

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.

_FINALCA INGEGNERIA S.r.l.
_3BA S.r.l.
_DHI SRL A SOCIO UNICO
_ASPS Servizi Archeologici s.n.c.

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)

Responsabile Impianti (CAT. IB.06)
_Ing. G. Morlando (FINALCA)

Responsabile Rilievi
_Geol. L. Bignotti (AMBIENTE)

Archeologo
_Dott. F. Tiboni (ASPS)

Responsabile Acustica
_Ing. C. Di Michele (PROGER)

Responsabile Indagini
_Geol. M. Mannocci (AMBIENTE)

Responsabile Paesaggistica
_Ing. F. Tamburini (AMBIENTE)

Responsabile Geologia
_Geol. M. Sandrucci (PROGER)

Resp. Test dimostrazione Tecno.
-Rimozione Sedimenti
_Geol. R. Costa (ARCADIS)

Responsabile Aspetti Naturalistici e S.I.A.
_Ing. L. Bertolé (ARCADIS)

Coor. Sicurezza in fase di Progettazione
_Ing. N. Sciarra (PROGER)

Resp. Test dimostrazione Tecno.
-Capping
_Geol. P. Mauri (AMBIENTE)

Responsabile della Modellazione Numerica
_Ing. A. Pedroncini (DHI)

BIM MANAGER
_Geom. G. Pietrolungo (PROGER)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

RELAZIONE IDROGEOLOGICA
PARTE 1 DI 6

ELABORATO	DATA	NOME	FIRMA
REDAITTO	07/2023	Geol. G. Di Vincenzo (ARCADIS)	
VERIFICATO	07/2023	Ing. M. Balzarini (RINA)	
APPROVATO	07/2023	Ing. Edoardo Robortella Stacul	
DATA	07/2023		
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA
Rev. 0	20/07/2023	PRIMA EMISSIONE	-
Rev. 1	-		CODICE FILE
Rev. 2	-		2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00



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 DIESECUZIONE, 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 DIBAGNOLI-COROGLIO (NA)".

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Prima Emissione	Geol. G. Di Vincenzo (ARCADIS)	Ing. M. Balzarini (RINA)	Ing. E. Robortella Stacul	20/07/2023

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



PROGER



ambiente
consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente

ARCADIS

FINALCA
ingegneria.srl

3BA s.r.l.
engineering and consulting



AS

INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	3
INDICE DELLE FIGURE	3
INDICE DEGLI ALLEGATI	4
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	5
1 PREMESSA	6
1.1 DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO	7
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	8
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	16
3.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	16
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	17
3.3 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO	19
3.3.1 Caratteristiche stratigrafiche dell'ex area industriale di Bagnoli	21
4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	23
4.1 INDAGINI IDROGEOLOGICHE E MONITORAGGIO ACQUE DI FALDA RECENTI	24
4.1.1 Andamento piezometrico	27
4.1.2 Parametri idrogeologici	28
4.2 RAPPORTI ACQUE DOLCI/ACQUE SALATE	31
4.3 CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA FALDA	31
4.4 STATO DI FATTO ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA	33
5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - ARENILE NORD	34
5.1 PARAMETRI CHIMICO-FISICI – APPALTO SPECIFICO 2	36
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - ARENILE SUD	42
6.1 PARAMETRI CHIMICO-FISICI	44
7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - AREA DI COLMATA	50
7.1 PARAMETRI SITO SPECIFICI DELLA FALDA	53
8 BIBLIOGRAFIA	55

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1:	Esiti prove Lefranc (Appalto Specifico 3)	28
Tabella 5.1:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Nord	34
Tabella 5.2:	Esiti prove Lefranc febbraio 2006 – Arenile Nord	35
Tabella 6.1:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Sud	42
Tabella 6.2:	Esiti prove Lefranc febbraio 2006 – Arenile Sud	43
Tabella 7.1:	Parametri idrogeologici - Colmata	53
Tabella 7.2:	Conducibilità idrauliche medie	54

