l)	Concentrazione misurata negli eluati		Concentrazione misurata nelle acque di mare	
	mg/kg	note		max (µg/l)	media (µg/l)	max (µg/l)	media (µg/l)
Benzo(g,h,i)perilene	55,1	(a)	2,79E+01	nd	nd	2,71E+00	1,25E-01
Crisene	101	(a)	4,46E+02	nd	nd	3,00E+00	2,43E-01
Dibenzo(a,h)antracene	13,4	(a)	5,62E+00	nd	nd	5,18E-01	4,08E-02
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	60,9	(a)	2,50E+01	nd	nd	2,70E+00	1,57E-01
Acenaftene	116	(a)	1,78E+04	nd	nd	1,50E-01	3,42E-02
Acenaftilene	56	(a)	6,30E+03	nd	nd	1,31E-01	3,47E-02
Antracene	128	(a)	6,18E+03	nd	nd	1,59E-01	5,73E-02
Fenantrene	307	(a)	1,72E+04	nd	nd	3,35E-01	7,69E-02
Fluorantene	298	(a)	4,28E+03	nd	nd	1,70E+00	1,86E-01
Fluorene	101	(a)	8,65E+03	nd	nd	5,88E-02	3,07E-02
Naftalene	291	(a)	1,34E+05	nd	nd	1,01E-01	5,45E-02
Sommatoria PCB	0,6952	(a)	7,36E+00				
PCB DL	0,0389	(c)	2,45E-01	nd	nd	<0,01	<0,01
PCB TOT	0,6952	(d)	7,11E+00	nd	nd	<0,01	<0,01
Benzene	0,298	(a)	6,85E+02	nd	nd	<0,1	<0,1
Stirene	1,22	(a)	1,52E+03	nd	nd	<0,1	<0,1
Toluene	0,727	(a)	1,33E+03	nd	nd	2,00E-01	8,94E-02
Xilene	4,49	(a)	6,15E+03	nd	nd	6,32E-01	1,82E-01
Sommatoria PCDD, PCDF	0,0000114	(a)	3,66E-05	nd	nd	3,80E-06	4,73E-04
Idrocarburi totali			1,30E+05	nd	nd	2,46E+02	1,19E+02
Idrocarburi C≤12	109	(a)					
Alifatici C5- C8	28	(e)	5,05E+03				
Alifatici C9 - C12	75	(e)	8,80E+01				
Aromatici C9 - C10	6	(e)	2,42E+03				
Idrocarburi C>12	9165	(a)					
Alifatici C13 - C18	3002	(f)	8,15E-01				
Alifatici C19 - C36	5372	(f)	1,08E+01				
Aromatici C13 - C22	790	(f)	1,22E+05				

Note:

nd: parametro non determinato nei test di cessione

(a) C_{RS} = concentrazione massima

(b) Nei calcoli è stato considerato il Cloruro di Mercurio

(c) C_{RS} = valore massimo della sommatoria dei congeneri DL

(d) C_{RS} = concentrazione massima Sommatoria PCB

(e) Alifatici C5-C8 = 26,1% Idrocarburi C≤12; Alifatici C9 - C12 = 68,6% Idrocarburi C≤12; Aromatici C9-C10 = 5,3% Idrocarburi C≤12 (speciazione eseguita sul campione SA37_0-1 m da quota post-rimozione colmata)

(f) Alifatici C9-C18 = 32,8% Idrocarburi C>12; Alifatici C19 - C36 = 58,6% Idrocarburi C>12; Aromatici C13-C22 = 8,6% Idrocarburi C>12 (speciazione eseguita sul campione SA43_0-1 m da quota post-rimozione colmata)

Dalla tabella è possibile osservare che:

- ✓ le concentrazioni stimate con Risk-net risultano superiori ai valori misurati negli eluati dei test di cessione confermando come i limiti delle assunzioni adottate dalla modellistica del software porti a sovrastimare le concentrazioni attese in acqua;
- ✓ il confronto tra le concentrazioni misurate negli eluati (esclusivamente parametri inorganici) e quelle misurate nelle acque di mare mostra come per quasi tutti i contaminanti inorganici (Arsenico, Mercurio, Piombo, Rame, Vanadio e Zinco) le prime risultano superiori alle seconde sia in termini di valori massimi che di valori medi, mentre per il Cadmio i valori medi sono simili.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 – Agosto 2023

Anche in questo caso le osservazioni suddette, oltre alla mancata completezza dei dati relativi sia alla concentrazione negli eluati (limitati ai soli contaminanti inorganici), sia alla concentrazione nelle acque di mare antistanti la colmata (disponibili esclusivamente i dati rilevati in prossimità degli Arenili Nord e Sud), non permettono di valutare in maniera completa la sussistenza di un chiaro percorso di contaminazione dai sedimenti sottostanti la colmata e le acque di mare.

In ogni caso, analogamente a quanto indicato per la sorgente insatura, si ritiene che la scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilitazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

8 METODOLOGICA PER ANALISI DI RISCHIO ACQUE DI MARE

Come illustrato nel par. 3.2, l'AdR per le acque di mare dovrebbe essere eseguita nello scenario post-intervento, tuttavia, non conoscendo la variazione della qualità delle acque nello scenario futuro a valle degli interventi di realizzazione della nuova LdR progettuale, nel presente documento è stata riportata una valutazione indicativa eseguita sulla base dei dati attuali di concentrazione misurate nelle acque di mare, illustrando il percorso metodologico e le assunzioni che saranno la base per la reale stima del rischio che potrà essere eseguita a seguito del monitoraggio che sarà sviluppato successivamente alla realizzazione del progetto.

Infatti, lo stato qualitativo delle acque marine, ragionevolmente, sarà una conseguenza degli effetti degli interventi eseguiti sulle altre matrici ambientali (arenili, sedimenti sottostanti la colmata, sedimenti marini onshore) e dipenderà anche in maniera sostanziale dell'interruzione delle altre fonti di contaminazione presenti nel sito (condotte a mare di scarichi civili, effetti delle attività portuali e del passaggio di imbarcazioni ecc.).

8.1 UBICAZIONE E CONTESTO DEL SITO

L'area di interesse per l'AdR è costituita dalla porzione dell'area marina antistante la microcella nord e la macrocella, compresa tra la linea di costa e la barriera soffolta, e quella antistante l'Arenile Sud fino alla batimetrica -5 m, come mostrato nella figura seguente.



Figura 8.1: Area di interesse le acque marine onshore

8.2 QUADRO AMBIENTALE E SCREENING DI QUALITÀ

La verifica del rischio nelle condizioni attuali è stata condotta considerando i seguenti dati¹⁶:

Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 nell'ambito dell'Appalto Specifico n° 19:

Monitoraggio di n. 8 stazioni di campionamento (denominate 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2), disposte in 4 transetti perpendicolari alla linea di costa degli Arenili Nord e Sud e realizzato a cadenza mensile da febbraio 2021 fino a ottobre 2021 con il prelievo e analisi di campioni disturbati (D) e indisturbati (I).

Le n.2 stazioni di ogni transetto sono state ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1 e -2 m.

L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio è mostrata nell'immagine seguente.

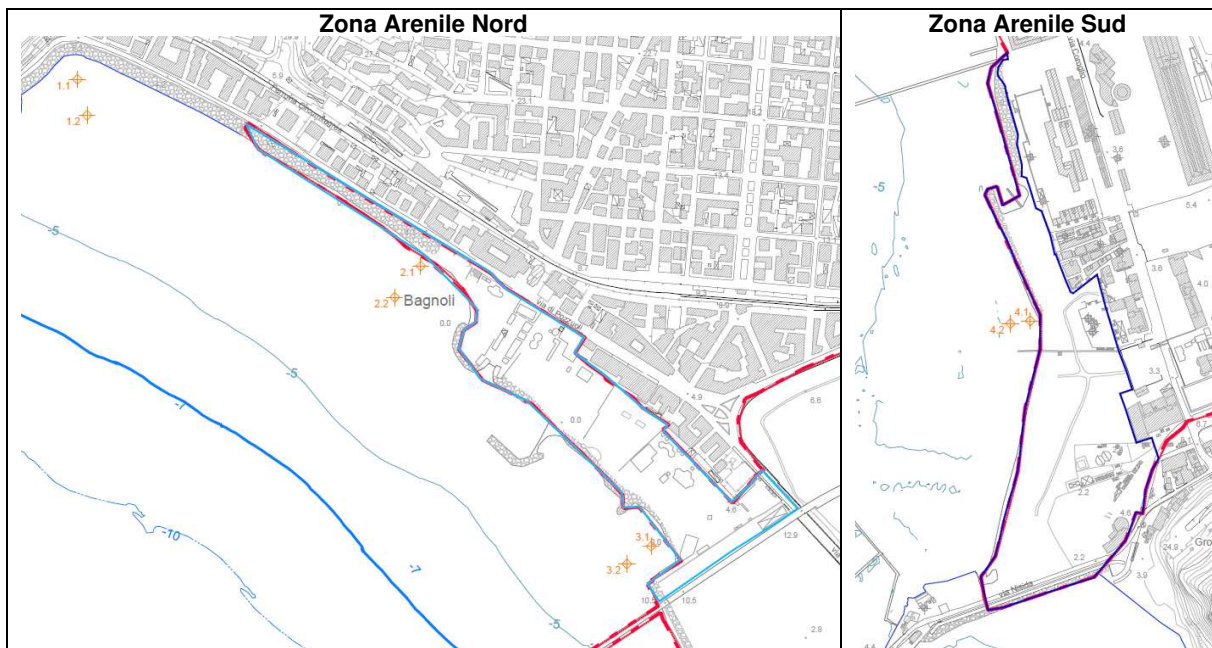


Figura 8.2: Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – indagine 2021

Ai fini del presente lavoro non sono state considerate le stazioni 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 ubicate esternamente ai limiti di progettazione della nuova linea di costa e relativi sistemi di confinamento.

PdC colonna d'acqua del 2023 realizzata dallo scrivente RTI:

Prelievo di campioni Superficiali (S) e Profondi (P) da n.20 stazioni di campionamento (denominate 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 3-1, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5) ubicate in transetti perpendicolari alla linea di costa degli Arenili Nord e Sud e alle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m. Il monitoraggio è stato condotto nei mesi di febbraio e marzo 2023.

L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio è mostrata nell'immagine seguente.

¹⁶ sono state escluse le indagini antecedenti al 2021 in analogia a quanto indicato per gli arenili nel parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM con oggetto "Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022" che ha esplicitato che "Si fa presente che i dati delle caratterizzazioni ante 2009 non possono essere utilizzati per l'implementazione dell'Analisi di Rischio perché lo stato di contaminazione è fortemente influenzato dalle azioni del mare e del vento e delle acque sotterranee in relazione al trasporto dei contaminanti"

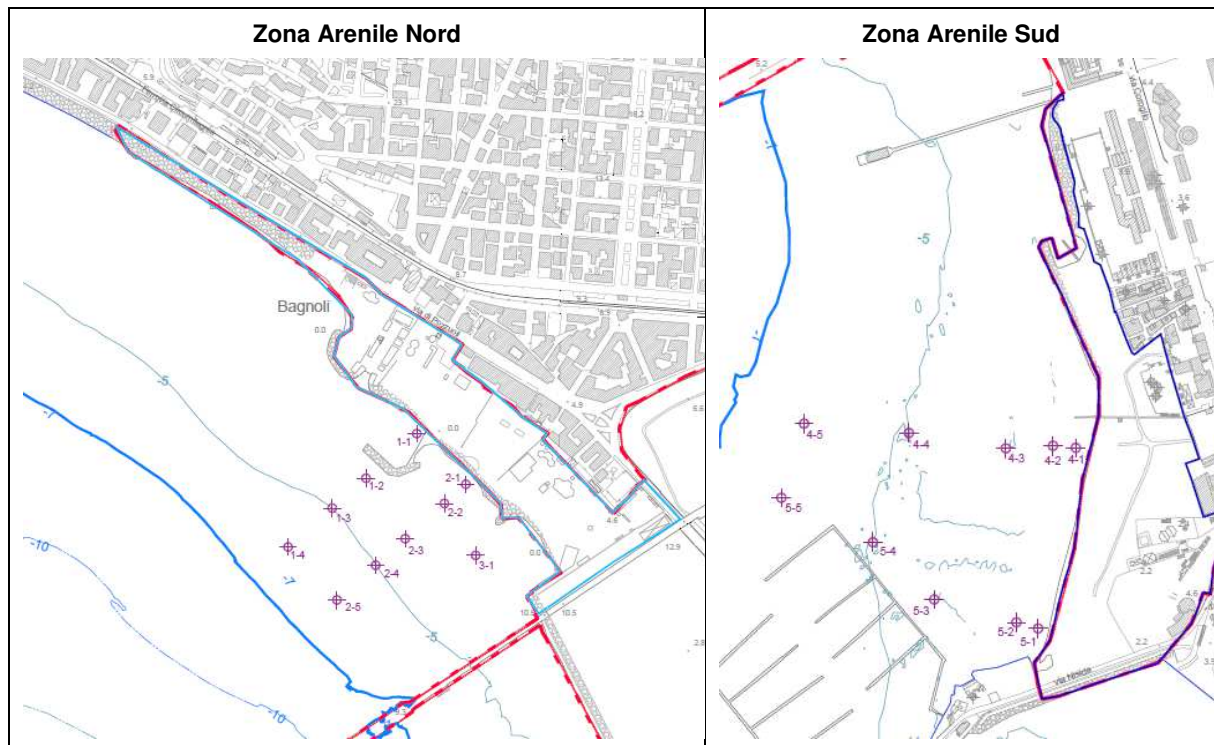


Figura 8.3: Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – PdC colonna d'acqua RTI 2023

Caratterizzazione integrativa eseguita da Invitalia nel marzo 2023:

Prelievo di campioni Superficiali (S), di Fondale indisturbato (FI) e di Fondale disturbato (FD) da n.4 stazioni, di cui n. 2 prospicienti l'Arenile Nord (CDN1 e CDN2) e n.2 prospicienti l'Arenile Sud (CDS1 e CDS2), alla batimetrica -1 m. Il monitoraggio è stato eseguito in attuazione di quanto previsto dal documento Invitalia "Piano di Caratterizzazione Complementare" rev.2 dell'ottobre 2022 (Rid. [13]).

L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio è mostrata nell'immagine seguente.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

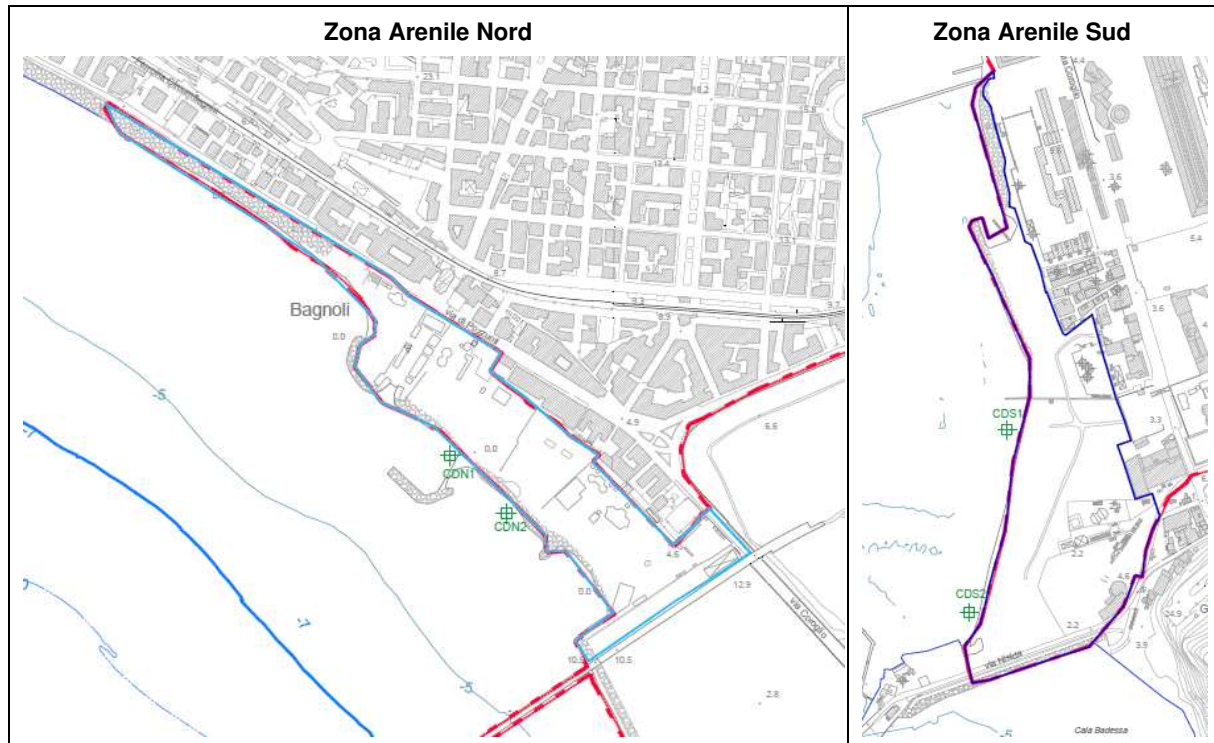


Figura 8.4: Ubicazione stazioni di monitoraggio mare – PdCC Invitalia 2023

In **Allegato 10** sono riportati gli risultati di tutte le analisi di laboratorio eseguite dal 2021 al 2023, mentre la tabella seguente sintetizza le concentrazioni massime e medie di ciascun contaminante ricercato nei punti di indagine dell'area di progettazione antistante l'Arenile Nord e in quella antistante l'Arenile Sud (escludendo, quindi, le stazioni 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 oggetto di monitoraggio nel 2021, esterne all'area di progettazione).

Tabella 8.1: Concentrazioni massime e medie rilevate nelle acque di mare nel 2021-2023

Parametro	u.d.m.	Zona antistante Arenile Nord		Zona antistante Arenile Sud	
		max	media	max	media
Ferro	µg/L	1660	235,84	1010	118,77
Manganese	µg/L	143	26,82	56,3	13,87
Antimonio	µg/L	n.d.	n.d.	0,86	0,86
Arsenico	µg/L	15,5	4,58	17,6	2,59
Berillio	µg/L	2,55	1,24	3,22	1,45
Cadmio	µg/L	1,04	1,02	1,03	1,02
Cobalto	µg/L	0,0491	0,04	1,47	0,52
Cromo totale	µg/L	7,1	1,31	5,38	1,75
Cromo vi	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mercurio	µg/L	0,398	0,15	0,21	0,17
Nichel	µg/L	17,5	4,72	23,3	7,68
Piombo	µg/L	21,3	2,78	60,5	5,00
Rame	µg/L	37,2	3,19	89,7	7,92
Selenio	µg/L	1,67	1,26	2,19	1,78
Tallio	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vanadio	µg/L	6,86	1,64	26,4	2,23
Zinco	µg/L	151	29,66	132	31,32
Monobutilstagno	µg/L	0,162	0,06	0,283	0,09

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Zona antistante Arenile Nord		Zona antistante Arenile Sud	
		max	media	max	media
Dibutilstagno	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tributilstagno	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fluoruri	µg/L	1570	1179,74	1560	1162,24
Cianuri liberi	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cianuri totali	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzene	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Etilbenzene	µg/L	0,0711	0,04	n.d.	n.d.
m+p Xilene	µg/L	0,446	0,17	0,0478	0,04
o Xilene	µg/L	0,186	0,09	0,0189	0,02
Stirene	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Toluene	µg/L	0,2	0,09	0,132	0,08
Naftalene	µg/L	0,101	0,07	0,066	0,05
Acenaftene	µg/L	0,15	0,04	0,0334	0,02
Acenaftilene	µg/L	0,131	0,03	0,0929	0,04
Antracene	µg/L	0,154	0,05	0,159	0,08
Fenantrene	µg/L	0,335	0,07	0,279	0,11
Fluorantene	µg/L	1,7	0,23	1,24	0,14
Fluorene	µg/L	0,0588	0,03	0,0502	0,03
Benzo(a)antracene	µg/L	3,07	0,17	0,784	0,17
Benzo(a)pirene	µg/L	3,16	0,17	0,849	0,10
Benzo(e)pirene	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo(b+j)fluorantene	µg/L	0,502	0,12	0,858	0,41
Benzo(b)fluorantene	µg/L	2,12	0,18	0,504	0,04
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	2,71	0,15	0,504	0,07
Benzo(k)fluorantene	µg/L	1,26	0,08	0,231	0,04
Crisene	µg/L	3	0,26	0,566	0,18
Dibenzo(a,e)pirene	µg/L	0,064	0,03	0,137	0,06
Dibenzo(a,h)pirene	µg/L	0,021	0,02	0,156	0,07
Dibenzo(a,i)pirene	µg/L	0,055	0,03	0,0529	0,04
Dibenzo(a,l)pirene	µg/L	0,00815	0,01	n.d.	n.d.
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0,518	0,05	0,0415	0,02
Indeno(1,2,3-cd)pirene	µg/L	2,7	0,17	0,967	0,12
Pirene	µg/L	8,68	0,33	0,887	0,18
Sommatoria IPA	µg/L	8,71	0,27	2,56	0,13
Sommatoria PCDD, PCDF	pgl-TEQ/l	3,8	0,53	0,54	0,33
Sommatoria PCB	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi totali	µg/L	203	110,94	246	141,71
Idrocarburi C<12 (6<C<12)	µg/L	n.d.	n.d.	26,2	26,20
Idrocarburi C>12 (C12-C40)	µg/L	7,81	7,81	n.d.	n.d.
Amianto	Fibre/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Conta di streptococchi fecali ed enterococchi	UFC/100mL	500	32,57	150	26,48
Conta di escherichia coli	UFC/100mL	600	62,50	25	13,50

Note:
n.d. = concentrazione non determinata (parametro sempre inferiore al limite di rilevabilità)

In continuità con quanto eseguito da ISS nella AdR del 2006, non essendo stati fissati, né a livello nazionale, né internazionale, degli standards di qualità per le acque di mare, l'approccio metodologico sulla valutazione del rischio prevede un primo screening di qualità delle acque seguendo quanto illustrato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel documento "Guidelines for safe recreational water environments - Volume 1 Coastal and Fresh Waters" - (Geneve 2003), ovvero tramite il confronto con i valori limite proposti nel D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 "Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020,

concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. GU 06/03/2023", maggiorati di 10 volte (si veda la Tabella 1.3).

La tabella seguente sintetizza gli esiti del monitoraggio eseguito nelle stazioni di campionamento ubicate nell'area di progettazione (suddividendoli tra zona antistante all'Arenile Nord e zona antistante all'Arenile Sud) confrontando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nelle stazioni di monitoraggio con i limiti considerati nello screening preliminare di qualità delle acque di mare (Tabella 1.3). Si precisa che le concentrazioni disponibili sono state suddivise tra campioni superficiali e/o indisturbati (campioni I (2021) e S (2023)) e campioni profondi e/o disturbati (campioni D (2021), P (2023), FI e FD (2023)). Le eccedenze dei limiti di riferimento sono evidenziate in grassetto nelle celle con campitura grigia.

Tabella 8.2: Concentrazioni massime e medie rilevate nelle acque di mare

Parametro	u.m.	Limiti (*)	Zona Arenile Nord														Zona Arenile Sud													
			campioni S e I						campioni D, P, FI e FD								campioni S e I						campioni D, P, FI e FD							
			(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		medi a FD			
max I	media I	max S	media S	max S	media S	max D	media D	max P	media P	max FI	media FI	max FD	media FD	max I	media I	max S	media S	max S	media S	max D	media D	max P	media P	max FI	media FI	max FD	media FD			
Ferro	µg/L	2000	690	203,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1660	266,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1010	164,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	104,0	55,80	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Manganese	µg/L	500	76,40	28,72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	143	23,45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	56,30	15,75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48,10	11,85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Antimonio	µg/L	100	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,86	0,86	<LR	<LR	<LR	<LR	
Arsenico	µg/L	100	15,50	5,16	9,70	3,95	7,14	6,96	12,40	4,43	6,50	3,73	8,69	6,85	9,06	7,38	4,55	2,79	2,67	2,10	4,02	3,50	4,42	2,44	2,74	2,13	3,68	3,30	17,60	10,11
Berillio	µg/L	-	<LR	<LR	0,56	0,56	<LR	<LR	1,12	1,12	1,67	0,80	2,50	2,50	2,55	2,55	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	3,22	1,21	<LR	<LR	2,41	2,41
Cadmio	µg/L	50	<LR	<LR	<LR	<LR	1,00	1,00	<LR	<LR	<LR	<LR	1,02	1,02	1,04	1,04	<LR	<LR	<LR	<LR	1,03	1,03	<LR	<LR	<LR	<LR	1,00	1,00	1,02	1,02
Cobalto	µg/L	-	0,05	0,05	<LR	<LR	<LR	<LR	0,02	0,02	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	0,52	0,28	<LR	<LR	<LR	<LR	0,05	0,05	<LR	<LR	<LR	<LR	1,47	1,47
Cromo totale	µg/L	250	4,30	0,83	2,76	2,43	<LR	<LR	1,00	0,22	7,10	4,59	<LR	<LR	<LR	<LR	1,10	0,53	5,00	2,50	<LR	<LR	0,20	0,15	<LR	<LR	5,38	5,38	2,77	2,77
Cromo vi	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	6,88	6,88	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Mercurio	µg/L	10	0,40	0,15	<LR	<LR	6,70	6,70	0,37	0,15	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	0,21	0,18	<LR	<LR	<LR	<LR	0,21	0,17	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Nichel	µg/L	200	10,30	2,51	<LR	<LR	6,47	6,24	32,70	7,47	5,90	3,69	6,63	5,79	7,67	6,84	23,30	10,92	<LR	<LR	7,81	7,00	2,19	1,72	<LR	<LR	8,07	7,39	6,88	6,53
Piombo	µg/L	50	10,20	3,43	4,20	0,95	4,95	2,99	21,30	5,10	1,00	0,62	1,59	1,47	1,84	1,47	5,24	2,74	0,63	0,60	6,56	4,95	7,36	3,07	0,62	0,59	4,86	3,72	60,50	31,18
Rame	µg/L	20000	6,79	2,03	7,80	2,58	6,01	5,06	37,20	3,72	20,50	4,49	10,40	6,81	4,23	3,92	18,60	4,67	25,20	3,98	15,20	12,75	5,50	3,14	89,00	9,29	14,90	14,85	89,70	48,96
Selenio	µg/L	200	n.d.	n.d.	<LR	<LR	6,01	3,51	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	1,09	1,09	n.d.	n.d.	2,16	1,89	<LR	<LR	n.d.	n.d.	2,19	1,78	1,11	1,11	<LR	<LR
Tallio	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	6,63	6,63	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Vanadio	µg/L	1400	n.d.	n.d.	1,62	1,25	7,67	5,23	n.d.	n.d.	1,34	1,21	3,49	3,38	4,76	4,34	n.d.	n.d.	2,05	1,43	5,06	4,30	n.d.	n.d.	1,90	1,41	5,14	4,33	26,40	14,36
Zinco	µg/L	-	151,0	28,88	25,20	17,75	14,60	10,39	106,0	34,07	<LR	<LR	13,60	11,85	10,30	9,32	132,0	42,60	<LR	<LR	15,80	11,82	76,00	18,50	<LR	<LR	9,76	7,87	107,0	107,0
Monobutilstagno	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,16	0,06	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,28	0,15	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,23	0,08	<LR	<LR	<LR	<LR
Dibutilstagno	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Tributilstagno	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Fluoruri	µg/L	15000	n.d.	n.d.	1570	1190	<LR	<LR	n.d.	n.d.	1530	1170	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	1530	1194	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1560	1128	<LR	<LR	<LR	<LR
Cianuri liberi	µg/L	500	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cianuri totali	µg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR
Benzene	µg/L	10	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Etilbenzene	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,03	0,03	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,02	0,02	0,07	0,07	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
m+p Xilene	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,21	0,12	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,12	0,12	0,45	0,26	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,05	0,05	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,04	0,04	0,05	0,05
o Xilene	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,08	0,08	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,05	0,05	0,19	0,11	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,02	0,02	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,02	0,02	0,01	0,01
Stirene	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Toluene	µg/L	-	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,20	0,13	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,07	0,06	0,11	0,09	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,03	0,03	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,10	0,10	0,13	0,13
Naftalene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,10	0,10	<LR	<LR	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	0,04	0,04	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,04	0,04	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,07	0,06	0,05	0,04
Acenafte	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,15	0,04	0,09	0,07	n.d.	n.d.	0,05	0,02	0,08	0,05	0,10	0,08	n.d.	n.d.	0,03	0,02	0,02	0,01	n.d.	n.d.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Acenafilene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,11	0,03	0,10	0,07	n.d.	n.d.	0,03	0,02	0,07	0,05	0,13	0,10	n.d.	n.d.	0,02	0,02	0,05	0,04	n.d.	n.d.	0,02	0,01	0,09	0,07	0,07	0,05
Antracene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,15	0,06	0,14	0,08	n.d.	n.d.	0,03	0,02	0,03	0,02	0,10	0,10	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,08	0,06	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,16	0,12	0,10	0,07
Fenantrene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,31	0,05	0,34	0,21	n.d.	n.d.	0,08	0,03	0,06	0,06	0,25	0,20	n.d.	n.d.	0,04	0,04	0,14	0,10	n.d.	n.d.	0,02	0,02	0,28	0,22	0,18	0,14
Fluorantene	µg/L	-	n.d.	n.d.	1,70	0,20	1,25	0,81	n.d.	n.d.	0,31	0,08	0,49	0,38	0,92	0,83	n.d.	n.d.	0,06	0,03	0,62	0,43	n.d.	n.d.	0,05	0,03	1,24	0,89	0,80	0,55
Fluorene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,04	0,03	0,05	0,04	n.d.	n.d.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,03	0,02	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,05	0,04	0,03	0,03
Benzo(a)antracene	µg/L	-	2,61	0,13	0,31	0,04	0,34	0,19	3,07	0,30	0,05	0,03	0,06	0,05	0,24	0,20	0,24	0,12	0,01	0,01	0,39	0,25	0,39	0,07	0,01	0,01	0,78	0,53	0,52	0,33
Benzo(a)pirene	µg/L	0,1	2,81	0,14	0,40	0,05	0,35	0,19	3,16	0,30	0,06	0,03	0,07	0,05	0,22	0,20	0,27	0,25	0,01	0,01	0,47	0,30	0,41	0,11	0,01	0,00	0,85	0,58	0,61	0,39
Benzo(e)pirene	µg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo(b+j)fluorantene	µg/L	-	0,01	0,01	n.d.	n.d.	0,50	0,29	0,01	0,01	n.d.	n.d.	0,11	0,09	0,35	0,25	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,42	0,27	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,86	0,58	0,60	0,38
Benzo(b)fluorantene	µg/L	-	1,90	0,17	0,39	0,04	n.d.	n.d.	2,12	0,41	0,05	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,18	0,16	0,01	0,00	n.d.	n.d.	0,50	0,31	0,01	0,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	-	2,25	0,13	0,33	0,04	0,14	0,08	2,71	0,31	0,05	0,02	0,03	0,02	0,10	0,09	0,23	0,22	0,01	0,00	0,26	0,17	0,23	0,10	0,01	0,00	0,50	0,34	0,33	0,21
Benzo(k)fluorantene	µg/L	-	1,09	0,07	0,18	0,02	0,12	0,07	1,26	0,15	0,03	0,01	0,03	0,02	0,08	0,07	0,10	0,10	0,01	0,00	0,14	0,09	0,13	0,04	0,00	0,00	0,23	0,16	0,16	0,10
Crisene	µg/L	-	2,21	0,15	0,39	0,39	0,26	0,15	3,00	0,40	<LR	<LR	0,06	0,05	0,18	0,16	0,26	0,14	<LR	<LR	0,31	0,19	0,35	0,09	<LR	<LR	0,57	0,38	0,38	0,24
Dibenzo(a,e)pirene	µg/L	-	n.d.	n.d.	0,06	0,06	0,02	0,02	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	0,02	0,02	n.d.	n.d.	<LR	<LR	0,05	0,04	n.d.	n.d.	<LR	<				

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE
Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	u.m.	Limiti (*)	Zona Arenile Nord														Zona Arenile Sud													
			campioni S e I						campioni D, P, FI e FD								campioni S e I					campioni D, P, FI e FD								
			(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)		(C)			
max I	media I	max S	media S	max S	media S	max D	media D	max P	media P	max FI	media FI	max FD	media FD	max I	media I	max S	media S	max S	media S	max D	media D	max P	media P	max FI	media FI	max FD	media a FD			
Sommatoria PCDD, PCDF	I-TEQ pg/l	-	n.d.	n.d.	0,52	0,39	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,67	0,39	<LR	<LR	3,80	3,80	n.d.	n.d.	0,51	0,29	<LR	<LR	n.d.	n.d.	0,54	0,39	<LR	<LR	<LR	<LR
Sommatoria PCB	µg/L	-	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	5,00	5,00	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Idrocarburi totali	µg/L	-	203,0	113,6	<LR	<LR	<LR	<LR	182,0	108	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	184,0	133,6	<LR	<LR	<LR	<LR	246,0	150,9	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR	<LR
Idrocarburi C<12	µg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	26,20	26,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR
Idrocarburi C>12	µg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,81	7,81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR
Amianto	Fibre/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LR	<LR	<LR	<LR
Streptococchi fecali ed enterococchi	UFC/100m L	0	500	34,97	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	200	26,91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53,00	25,57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	150	26,93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Escherichia coli	UFC/100m L	0	600	70,32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	300	28,72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14,00	7,50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25,00	19,50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Note:
 (A) campagna INVITALIA 2021 AS19
 (B) PdC colonna d'acqua a mare 2023
 (C) Invitalia PdCC 2023 AS 2
 (*) D.lgs.18 del 23-02-2023 Valori limite x 10 (suggerimento OMS e ISS)
 (**) come previsto dal D.lgs.18 del 23-02-2023 è pari alla somma della concentrazione di benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)perilene e indeno(1,2,3-cd)pirene.
 n.d. concentrazione non determinata (parametro non analizzato nella campagna di indagine)
 <LR concentrazione inferiore al limite di rilevabilità

Dai dati disponibili è possibile ricavare le seguenti osservazioni:

- ✓ le eccedenze dei limiti di riferimento sono state rilevate esclusivamente per:
 - Benzo(a)pirene: le eccedenze sono a carico dei valori massimi e medi nelle campagne del 2021 e del PdCC 2023;
 - Sommatoria IPA: le eccedenze sono state misurate in maniera meno ubiquitaria rispetto a Benzo(a)pirene, e in maniera più frequente a carico dei valori massimi (eccedenze dei valori medi sono state rilevate esclusivamente nell'ambito del PdCC 2023 nei campioni profondi FI e FD);
 - Piombo: esclusivamente nel campione di fondale disturbato (FD) prelevato dalla stazione CDS2 nell'ambito del PdC colonna d'acqua 2023;
 - Streptococchi fecali ed enterococchi e Escherichia coli, non correlati alla contaminazione di origine industriale del sito bensì alla presenza degli scarichi civili;
- ✓ confrontando le concentrazioni rilevate nei campioni profondi e disturbati con quelle rilevate nei campioni superficiali e indisturbati si osservano alcune differenze di comportamento tra i parametri analizzati.

L'immagine seguente mostra il rapporto tra le concentrazioni medie 2021-2023 rilevate nei campioni profondi e disturbati e quelle rilevate nei campioni superficiali e indisturbati nella zona antistante l'Arenile Nord, considerando esclusivamente i parametri che hanno mostrato almeno il 10% delle analisi superiori al limite di rilevabilità: il rapporto varia complessivamente da 0,54 a 2,41.

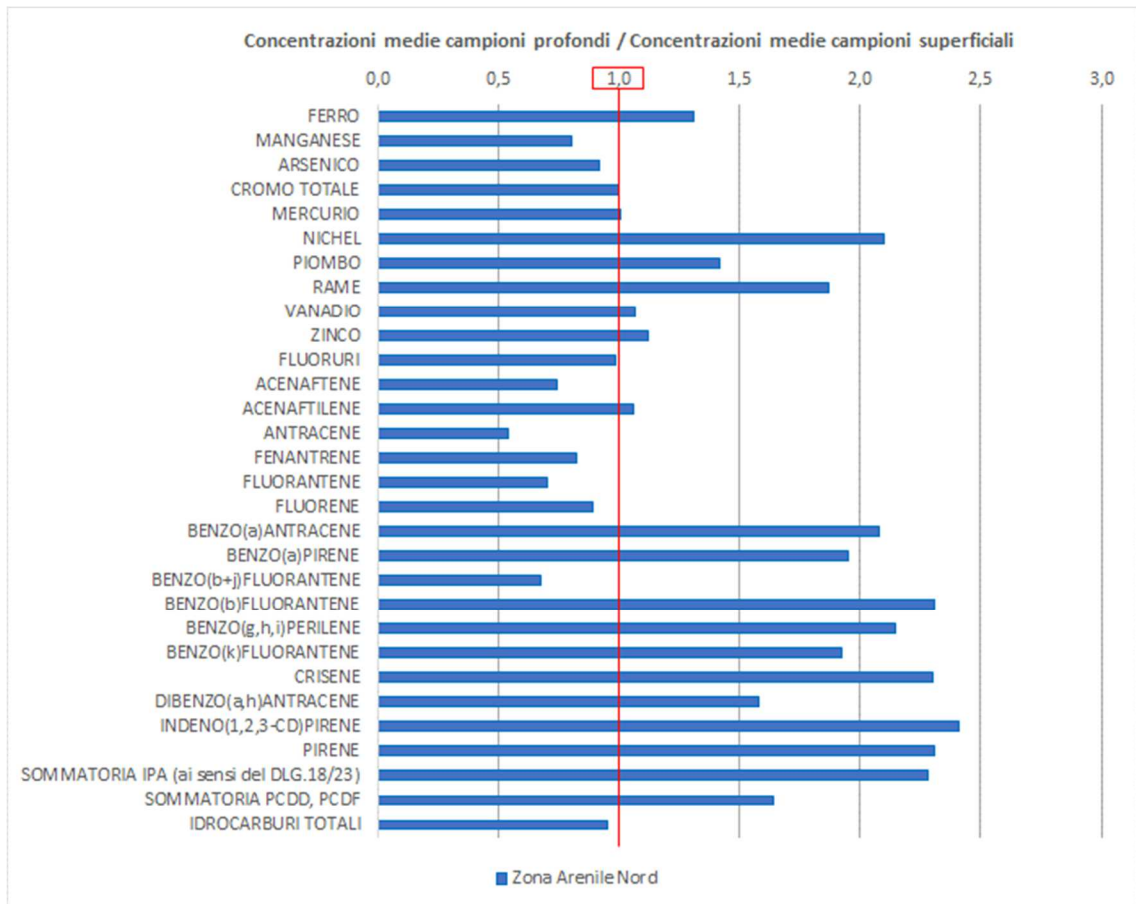


Figura 8.5: Rapporto tra concentrazioni medie rilevate nei campioni di acqua di mare profondi / disturbati e nei campioni superficiali / indisturbati nella zona antistante l'Arenile Nord

In sintesi, nella zona antistante l'Arenile Nord:

- tra i parametri inorganici: Ferro, Nichel, Piombo e Rame mostrano concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati rispetto a quelle rilevate nei campioni superficiali e indisturbati, mentre il Manganese ha un comportamento opposto rispetto ai precedenti con concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati rispetto a quelle rilevate nei campioni profondi e disturbati; gli altri parametri Arsenico, Cromo totale, Mercurio, Vanadio, Zinco e Fluoruri mostrano concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati;
- tra i parametri organici:
 - tra gli IPA più leggeri Acenafteene, Antracene, Fenantrene, Fluorantene e Fluorene mostrano concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati mentre Acenafilene mostra concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati
 - per gli altri parametri della famiglia degli IPA, Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(g,h,i)pirene, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene e Pirene mostrano concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati, mentre Benzo(b+j)fluorantene mostra concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati
 - il parametro diossine/furani mostra concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati;
 - gli Idrocarburi totali mostrano concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati.

L'immagine seguente mostra il rapporto tra le concentrazioni medie 2021-2023 rilevate nei campioni profondi e disturbati e quelle rilevate nei campioni superficiali e indisturbati nella zona antistante l'Arenile Sud, considerando esclusivamente i parametri che hanno mostrato almeno il 10% delle analisi superiori al limite di rilevabilità: il rapporto varia complessivamente da 0,34 a 2,44.

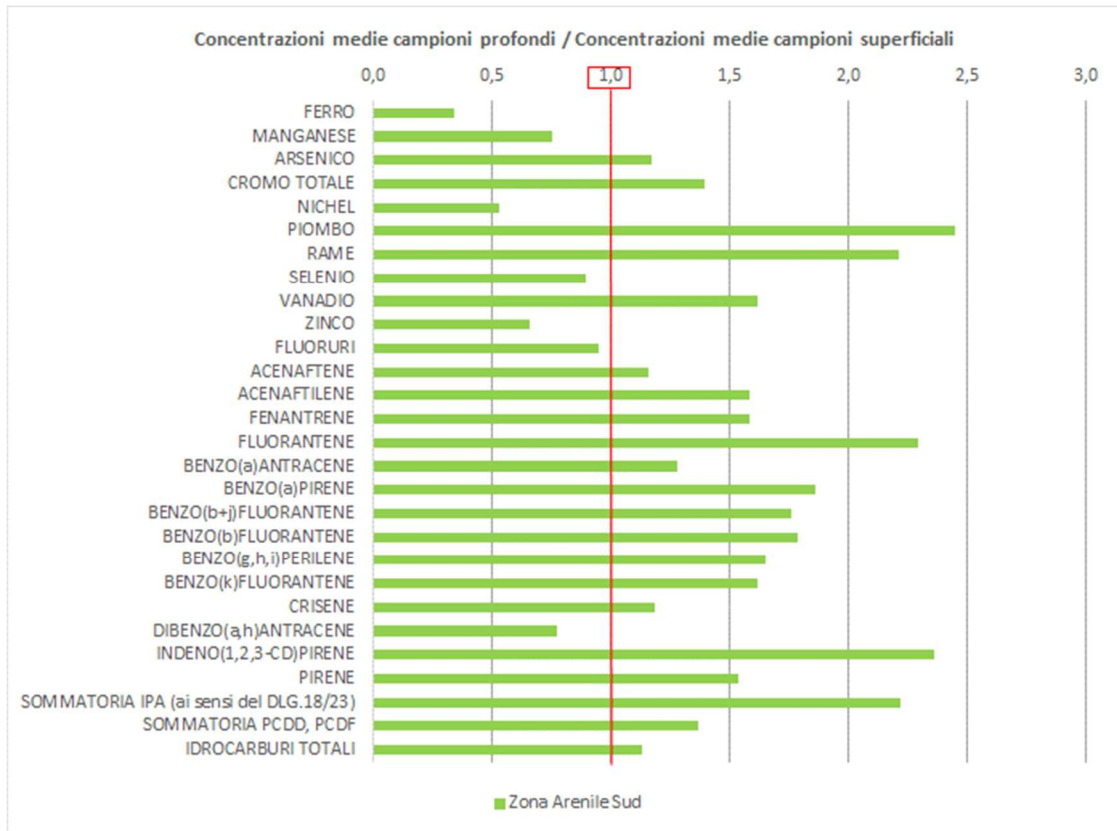


Figura 8.6: Rapporto tra concentrazioni medie rilevate nei campioni di acqua di mare profondi / disturbati e nei campioni superficiali / indisturbati nella zona antistante l'Arenile Sud

In sintesi, nella zona antistante l'Arenile Sud:

- tra i parametri inorganici: Cromo totale, Piombo, Rame e Vanadio mostrano concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati rispetto a quelle rilevate nei campioni superficiali e indisturbati, mentre Ferro, Manganese, Nichel, Selenio e Zinco hanno un comportamento opposto rispetto ai precedenti con concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati rispetto a quelle rilevate nei campioni profondi e disturbati; gli altri parametri Arsenico e Fluoruri mostrano concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati;
- tra i parametri organici:
 - tra gli IPA più leggeri Acenaftilene, Fenantrene e Fluorantene mostrano concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati mentre Acenaftene mostra concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati
 - per gli altri parametri della famiglia degli IPA, Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(b+j)fluorantene, Benzo(g,h,i)pirene, Benzo(k)fluorantene, Indenopirene e Pirene mostrano concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati, mentre Dibenzo(a,h)antracene mostra concentrazioni maggiori nei campioni superficiali e indisturbati e Crisene mostra concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati
 - il parametro diossine/furani mostrano concentrazioni maggiori nei campioni profondi e disturbati;
 - gli Idrocarburi totali mostrano concentrazioni medie paragonabili in tutti i campioni prelevati.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

- ✓ le concentrazioni rilevate nei campioni prelevati in stazioni più vicine alla linea di riva (batimetrica -1 e -2 m) risultano generalmente più elevate rispetto a quelle misurate nelle stazioni più lontane (batimetrica -4, -5 e -6 m). L'unica eccezione è rappresentata dal parametro Fluoruri che ha mostrato concentrazioni pressoché costanti in tutte le stazioni a distanza crescente dalla linea di riva sia nella zona dell'Arenile Nord, sia nella zona dell'Arenile Sud.

Le immagini seguenti mostrano l'andamento delle concentrazioni medie misurate nelle stazioni ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m¹⁷.

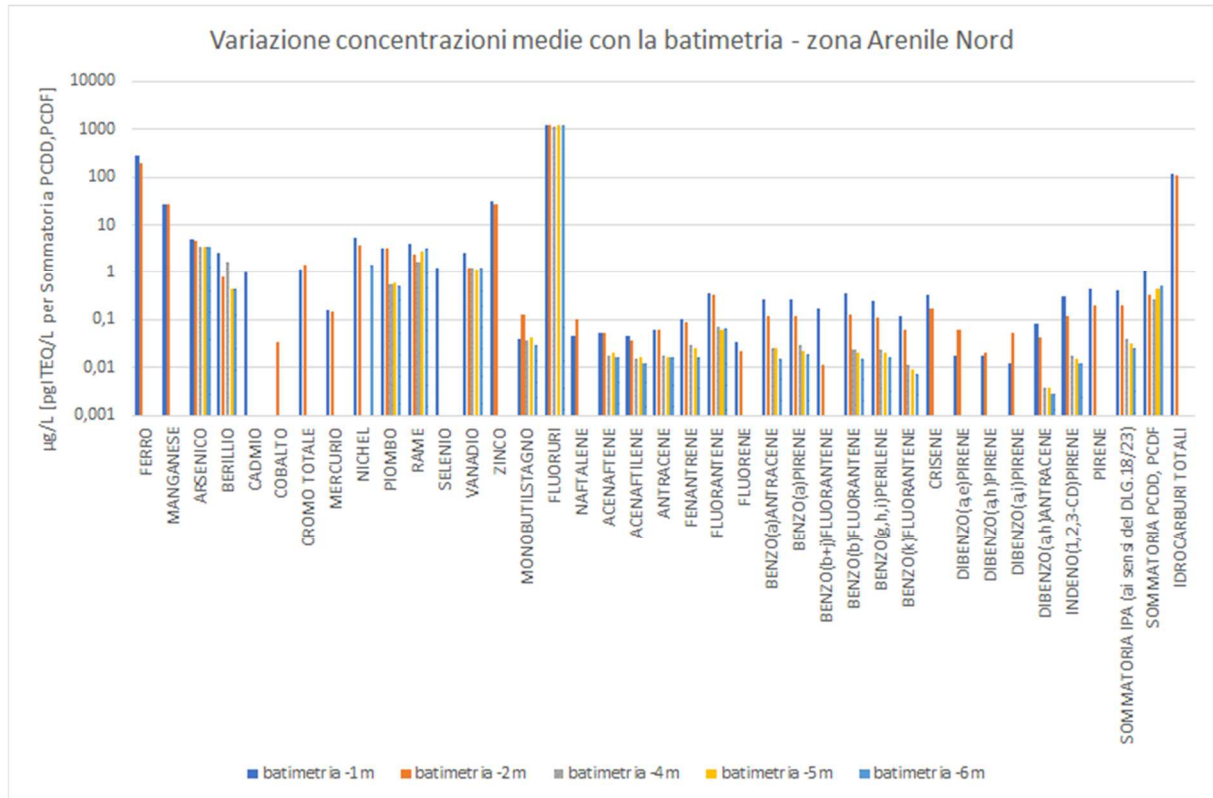


Figura 8.7: Concentrazioni medie misurate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m – Zona Arenile Nord

¹⁷ Sono rappresentati esclusivamente i parametri che hanno mostrato almeno una concentrazione superiore al limite di rilevabilità nei campioni prelevati alle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m. La barra mancante nel grafico indica che il parametro non è stato analizzato alla specifica batimetria oppure che, pur analizzato, il parametro ha mostrato concentrazioni sempre inferiori al limite di rilevabilità.

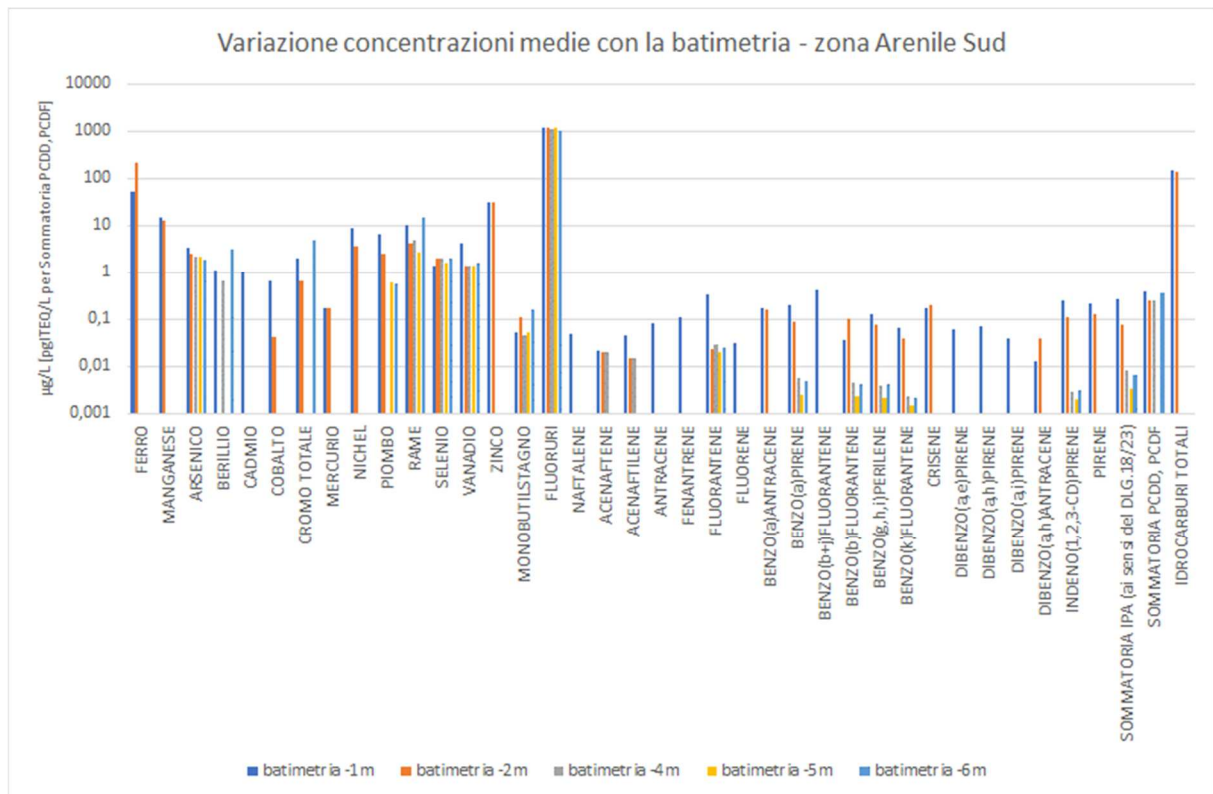


Figura 8.8: Concentrazioni medie misurate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza delle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m – Zona Arenile Sud

8.3 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE ED INQUINANTI INDICATORI

Le sorgenti di contaminazione per le quali è stata eseguita la valutazione del rischio sono state identificate considerando l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio delle acque di mare già oggetto di monitoraggio dal 2021 al 2023, ubicate alle batimetriche comprese tra -1 e -6 m.

Nello specifico sono state considerate n.5 "fasce" sorgenti parallele alla linea litoranea e definite dai transetti di monitoraggio ivi ubicati, pertanto:

- ✓ per la zona antistante l'Arenile Nord:
 - una prima sorgente (denominata "batimetrica -1 m") estesa dalla linea di costa alla batimetrica -1,5 m (comprendente le stazioni denominate 2.1, 3.1, 1-1, 2-1, CDN1 e CDN2)
 - una seconda sorgente (denominata "batimetrica -2 m") compresa tra le batimetriche -1,5 m e -3 m (comprendente le stazioni denominate 2.2, 3.2, 2-2 e 3-1)
 - una terza sorgente (denominata "batimetrica -4 m") compresa tra le batimetriche -3 m e -4,5 m (comprendente le stazioni denominate 1-2 e 2-3)
 - una quarta sorgente (denominata "batimetrica -5 m") compresa le batimetriche -4,5 m e -5,5 m (comprendente le stazioni denominate 1-3 e 2-4)
 - una quinta sorgente (denominata "batimetrica -6 m") compresa tra le batimetriche -5,5 m e -7 m (comprendente le stazioni denominate 1-4 e 2-5)

- ✓ per la zona antistante l'Arenile Sud:
 - una prima sorgente (denominata "batimetrica -1 m") estesa dalla linea di costa e la semidistanza tra le stazioni ubicate tra le batimetriche -1 e -2 m (comprendente le stazioni denominate 4.1, 4-1, 5-1, CDS1 e CDS2)
 - una seconda sorgente (denominata "batimetrica -2 m") compresa tra il limite di quella precedente e la semidistanza tra le stazioni ubicate tra le batimetriche -2 e -4 m (comprendente le stazioni denominate 4.2, 4-2 e 5-2)
 - una terza sorgente (denominata "batimetrica -4 m") compresa tra il limite di quella precedente e la semidistanza tra le stazioni ubicate tra le batimetriche -4 e -5 m (comprendente le stazioni denominate 4-3 e 5-3)
 - una quarta sorgente (denominata "batimetrica -5 m") compresa tra il limite di quella precedente e la semidistanza tra le stazioni ubicate tra le batimetriche -5 e -6 m (comprendente le stazioni denominate 4-4 e 5-4)
 - una quinta sorgente (denominata "batimetrica -6 m") compresa tra il limite di quella precedente e la batimetrica -7 m (comprendente le stazioni denominate 4-5 e 5-5)

Rispetto all'area di interesse riportata in Figura 8.1, nella presente valutazione del rischio è stata considerata una fascia aggiuntiva compresa tra le batimetriche -5 e -7 m.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle sorgenti, come lunghezza parallela alla direzione del vento è stata considerata l'intera estensione della fascia sorgente così come sopra definita, mentre come larghezza perpendicolare alla direzione del vento è stata considerata per tutte le fasce sorgenti la lunghezza della linea di costa in corrispondenza dei due arenili. Nello specifico, per l'arenile Nord è stata considerata la lunghezza compresa tra il collettore di scarico e la colmata, per l'arenile Sud è stata considerata la lunghezza compresa tra la scogliera a specchio e il confine sud dell'arenile stesso. Si noti che, in ogni caso, il parametro "larghezza perpendicolare alla direzione del vento" non influisce sui calcoli eseguiti in quanto compare sia a numeratore che a denominatore nelle equazioni utilizzate.

Le caratteristiche geometriche sono sintetizzate nella tabella seguente.

Tabella 8.3: Caratteristiche geometriche delle sorgenti considerata nei percorsi sanitari di inalazione dalle acque di mare

Zona	Sorgente	Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Zona antistante Arenile Nord	Batimetrica -1	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	61	massima distanza tra battigia arenile Nord e batimetrica -1,5 m
	Batimetrica -2	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	53	massima distanza tra batimetrica -1,5 m e batimetrica -3 m
	Batimetrica -4	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	69	massima distanza tra batimetrica -3 m e batimetrica -4,5 m
	Batimetrica -5	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	80	massima distanza tra batimetrica -4,5 m e batimetrica -5,5 m
	Batimetrica -6	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	106	massima distanza tra batimetrica -5,5 m e batimetrica -7 m
	Batimetrica -1 Batimetrica -2 Batimetrica -4 Batimetrica -5 Batimetrica -6	Estensione delle sorgenti perpendicolare alla direzione principale del vento	Lb	m	330	lunghezza battigia prospiciente arenile Nord

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Zona	Sorgente	Geometria sorgente	Simbolo	u.d.m.	Valore	Nota
Zona antistante Arenile Sud	Batimetrica -1	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	39	massima distanza tra battigia arenile Sud e batimetrica -1,5 m
	Batimetrica -2	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	61	massima distanza tra batimetrica -1,5 m e batimetrica -3 m
	Batimetrica -4	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	120	massima distanza tra batimetrica -3 m e batimetrica -4,5 m
	Batimetrica -5	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	158	massima distanza tra batimetrica -4,5 m e batimetrica -5,5 m
	Batimetrica -6	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'b	m	157	massima distanza tra batimetrica -5,5 m e batimetrica -7 m
	Batimetrica -1 Batimetrica -2 Batimetrica -4 Batimetrica -5 Batimetrica -6	Estensione delle sorgenti perpendicolare alla direzione principale del vento	Lb	m	530	lunghezza battigia prospiciente arenile Sud

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti sono illustrate nell'elaborato grafico **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-PLA-04-00**.

Le sostanze indice di contaminazione sono state identificate considerando tutti quei parametri che hanno mostrato almeno una concentrazione rilevabile nelle analisi realizzate dal 2021 al 2023 in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio ubicate all'interno delle sorgenti.

Le Concentrazioni rappresentative delle sostanze indice (C_{RS}) sono state poste cautelativamente pari alle concentrazioni massime rilevate nelle indagini del 2021-2023.

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzate le sostanze indice di interesse, le caratteristiche di volatilità e le C_{RS} considerate per le elaborazioni condotte.

Si precisa che:

- ✓ il parametro "Sommatoria IPA" non è stato implementato nell'AdR in quanto, essendo sommatorie di differenti sostanze, non presenta caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche univoche; in ogni caso è valutato sulla base delle elaborazioni condotte sulle singole sostanze che le compongono;
- ✓ poiché nelle indagini del 2021 e 2023 il parametro Benzo(b)fluorantene è stato determinato insieme al parametro Benzo(j)fluorantene, cautelativamente sono stati considerati entrambi i parametri come sostanze indice. La concentrazione rappresentativa di Benzo(b)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per i parametri Benzo(b)fluorantene e Benzo(b+j)fluorantene, mentre la concentrazione rappresentativa di Benzo(j)fluorantene è stata posta pari al valore massimo rilevato per Benzo(b+j)fluorantene;
- ✓ per gli Idrocarburi totali, non essendo disponibili speciazioni sito specifiche, sono state considerate tutte le classi MADEP alifatiche e aromatiche associando a ciascuna di essa l'intera C_{RS} degli idrocarburi totali. Nel calcolo del rischio totale è stata considerata la classe che ha fornito il maggior rischio per il percorso implementato;
- ✓ come descritto nei paragrafi relativi all'approccio metodologico (par. 3.2), il Mercurio è stato implementato come Metilmercurio nei percorsi di contatto dermico e ingestione e come Mercurio elementare nei percorsi di inalazione; le Diossine/Furani (PCDD/F) sono state implementate considerando il congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD; il Monobutilstagno è stato implementato considerando le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche del Tributilstagno.

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 --Agosto 2023

Tabella 8.4: Sostanze indice, caratteristiche di volatilità e concentrazioni rappresentative per le sorgenti delle acque di mare

Parametro	udm	volatilità	Zona antistante l'Arenile Nord					Zona antistante l'Arenile Sud				
			Batimetrica -1 m	Batimetrica -2 m	Batimetrica -4 m	Batimetrica -5 m	Batimetrica -6 m	Batimetrica -1 m	Batimetrica -2 m	Batimetrica -4 m	Batimetrica -5 m	Batimetrica -6 m
Ferro	mg/L	non volatile	1,66	0,674	nd	nd	nd	0,0815	1,01	nd	nd	nd
Manganese	mg/L	non volatile	0,143	0,0856	nd	nd	nd	0,0524	0,0563	nd	nd	nd
Antimonio	mg/L	non volatile	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00086
Arsenico	mg/L	non volatile	0,0124	0,0155	0,0044	0,0043	0,0044	0,0176	0,00455	0,00267	0,00274	0,00209
Berillio	mg/L	non volatile	0,00255	0,00112	0,00167	0,00046	0,00044	0,00241	nd	0,00065	nd	0,00322
Cadmio	mg/L	non volatile	0,00104	nd	nd	nd	nd	0,00103	nd	nd	nd	nd
Cobalto	mg/L	non volatile	nd	0,0000491	nd	nd	nd	0,00147	0,0000408	nd	nd	nd
Cromo totale	mg/L	non volatile	0,0071	0,0043	nd	nd	nd	0,00538	0,0011	nd	nd	0,005
Mercurio ^(a)	mg/L	volatile	0,000398	0,000218	nd	nd	nd	0,00021	0,000209	nd	nd	nd
Nichel	mg/L	non volatile	0,0175	0,0118	nd	nd	0,00147	0,0233	0,00817	nd	nd	nd
Piombo	mg/L	non volatile	0,0213	0,0172	0,00058	0,00067	0,00054	0,0605	0,00736	nd	0,0006	0,00058
Rame	mg/L	non volatile	0,0372	0,0205	0,00269	0,0068	0,0097	0,0897	0,0252	0,0183	0,005	0,089
Selenio	mg/L	non volatile	0,00167	nd	nd	nd	nd	0,00153	0,00219	0,00213	0,00189	0,00216
Vanadio	mg/L	non volatile	0,00686	0,00145	0,00128	0,00133	0,00162	0,0264	0,00169	0,00166	0,00171	0,00205
Zinco	mg/L	non volatile	0,151	0,105	nd	nd	nd	0,132	0,099	nd	nd	nd
Monobutilstagno ^(b)	mg/L	volatile	0,000046	0,000162	0,000059	0,000069	0,000035	0,00007	0,00014	0,000053	0,000082	0,000283
Fluoruri	mg/L	volatile	1,53	1,57	1,36	1,57	1,45	1,56	1,5	1,49	1,53	1,51
Etilbenzene	mg/L	volatile	0,0000711	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
m+p Xilene	mg/L	volatile	0,000446	nd	nd	nd	nd	0,0000478	nd	nd	nd	nd
o Xilene	mg/L	volatile	0,000186	nd	nd	nd	nd	0,0000189	nd	nd	nd	nd
Toluene	mg/L	volatile	0,0002	nd	nd	nd	nd	0,000132	nd	nd	nd	nd
Naftalene	mg/L	volatile	0,0000449	0,000101	nd	nd	nd	0,000066	nd	nd	nd	nd
Acenafte	mg/L	volatile	0,000103	0,00015	0,000026	0,000025	0,0000187	0,0000334	0,000022	0,000021	nd	nd
Acenafilene	mg/L	volatile	0,000131	0,000113	0,0000188	0,0000179	0,0000141	0,0000929	0,0000164	0,0000163	nd	nd
Antracene	mg/L	volatile	0,000136	0,000154	0,0000208	0,0000164	0,0000166	0,000159	nd	nd	nd	nd
Fenantrene	mg/L	volatile	0,000335	0,00031	0,000048	0,000033	0,000024	0,000279	nd	nd	nd	nd
Fluorantene	mg/L	non volatile	0,00125	0,0017	0,000109	0,000118	0,000075	0,00124	0,000027	0,000036	0,000029	0,00004
Fluorene	mg/L	volatile	0,0000588	0,000044	nd	nd	nd	0,0000502	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)antracene	mg/L	non volatile	0,00307	0,00261	0,000034	0,000038	0,000022	0,000784	0,000394	nd	nd	nd
Benzo(a)pirene	mg/L	non volatile	0,00316	0,00281	0,000039	0,000045	0,000028	0,000849	0,000408	0,0000074	0,0000035	0,0000093

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO E AMBIENTALE

Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01 - Agosto 2023

Parametro	udm	volatilità	Zona antistante l'Arenile Nord					Zona antistante l'Arenile Sud				
			Batimetrica -1 m	Batimetrica -2 m	Batimetrica -4 m	Batimetrica -5 m	Batimetrica -6 m	Batimetrica -1 m	Batimetrica -2 m	Batimetrica -4 m	Batimetrica -5 m	Batimetrica -6 m
Benzo(b+j)fluorantene ^(c)	mg/L	non volatile	0,000502	0,0000133	nd	nd	nd	0,000858	nd	nd	nd	nd
Benzo(b)fluorantene	mg/L	non volatile	0,00212	0,0019	0,000032	0,000039	0,000022	0,000141	0,000504	0,0000066	0,0000031	0,000007
Benzo(g,h,i)perilene	mg/L	non volatile	0,00271	0,00225	0,000032	0,000041	0,000024	0,000504	0,000233	0,0000058	0,0000029	0,0000078
Benzo(k)fluorantene	mg/L	non volatile	0,00126	0,00109	0,0000143	0,0000169	0,0000116	0,000231	0,000126	0,000003	0,0000017	0,0000038
Crisene	mg/L	non volatile	0,003	0,00221	nd	nd	nd	0,000566	0,000351	nd	nd	nd
Dibenzo(a,e)pirene	mg/L	non volatile	0,0000246	0,000064	nd	nd	nd	0,000137	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)pirene	mg/L	non volatile	0,00002	0,000021	nd	nd	nd	0,000156	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,i)pirene	mg/L	non volatile	0,0000128	0,000055	nd	nd	nd	0,0000529	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,l)pirene	mg/L	non volatile	0,00000815	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)antracene	mg/L	non volatile	0,000518	0,000468	0,0000048	0,000006	0,0000042	0,000034	0,0000415	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/L	non volatile	0,0027	0,00221	0,000024	0,00003	0,0000187	0,000967	0,00032	0,0000047	0,0000023	0,0000055
Pirene	mg/L	non volatile	0,00868	0,00568	nd	nd	nd	0,000887	0,000657	nd	nd	nd
Sommatoria PCDD, PCDF ^(d)	mg/L	non volatile	3,8E-09	5,9E-10	5,1E-10	6,7E-10	5,3E-10	5,4E-10	5,1E-10	5E-10	nd	5,1E-10
Idrocarburi totali ^(e)	mg/L	volatile	0,203	0,182	nd	nd	nd	0,246	0,218	nd	nd	nd

Note:
 nd parametro non determinato (concentrazione risultata sempre inferiore al limite di rilevabilità)
 (a) nei percorsi di contatto dermico e ingestione acque di mare è stato considerato il Metilmercurio, mentre nel percorso di inalazione è stato considerato il Mercurio elementare
 (b) nelle elaborazioni sono state considerate le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche del Tributilstagno
 (c) nelle elaborazioni è stato considerato il parametro Benzo(j)fluorantene
 (d) nelle elaborazioni è stato considerato il congenere di riferimento 2,3,7,8-TCDD
 (e) nelle elaborazioni sono state considerate tutte le classi MADEP

Le proprietà chimico-fisiche-tossicologiche dei composti di interesse sono state reperite dalla Banca Dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 ad eccezione dei parametri Fluoruri e Benzo(j)fluorantene per i quali sono state utilizzate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche proposte dal database RAIS¹¹. In **Allegato 13** sono riportate le caratteristiche chimico-fisiche-tossicologiche delle sostanze indice.

8.4 PERCORSI DI ESPOSIZIONE E RECETTORI

Gli scenari di esposizione previsti dalla proposta metodologica di aprile 2022 integrati da quelli aggiuntivi richiesti da ARPAC e ISPRA nel Parere congiunto prot. n. 062/2022 sono:

- ✓ contatto dermico e ingestione accidentale delle acque di mare durante l'evento di nuoto;
- ✓ inalazione di vapori per presenza di aerosol

In considerazione dell'obiettivo primario del PRARU che prevede il ripristino della balneabilità del sito è stato considerato un recettore on site ricreativo adulto e bambino.

Si precisa che nei calcoli ciascun recettore è stato considerato con una permanenza in ciascuna fascia sorgente antistante l'Arenile Nord o Sud pari all'intera durata dell'evento di nuoto in modo tale da calcolare il rischio massimo possibile associato alla esposizione in ciascuna fascia. Tale impostazione risulta adeguata alla possibilità di eseguire gli interventi progettuali in lotti funzionali.

Di seguito si descrivono le equazioni di calcolo utilizzate per la stima dell'esposizione secondo i percorsi suddetti e i parametri sito specifici di esposizione dei recettori individuati.

8.4.1 Percorso di contatto dermico

Il calcolo della portata effettiva di esposizione è stato eseguito considerando le seguenti equazioni riportate nel Manuale BP-RISC (par. 7.1.9 pag. 7-10) e che portano a determinare:

- ✓ la dose giornaliera per le sostanze non cancerogene (Chronic Average Daily Dose CADD), da confrontare con la Reference Dose (RfD) indicata nella Banca Dati ISS-INAIL del 2018;
- ✓ la dose giornaliera per le sostanze cancerogene (Lifetime Averaged Daily Dose LADD), da confrontare con lo Slope Factor (SF) indicato nella Banca Dati ISS-INAIL del 2018

$$CADD = \frac{C_{max} \times SA \times AAF \times PC \times ET \times EF}{BW \times 365 \frac{d}{yr}} \times 10^{-3} \frac{l}{cm^3}$$

$$LADD = \frac{C_{ave} \times SA \times AAF \times ET \times PC \times EF \times ED}{LT \times BW \times 365 \frac{d}{yr}} \times 10^{-3} \frac{l}{cm^3}$$

Con:

PC = coefficiente di permeabilità della pelle per contaminanti in acqua, posto pari al valore più cautelativo (massimo) tra quello proposto nel Database riportato nel Manuale BP-RISC (Table 11-1 pag. 11-13) e quello proposto dal database RAIS¹¹.

AAF = Fattore di assorbimento dermico con l'acqua, posto pari a 1 come indicato nel Database riportato nel Manuale BP-RISC (Table 11-1 pag. 11-13).

Per l'implementazione del percorso sono stati considerati i seguenti parametri di input di esposizione:

Tabella 8.5: Parametri di esposizione per contatto dermico con acqua di mare

Parametro	u.d.m.	Recettore Bambino	Recettore Adulto
SA = Superficie di pelle esposta	cm2	7930	20000
BW = Peso corporeo	kg	15	70
ET = durata di esposizione con l'acqua di mare	ore/giorno	2,6	2,6
EF = Frequenza di esposizione	giorni/anno	30-90-180	30-90-180
ED = tempo di esposizione	anni	6	24
LT = tempo di esposizione per sostanze cancerogene	anni	70	70
ADAF	anni	5	1

Rispetto ai parametri di default del Manuale ISPRA sono stati considerati:

- ✓ frequenza di esposizione pari a 30-90-180 giorni/anno (corrispondenti a 1, 3 e 6 mesi di fruizione delle aree marine);
- ✓ superficie di pelle esposta pari a 7930 cm² per i bambini e 20.000 cm² per gli adulti (valore pari a quello indicato nella proposta metodologica, non oggetto di prescrizioni da parte degli Enti di controllo).

Per il recettore bambino è stato considerato di applicare il Fattore di aggiustamento ADAF pari a 5 nel calcolo del rischio associato alle sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica.

8.4.2 Percorso di ingestione accidentale

Il calcolo della portata effettiva di esposizione (Chronic Average Daily Dose CADD per le sostanze non cancerogene e Lifetime Averaged Daily Dose LADD per le sostanze cancerogene) è stato eseguito considerando le seguenti equazioni riportate nel Manuale BP-RISC (par. 7.1.8 pag. 7-9)

$$CADD = \frac{C_{max} \times IR_{sw} \times ET \times AAF \times EF}{BW \times 365 \frac{d}{yr}} \times 10^{-3} \frac{l}{ml}$$

$$LADD = \frac{C_{ave} \times IR_{sw} \times ET \times AAF \times EF \times ED}{LT \times BW \times 365 \frac{d}{yr}} \times 10^{-3} \frac{l}{ml}$$

Con:

AAF = Fattore di assorbimento per esposizione orale, posto pari a 1 come indicato nel Database riportato nel Manuale BP-RISC (Table 11-1 pag. 11-13).

Per l'implementazione del percorso sono stati considerati i seguenti parametri di input di esposizione:

Tabella 8.6: Parametri di esposizione per ingestione di acqua di mare

Parametro	u.d.m.	Recettore Bambino	Recettore Adulto
IRsw = Tasso di ingestione accidentale di acque di mare	ml/ora	77	77
BW = Peso corporeo	kg	15	70
ET = durata di esposizione con l'acqua di mare	ore/giorno	2,6	2,6

Parametro	u.d.m.	Recettore Bambino	Recettore Adulto
EF = Frequenza di esposizione	giorni/anno	30-90-180	30-90-180
ED = tempo di esposizione	anni	6	24
LT = tempo di esposizione per sostanze cancerogene	anni	70	70
ADAF	anni	5	1

Anche in questo caso, si specifica che:

- ✓ frequenza di esposizione pari a 30-90-180 giorni/anno (corrispondenti a 1, 3 e 6 mesi di fruizione delle aree marine);
- ✓ il Fattore di aggiustamento ADAF pari a 5 per recettore bambino è stato applicato nel calcolo del rischio associato alle sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica.

Inoltre, è stato considerato un valore di 200 ml/giorno di acqua ingerita accidentalmente durante l'evento di nuoto (ovvero 77 ml/ora = 200 ml/giorno / 2,6 h/giorno) utilizzando il valore più cautelativo del range indicato nella proposta metodologica che prevedeva l'utilizzo sia di un valore di 50 ml/ora (ovvero 130 ml/giorno), sia la valutazione del criterio OMS di assunzione fortuita di acqua potenzialmente contaminata durante un evento di nuoto (200 ml/giorno).

8.4.3 Percorso di inalazione aerosol

Allo stato attuale non sono note equazioni che permettano di simulare il percorso richiesto da ISPRA di inalazione di vapori per presenza di aerosol; pertanto, per una valutazione di screening di tale percorso, sono state utilizzate le equazioni riportate nella pubblicazione "*Baseline Human Health Risk Assessment - Newark Bay Study Area*" (Glenn Springs Holdings, Inc., December 2019, Revision 3)¹⁸, che si riferiscono all'inalazione di vapori da acque superficiali, assumendo che il percorso di ingestione accidentale delle acque di mare durante l'evento di nuoto di cui al paragrafo precedente "comprenda" anche l'esposizione dalla parte liquida dispersa nel mezzo gassoso degli aerosol.

La pubblicazione suddetta prevede il calcolo del tasso di evaporazione dei contaminanti (COPC) in un box model simile a quello considerato nei percorsi di inalazione vapori outdoor dalla matrice acque sotterranee, tramite la seguente equazione:

$$QR = 0.285 \times U^{0.78} \times MW^{2/3} \times L_b \times W_b \times VP \times T^{-1}$$

Con:

U = velocità del vento (m/sec) = 3 m/s, valore minimo della velocità media annuale rilevata dalla stazione di Napoli della Rete Mareografica Nazionale.

MW = Peso Molecolare del contaminante (g/mol), riportato nella Banca dati ISS-INAIL del marzo 2018

Lb = lunghezza della sorgente parallela alla direzione del vento (m)

Wb = larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione del vento (m)

T = temperatura media annuale (K) = 291 K (18°C), pari al valore medio annuale registrato dalla stazione di Napoli della Rete Mareografica Nazionale (si veda l'**Allegato 3**).

VP = pressione parziale del contaminante in acqua (mm Hg). Il calcolo di VP è stato indicato nella pubblicazione come il valore risultante della moltiplicazione della pressione di saturazione del contaminante (mm Hg) per la frazione molare del contaminante e per il coefficiente di attività del contaminante. In mancanza di specifici database dei valori di coefficiente di attività dei contaminanti indice, il calcolo della pressione parziale è stato effettuato sulla base della Legge di Henry. La Legge di Henry stabilisce infatti che, a temperatura costante, la quantità di un determinato gas che si scioglie in un determinato volume di un dato liquido è direttamente proporzionale alla pressione parziale del gas in equilibrio con il liquido. La legge di Henry può anche essere formulata dicendo che la solubilità di un gas in un liquido è direttamente

¹⁸ scaricabile al seguente link: www.ournewarkbay.org/RiskAssessment.aspx

proporzionale alla pressione parziale del gas sovrastante il liquido. Tale legge è espressa matematicamente dall'espressione:

$$VP = K_H * C$$

dove

VP = pressione parziale del soluto nel gas sovrastante la soluzione [atm]

C = concentrazione del soluto [mol/L]

K_H = costante di Henry espressa in termini di pressione/concentrazione [atm L/mol]. Tale valore è stato ricavato moltiplicando la costante adimensionale riportata nella Banca dati ISS-INAIL del marzo 2018, per la costante universale dei gas R (0,0821 L*atm K⁻¹ mol⁻¹) e per la temperatura media annuale (291 K).

La concentrazione del contaminante in aria è stata quindi calcolata con la seguente equazione:

$$C_{air} = QR \times 1000 \times [(U \times W_b \times H_b)]^{-1}$$

Il calcolo della portata effettiva di esposizione e del rischio cancerogeno e non cancerogeno è stato eseguito considerando le equazioni classiche previste dal Manuale ISPRA per inalazione vapori:

$$R = \frac{C_{aria} * IUR * EF_g * EF * ED}{AT * 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}}}$$

$$HQ = \frac{C_{aria} * EF_g * EF * ED}{RfC * 10^3 * AT * 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}}}$$

I parametri di input utilizzati nel calcolo sono riportati di seguito:

Tabella 8.7: Parametri di esposizione per inalazione da acqua di mare

Parametro	u.d.m.	Recettore Bambino	Recettore Adulto
EFg = Frequenza giornaliera di esposizione (pari a durata di esposizione con l'acqua di mare)	h/giorno	2,6	2,6
EF = Frequenza di esposizione	giorni/anno	30-90-180	30-90-180
ED = tempo di esposizione	anni	6	24
ATnc = tempo di esposizione per sostanze NON cancerogene	anni	6	24
ATc = tempo di esposizione per sostanze cancerogene	anni	70	70
ADAF	anni	5	1

8.5 RISULTATI DELLA VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL RISCHIO

Le elaborazioni sono state eseguite tramite specifici fogli di calcolo excel considerando le equazioni descritte nei precedenti paragrafi.

Nelle Tabelle riportate in **Allegato 14** sono sintetizzati tutti i risultati delle valutazioni di rischio condotte. In particolare, per ogni sorgente sono riepilogati:

- i dati relativi alle caratteristiche delle sorgenti e cioè:
 - ✓ i contaminanti (COC) considerati,

- ✓ la concentrazione rappresentativa della sorgente (C_{RS}) e le sue modalità di valutazione,
2. i risultati dell'AdR sanitaria svolta in modalità diretta e cioè i rischi sanitari tossici (HI) e cancerogeni (R) associati alla concentrazione rappresentativa della sorgente C_{RS} .

8.5.1 Zona antistante l'Arenile Nord

Per quanto riguarda la zona antistante l'Arenile Nord i risultati dei calcoli indicano:

- ✓ il percorso di inalazione mostra valori accettabili di rischio tossico ($HI < 1$) e/o cancerogeno ($R < 10\text{-}6/10\text{-}5$) per il possibile fruitore dell'area per tutte le sorgenti di analisi e tutte le esposizioni previste (30, 90 e 180 giorni/anno).
- ✓ il percorso di contatto dermico mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.

In tali sorgenti, il superamento dei limiti di accettabilità considerando una esposizione di 30 giorni/anno è rilevato per lo più a carico dei parametri della famiglia degli IPA Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b+j)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene e per i parametri Diossine/Furani e Idrocarburi totali; ad essi si aggiungono anche l'Arsenico e il Benzo(k)fluorantene considerando una esposizione di 90 giorni/anno e anche il Crisene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1m) considerando una esposizione di 180 giorni/anno.

Nelle sorgenti ubicate alle batimetriche -4 m, -5 m e -6 m si osservano eccedenze del limite di accettabilità per Benzo(a)pirene e Diossine/Furani considerando una esposizione di 30 giorni/anno a cui si aggiungono Benzo(a)antracene, Benzo(b)fluorantene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene e Arsenico considerando esposizioni più prolungate (90 e 180 giorni all'anno).

Come mostrato in Figura 8.5, tutti i policiclici aromatici suddetti, ad eccezione di Benzo(b+j)fluorantene, hanno mostrato le concentrazioni mediamente più elevate nei campioni profondi e disturbati; pertanto, si ritiene che l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

In merito al parametro Diossine/Furani si rammenta che il rischio calcolato è relativo al congenere più tossico 2,3,7,8-TCDD a cui è stata attribuita una concentrazione pari alla concentrazione massima dell'intera Sommatoria PCDD, PCDF (espressa come Equivalente di tossicità I-TEQ). Come evidente dai risultati delle analisi eseguite per i singoli congeneri costituenti la Sommatoria PCDD, PCDF (si veda l'**Allegato 12**), il 2,3,7,8-TCDD è risultato sempre inferiore al limite di rilevabilità del metodo di analisi. Pertanto, è ragionevole ritenere che il rischio calcolato non sia rappresentativo della reale esposizione del recettore a tale contaminante.

In riferimento al parametro Idrocarburi totali, il rischio evidenziato dai calcoli è stato determinato considerando tutte le classi MADEP a cui è stata associata l'intera concentrazione massima rilevata per gli Idrocarburi totali stessi. In particolare, la classe di idrocarburi pesanti Alifatici C13-C18 è quella che ha mostrato il maggior rischio per contatto dermico. Eventuali speciazioni sito specifiche potranno verificare i calcoli eseguiti e, in ogni caso, data le caratteristiche chimico-fisiche di tale classe (alto peso molecolare, bassa solubilità, alto Coefficiente di ripartizione carbonio-acqua Koc), si ritiene che, analogamente agli IPA, l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

Si evidenzia inoltre come le C_{RS} degli Idrocarburi totali, della Sommatoria PCDD, PCDF e del Crisene siano inferiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) delle acque sotterranee previste dalla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06 (nello specifico pari a 0,35 mg/l per Idrocarburi totali, 4*10⁻⁹ mg/l I-TEQ per la Sommatoria PCDD, PCDF e 0,005 mg/l per il Crisene). Come specificato nell'Allegato 1 alla Parte IV - Titolo V dello stesso D.Lgs. 152/06, le CSC sono considerabili come valori che garantiscono il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo, onde consentire tutti i suoi usi potenziali. Ragionevolmente, quindi, si ritiene non realistica la potenziale criticità associata a tali composti, considerando scarsamente sostenibile l'applicazione di un ipotetico intervento che riduca le concentrazioni a valori inferiori rispetto ai limiti che,

nelle acque sotterranee, non determinerebbero la necessità di bonifica e, anzi, consentirebbero tutti gli usi potenziali.

Considerazioni analoghe a quelle sopra riportate possono essere espresse anche per il parametro Arsenico che è risultato sempre inferiore al valore di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio, pari a 0,38 mg/l.

- ✓ il percorso di ingestione durante l'evento di nuoto, analogamente al contatto dermico, mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.

Il superamento dei limiti di accettabilità considerando una esposizione di 30 è rilevato unicamente per Benzo(a)pirene e Arsenico; ad essi si aggiunge anche Dibenzo(a,i)pirene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -2m) considerando una esposizione di 90 giorni/anno e anche Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,h)antracene e Benzo(a)antracene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1m), considerando una esposizione di 180 giorni/anno.

Confrontando tali risultati con la valutazione di screening di qualità delle acque (vedi par. 8.2) si può osservare che è risultata confermata la criticità emersa per Benzo(a)pirene a cui si aggiungono altri parametri della famiglia degli IPA e Arsenico.

Analogamente a quanto già indicato in merito al percorso di contatto dermico, anche per il percorso di ingestione accidentale si ritiene che l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione degli IPA presenti mediamente in concentrazione più elevata nei campioni profondi e disturbati e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

In merito all'Arsenico, avendo mostrato concentrazioni sempre inferiori al valore di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio, pari a 0,38 mg/l, ragionevolmente, si ritiene non realistica la potenziale criticità calcolata per tale analita per il percorso di ingestione, considerando scarsamente sostenibile l'applicazione di un ipotetico intervento che riduca le concentrazioni a valori inferiori rispetto ai limiti di fondo naturale che, nelle acque sotterranee, non determinerebbero la necessità di bonifica.

8.5.2 Zona antistante l'Arenile Sud

Per quanto riguarda la zona antistante l'Arenile Sud i risultati dei calcoli indicano una situazione simile alla zona antistante l'Arenile Nord:

- ✓ il percorso di inalazione mostra valori accettabili di rischio tossico ($HI < 1$) e/o cancerogeno ($R < 10^{-6}/10^{-5}$) per il possibile fruitore dell'area per tutte le sorgenti di analisi e tutte le esposizioni previste (30, 90 e 180 giorni/anno).
- ✓ il percorso di contatto dermico mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.

In tali sorgenti, il superamento dei limiti di accettabilità considerando una esposizione di 30 giorni/anno è rilevato per Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b+j)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene, Diossine/Furani e Idrocarburi totali; ad essi si aggiungono anche l'Arsenico considerando una esposizione di 90 giorni/anno e anche il Benzo(k)fluorantene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1m) considerando una esposizione di 180 giorni/anno.

Nelle sorgenti ubicate alle batimetriche -4 m, -5 m e -6 m si osservano eccedenze del limite di accettabilità per Diossine/Furani considerando una esposizione di 30 giorni/anno a cui si aggiunge il Benzo(a)pirene considerando esposizioni più prolungate (90 e 180 giorni all'anno).

Come mostrato in Figura 8.6, tutti i policiclici aromatici suddetti, ad eccezione di Dibenzo(a,h)antracene, hanno mostrato le concentrazioni mediamente più elevate nei campioni profondi e disturbati; pertanto, si ritiene che l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

In merito al parametro Diossine/Furani il rischio calcolato è relativo al congenere più tossico 2,3,7,8-TCDD a cui è stata attribuita una concentrazione pari alla concentrazione massima dell'intera Sommatoria PCDD,

PCDF (espressa come Equivalente di tossicità I-TEQ). Poiché analisi eseguite per i singoli congeneri costituenti la Sommatoria PCDD, PCDF (si veda l'**Allegato 12**) il 2,3,7,8-TCDD è risultato sempre inferiore al limite di rilevanza del metodo di analisi, è ragionevole ritenere che il rischio calcolato non sia rappresentativo della reale esposizione del recettore a tale contaminante.

Il rischio evidenziato per gli Idrocarburi totali nelle sorgenti ubicate alle batimetriche -1m e -2 m è stato determinato dall'aver considerato tutte le classi MADEP con la medesima concentrazione rappresentativa posta pari alla concentrazione massima degli Idrocarburi totali stessi. In particolare, la classe di idrocarburi pesanti Alifatici C13-C18 è quella che ha mostrato il maggior rischio per contatto dermico. Eventuali speciazioni sito specifiche potranno verificare i calcoli eseguiti e, in ogni caso, data le caratteristiche chimico-fisiche di tale classe (alto peso molecolare, bassa solubilità, alto Coefficiente di ripartizione carbonio-acqua Koc), si ritiene che, analogamente agli IPA, l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

Analogamente al quanto sottolineato per la zona antistante l'Arenile Nord, si evidenzia come le C_{RS} degli Idrocarburi totali, della Sommatoria PCDD, PCDF e dell'Arsenico siano inferiori alle CSC delle acque sotterranee previste dalla Tabella 2 del D.Lgs. 152/06 (nello specifico pari a 0,35 mg/l per Idrocarburi totali, 4*10⁻⁹ mg/l I-TEQ per la Sommatoria PCDD, PCDF) e al valore di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio per l'Arsenico, pari a 0,38 mg/l. Ragionevolmente, quindi, si ritiene non realistica la potenziale criticità associata a tali composti, considerando scarsamente sostenibile l'applicazione di un ipotetico intervento che riduca le concentrazioni a valori inferiori rispetto ai limiti che, nelle acque sotterranee, non determinerebbero la necessità di bonifica e, anzi, consentirebbero tutti gli usi potenziali.

- ✓ il percorso di ingestione durante l'evento di nuoto, analogamente al contatto dermico, mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.

Il superamento dei limiti di accettabilità considerando una esposizione di 30 è rilevato unicamente per Arsenico e Dibenzo(a,h)pirene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1 m); ad essi si aggiunge anche Benzo(a)pirene e Dibenzo(a,i)pirene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1m) considerando una esposizione di 90 giorni/anno e anche Benzo(b+j)fluorantene (unicamente nella sorgente ubicata alla batimetrica -1m), considerando una esposizione di 180 giorni/anno.

Confrontando tali risultati con la valutazione di screening di qualità delle acque (vedi par. 8.2) si può osservare che è risultata confermata la criticità emersa per Benzo(a)pirene a cui si aggiungono altri parametri della famiglia degli IPA e Arsenico, mentre il Piombo presenta un rischio da ingestione accettabile, pur avendo mostrato un superamento limiti di riferimento (limiti del D.lgs.18 del 23-02-2023 moltiplicati per 10) nel campione di fondale disturbato (FD) prelevato dalla stazione CDS2.

Analogamente a quanto già indicato in merito al percorso di contatto dermico, anche per il percorso di ingestione accidentale si ritiene che l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre in maniera significativa la concentrazione degli IPA presenti mediamente in concentrazione più elevata nei campioni profondi e disturbati e, quindi, il rischio associato a tali sostanze.

In merito all'Arsenico, avendo mostrato concentrazioni sempre inferiori al valore di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio, pari a 0,38 mg/l, ragionevolmente, si ritiene non realistica la potenziale criticità calcolata per tale analita secondo il percorso di ingestione, considerando scarsamente sostenibile l'applicazione di un ipotetico intervento che riduca le concentrazioni a valori inferiori rispetto ai limiti di fondo naturale che, nelle acque sotterranee, non determinerebbero la necessità di bonifica.

8.6 MONITORAGGIO DELLE ACQUE DI MARE ONSHORE

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, il risanamento delle acque di mare onshore sarà una conseguenza degli effetti degli interventi eseguiti sulle altre matrici ambientali (sedimenti emersi e sommersi) e dipenderà in maniera sostanziale anche dell'interruzione delle altre fonti di contaminazione presenti nel sito (condotte a mare di scarichi civili, effetti delle attività portuali e del passaggio di imbarcazioni ecc.).

Per valutare nel tempo gli effetti del risanamento delle altre matrici sulle acque marine e la possibilità di ripristinare la balneabilità secondo la normativa di settore sarà attuato un piano di monitoraggio da eseguirsi tramite campionamenti periodici, con frequenza e durata complessiva da stabilire con gli Enti competenti. Indicativamente si prevede l'esecuzione di n.2 campagne semestrali nel primo anno post-intervento e n.1 campagna nell'anno successivo.

Il monitoraggio sarà eseguito secondo la seguente procedura:

- ✓ prelievo di campioni di acqua di mare da stazioni di campionamento da concordare preventivamente con gli Enti. Indicativamente si utilizzeranno le medesime stazioni di campionamento oggetto di monitoraggio nel 2023 con l'integrazione di alcuni punti prospicienti la colmata. I prelievi riguarderanno sia campioni "INDISTURBATI", prelevati a pelo d'acqua, non oltre i 30 cm di profondità, sia campioni "DISTURBATI", prelevati a circa 30 cm dal fondo previa risospensione dei sedimenti ottenuta con mezzi meccanici, in modo da simulare situazioni particolari che si possono creare in mare a seguito di moto ondoso, mare mosso e calpestio del fondo marino ad opera dei bagnanti.

I campioni saranno prelevati in duplice aliquota (una per le analisi di parte, una per le analisi eseguite in contraddittorio dal Laboratorio dell'Ente di controllo);

- ✓ realizzazione delle analisi chimiche di laboratorio secondo il set analitico che sarà concordato preventivamente con gli Enti di controllo. Indicativamente si prevede di adottare il medesimo set analitico del monitoraggio 2023, eventualmente integrato con i parametri specifici legati al monitoraggio delle acque marino costiere finalizzato a verificarne lo stato chimico, in ottemperanza al D.Lgs 152/06 e s.m.i. (considerando gli Standard di qualità ambientale SQA nella colonna d'acqua di Tab 1/A e Tab1/B del D.Lgs. 172/2015) e a quello condotto ai sensi del D.lgs. n. 116/08 e del DM 30/3/2010 e s.m.i., per la sorveglianza della qualità delle acque di balneazione (essenzialmente legato alla contaminazione microbiologica di Enterococchi intestinali ed Escherichia coli);
- ✓ Valutazione dell'evoluzione dei dati di monitoraggio nel tempo per verificare l'effetto degli interventi di risanamento attuati sugli arenili e sedimenti. Tale valutazione potrebbe comprendere in ordine di priorità:
 1. valutazione del trend delle concentrazioni misurate nel tempo;
 2. valutazione della balneabilità sulla base dei dati acquisiti ai sensi del D.lgs. n. 116/08 e del DM 30/3/2010 e s.m.i. (essenzialmente legato alla contaminazione microbiologica di Enterococchi intestinali e Escherichia coli)
 3. valutazione dello stato chimico sulla base dei dati acquisiti ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i.;
 4. screening di qualità delle acque di mare seguendo l'approccio illustrato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel documento "Guidelines for safe recreational water environments - Volume 1 Coastal and Fresh Waters" - (Geneve 2003), confrontando le concentrazioni degli analiti acquisite nel tempo sia dal Laboratorio di parte, sia dal Laboratorio dell'Ente di controllo, con i valori limite proposti nel D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 maggiorati di 10 volte
 5. implementazione di un'analisi di rischio in modalità diretta secondo la procedura, le equazioni, i parametri di esposizione e le assunzioni già indicate nei paragrafi precedenti, considerando le concentrazioni degli analiti acquisite nel tempo sia dal Laboratorio di parte, sia dal Laboratorio dell'Ente di controllo.

Inoltre, la valutazione comprenderà anche un'analisi dell'eventuale effetto/influenza delle fonti di contaminazione primaria esistenti in sito.

- ✓ Il monitoraggio si protrarrà sino a verificare la possibile balneabilità ai sensi del DM 30/3/2010 e s.m.i. e/o sino a calcolare un rischio sanitario accettabile. Successivamente potrà essere interrotto o diradato in termini di frequenza, per verificare ulteriormente nel tempo il mantenimento dei risultati precedenti.

Nel caso in cui il rischio calcolato risulti non accettabile sarà valutato nel dettaglio il/i percorso/i di esposizione e la/le sostanza/e indice responsabili della identificazione di tale risultato. Sarà anche valutato l'eventuale effetto di fonti di contaminazione primaria ancora oggi presenti nel sito e che non sono oggetto dello specifico intervento di bonifica degli arenili e sedimenti marini (quali ad esempio scarichi civili, effetti legati alle attività portuali e al passaggio di imbarcazioni ecc.). Sulla base di tali valutazioni, unicamente nel caso di esclusione della presenza di fonti esterne responsabili della contaminazione residua, saranno eventualmente implementati interventi integrativi sui fondali per rimuovere le passività residue. A valle di tali interventi integrativi saranno effettuate nuove campagne di monitoraggio e saranno ripetute le valutazioni sopra elencate.

9 CONCLUSIONI

Il presente documento è stato preparato 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 nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)"* e costituisce, per gli ambiti di intervento "MACROAREA 1 – ARENILI EMERSI NORD E SUD E SEDIMENTI SOTTOSTANTI LA COLMATA" e "MACROAREA 2 – SEDIMENTI ONSHORE FINO ALLA PROFONDITÀ DI CHIUSURA", l'Analisi di Rischio sanitario ed ambientale associato allo stato qualitativo dei sedimenti emersi e sommersi residuali a valle dell'esecuzione delle attività di risanamento previste per il sito in oggetto - mediante l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili - al fine di garantire la piena fruibilità degli arenili e la balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito.

9.1 SCENARIO ALLA BASE DELL'ANALISI DI RISCHIO E ASSUNZIONI

Gli interventi di risanamento progettati per il ripristino della balneabilità del sito sono il frutto di attività e studi multidisciplinari che hanno permesso di affrontare la problematica secondo un approccio unitario, valutando nel dettaglio l'interconnessione tra sedimenti emersi e sommersi al fine di identificare soluzioni efficaci e durature nel tempo. Infatti, considerando la natura "dinamica" dei sedimenti (emersi e sommersi) è stata sviluppata una progettazione integrata che tenesse conto della loro evoluzione nel tempo e permettesse di agire correttamente su tutti i comparti che le caratterizzano, ovvero sul comparto "dinamico" e sul comparto "statico", intendendo con comparto "dinamico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che può essere soggetta, nel corso della sua vita utile, a movimentazione a seguito dell'azione del moto ondoso e con comparto "statico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che, nel corso della relativa vita utile, non subisce movimentazioni anche nelle condizioni di moto ondoso più gravose. Il comparto "dinamico" è stato individuato attraverso l'applicazione di apposita modellistica numerica monodimensionale (cfr. elaborato **2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-11-01**) valutando la modifica del profilo trasversale di sabbia, principalmente per effetto del trasporto cross-shore, in diverse condizioni di mareggiata e di livello del mare. In particolare, si è fatto riferimento a mareggiate relative a tempi di ritorno pari a 1, 5, 10, 50 e 100 anni, anche tra loro combinate, e a condizioni di livello variabili, comprese tra il livello minimo di marea astronomica ed il livello estremo, incrementato del sovrizzo previsto a causa dei cambiamenti climatici.

Lo studio dei fenomeni evolutivi e dinamici dei sedimenti ha permesso di identificare sia un profilo della linea di riva (LdR) progettuale stabile e duraturo nel tempo, sia le opere di confinamento necessarie alla sua stabilità e durabilità, sia gli spessori del volume dinamico dei sedimenti nella configurazione di progetto, definendo quindi i limiti tridimensionali (in termini di perimetro e spessore) complessivi di intervento, aggiornati rispetto a quanto preventivato preliminarmente nel PFTE. L'intervento di creazione della nuova LdR prevede pertanto attività di rimozione dei sedimenti emersi e sommersi appartenenti al volume dinamico e il ripascimento con materiale conforme alle CSC previste dall'All.5, Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 1 Colonna A per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" o ai Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli e con caratteristiche granulometriche che massimizzino la stabilità della costa. Lo spessore di ripascimento è stato previsto pari ad almeno 1 m in corrispondenza dell'intera estensione della spiaggia emersa nella configurazione progettuale.

Per il materiale esistente, non oggetto delle opere di realizzazione della LdR, è stata condotta l'Analisi di Rischio (AdR) per verificare l'accettabilità del rischio sanitario per i futuri fruitori del sito e per valutare l'interconnessione con le acque di mare antistanti alla nuova LdR.

9.2 METODOLOGIA APPLICATA

La metodica adottata per la valutazione del rischio sanitario è la Risk Based Corrective Action (RBCA), definita dall'American Society for Testing and Materials (ASTM), considerando, in particolare, un'analisi di secondo livello, eseguita cioè adottando valori sito-specifici e, qualora non disponibili, valori conservativi ricavati dalla bibliografia scientifica nazionale ed internazionale, scelti secondo il criterio di un ragionevole margine cautelativo (reasonable worst case).

Per le elaborazioni numeriche è stato utilizzato sia il software Risk-net versione 3.1.1 Pro, sia specifici fogli di calcolo excel per la simulazione dei percorsi non contemplati da software suddetto.

Si precisa che, per il sito in esame, gli Enti di controllo hanno specificato che la modalità di AdR indiretta o inversa (*backward mode*), che permette di calcolare il valore massimo ammissibile di concentrazione di un composto, compatibile con il livello di rischio tollerabile per il recettore, non viene ritenuta necessaria, pertanto, nell'ambito del

progetto di intervento, **l'AdR è stata condotta esclusivamente in modalità diretta e nello scenario post-intervento.**

Analogamente a quanto eseguito nelle AdR redatte da ISS nel 2006 e nel 2016, sono stati calcolati i rischi sanitari (ovvero legati al recettore umano) associati alle concentrazioni rappresentative delle sorgenti individuate nei sedimenti non movimentati nella realizzazione della nuova LdR. Inoltre, in coerenza con quanto richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, sono stati valutati anche i rischi ambientali tramite l'implementazione del trasporto della contaminazione in matrice acquosa verso l'area marina antistante (recettore ambientale), ipotizzando una migrazione "obbligata" del contaminante dagli arenili al mare (trascurando cioè gli effetti del sistema di MISE attualmente presente – diaframmi e trincee drenanti ubicati negli arenili, barriera idraulica ubicata in corrispondenza della colmata -), considerando anche gli esiti dei test di cessione eseguiti.

Poiché la progettazione della nuova LdR ha previsto che il **volume dinamico** – afferente sia alla porzione di sedimenti emersi che a quella di sedimenti sommersi fino alla batimetrica di – 2 m - sia **costituito interamente da materiale di ripascimento conforme** alle CSC di Tabella 1 Colonna A del D.Lgs.152/06 o ai Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli, il **rischio sanitario e ambientale associato a tale comparto risulta automaticamente accettabile**, in coerenza con quanto indicato nella Nota del MATTM Prot. 0029706/TRI del 18/11/2014 ed errata corregge Prot. 0002277/STA del 19/02/2015 a proposito degli obiettivi di bonifica "*si ritiene accettabile l'adozione da parte dei proponenti delle CSC come obiettivi di bonifica per alcune sostanze, con contestuale applicazione dell'analisi del rischio-sito specifica per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC*". Il volume dinamico, pertanto, non contribuisce al calcolo del rischio nello scenario futuro.

L'AdR è stata quindi applicata unicamente al volume preesistente alla realizzazione della LdR e sottostante la zona di volume dinamico e di ripascimento e, gli unici percorsi di esposizione/migrazione attivi per tali volumi, sono quelli di inalazione vapori e lisciviazione/trasporto dei contaminanti verso mare.

9.3 ELABORAZIONI CONDOTTE SUI SEDIMENTI DEGLI ARENILI NORD E SUD E SOTTOSTANTI LA COLMATA

Per quanto riguarda l'AdR condotta per i **sedimenti degli Arenili Nord e Sud e sottostanti la colmata**:

- ✓ le sorgenti di contaminazione sono state identificate nei comparti ambientali in cui sono stati rinvenuti superamenti dei limiti di riferimento, distinguendo:
 - campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (> 0 m slm);
 - campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm).

Poiché le elaborazioni sono state condotte nello scenario futuro, a valle della creazione della nuova spiaggia, è stato considerato lo spessore minimo di 1 m di ripascimento rispetto alla quota attuale del piano campagna e, pertanto, la sorgente è stata cautelativamente posta ad una profondità incrementata di 1 m rispetto al piano campagna attuale;

- ✓ le sostanze indice di contaminazione sono state identificate considerando tutti quei parametri che hanno mostrato almeno un superamento dei limiti di riferimento nelle analisi realizzate in corrispondenza dei punti di indagine ubicati all'interno della sorgente insatura e satura. Le concentrazioni rappresentative delle sostanze indice sono state poste cautelativamente pari alle concentrazioni massime rilevate nei campioni insaturi e saturi. In maniera estremamente cautelativa non è stato considerato l'intervento di scavo previsto per la creazione della LdR progettuale e, pertanto, nella definizione delle sostanze indice e delle concentrazioni rappresentative sono stati utilizzati gli esiti della totalità dei campioni prelevati nell'area sorgente;
- ✓ è stato considerato un recettore on site ricreativo adulto e bambino, in considerazione dell'obiettivo primario del PRARU che prevede il ripristino della balneabilità del sito, per il quale è stato implementato il percorso di esposizione sanitaria di inalazione vapori outdoor. Inoltre, come richiesto nel Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM è stato attivato anche il percorso di lisciviazione dei contaminanti presenti nell'arenile e il trasporto verso mare, considerando quest'ultimo come recettore ambientale.

Gli esiti delle **elaborazioni sanitarie** hanno mostrato per tutte le aree oggetto di analisi (Arenile Nord, Arenile Sud e sedimenti sottostanti la colmata) il **rispetto dei valori di accettabilità** per il rischio tossico (HI = 1) e/o cancerogeno (R = 10-6/10-5) per il possibile fruitore considerando una frequenza di esposizione compresa tra 30 e 180 giorni all'anno (1-6 mesi).

Per quanto riguarda invece il **percorso ambientale**, dalle elaborazioni condotte **non risulta possibile stabilire la presenza di un chiaro percorso di contaminazione dai sedimenti alle acque di mare o viceversa**. Infatti, anche all'interno della medesima famiglia (inorganici, idrocarburi totali, IPA) vi sono parametri che mostrano comportamento opposto con concentrazioni nelle acque di mare talora superiori o talora inferiori rispetto a quelle derivanti dai test di cessione eseguiti.

Tali osservazioni, pur portando ad evidenziare degli elementi di incertezza nella interazione tra contaminazione dei sedimenti e acque di mare, permettono di escludere ragionevolmente la presenza di un percorso univoco di cross-contamination verso il mare e di supportare quindi la correttezza della scelta di elaborare una progettazione unitaria per il risanamento integrato dell'intero sistema dinamico dei sedimenti emersi e sommersi. Si ritiene infatti che tale progettazione integrata possa risultare efficace nella riduzione delle concentrazioni complessive dei contaminanti nella zona di interazione tra mare e sedimenti, laddove vi è un continuo rimescolamento tra fase solida e liquida che porta, ragionevolmente, alla mobilitazione dei contaminanti in maniera più significativa rispetto alla lisciviazione a seguito degli apporti meteorici.

9.4 ELABORAZIONI CONDOTTE SULLE ACQUE DI MARE

L'**AdR per le acque di mare** dovrebbe essere eseguita nello scenario post-intervento, tuttavia, non conoscendo la variazione della qualità delle acque nello scenario futuro a valle degli interventi di realizzazione della nuova LdR progettuale, nel presente documento è stata riportata una **valutazione indicativa eseguita sulla base dei dati attuali di concentrazione** misurate nelle acque di mare, illustrando il percorso metodologico e le assunzioni che saranno la base per la reale stima del rischio che potrà essere eseguita a seguito del monitoraggio che sarà sviluppato successivamente alla realizzazione del progetto.

In particolare, la valutazione del rischio condotta per **acque di mare** sulla base delle concentrazioni attuali è stata condotta considerando i seguenti scenari di esposizione, attivi per un recettore on site ricreativo adulto e bambino:

- ✓ contatto dermico e ingestione accidentale delle acque di mare durante l'evento di nuoto;
- ✓ inalazione di vapori per presenza di aerosol.

Le sorgenti di contaminazione per le quali è stata eseguita la valutazione del rischio sono state identificate considerando n.5 "fasce" parallele alla linea di costa antistante l'Arenile Nord e Sud e definite dai transetti di monitoraggio in cui sono stati effettuati i prelievi delle acque di mare alle batimetriche comprese tra -1 e -6 m slm. Quali sostanze indice sono stati considerati i parametri che hanno mostrato concentrazioni rilevabili in almeno una campagna di monitoraggio con concentrazioni pari ai valori massimi rilevati. Nei calcoli eseguiti ciascun recettore è stato considerato con una permanenza in ciascuna fascia sorgente pari all'intera durata dell'evento di nuoto in modo tale da calcolare il rischio massimo possibile associato alla esposizione in ciascuna fascia. Tale impostazione risulta adeguata alla possibilità di eseguire gli interventi progettuali in lotti funzionali.

I risultati dei calcoli condotti indicano che:

- ✓ il percorso di inalazione mostra valori accettabili di rischio tossico ($HI < 1$) e/o cancerogeno ($R < 10\text{-}6/10\text{-}5$) per il possibile fruitore dell'area per tutte le sorgenti di analisi e tutte le esposizioni previste (30, 90 e 180 giorni/anno).
- ✓ il percorso di contatto dermico mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.
- ✓ il percorso di ingestione durante l'evento di nuoto, analogamente al contatto dermico, mostra le maggiori criticità in prossimità della linea di riva, coerentemente con le concentrazioni riscontrate nelle stazioni di monitoraggio ubicate in corrispondenza della batimetrica -1 e -2 m.

Sia per il percorso di contatto dermico che per quello di ingestione accidentale, si ritiene che l'intervento di dragaggio e ripascimento con materiale conforme previsto dalla progettazione della futura LdR permetterà di ridurre la concentrazione dei parametri risultati critici nelle elaborazioni condotte (parametri della famiglia degli IPA, presenti in concentrazione più elevata nei campioni profondi e disturbati) - e, conseguentemente, il rischio associato a tali sostanze - a valori tali da permettere di ripristinare la balneabilità così come previsto anche nell'Ordinanza Sindacale n. 3 del 26/04/2022 - Individuazione acque di balneazione per la stagione balneare 2022 (si veda par. 1.1) nella quale è indicato che *"le aree marino costiere interdette con O.S. 1304/2006 possono essere riammesse alla balneazione solo a seguito del completamento delle operazioni di bonifica dei fondali"*.

9.5 PIANO DI MONITORAGGIO

Per valutare nel tempo gli effetti del risanamento dei fondali sulle acque marine e il permanere della condizione di balneabilità, sarà attuato un piano di monitoraggio da eseguirsi tramite campionamenti periodici, indicativamente semestralmente nel primo anno post-intervento (n.2 campagne) e annualmente nel secondo anno post-intervento (n.1 campagna). Il monitoraggio permetterà la valutazione dell'evoluzione delle concentrazioni nel tempo e, quindi, anche il mantenimento nel tempo della condizione di balneabilità ai sensi del D.lgs. n. 116/08 e del DM 30/3/2010 e s.m.i., la valutazione dello stato chimico delle acque marino costiere sulla base dei dati acquisiti ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i., la valutazione di screening di qualità delle acque di mare seguendo l'approccio dell'OMS, l'implementazione di un'analisi di rischio secondo le modalità descritte nel presente documento.

Nel caso in cui il rischio calcolato risulti non accettabile sarà valutato nel dettaglio il/i percorso/i di esposizione e la/le sostanza/e indice responsabili della identificazione di tale risultato. Sarà anche valutato l'eventuale effetto di fonti di contaminazione primaria ancora oggi presenti nel sito e che non sono oggetto dello specifico intervento di bonifica degli arenili e sedimenti marini (quali ad esempio scarichi civili, effetti legati alle attività portuali e al passaggio di imbarcazioni ecc.). Sulla base di tali valutazioni, unicamente nel caso di esclusione della presenza di fonti esterne responsabili della contaminazione residua, saranno eventualmente implementati interventi integrativi sui fondali per rimuovere le passività residue. A valle di tali interventi integrativi saranno effettuate nuove campagne di monitoraggio e saranno ripetute le valutazioni sopra descritte.

10 BIBLIOGRAFIA

Documenti di riferimento per la valutazione del rischio

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Nota del Prot. 0029706/TRI del 18/11/2014 ed errata corrige Prot. 0002277/STA del 19/02/2015

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) Appendice V dei Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati "Applicazione dell'Analisi di Rischio ai Punti Vendita carburante", Giugno 2009

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT), "Documento di riferimento per la determinazione e la valutazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06", Giugno 2008

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" rev2, Marzo 2008.

American Petroleum Institute "Migration of soil gas vapors to indoor air" (Johnson, Ettinger et al.), 2002.

American Society for Testing and Materials, (ASTM) "Emergency Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites," ASTM E-1739, Philadelphia, PA, 1995.

American Society for Testing and Materials, (ASTM) "Standard Guide for Risk-Based Corrective Action," ASTM E-2081, Philadelphia, PA, 2004.

American Society for Testing and Materials, (ASTM) "Assessment of Vapor Intrusion into Structures on Property Involved in Real Estate Transactions" ASTM E2600, 2008.

American Petroleum Institute "Identification of Critical Parameters for the Johnson Ettinger (1991) Vapor Intrusion Model", 2002.

Connor J. et al. "Soil Attenuation Model for Derivation of Risk-Based Soil Remediation Standards", Groundwater Services Inc., 1997.

Department of Toxic substances Control California Environmental Protection Agency, "Guidance for the Evaluation and mitigation of subsurface vapor intrusion to indoor air", California, 2004 (revised February 2005).

Domenico P. A. "An analytical model for multidimensional transport of a decaying contaminant species", Journal of Hydrogeology, 1987.

Groundwater Services, Inc. (GSI) "RBCA tool kit, Chemical Releases. Guidance Manual", 1998.

Massachusetts Department of Environmental Protection, Bureau of Waste Site Cleanup "Interim Final Petroleum Report: Development of Health-based Alternative to the Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) parameter", Boston, Agosto 1994.

Massachusetts Department of Environmental Protection, Bureau of Waste Site Cleanup "Updated Petroleum Hydrocarbon Fraction Toxicity Values for the VPH/EPH/APH Methodology", Boston, Novembre 2003.

Repubblica Italiana "D.Lgs. Governo n° 152 del 03/04/2006. "Norme in materia ambientale".

emanato da: Presidente della Repubblica e pubblicato/a su: Gazz. Uff. Suppl. Ordin. n° 88 del 14/04/2006", Roma, 2006.

RISC v.4 (Risk-Integrated Software for Clean-ups) "User's manual" Lynn Spence (Spence engineering), Terry Walden (BP Oil International), October 2001.

Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series "Volume 1. Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental media", Amherst, Massachusetts, 1998.

Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series "Volume 2. Composition of Petroleum Mixtures", Amherst, Massachusetts, 1998.

Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series "Volume 3. Selection of representative TPH fractions based on fate and transport consideration", Amherst, Massachusetts, 1997.

Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series "Volume 4. Development of fraction specific reference doses (RfDs) and reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)", Amherst, Massachusetts, 1997.

Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series "Volume 5. Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: implementing the working group approach", Amherst, Massachusetts, 1997.

UNICHIM "Manuale UNICHIM n. 196/1 – Suoli e falde contaminati – Analisi di Rischio sito-specifica. Criteri e parametri", 2002.

Unione Europea Direttiva CEE/CEEA/CE n° 548 del 27/06/1967 67/548/CEE: "Direttiva del Consiglio, del 27 Giugno 1967, concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose" e successivi aggiornamenti.

U.S.EPA "Guidance for Evaluating the Vapor Intrusion to Indoor Air Pathway from Groundwater and Soils (Subsurface Vapor Intrusion Guidance)", Draft - EPA/530/f/02/052, 2002.

U.S.EPA - Office of Emergency and Remedial Response "Risk Assessment. Guidance for Superfund. Volume I. Human health Evaluation Manual, Part A". Washington D.C., 1989.

U.S.EPA - Office of Solid Waste and Emergency Response "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) – Volume I. Part B Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goal", 1991.

U.S.EPA - Office of Solid Waste and Emergency Response "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) – Volume I. Human Health Evaluation Manual, Part C Risk Evaluation of Remedial Alternatives", 1991.

U.S.EPA - Office of Solid Waste and Emergency Response "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) – Volume I. Human Health Evaluation Manual, Part D Standardized Planning Reporting and Review of Superfund Risk Assessment", 1998.

U.S.EPA - Office of Solid Waste and Emergency Response "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) – Volume I. Human Health Evaluation Manual, Part E Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment", 2004"

U.S.EPA – Office of Solid Waste and Emergency Response "Quality Assurance Guidance for Conducting Brownfields Site Assessment, EPA/540/R98/038 (OSWER 9230.0-83P) ", Washington D.C., 1998.

U.S.EPA - Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) - Human Health Evaluation Manual - Supplemental Guidance "Standard Default Exposure Factors" - OSWER, PB91-921314, 1991.

U.S.EPA - Region 9 "User's Guide and Background Technical Document for US-EPA Region 9's Preliminary Remediation Goals (PRG)" Table - PRG Table 2004 Update - 2004.

U.S.EPA - Office of Emergency And Remedial Response – "User's Guide for Evaluating Subsurface Vapor Intrusion into Buildings", Washington D.C., 2003.

Siti Internet

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (ISPRA) <http://www.isprambiente.it/site/it-IT>

ISS/INAIL. Banca dati ISS-INAIL per AdR. <http://www.iss.it/iasa/?lang=1&tipo=40>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) <http://www.atsdr.cdc.gov>

Texas Commission on Environmental Quality TRRP Protective Concentration Levels <https://www.tceq.texas.gov/remediation/trrp/trrppcls.html>

Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies in Europe – Review of Decision Support Tools for Contaminated Land Management, and their use in Europe - www.clarinet.at/library/final_report_1102.pdf

Groundwater Service Inc. <http://www.gsi-net.com>

Provincia di Milano – Settore Bonifiche – Bonifiche Online – www.provincia.milano.it/ambiente/

Risk Assessment Information System http://risk.lsd.ornl.gov/tox/tox_values.shtml

U.S.EPA Integrated Risk Information System <http://www.epa.gov/iris/index.html>

U.S.EPA National Center of Environmental Assessment <http://cfpub.epa.gov/ncea>

U.S.EPA Soil Waste Emergency Response <http://www.epa.gov/oswer/index.htm>

Allegato 1

Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**

Al Commissario straordinario del
governo per la bonifica ambientale e
rigenerazione urbana dell'area di
rilevante interesse nazionale Bagnoli
Coroglio
commissariobagnoli@pec.governo.it

Ministero della Transizione Ecologica
Direzione generale uso sostenibile del
suolo e delle risorse idriche
USSRI@PEC.mite.gov.it

E p.c. ARPA Campania
direzionegenerale.arpac@pec.arpacampania.it

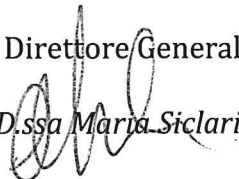
Oggetto: Tavolo tecnico “Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio” relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022.

Vs. Rif.: Prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM

In riscontro alla richiesta di codesto Commissario, formulata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022 convocato con nota pervenuta con prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM, si trasmette il contributo ISPRA, condiviso con ARPA Campania, relativo alla documentazione:

- Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare;
- Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona offshore della parte a mare;
- Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: “capping”;
- Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: “risanamento sedimenti marini”.

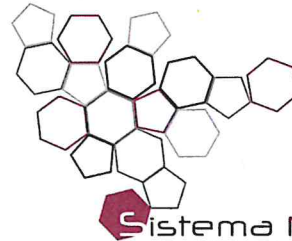
Si resta a disposizione per eventuali chiarimenti.
Distinti saluti

Il Direttore Generale

D.ssa Maria Siclari



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Oggetto: Tavolo tecnico “Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio” relativo all’avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022.

Con nota del Commissario Straordinario di Governo per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell’area di rilevante interesse nazionale Bagnoli-Coroglio (nel seguito Commissario Straordinario) prot. Comm. n. 062/2022 del 20/04/2022COM è stato convocato apposito tavolo tecnico al fine di consentire la prosecuzione degli interventi relativi al “Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio”, finalizzato al *ripristino della balneabilità e non alla bonifica dell’area*.

Durante tale tavolo sono stati illustrati i seguenti documenti progettuali:

1. Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare;
2. Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona offshore della parte a mare;
3. Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: “*capping*”;
4. Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: “risanamento sedimenti marini”.

Nella presente nota si riportano, così come richiesto in sede di tavolo tecnico, le osservazioni ISPRA-ARPAC in merito a tali documenti preliminari alla fase esecutiva.

Si premette che la soluzione progettuale proposta nel PFTE degli arenili, *capping* con telo in HDPE TNT e deposizione sabbia pulita per uno spessore di massimo di 1 metro (sabbia relitta o proveniente da cava terrestre), ripropone di fatto quanto già attuato nel 2009 e mantenuto nel 2016, come misura provvisoria di prevenzione dei rischi sanitari. Considerate le scarse prestazioni garantite nel tempo dalla suddetta misura e alla luce della caratterizzazione integrativa effettuata nelle aree nel 2021, tale soluzione progettuale ha dimostrato scarsa efficacia nel contenimento della contaminazione e **pertanto non può caratterizzarsi come Messa in Sicurezza Permanente e sarebbe opportuna una progettazione alternativa rispetto a quanto proposto nel PTFE che possa risolvere in maniera “definitiva” le problematiche ambientali e sanitarie dell’area.**

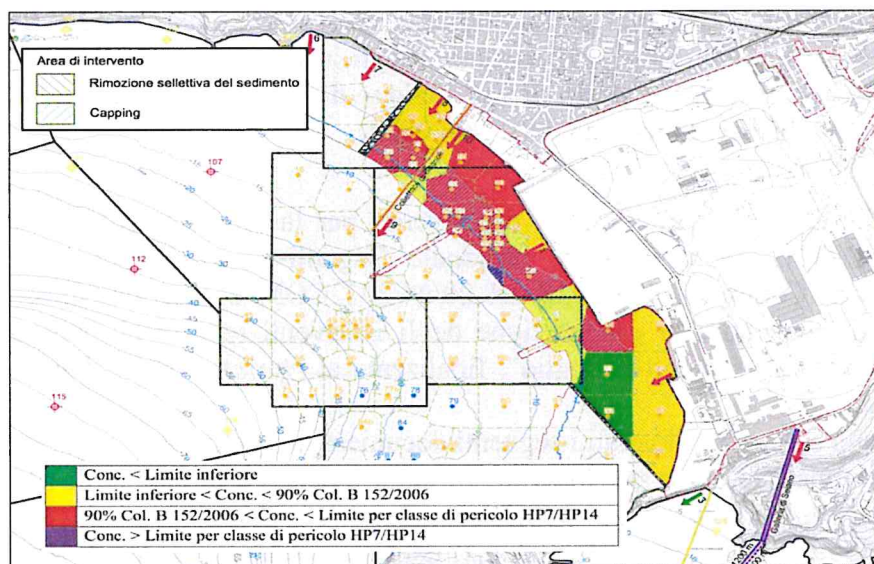
Nelle more della presentazione della variante al PFTE, si riportano di seguito, alcune osservazioni di merito sui documenti presentati relativamente agli arenili e all’area marina on-shore.

In merito al documento illustrante l’*Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di Analisi di Rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare* si riportano le seguenti osservazioni:

- Nel documento si indica che “*la valutazione del rischio si configura come un supporto decisionale per gli interventi finalizzati a garantire la piena fruibilità degli arenili e la balneabilità del sito*”. Tuttavia, nel PFTE sono state individuate per le aree in oggetto le seguenti proposte progettuali:

- Arenili nord e sud: messa in sicurezza mediante capping con telo in TNT e deposizione sabbia pulita per uno spessore di massimo di 1 metro (*sabbia relitta o proveniente da cava terrestre*).
- Area on-shore: bonifica mediante rimozione selettiva dei sedimenti contaminati entro la batimetrica - 5m con successivo trattamento/refluimento in cassa di colmata/recupero/smaltimento dei sedimenti stessi e *capping* sino alla batimetrica -7m.

Non si comprende come la valutazione del rischio sanitario, relativa alle condizioni “attuali” di contaminazione del sito, possa configurarsi come supporto decisionale e propedeutico agli interventi programmati nel PFTE. L’Analisi di Rischio può eventualmente essere prevista a valle della definizione del progetto e nello scenario post-intervento.



Pertanto, è necessario che sia specificato se il “supporto decisionale” della valutazione del rischio sanitario nello “scenario attuale” sia finalizzato ad una riduzione delle aree di intervento e/o delle matrici interessate dagli interventi (e.g. non intervento per aree/volumi di arenile/sedimento che presentano un valore di rischio accettabile).

ISPRA e ARPA ritengono comunque non condivisibile una riduzione delle aree/volumi di intervento rispetto a quanto indicato nel PFTE.

Caratterizzazione degli arenili nord e sud

Si premette che, come già indicato in precedenza, la valutazione di uno scenario di Analisi di Rischio post-intervento, parte, in caso di bonifica, dai valori obiettivo prestazionali delle soluzioni progettuali proposte e non dai dati di contaminazione attuali derivati dalla caratterizzazione. In caso di MISO/MISP, che prevedono l’interruzione dei percorsi di migrazione della contaminazione, non è strettamente necessario effettuare una Analisi di Rischio, in quanto è sufficiente monitorare l’efficacia degli interventi. **Alla luce di quanto sopra, si ritiene che la caratterizzazione effettuata possa essere funzionale solo alla scelta della tecnologia da applicare e non all’Analisi di Rischio post-intervento.**

Di seguito alcune osservazioni di merito sulla caratterizzazione:

- Si fa presente che i dati delle caratterizzazioni ante 2009 non possono essere utilizzati per l’implementazione dell’Analisi di Rischio perché lo stato di contaminazione è fortemente influenzato dalle azioni del mare e del vento e delle acque sotterranee in relazione al trasporto dei contaminanti.

- Non è chiara la sequenza stratigrafica determinata a seguito della caratterizzazione e si chiede di definire il posizionamento del telo e/o dei teli indicati dal proponente, le zone dove il telo/i teli sono assenti e gli spessori dei ripascimenti effettuati nel tempo.
- Dagli esiti della caratterizzazione integrativa eseguita a novembre 2021 per entrambi gli arenili, che ha previsto la realizzazione di 22 sondaggi geognostici spinti fino alla profondità di 5 m da p.c., si rileva in generale una contaminazione diffusa da composti inorganici, IPA ed Idrocarburi pesanti sia nella parte superficiale (0,30-1m da p.c.) sia nella parte profonda (> 1m da p.c.). In particolare, si rileva che la zona maggiormente contaminata (con superamenti rilevanti delle CSC di colonna B di Arsenico, Piombo, Idrocarburi pesanti e IPA) interessa la parte più profonda e soprattutto la zona tra 3 e 5 m da p.c. Tale orizzonte, secondo i rilievi di campo, dovrebbe essere saturo e quindi rappresenta una importante fonte di contaminazione della zona marina antistante.
- Inoltre, per l'arenile nord si rileva anche una contaminazione da Idrocarburi leggeri compresa tra 0,30 e 5 m, mentre per l'arenile sud nei sondaggi S3 e S4 una contaminazione da Mercurio tra 0.30 e 3.0 m.
- Si registra nel campione C3 (3-5 m) del sondaggio S3 in Arenile Nord un valore di Idrocarburi pesanti pari a 9587 mg/Kg, superiore al valore di "saturazione residua" riportato dall'Appendice V dei Criteri metodologici ISPRA per litologie di tipo sabbioso (7700 mg/Kg). Questo valore indica la potenziale presenza di fase separata mobile nell'orizzonte saturo che rappresenta un fonte primaria di contaminazione che deve essere oggetto di interventi mirati.
- Si fa presente che tali indagini di caratterizzazione non sono state eseguite in contraddittorio con ARPAC e questo, in assenza di contraddittorio sia della parte di campo sia di quella di laboratorio, rende non pienamente affidabile il dataset di input per la valutazione del rischio.
- Si registra inoltre che in entrambi gli arenili il primo metro non è stato caratterizzato completamente, ma solo nel tratto che va da 0,30 a 1 m da p.c., mancando pertanto il prelievo di campioni nel tratto 0-30 cm.
Tale scelta è motivata dal proponente per l'Arenile Nord dal fatto che i primi 30 cm (e non 50 cm come dal documento "Manutenzione dell'Arenile Sud, ripascimento Arenile e nuova difesa spondale" di Aprile 2016) sono stati oggetto di ricarica e quindi si suppongono non contaminanti. Non è invece stata motivata per l'Arenile Sud. Alla luce del fatto che gli orizzonti interessati dai precedenti ripascimenti sono risultati contaminati a seguito della caratterizzazione del 2021, si ritiene non condivisibile l'esclusione del tratto 0-30 cm dalla caratterizzazione per entrambi gli arenili.
- Dagli esiti dei test di cessione condotti sia ai sensi del D.Lgs. 121/2020 (ammissibilità in discarica) sia ai sensi del D.M. 05/02/1998, si rileva una mobilità importante in soluzione dei metalli presenti in maniera rilevante nella matrice solida.
- Occorre inoltre rilevare che, in particolare nell'Arenile Sud, si registra la presenza di valori importanti di Carbonio Organico Disciolto negli eluati corrispondenti alla zona profonda più contaminata (oltre 20 mg/L nell'Arenile Sud e oltre 4 mg/L nell'Arenile Nord). Questi valori, se pur conformi ai criteri di ammissibilità in discarica per inerti, indicano la mobilità in matrice acquosa soprattutto dei contaminanti organici idrofobici (quali Idrocarburi pesanti e IPA) presenti in maniera rilevante nella porzione satura degli arenili.
Si ricorda, infatti, che mentre una discarica per inerti prevede comunque presidi di elevata tutela ambientale per contenere l'eventuale fuoriuscita di contaminazione, i materiali solidi contaminati presenti negli arenili non hanno attualmente alcun presidio che limiti il trasporto della contaminazione disciolta (inorganica e organica) verso la zona marina antistante ed in particolare verso le acque oggetto di fruizione da parte dei bagnanti.

Alla luce di quanto sopra, dal punto di vista ambientale, si ritiene che allo stato attuale il materiale solido presente negli arenili, soprattutto negli strati più profondi, rappresenti una potenziale fonte di contaminazione per la zona marina antistante intesa sia come bersaglio ambientale sia come zona di

fruizione dei bagnanti. Pertanto, dovrebbe essere oggetto di una specifica valutazione ambientale, ovvero del trasporto verso l'acqua di mare e verso i sedimenti marini dei contaminanti inorganici presenti negli eluati e dei contaminati organici sulla base dei valori di carbonio organico disciolto negli eluati. **Infine, si evidenzia che in assenza di interventi definitivi sulla contaminazione presente negli arenili il trasporto della contaminazione verso l'area marina antistante potrebbe ridurre l'efficacia degli interventi proposti sui sedimenti marini.**

Criteria per la valutazione del rischio sanitario per gli Arenili

- Si ritiene che la valutazione del rischio debba essere effettuata esclusivamente in “modalità diretta”, in quanto la metodologia proposta non può inquadrarsi nelle previsioni dell'Allegato 1 alla Parte IV, Titolo V. Inoltre, c'è da osservare che gli arenili hanno caratteristiche diverse dai terreni oggetto delle procedure tecniche “standard” di analisi di rischio nell'ambito dei procedimenti di bonifica. Alla luce di quanto sopra si ritiene che la valutazione del rischio associato alla contaminazione presente nelle aree indagate sia finalizzata alla valutazione dell'accettabilità dell'esposizione dei recettori esposti e non si ritiene condivisibile la definizione di CSR o “valori obiettivo” calcolati in “modalità inversa”. Viceversa, si osserva che gli interventi da predisporre in conformità al PFTE sono proprio mirati alla gestione dell'esposizione e del rischio.
- Si ritiene la valutazione del rischio debba interessare tutto l'orizzonte di arenile indagato, inclusa la parte profonda (> 1 m da p.c.) e la parte satura (vista la non significatività di esecuzione di piezometri in tale contesto) attivando i percorsi di inalazione vapori e di trasporto della contaminazione in matrice acquosa verso l'area marina antistante.
- Viste le concentrazioni rilevanti di Idrocarburi pesanti nella matrice solida e la contestuale presenza di Idrocarburi leggeri e vista l'impraticabilità di eseguire misure di monitoraggio di aeriformi (soil gas survey e/o misure di flusso) in tale contesto, si ritiene opportuno, considerare il percorso di volatilizzazione anche per i C>12.
- Non si ritiene condivisibile l'utilizzo del modello di emissione di polveri dal suolo (Particulate Emission Factor) proposto dai “Criteri Metodologici” in quanto sia il modello sia i parametri da esso utilizzati sono stati tarati per i suoli e non per gli arenili e potrebbero determinare una notevole sottostima del risollevarimento delle polveri e della conseguente esposizione dei recettori. Si ritiene opportuno l'utilizzo di modelli e/o di valori dei parametri alternativi (es. portata di particolato per unità di superficie) e meglio calzanti al contesto.
- Vista l'importanza del risollevarimento di polveri e vista la presenza di contaminanti non volatili e con effetti sulla salute rilevanti sia per ingestione sia per inalazione di polveri, si ritiene di considerare l'opportunità di rivedere anche il “tasso di ingestione di suolo”.

Si ritiene in generale che la valutazione del rischio nello scenario attuale rappresenti una “fotografia” legata allo stato delle matrici rilevato in fase di caratterizzazione in quanto l'interazione con l'area marina antistante (erosione e deposizione dei sedimenti) può modificare significativamente lo stato di contaminazione. Infatti se si esamina l'arenile nord, oggetto di intervento nel 2009 e poi di manutenzione nel 2016, con la caratterizzazione del 2021 si rileva una nuova contaminazione dovuta all'apporto dell'azione del mare.

Pertanto, in assenza di interventi di tipo “definitivo”, la valutazione della contaminazione e dell'eventuale rischio andrebbe periodicamente aggiornata sulla base di nuove indagini di caratterizzazione.

Inoltre, guardando in particolare ai valori di riferimento adottati in fase di dragaggio dei sedimenti contaminati presentati nel documento, **si ritiene non condivisibile il riutilizzo negli arenili di materiale dragato con valori di concentrazione superiori alla colonna A.**

Infine, si osserva che non è stata fatta alcuna considerazione di tipo “ambientale” relativa alla qualità degli arenili e alle relative necessità di risanamento.

Criteria per la valutazione del rischio sanitario per l'Area on-shore

- Si ritiene che la valutazione del rischio debba essere effettuata esclusivamente in “modalità diretta”, in quanto la metodologia proposta non può inquadrarsi nelle previsioni dell'Allegato 1 alla Parte IV, Titolo V. Pertanto, non si ritiene condivisibile la definizione di CSR o “valori obiettivo” calcolati in “modalità inversa” in quanto non applicabili alle acque di balneazione.
- Si richiede di chiarire l'utilizzo di “valori di riferimento” per l'acqua di balneazione, visto che sembrerebbe essere comunque prevista una valutazione del rischio sito-specifica associata alla contaminazione delle acque di balneazione.
- Si ritiene che sia maggiormente appropriato effettuare le valutazioni relative al rischio sanitario associato alla contaminazione nelle acque di mare solo a valle degli interventi sui sedimenti e sugli arenili, in modo da poter fare riferimento a dati più stabili;
- Sarebbe opportuno che i valori di riferimento indicati siano anche verificati tenendo conto del contatto dermico con le acque di balneazione, modalità di esposizione non considerata nel caso della contaminazione di tipo “microbiologico” (rispetto alla quale è definito il tasso di ingestione dell'acqua di balneazione da OMS) per via del diverso meccanismo di azione rispetto alla contaminazione di tipo chimico.
- Si richiede di chiarire se i campioni in colonna d'acqua vengono filtrati o meno prima dell'analisi delle acque e si richiede di aggiungere i composti organici volatili (in particolare idrocarburi) nel set analitico della colonna d'acqua.
- Nella valutazione del rischio sarebbe opportuno aggiungere i seguenti percorsi:
 - Inalazione di vapori per presenza di aerosol generato dal moto ondoso in caso di presenza di sostanze volatili (superiori alla rilevabilità analitica) nelle acque;
 - Contatto con i sedimenti contaminati presenti nel fondo marino fino alla batimetrica di - 2 m.

Si ritiene in generale che la valutazione del rischio nello scenario attuale rappresenti una “fotografia” dello stato delle matrici (acqua e sedimento) legato alle analisi condotte in colonna d'acqua. Come già ribadito in precedenza, l'Analisi di Rischio deve essere effettuata sulla base dei dati di monitoraggio post-intervento al fine di essere da supporto per la verifica dell'interventi di rimozione e capping proposti.

Relativamente ai due test di dimostrazione tecnologica nell'area marina, fermo restando le considerazioni a carattere generale riportate nella nota ISPRA-ARPAC del 12.05.2021 (prot. n. 24284), e sulla base di quanto emerso nel corso dei tavoli tecnici del 29/04/2022 e del 17/05/2022, si suggerisce quanto segue.

In merito ai test di dimostrazione tecnologica mediante l'utilizzo del capping:

- ✓ In linea generale, è importante che ai fini della selezione delle migliori tipologie di *capping* da sperimentare siano ben chiari gli obiettivi stessi della sperimentazione.
- ✓ Preso atto che non è stata eseguita né prevista una sperimentazione a scala di laboratorio e che attualmente la sperimentazione riguarda due celle (una cella per il *capping* passivo e una cella per il *capping* reattivo), sarebbe opportuno valutare la possibilità di prevedere, in aggiunta alle due celle ipotizzate, una terza area in assenza di *capping*, per confrontare in modalità controllata l'utilizzo della tecnologia con la situazione attuale.
- ✓ Come evidenziato dallo stesso Proponente, condizione fondamentale per la scelta delle migliori tecnologie da applicare al sito specifico, preliminarmente all'avvio della sperimentazione, è la conoscenza dell'area. A tal riguardo, si ricordano i suggerimenti riportati nella suddetta nota ISPRA-ARPAC, in un'ottica di progettazione e mantenimento dell'intervento nel lungo termine, come ad esempio:

- il rilievo batimetrico del sito risulta fondamentale, in quanto influisce sia sulla posa in opera del *capping* e sia sulla stabilità nel tempo dei materiali;
- il regime idrodinamico risulta fondamentale anche per stimare i potenziali effetti di erosione e deposizione di nuovi sedimenti, e quindi per valutare che l'integrità del *capping* venga mantenuta durante eventi erosivi, quali ad esempio eventi intensi di pioggia, correnti di fondo che possono potenzialmente causare la risospensione e l'erosione del *capping* stesso.
- ✓ Riguardo alle attività di monitoraggio:
 - la documentazione prevede che esse siano eseguite sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche. Per tali condizioni dinamiche, si suggerisce di considerare, oltre a quelle di tipo indotto previste dal Proponente tramite mezzi meccanici, anche quelle di tipo naturale, come ad esempio in condizioni meteo-marine avverse;
 - si manifestano perplessità sull'assunzione fatta dal Proponente che il massimo valore di torbidità misurato nella fase *ante operam* costituisca il valore di riferimento $T_{0,max}$ e che nel corso d'opera, all'interno delle celle, "*saranno considerati accettabili i valori di torbidità non superiori a 2 volte $T_{0,max}$* ", e sull'assunzione che, all'esterno delle celle, "*le torbidità misurate dovranno essere inferiori alla $T_{riferimento}$, corrispondente al 90° percentile del set di misure rappresentative della variabilità dell'area in fase *ante-operam* (D.M. 173/2016)*".
A tal riguardo, si ricorda che il D.M. 172/2016 riporta i principi generali della fase di monitoraggio *ante operam* finalizzata a definire i range di variabilità di torbidità prima dell'inizio delle attività;
 - si ricorda che le misure con il torbidimetro, con la sonda multiparametrica e il prelievo dei campioni d'acqua dovrebbero essere eseguiti nello stesso punto di campionamento.
- ✓ È fondamentale che sia garantita (sia a livello di progettazione che di esecuzione) la continuità e protezione del sistema di *capping*, anche al bordo, per tutto il tempo di esercizio.
- ✓ Si suggerisce di prevedere la verifica del non rilascio dei contaminanti da parte dei materiali che si intende utilizzare per il *capping*.
- ✓ Nel caso di adozione di panne antitorbidità, si raccomanda di prestare particolare attenzione al fatto che non siano esse stesse sorgente di risospensione dei sedimenti (ad esempio in riferimento al sistema di ancoraggio e alle modalità di apertura/chiusura), nonché di verificare per tempo l'effettiva stabilità ed efficacia delle stesse.

In merito ai test di dimostrazione tecnologica mediante l'utilizzo del dragaggio:

- ✓ In considerazione delle dimensioni ridotte delle celle prescelte (pari a 10x10 m), si raccomanda di porre particolare cautela nelle attività di escavo e che le modalità operative garantiscano la tenuta delle pareti.
- ✓ Non essendo riportata una descrizione della benna ecologica, si raccomanda che essa possieda tutti i requisiti di una benna di tipo ambientale e che venga usata secondo gli accorgimenti previsti dal D.M. 172/2016.
- ✓ In merito all'utilizzo delle panne antitorbidità, anche in questo caso, si raccomanda di prestare particolare attenzione al fatto che non siano esse stesse sorgente di risospensione dei sedimenti (ad esempio in riferimento al sistema di ancoraggio), nonché di verificare per tempo l'effettiva stabilità ed efficacia delle stesse.
- ✓ Come previsto dal D.M. 172/2016 prevedere anche il monitoraggio in corso d'opera. Inoltre, si suggerisce anche il prelievo di campioni d'acqua per la determinazione dei contaminanti di interesse nelle tre fasi di monitoraggio.

Per entrambe le attività di sperimentazione (*capping* e dragaggio) si raccomanda di prestare la massima attenzione nel recupero di eventuali ordigni bellici e nella pulizia dei fondali, ponendo in atto tutti gli accorgimenti per minimizzare la risospensione dei sedimenti contaminati.

II DIRETTORE GENERALE
Don.ssa Maria Siclari



Allegato 2

Parere ISS prot. AOO-ISS

N.17248 DAS 01.00 del 04/05/2022

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**



Roma, 30/05/2022

Prot. AOO-ISS N. 17248 DAS 01.00 del 04/05/2022

Al Commissario Straordinario del Governo per la
bonifica ambientale e rigenerazione urbana
dell'area di rilevante interesse nazionale
Bagnoli Coroglio
commissariobagnoli@pec.governo.it

Ministero della Transizione Ecologica
Direzione generale uso sostenibile del suolo e
delle risorse idriche
USSRI@PEC.mite.gov.it

Oggetto: Tavolo tecnico “Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio” relativo all’avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022.

Con nota del Commissario Straordinario di Governo per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'area di rilevante interesse nazionale Bagnoli-Coroglio del 20/04/2022 prot. Comm. n. 062/2022, è stato convocato un tavolo tecnico al fine di consentire la prosecuzione degli interventi relativi al “Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio”.

Durante tale tavolo sono stati illustrati i seguenti documenti progettuali:

1. Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare;
2. Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona offshore della parte a mare;
3. Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: (risanamento dei sedimenti marini e capping)
4. Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: “risanamento sedimenti marini”.



Come richiesto in sede di tavolo tecnico, si riportano alcune osservazioni in merito ai documenti sopra elencati in particolare, per competenza, ai documenti relativi all'Approccio metodologico per lo sviluppo della procedura di analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona onshore della parte a mare e al documento Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: (risanamento dei sedimenti marini e *capping*).

Premesso che, date le scarse prestazioni garantite nel tempo sull'intervento eseguito nell'arenile Nord, e alla luce della caratterizzazione integrativa effettuata nelle aree (Nord e Sud) nel 2021, la soluzione progettuale proposta per gli arenili (*capping* con telo in HDPE TNT e deposizione sabbia pulita per uno spessore di massimo di 1 metro con sabbia relitta o proveniente da cava terrestre), non può configurarsi come Messa in Sicurezza Permanente e sarebbe opportuna una progettazione alternativa che possa risolvere in maniera "definitiva" le problematiche ambientali e sanitarie delle aree. E' doveroso sottolineare, inoltre, che la procedura di valutazione del rischio sanitario, proposta come supporto decisionale, è opportunamente utilizzata se prevista in modalità diretta e a valle della definizione del progetto nello scenario post-intervento al fine di verificarne il raggiungimento obiettivo.

Nel documento relativo alla procedura di Analisi di Rischio si fa riferimento all'applicazione della stessa in modalità inversa al fine di determinare le Concentrazioni Soglia di Rischio rispetto alle quali non è chiaro il loro utilizzo poiché, nel contesto particolare degli arenili, non è confacente che vengano definite. A tal proposito va sottolineato che, per il ripascimento, data la mancanza di valori di riferimento specifici, si è sempre richiesto di utilizzare come riferimento i valori di concentrazioni non superiori a Tabella 1 - Colonna A dell'Allegato 5, Parte IV - Titolo V del D.Lgs 152/06 ss.mm.ii. Tale richiesta è stata fatta anche in altre situazioni e in altre aree sottoposte a ripascimento.

Per quanto attiene al documento "*Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: (risanamento dei sedimenti marini e capping)*", non è chiaro come verranno utilizzati, in generale, i valori di riferimento riportati nel paragrafo 3.11.4. (Set analitici previsti) e in particolare quelli riportati in Tabella 2 - Matrici solide (limite superiore-limite inferiore).

Nel rimanere a disposizione per ogni eventuale chiarimento, si porgono distinti saluti.

Il Direttore del Dipartimento di Ambiente e Salute
Dott. Marco Martuzzi

Allegato 3

Dati meteorologici (editabili dati grezzi da richiedere all'occorrenza)

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**

All.3_Dati meteorologici Precipitazioni

Precipitazioni annue

http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/Home_new.html#

Variabile : Precipitazioni cumulate

Stazione : Nisida METEO longitudine : 14.163833 latitudine : 40.793722

dati disponibili dal 2009 al 2014

Anno	Precipitazione cumulata (mm)	N° dati
2009	1075,4	365
2010	894,0	365
2011	736,8	365
2012	760,4	366
2013	843,2	365
2014	870,2	365
valore massimo	1075,4	

Variabile : Precipitazioni cumulate

Stazione : Pozzuoli longitudine : 14.13563 latitudine : 40.82978

dati dal 2013 al 2021

Anno	Precipitazione cumulata (mm)	N° dati
2013	817,2	365
2014	1071,0	365
2015	906,2	365
2016	766,2	366
2017	NA	NA
2018	999,0	365
2019	1037,2	365
2020	797,6	366
2021	1055,0	365
valore massimo	1071,0	

All.3_Dati meteorologici Infiltrazione efficace

Infiltrazione efficace (I_{eff})

$$I_{eff} = C \cdot (P)^2$$

dove:

C = 0.0018 per terreni sabbiosi
= 0.0009 per terreni limosi
= 0.00018 per terreni argillosi
P = precipitazioni in cm/anno

Fonte: pag63 "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"
rev 2 di APAT del maggio 2008

P [cm/anno] = 107,54

<i>sabbie</i>	I_f [cm/anno] =	20,8
<i>limi</i>	I_f [cm/anno] =	10,4
<i>argille</i>	I_f [cm/anno] =	2,1

All.3_Dati meteorologici Velocità del vento

Velocità del vento

stazione Mareografica (palo meteorologico presso il Molo Diaz, Lat 40° 50' 24.46" Long 14° 16' 30.63")

<https://www.mareografico.it>

Anno	Velocità del vento media (m/s)
2010	3,33
2011	3,07
2012	3,13
2013	3,02
2014	3,24
2015	3,13
2016	3,66
2017	nd
2018	nd
2019	3,36
2020	3,38
2021	3,31
2022	3,10

valore minimo

3,02

Calcolo della velocità del vento a 2 m da p.c.

$$V(2) / V(x) = (2/x)^p$$

Parametro	unità di misura	Valore	Note
x=	m	10	Quota di rilevazione velocità del vento
p=	-	0,15	Classe di stabilità atmosferica neutrale, area rurale
V(x)=	m/s	3,02	Velocità media annua misurata alla quota di rilevazione
V(2)=	m/s	2,37	Velocità media annua calcolata nella zona di miscelazione (2 m)

All.3_Dati meteorologici

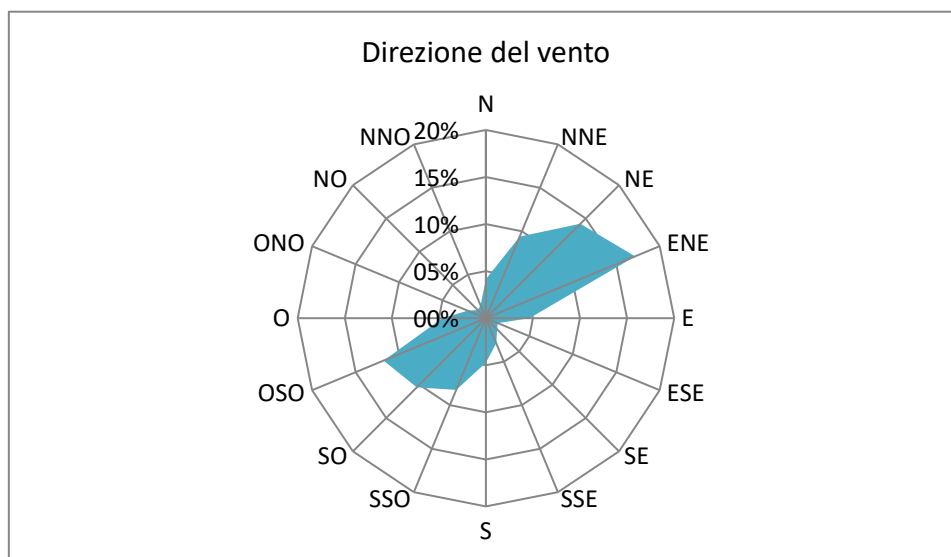
Direzione del vento

Direzione del vento

stazione Mareografica (palo meteorologico presso il Molo Diaz, Lat 40° 50' 24.46" Long 14° 16' 30.63")

<https://www.mareografico.it>

Direzione	frequenza di accadimento (periodo 2010-2022) %
N	4,2%
NNE	9,4%
NE	14,2%
ENE	17,2%
E	4,6%
ESE	1,4%
SE	1,7%
SSE	2,9%
S	4,7%
SSO	8,2%
SO	10,4%
OSO	11,8%
O	4,6%
ONO	2,1%
NO	1,2%
NNO	1,5%



All.3_Dati meteorologici

Temperatura dell'aria

Temperatura dell'aria

stazione Mareografica (palo meteorologico presso il Molo Diaz, Lat 40° 50' 24.46" Long 14° 16' 30.63")
<https://www.mareografico.it>

Anni	temperatura media dell'aria (°C)
2010-2022	18,0

Allegato 4

Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sui sedimenti dell'Arenile Nord

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**

All.04_dati Arenile Nord
Dati analisi chimiche

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	FLUORENE	FENANTRENE	ANTRACENE	FLUORANTRENE	PCB 101	PCB 105	PCB 110	PCB 114	PCB 118	PCB 123	PCB 126	PCB 128	PCB 128 + PCB 167	PCB 138	PCB 153	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col B - Siti																								
																											mg/Kg	mg/Kg																							
																								50	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
																								5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
																								D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col A - Siti ad uso ve		5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S11	429644,03	4518305,18	2,261	5	21LA07103	0,30	1,00	1,96	1,26	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																							

Al.04_dati Arenile Nord
Dati granulometria e densità

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m sim) DA	Quota prelievo campione (m sim) A	Note	MASSA VOLUMICA APPARENTE	ARGILLA	LIMO	SABBIA (0,06 - 0,2 mm)	SABBIA (0,2 - 0,6 mm)	SABBIA (0,6 - 2 mm)	GHIAIA (2 - 6 mm)	GHIAIA (6 - 20 mm)	GHIAIA (20 - 60 mm)	GHIAIA (6 - 20 mm)	CIOTTOLI (60 - 200 mm)	BLOCCHI (> 200 mm)	FRAZIONE < 0,004 mm	FRAZIONE < 0,063 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0,063 mm < x < 0,125 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0,125 mm < x < 0,25 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0,25 mm < x < 0,5 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0,5 mm < x < 1 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 1 < x < 2 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 2 mm < x < 5 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 5 mm < x < 10 mm	FRAZIONE > 10 mm		
													g/cm3	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	%	%	%	%	%	%	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	57	429644,17	4518245,45	1,456	5	211A07102	3,00	5,00	-1,54	-3,54		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,00	157,00	168,00	183,00	203,00	179,00	54,00	36,00	1,00			
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	56	429588,01	4518311,74	1,558	5	211A07108	3,00	5,00	-1,44	-3,44		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,00	153,00	162,00	183,00	203,00	159,00	30,00	7,00	1,00			
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	55	429508,94	4518387,33	1,7	5	211A07192	3,00	5,00	-1,30	-3,30		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,00	159,00	236,00	239,00	181,00	147,00	10,30	1,00	1,00			
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	54	429444,84	4518444,56	1,595	5	211A07198	3,00	5,00	-1,41	-3,41		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,00	122,00	224,00	247,00	173,00	156,00	28,50	1,50	1,00			
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	59/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	231A03919	0,00	0,10	2,78	2,68	Top soil	1,53	87	30	30	817	28	0,7	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	59/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	231A03920	0,00	1,00	2,78	1,78		1,56	122	35	40	613	27	6	<0,1	10,3	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	59/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	231A03921	1,00	3,20	1,78	-0,42		1,46	124	51	31	507	75	8,1	<0,1	13	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	59/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	231A03922	3,20	5,00	-0,42	-2,22		1,43	96	18	37	414	58	14,9	<0,1	27,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	59/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	231A03923	5,00	7,00	-2,22	-4,22		1,57	88	45	31	319	199	22,4	<0,1	14,3	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	514	429547,825	4518426,19	2,323	7	231A03924	0,00	0,10	2,32	2,22	Top soil	1,43	69	18	79	451	346	1,7	<0,1	2,2	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	514	429547,825	4518426,19	2,323	7	231A03925	0,00	1,00	2,32	1,32		1,48	60	25	61	366	254	2,2	20,4	2,9	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	514	429547,825	4518426,19	2,323	7	231A03926	1,00	2,60	1,32	-0,28		1,46	68	27	22	300	381	4,1	<0,1	7,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	514	429547,825	4518426,19	2,323	7	231A03927	2,60	5,00	-0,28	-2,68		1,54	99	21	24	296	371	11,9	<0,1	9,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	514	429547,825	4518426,19	2,323	7	231A03928	5,00	7,00	-2,68	-4,68		1,59	107	32	48	342	184	6,6	<0,1	26,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	58/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	231A04081	0,00	0,10	2,40	2,30	Top soil	1,59	108	34	63	647	45	8,2	<0,1	3,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	58/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	231A04082	0,00	1,00	2,40	1,40		1,7	115	35	23	605	56	9,8	<0,1	9,8	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	58/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	231A04083	1,00	3,20	1,40	-0,80		1,44	92	32	29	465	167	10,9	<0,1	13,5	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	58/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	231A04084	3,20	5,00	-0,80	-2,60		1,48	74	58	23	123	177	8,8	<0,1	34,7	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS	58/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	231A04085	5,00	7,00	-2,60	-4,60		1,57	79	43	12	195	326	30,5	<0,1	8,8	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

All.04_dati Arenile Nord
Dati kd

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	Note	Kd ARSENICO L/Kg	Kd BERILLIO L/Kg	Kd MERCURIO L/Kg	Kd PIOMBO L/Kg	Kd RAME L/Kg	Kd TALLIO L/Kg	Kd ZINCO L/Kg	Kd VANADIO L/Kg	Kd SELENIO L/Kg	Kd CROMO Totale L/Kg
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S6	429588,01	4518311,74	1,558	5	21LA07108	3,00	5,00	-1,44	-3,44		150,00	5200,00	-	-	-	0,50	-	9,98	29	
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23LA06878	0,00	1,00	3,60	2,60							679,00				
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	429644,17	4518245,45	1,456	7	23LA06888	5,00	7,00	-3,54	-5,54		83									
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06889	5,00	7,00	-3,92	-5,92		15,9									
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9-PZ(ARN)1	429493,013	4518439,655	2,37	7	23LA06890	5,00	7,00	-2,63	-4,63		15,8									
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06891	1,00	2,20	1,06	-0,14		29,5									
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06892	2,20	5,00	-0,14	-2,94		32,2									
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06893	5,00	7,00	-2,94	-4,94		22,8									
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	23LA06894	3,20	5,00	-0,42	-2,22		97,3	197,00								
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S13	429498,012	4518454,836	2,5	7	23LA06895	5,00	7,00	-2,50	-4,50		15,6									

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	X (coordinate WGS84 UTM33)	Y (coordinate WGS84 UTM33)	Z (mm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m sim) DA	Quota prelievo campione (m sim) A	Note	RESIDUI A LOCS °C DA CAMPIONE SECCO A 40 °C (%)	IDIOCARBURI TOTALI (espressi come n-esano)	IDIOCARBURI CS-CD	IDIOCARBURI (CLO-CO)	ANTIMONIO	ARSENICO	BARIUM	BISFENOLO	CADMIUM	COPRITO	CROMO TOTALE	CROMO ESVALENTE	MERCURIO	MOLIBDENO	NICHEL	PLOMBIO	RAME	SELENIO	MONONITROGENIO	DIBITUTINISIO	TRIBUTINISIO	TALLO	WASSIO	ZINCO				
							D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per rifiuti pericolosi						100	350	30000		100	7000	200	3000	4000	5000	10000	700															20000	
							D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per rifiuti non pericolosi						70	200	10000		100	1000	20	1000	1000	1000	5000	10000	700															5000
							D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per rifiuti inerti						6	50	2000		4	250	50	1	50	40	50	200	10														400	
							DM 05/02/1998 e s.m.l. (DM Ambiente n°186 del 05/04/2006)						350	50	1000	10	3	50	5	1	30	10	1000	10														3000		
							CSCTabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006 e limiti/CS						5	10				380	4	5	50	50																		
							Valori di Fondo ARIN Bagnoli						5	10				380	4	5	50	50																		
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644.17	4518245.45	1.456	5	A07100/01-21LA07100	0,30	1,00	1,16	0,46						<5,0	32,4	24	<5,0	<5,0	<5,0	5,3		<1,00	<5,0	20,7	14,8	<5,0								26,6	42		

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (msm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m) DA	Quota prelievo campione (m) A	CANTINI TOTALI	CLOMURI	INDICE DI FENICO	FLUORURI	NITRATI	SOLATI	ROBUSTIA ORGANICA DI OSSIGENO (DO)	CARBONIO ORGANICO DISCIOLTO (DOC)	SODI TOTALI DISCIOLTI	BENZODIANTRACENE	BENZOPIRENE	BENZOP-1PULANTENE	BENZOP-1PILURILENE	BENZOPULANTENE	CRISTINE	DIBENZOP-1NATRACENE	INDOPIRENE	PIRENE	SOMMATORIA IPA (di carboli)	NAPTALENE	ACENANTILENE	ACENANTILENE	FLUORENE	FENANTRENE	ANTHRACENE																
																																					µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per													2500	50	3000	100	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per													2500	15	5000	100	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica													50	100	0,1	1	50	250	50	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CSc Tabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del D.Lgs. 152 del 3 agosto													50	100	0,0025	1,5	50	250	50	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valori di Fq													50	100	0,0025	4	50	250	50	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644.17	4518245,45	1.456	5	A07100/01-21A07100	0,30	1,16	0,46	<0,1	20,1	0,051	0,579	<0,1	5,34	27,3	<10,1	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644.17	4518245,45	1.456	5	A07101/01-21A07101	1,00	3,00	0,46	-1,54	2	20,7	<0,050	1,95	<0,1	14,5	64,3	<10,1	203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644.17	4518245,45	1.456	5	A07102/01-21A07102	3,00	5,00	-1,54	-3,54	5	11,6	<0,050	5,25	2,1	65,4	59,1	<10,1	277	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (msm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m p.c.) A	Quota prelievo campione (m sim) DA	Quota prelievo campione (m sim) A	FLUORANTINE	PCB 126	PCB 138	PCB 153	PCB 156	PCB 157	PCB 169	PCB 170	PCB 180	PCB 183	PCB 189	PCB 52	PCB 77	PCB 81	PCB 101	PCB 105	PCB 114	PCB 118	PCB 123	PCB 128 + PCB 167	PCB 28 + 31	SOMMATORIA PCB (a carico)	BENZENE	ETILBENZENE	m,p-BILENE													
													µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L				µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
																														D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per i rifiuti in discarica - Limiti di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica per i rifiuti in discarica - Limiti di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica																			
																														D.Lgs. 121/2020 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica - Limiti di accettabilità dell'eluato in discarica																			
																														DM 05/02/1998 e s.m. (DM Ambiente n°18)																			
																														CSC Tabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del Dlg. 152 del 3 aprile																			
																														Valori di Fd																			
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644,17	4518245,45	1,456	5	A07100/01-21A07100	0,30	1,00	1,16	0,46																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644,17	4518245,45	1,456	5	A07101/01-21A07101	1,00	3,00	0,46	-1,54																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S7	429644,17	4518245,45	1,456	5	A07102/01-21A07102	3,00	5,00	-1,54	-3,54																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S11	429644,03	4518305,18	2,261	5	A07103/01-21A07103	3,00	1,00	1,96	1,26																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S11	429644,03	4518305,18	2,261	5	A07104/01-21A07104	1,00	3,00	1,26	-0,74																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S11	429644,03	4518305,18	2,261	5	A07105/01-21A07105	3,00	5,00	-0,74	-2,74																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S6	429588,01	4518311,74	1,558	5	A07106/01-21A07106	0,30	1,00	1,26	0,56																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S6	429588,01	4518311,74	1,558	5	A07107/01-21A07107	1,00	3,00	0,56	-1,44																																						
14/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S6	429588,01	4518311,74	1,558	5	A07108/01-21A07108	3,00	5,00	-1,44	-4,44																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S12	429754,39	4518292,23	5,041	5	A07184/01-21A07184	0,30	1,00	4,04	0,74																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S12	429754,39	4518292,23	5,041	5	A07185/01-21A07185	1,00	3,00	4,04	2,04																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S12	429754,39	4518292,23	5,041	5	A07186/01-21A07186	3,00	5,00	2,04	0,04																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S10	429567,96	4518383,03	2,25	5	A07178/01-21A07178	0,30	1,00	1,95	1,25																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S10	429567,96	4518383,03	2,25	5	A07179/01-21A07179	1,00	3,00	1,25	-0,75																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S10	429567,96	4518383,03	2,25	5	A07180/01-21A07180	3,00	5,00	-0,75	-2,75																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S5	429508,94	4518387,33	1,7	5	A07190/01-21A07190	0,30	1,00	1,40	0,70																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S5	429508,94	4518387,33	1,7	5	A07191/01-21A07191	1,00	3,00	0,70	-1,30																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S5	429508,94	4518387,33	1,7	5	A07192/01-21A07192	3,00	5,00	-1,30	-3,30																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S9	429493,01	4518439,65	2,37	5	A07193/01-21A07193	0,30	1,00	2,07	1,37																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S9	429493,01	4518439,65	2,37	5	A07194/01-21A07194	1,00	3,00	1,37	-0,63																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S9	429493,01	4518439,65	2,37	5	A07195/01-21A07195	3,00	5,00	-0,63	-2,63																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S4	429444,84	4518444,56	1,595	5	A07196/01-21A07196	0,30	1,00	1,30	0,60																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S4	429444,84	4518444,56	1,595	5	A07197/01-21A07197	1,00	3,00	0,60	-1,41																																						
15/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S4	429444,84	4518444,56	1,595	5	A07198/01-21A07198	3,00	5,00	-1,41	-3,41																																						
08/02/2023	Invitalia PDC2 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23A03111	1,00	3,00	2,60	1,60	0,00983 < 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500											
08/02/2023	Invitalia PDC2 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23A03112	1,00	2,00	2,60	1,60	0,00746 < 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500											

All.04_dati Arenile Nord

Dati FOC

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	Note	FRAZIONE ORGANICA (FOC) g/kg
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10-PZ(ARN)3	429567,958	4518383,029	2,25	7	23LA06784	0,00	0,10	2,25	2,15	Top soil	3
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10-PZ(ARN)3	429567,958	4518383,029	2,25	7	23LA06785	0,00	1,00	2,25	1,25		3
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10-PZ(ARN)3	429567,958	4518383,029	2,25	7	23LA06786	5,00	7,00	-2,75	-4,75		3
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S11	429644,03	4518305,18	2,261	7	23LA06781	0,00	0,10	2,26	2,16	Top soil	7
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S11	429644,03	4518305,18	2,261	7	23LA06782	0,00	1,00	2,26	1,26		3
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S11	429644,03	4518305,18	2,261	7	23LA06783	5,00	7,00	-2,74	-4,74		3
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S13	429498,012	4518454,836	2,5	7	23LA06815	0,00	0,10	2,50	2,40	Top soil	3
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S13	429498,012	4518454,836	2,5	7	23LA06816	5,00	7,00	-2,50	-4,50		7
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S14	429547,825	4518426,19	2,323	7	23LA06811	2,60	5,00	-0,28	-2,68		3
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S14	429547,825	4518426,19	2,323	7	23LA06812	5,00	7,00	-2,68	-4,68		4
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06806	0,00	0,10	2,06	1,96	Top soil	4
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06807	0,00	1,00	2,06	1,06		7
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06808	1,00	2,20	1,06	-0,14		5
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06809	2,20	5,00	-0,14	-2,94		4
15/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S15	429584,402	4518401,717	2,056	7	23LA06810	5,00	7,00	-2,94	-4,94		7
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4	429444,84	4518444,56	1,595	7	23LA06817	0,00	0,10	1,60	1,50	Top soil	3
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4/5-PZ(ARN)2	429476,889	4518415,945	1,513	7	23LA06800	0,00	0,10	1,51	1,41	Top soil	5
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5	429508,94	4518387,33	1,7	7	23LA06803	0,00	0,10	1,70	1,60	Top soil	3
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5	429508,94	4518387,33	1,7	7	23LA06804	0,00	1,00	1,70	0,70		3
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5	429508,94	4518387,33	1,7	7	23LA06805	5,00	7,00	-3,30	-5,30		3
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535	1,463	7	23LA06795	0,00	0,10	1,46	1,36	Top soil	4
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535	1,463	7	23LA06796	0,00	1,00	1,46	0,46		8
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535	1,463	7	23LA06797	1,00	2,00	0,46	-0,54		< 1
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535	1,463	7	23LA06798	2,00	5,00	-0,54	-3,54		3
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535	1,463	7	23LA06799	5,00	7,00	-3,54	-5,54		2
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6	429588,01	4518311,74	1,558	7	23LA06792	0,00	0,10	1,56	1,46	Top soil	2
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6	429588,01	4518311,74	1,558	7	23LA06793	0,00	1,00	1,56	0,56		3
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6	429588,01	4518311,74	1,558	7	23LA06794	5,00	7,00	-3,44	-5,44		5
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06787	0,00	0,10	1,08	0,98	Top soil	6
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06788	0,00	1,00	1,08	0,08		4
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06789	1,00	1,90	0,08	-0,82		5
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06790	1,90	5,00	-0,82	-3,92		5
13/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/7	429616,09	4518278,599	1,078	7	23LA06791	5,00	7,00	-3,92	-5,92		4
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	429644,17	4518245,45	1,456	7	23LA06779	0,00	0,10	1,46	1,36	Top soil	4
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	429644,17	4518245,45	1,456	7	23LA06780	0,00	1,00	1,46	0,46		4
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	23LA06818	0,00	0,10	2,40	2,30	Top soil	3
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	23LA06813	0,00	0,10	2,78	2,68	Top soil	3
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9/10	429527,273	4518411,097	2,78	7	23LA06814	0,00	0,30	2,78	2,48		3
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9-PZ(ARN)1	429493,013	4518439,655	2,37	7	23LA06801	0,00	0,10	2,37	2,27	Top soil	5
14/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9-PZ(ARN)1	429493,013	4518439,655	2,37	7	23LA06802	5,00	7,00	-2,63	-4,63		3
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23LA06760	0,00	1,00	3,60	2,60		5
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23LA06761	1,00	2,00	2,60	1,60		1
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT3	429683,1	4518213,018	3,602	5	23LA06762	2,00	5,00	1,60	-1,40		3

All.04_dati Arenile Nord
Dati MADEP

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	Note	IDROCARBURI C5 - C8 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C9 - C12 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C9 - C10 AROMATICI mg/kg	IDROCARBURI C13 - C18 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C13 - C22 AROMATICI mg/kg	IDROCARBURI C19 - C36 ALIFATICI mg/kg
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4	429444,84	4518444,56	1,595	7	23LA06836	0,00	1,00	1,60	0,60		< 1	< 1	< 1	46	114	2300
16/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4	429444,84	4518444,56	1,595	7	23LA06837	5,00	7,00	-3,41	-5,41		< 1	< 1	< 1	124	205	569
10/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	429644,17	4518245,45	1,456	7	23LA06835	5,00	7,00	-3,54	-5,54		< 1	< 1	< 1	100	298	364
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	23LA06838	3,20	5,00	-0,80	-2,60		< 1	< 1	< 1	59	227	524
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	23LA06839	5,00	7,00	-2,60	-4,60		< 1	< 1	< 1	51	185	306
17/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	429468,64	4518456,005	2,402	7	23LA06840	0,30	1,00	2,10	1,40		< 1	< 1	< 1	24	28	592

Allegato 5

Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze indice dell'Arenile Nord

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**

All.05_Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche Arenile Nord

Specie chimica	Database di riferimento	Volatilità	Peso Molecolare [g/mol]	Solubilità [mg/l]	Costante di Henry [adim.]	Koc [ml/g]	Kd [ml/g]	Coeff. Diff. Aria [cm ² /sec]	Coeff. Diff. Acqua [cm ² /sec]	SF Ing. [mg/kg-giorno] ⁻¹	IUR [µg/m ³] ⁻¹	RfD Ing. [mg/kg-giorno]	RfC [mg/m ³]	ABS [adim.]
Benzo(j)fluorantene (User)	RAIS	POM		0,0025	0,0000083	599400	-	0,476	0,00000556	1,2	0,00011	-	-	0,13
Fluoruri (User)	RAIS	V		1,69	-	-	150	-	-	-	-	0,04	0,013	0,01
Arsenico	BD 2018	PM	74,92				f(pH)			1,5	0,0043	0,0003	0,000015	0,03
Berillio	BD 2018	PM	9,01				f(pH)				0,0024	0,002	0,00002	0,01
Piombo	BD 2018	PM	207,2				900			0,0085	0,000012	0,0035		0,01
Rame	BD 2018	PM	63,55				35					0,04	0,14	0,01
Selenio	BD 2018	PM	78,96				f(pH)					0,005	0,02	0,01
Tallio	BD 2018	PM	204,38				f(pH)					0,00001	0,000035	0,1
Vanadio	BD 2018	PM	50,94				1000					0,005	0,0001	0,1
Zinco	BD 2018	PM	65,38				f(pH)					0,3	1,05	0,01
Benzene	BD 2018	VOC	78,11	1790	0,227	146		0,0895	0,0000103	0,055	0,0000078	0,004	0,03	0,1
Antracene	BD 2018	SVOC	178,24	0,0434	0,00227	16400		0,039	0,00000785			0,3	0,003	0,13
Benzo_a_antracene	BD 2018	POM	228,3	0,0094	0,000491	177000		0,0509	0,00000594	0,1	0,00006			0,13
Benzo_a_pirene	BD 2018	POM	252,32	0,00162	0,0000187	587000		0,0476	0,00000556	1	0,0006	0,0003	0,000002	0,13
Benzo_b_fluorantene	BD 2018	POM	252,32	0,0015	0,0000269	599000		0,0476	0,00000556	0,1	0,00006			0,13
Benzo_k_fluorantene	BD 2018	POM	252,32	0,0008	0,0000239	587000		0,049	0,00000556	0,01	0,000006			0,13
Benzo_g_h_i_perilene	BD 2018	POM	276,34	0,00026	0,00000582	1580000		0,0476	0,00000556			0,03	0,003	0,13
Crisene	BD 2018	POM	228,3	0,002	0,000214	181000		0,0261	0,00000675	0,001	6			0,13
Dibenzo_a_e_pirene	BD 2018	POM	302,38	0,0000425	5,76E-07	6480000		0,0422	0,00000493			0,03	0,003	0,13
Dibenzo_a_i_pirene	BD 2018	POM	302,37	0,0000339	0,00000183	24100000		0,0368	0,00000507	73	0,008			0,1
Dibenzo_a_l_pirene	BD 2018	POM	302,37	0,00249	0,00000576	1910000		0,0446	0,00000521	73	0,008			0,1
Dibenzo_a_h_pirene	BD 2018	POM	302,37	0,0000208	0,00000183	24100000		0,0368	0,00000507	73	0,008			0,1
Dibenzo_a_h_antracene	BD 2018	POM	278,36	0,00249	0,00000576	1910000		0,0446	0,00000521	1	0,0006			0,13
Fenantrene	BD 2018	SVOC	178,23	0,994	0,0054	14100		0,0333	0,00000747			0,03	0,003	0,13
Fluorantene	BD 2018	POM	202,26	0,26	0,000362	55500		0,0276	0,00000718			0,04	0,003	0,13
Indenopirene	BD 2018	POM	276,34	0,00019	0,0000142	1950000		0,0448	0,00000523	0,1	0,00006			0,13
Pirene	BD 2018	POM	202,26	0,135	0,000487	54300		0,0278	0,00000725			0,03	0,003	0,13
AlifaticiC13_C18	BD 2018	SVOC	170	0,01	69	680000		0,07	0,000005			0,1	0,2	0,1
AlifaticiC19_C36	BD 2018	POM	280	0,0000015	110	398000000		0,0336	0,00000385			2	0,2	0,1
AromaticiC9_C10	BD 2018	VOC	120	51	0,33	1780		0,07	0,00001			0,01	0,025	0,1
AromaticiC13_C22	BD 2018	SVOC	150	5,8	0,03	5000		0,06	0,00001			0,03	0,05	0,1

RAIS = The Risk Assessment Information System https://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX_search?select=chemspcf

BD 2018 = Banca Dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018

Allegato 6

Sintesi dei risultati delle indagini effettuate sui sedimenti dell'Arenile Sud

**Codice Elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-IS-
REL-03-01 –Agosto 2023**

All.06. Dati Arenile Sud
Dati analitiche

Table with multiple columns including: Data di campionamento, Documento di Riferimento, Sondaggio, Coordinate (X, Y, z), Profondità, Codice Campione, Quota prelievo, and various chemical elements (ETILENE, XILENE, STIRENE, TOLUENE, SOMMATORIA SOLVENTI, etc.).

All.06_Dati Arenile Sud
Dati granulometria e densità

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	Note	MASSA VOLUMICA APPARENTE	ARGILLA	LIMO	SABBIA (0.06 - 0.2 mm)	SABBIA (0.2 - 0.6 mm)	SABBIA (0.6 - 2 mm)	GHIAIA (2 - 6 mm)	GHIAIA (20 - 60 mm)	GHIAIA (6 - 20 mm)	CIOTTOLE (60 - 200 mm)	BLOCCHI (> 200 mm)	FRAZIONE < 0.004 mm	FRAZIONE < 0.063 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0.063 mm < x < 0.125 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0.125 mm < x < 0.25 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0.25 mm < x < 0.5 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 0.5 mm < x < 1 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 1 < x < 2 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 2 mm < x < 5 mm	FRAZIONE COMPRESA TRA 5 mm < x < 10 mm	FRAZIONE > 10 mm			
													g/cm3	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	%	%	%	%	%	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg
12/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S8	430303,05	4517060,69	1,4	5	211A06969	0,30	1,00	1,10	0,40		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,00	111,00	175,00	135,00	105,00	100,00	289,00	58,00	1,00				
12/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S8	430303,05	4517060,69	1,4	5	211A06971	3,00	5,00	-1,60	-3,60		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,00	256,00	163,00	139,00	133,00	27,00	100,00	1,00					
13/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S5	430231,48	4516865,38	1,05	5	211A07036	1,00	3,00	0,05	-1,95		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,00	161,00	200,00	223,00	180,00	151,00	30,00	7,00	1,00				
13/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S5	430231,48	4516865,38	1,05	5	211A07037	3,00	5,00	-1,95	-3,95		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	30,00	209,00	170,00	179,00	138,00	122,00	99,00	51,00	1,00				
13/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S4	430251,31	4516948,94	1,262	5	211A07039	1,00	3,00	0,26	-1,74		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,00	111,00	275,00	295,00	-	101,00	55,00	7,00	1,00				
13/04/2021	Invitalia 2021 AS 18	S4	430251,31	4516948,94	1,262	5	211A07040	3,00	5,00	-1,74	-3,74		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,00	115,00	348,00	229,00	110,00	99,00	52,00	4,80	1,00				
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	231A02864	0,00	0,10	0,95	0,85	Top soil	1,57	87	27	27	748	105	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	231A02865	0,00	1,00	0,95	-0,05		1,48	103	20	25	561	157	4,7	<0,1	8,6	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	231A02866	1,00	1,80	-0,05	-0,85		1,56	117	18	24	341	216	6,8	<0,1	11,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	231A02867	1,80	5,00	-0,85	-0,05		1,64	121	32	142	458	49	11,1	10,6	8,7	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	231A02868	5,00	7,00	-4,05	-6,05		1,58	151	53	32	376	113	12,9	<0,1	14,7	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8B/5	430351,931	4517071,811	2,11	7	231A02965	0,00	1,00	2,11	1,11		1,52	85	17	71	748	24	2,2	<0,1	3,2	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8B/5	430351,931	4517071,811	2,11	7	231A02966	1,00	2,50	1,11	-0,39		1,73	81	40	78	652	44	4,6	<0,1	5,9	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8B/5	430351,931	4517071,811	2,11	7	231A02967	2,50	5,00	-0,39	-2,89	Top soil	1,55	116	37	29	402	46	11,6	8,1	17,3	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8B/5	430351,931	4517071,811	2,11	7	231A02968	0,00	0,10	2,11	2,01		1,4	95	48	33	693	54	3,6	<0,1	4,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	231A02969	0,00	1,00	1,70	0,70		1,36	88	19	41	692	42	2,9	6,8	3,2	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	231A02970	1,00	2,30	0,70	-0,60		1,6	89	34	25	711	37	6	<0,1	4,3	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	231A02971	2,30	5,00	-0,60	-3,30		1,55	113	54	49	410	46	11,7	<0,1	21,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	231A02972	5,00	7,00	-3,30	-5,30		1,58	88	56	66	599	26	9	<0,1	11,5	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8B/5	430351,931	4517071,811	2,11	7	231A02973	5,00	7,00	-2,89	-4,89		1,51	141	47	61	407	69	11	<0,1	16,5	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	231A02974	0,00	0,10	1,70	1,60	Top soil	1,49	70	32	39	786	58	0,9	<0,1	0,5	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

All.06_Dati Arenile Sud
Dati FOC

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slim) DA	Quota prelievo campione (m slim) A	Note	FRAZIONE ORGANICA (FOC) g/kg
31/01/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5	430231,48	4516865,38	1,05	7	23LA06710	5,00	7,00	-3,95	-5,95		4
31/01/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6-PZ(ARS)5	430213,33	4516802,414	0,616	7	23LA06711	5,00	7,00	-4,38	-6,38		4
01/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3-PZ(ARS)2	430265,008	4517034,264	0,678	7	23LA06712	5,00	7,00	-4,32	-6,32		1
01/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8-PZ(ARS)1	430303,046	4517060,691	1,4	7	23LA06713	0,00	1,00	1,40	0,40		1
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1	430224,98	4517271,39	0,295	7	23LA06714	0,00	1,00	0,30	-0,71		9
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1	430224,98	4517271,39	0,295	7	23LA06715	5,00	7,00	-4,71	-6,71		2
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2	430261,59	4517187,64	0,627	7	23LA06716	0,00	1,00	0,63	-0,37		1
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2	430261,59	4517187,64	0,627	7	23LA06717	5,00	7,00	-4,37	-6,37		4
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	430336,16	4517178,43	2,544	7	23LA06718	0,00	1,00	2,54	1,54		2
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	430336,16	4517178,43	2,544	7	23LA06719	5,00	7,00	-2,46	-4,46		1
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9	430365,55	4516987,24	1,732	7	23LA06720	0,00	1,00	1,73	0,73		10
02/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9	430365,55	4516987,24	1,732	7	23LA06721	5,00	7,00	-3,27	-5,27		1
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6-PZ(ARS)5	430213,33	4516802,414	0,616	7	23LA06722	0,00	0,10	0,62	0,52	Top soil	6
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5	430231,48	4516865,38	1,05	7	23LA06723	0,00	0,10	1,05	0,95	Top soil	2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4	430251,31	4516948,94	1,262	7	23LA06724	0,00	0,10	1,26	1,16	Top soil	1
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1/2	430249,323	4517234,227	0,95	7	23LA06725	0,00	1,00	0,95	-0,05		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1/2	430249,323	4517234,227	0,95	7	23LA06726	1,00	1,60	-0,05	-0,65		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1/2	430249,323	4517234,227	0,95	7	23LA06727	1,60	5,00	-0,65	-4,05		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1/2	430249,323	4517234,227	0,95	7	23LA06728	5,00	7,00	-4,05	-6,05		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2/8	430284,695	4517134,97	0,65	7	23LA06729	0,00	1,00	0,65	-0,35		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2/8	430284,695	4517134,97	0,65	7	23LA06730	1,60	5,00	-0,95	-4,35		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2/8	430284,695	4517134,97	0,65	7	23LA06731	5,00	7,00	-4,35	-6,35		1
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2/8	430284,695	4517134,97	0,65	7	23LA06732	5,00	7,00	-4,35	-6,35		3
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06733	0,00	1,00	0,86	-0,14		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06734	1,00	2,00	-0,14	-1,14		1
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06735	2,00	5,00	-1,14	-4,14		2
03/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06736	5,00	7,00	-4,14	-6,14		2
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4/5	430254,807	4516905,259	0,819	7	23LA06737	5,00	7,00	-4,18	-6,18		5
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	23LA06738	0,00	0,10	0,95	0,85	Top soil	1
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	23LA06739	0,00	1,00	0,95	-0,05		2
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	23LA06740	1,00	1,80	-0,05	-0,85		2
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	23LA06741	1,80	5,00	-0,85	-4,05		3
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5/6	430223,856	4516833,322	0,95	7	23LA06742	5,00	7,00	-4,05	-6,05		6
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057	0,787	7	23LA06743	0,00	0,10	0,79	0,69	Top soil	3
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057	0,787	7	23LA06744	0,00	1,00	0,79	-0,21		5
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057	0,787	7	23LA06745	1,70	5,00	-0,91	-4,21		5
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057	0,787	7	23LA06746	5,00	7,00	-4,21	-6,21		4
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8BIS	430351,931	4517071,811	2,11	7	23LA06747	0,00	1,00	2,11	1,11		7
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8BIS	430351,931	4517071,811	2,11	7	23LA06748	1,00	2,50	1,11	-0,39		2
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8BIS	430351,931	4517071,811	2,11	7	23LA06749	2,50	5,00	-0,39	-2,89		< 1
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8BIS	430351,931	4517071,811	2,11	7	23LA06750	0,00	0,10	2,11	2,01	Top soil	3
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	23LA06751	0,00	1,00	1,70	0,70		7
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	23LA06752	1,00	2,30	0,70	-0,60		3
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	23LA06753	2,30	5,00	-0,60	-3,30		1
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	23LA06754	5,00	7,00	-3,30	-5,30		3
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8BIS	430351,931	4517071,811	2,11	7	23LA06755	5,00	7,00	-2,89	-4,89		5
07/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8/9	430333,14	4516999,699	1,7	7	23LA06756	0,00	0,10	1,70	1,60	Top soil	4
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06763	0,00	0,10	1,30	1,20	Top soil	4
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06764	0,00	0,30	1,30	1,00		3
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06765	0,30	1,00	1,00	0,30		4
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06766	0,00	1,00	1,30	0,30		6
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06767	1,00	2,00	0,30	-0,70		3
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06768	2,00	5,00	-0,70	-3,70		4
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5BIS	430332,534	4516883,352	1,5	7	23LA06769	0,00	0,10	1,50	1,40	Top soil	2
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5BIS	430332,534	4516883,352	1,5	7	23LA06770	0,00	1,00	1,50	0,50		3
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5BIS	430332,534	4516883,352	1,5	7	23LA06771	1,00	2,10	0,50	-0,60		4
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5BIS	430332,534	4516883,352	1,5	7	23LA06772	2,10	5,00	-0,60	-3,50		1
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S5BIS	430332,534	4516883,352	1,5	7	23LA06773	5,00	7,00	-3,50	-5,50		3
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT2	430380,466	4516885,188	1,843	5	23LA06774	0,00	1,00	1,84	0,84		6
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT2	430380,466	4516885,188	1,843	5	23LA06775	1,00	2,10	0,84	-0,26		3
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	SUT2	430380,466	4516885,188	1,843	5	23LA06776	2,10	5,00	-0,26	-3,16		6
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06777	0,00	0,30	0,86	0,56		1
09/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06778	0,30	1,00	0,56	-0,14		22
22/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S1/2	430249,323	4517234,227	0,95	7	23LA06822	0,00	0,10	0,95	0,85	Top soil	5
22/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2/8	430284,695	4517134,97	0,65	7	23LA06823	0,00	0,10	0,65	0,55	Top soil	5
23/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S9	430365,55	4516987,24	1,732	7	23LA06824	0,00	0,10	1,73	1,63	Top soil	3
23/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3/4	430277,676	4516990,232	0,857	7	23LA06825	0,00	0,10	0,86	0,76	Top soil	7

All.06_Dati Arenile Sud
Dati MADEP

Data di campionamento	Documento di Riferimento	Sondaggio	x (coordinate WGS84 UTM33)	y (coordinate WGS84 UTM33)	z (mslm)	Profondità Sondaggio (m)	Codice Campione	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	Quota prelievo campione (m slm) DA	Quota prelievo campione (m slm) A	Note	IDROCARBURI C5 - C8 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C9 - C12 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C9 - C10 AROMATICI mg/kg	IDROCARBURI C13 - C18 ALIFATICI mg/kg	IDROCARBURI C13 - C22 AROMATICI mg/kg	IDROCARBURI C19 - C36 ALIFATICI mg/kg
08/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,43	1,3	7	23LA06831	5,00	7,00	-3,70	-5,70		<1	<1	<1	15	16	42
22/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S2	430261,59	4517187,64	0,627	7	23LA06832	0,00	0,10	0,63	0,53	Top soil	<1	<1	<1	47	13	59
01/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S3-PZ(ARS)2	430265,008	4517034,264	0,678	7	23LA06828	0,00	1,00	0,68	-0,32		<1	<1	<1	22	7	70
31/01/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S4	430251,31	4516948,94	1,262	7	23LA06826	5,00	7,00	-3,74	-5,74		<1	<1	<1	40	53	194
06/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057	0,787	7	23LA06830	1,00	1,70	-0,21	-0,91		<1	<1	<1	94	124	571
31/01/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S6-PZ(ARS)5	430213,33	4516802,414	0,616	7	23LA06827	0,00	1,00	0,62	-0,38		<1	62	<1	8	67	79
22/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S7	430336,16	4517178,43	2,544	7	23LA06833	0,00	0,10	2,54	2,44	Top soil	<1	<1	<1	20	21	29
01/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8-PZ(ARS)1	430303,046	4517060,691	1,4	7	23LA06829	5,00	7,00	-3,60	-5,60		<1	<1	<1	67	53	366
22/02/2023	Invitalia PdCC 2023 AS 2	S8-PZ(ARS)1	430303,046	4517060,691	1,4	7	23LA06834	0,00	0,10	1,40	1,30	Top soil	<1	<1	<1	23	18	53