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1:	Ubicazione del SIN [B1]	8
Figura 2-2:	Ubicazione del SIN ([B19], scala originaria 1:5.000)	9
Figura 2-3:	Stato attuale dell'Arenile Nord	10
Figura 2-4:	Panoramica area di colmata	12
Figura 2-5:	Stato attuale della colmata	12
Figura 2-6:	Stato attuale dell'Arenile Sud	14
Figura 3-1:	Carta geomorfologica semplificata dell'area Bagnoli-Fuorigrotta [B10]	17
Figura 3-2:	Carta geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" ([B9], semplificata)	19
Figura 3-3:	Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" ([B9], semplificata).	21
Figura 4-1:	Piezometria (del settembre 1999) su dati di piezometri profondi e superficiali [B15].	24
Figura 4-2:	Piezometri realizzati nell'ambito dell'AS3, oltre a quelli già esistenti.	25
Figura 4-3:	Localizzazione dei sondaggi geotecnici e ambientali	26
Figura 4-4:	Carta idrogeologica (marzo 2019). Stralcio elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.02	27
Figura 4-5:	Andamento dell'interfaccia nel sito ex ITALSIDER [B21] lungo la sezione indicata nel riquadro	31
Figura 5-1:	Ubicazione indagini integrative febbraio 2006 – Arenile Nord	36
Figura 5-2:	Distribuzione dei valori di temperatura (°) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	37
Figura 5-3:	Distribuzione dei valori di pH con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	38
Figura 5-3:	Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica (µS/cm) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	38
Figura 5-5:	Distribuzione dei valori di ossigeno disciolto (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	39
Figura 5-6:	Distribuzione dei valori di potenziale Redox (mV) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	39
Figura 5-7:	Distribuzione dei valori di resistività elettrica (Ω·m) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	40
Figura 5-8:	Distribuzione dei valori di solidi totali disciolti (TDS) (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	40
Figura 5-9:	Distribuzione dei valori di salinità (g/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord	41
Figura 6-1:	Ubicazione indagini integrative febbraio 2006 – Arenile Sud	43
Figura 6-2:	Distribuzione dei valori di temperatura (°) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	45
Figura 6-3:	Distribuzione dei valori di pH con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	45
Figura 6-4:	Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica (µS/cm) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	46
Figura 6-5:	Distribuzione dei valori di ossigeno disciolto (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	46

Figura 6-6:	Distribuzione dei valori di potenziale Redox (mV) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	47
Figura 6-7:	Distribuzione dei valori di resistività elettrica ($\Omega \cdot m$) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	47
Figura 6-8:	Distribuzione dei valori di solidi totali disciolti (TDS) (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	48
Figura 6-8:	Distribuzione dei valori di salinità (g/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud	48
Figura 7-1:	Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.)	51
Figura 7-2:	Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.)	52
Figura 7-3:	Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (topografia, interfaccia colmata-sedimenti e superficie piezometrica del marzo 2019)	52
Figura 7-3:	Distribuzione della porosità efficace (%) tramite Poligoni di <i>Thiessen</i>	54

INDICE DEGLI ALLEGATI

Allegato 1.	Tabella riassuntiva parametri chimico-fisici – AS 3
Allegato 2.	Mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici– AS 3
Allegato 3.	Tabella riassuntiva parametri chimico-fisici – AS 2
Allegato 4.	Mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici– AS 2
Allegato 5.	Ricostruzioni piezometriche area di colmata – AS3

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

SIN	Sito di Interesse Nazionale
Pdcc	Piano di Caratterizzazione Complementare, Invitalia, luglio-ottobre 2022
PFTE	Progetto di Fattibilità Tecniche ed Economiche Bonifiche e Risanamento Ambientale del SRIN di Bagnoli-Coroglio
PRARU	Programma di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli – Coroglio
D.C.	Dopo Cristo

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 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 del 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 del SIN, al netto di quelli di cui al punto precedente.

Il presente elaborato costituisce la Relazione Idrogeologica sito-specifica che sintetizza le conoscenze idrogeologiche del territorio in oggetto, derivanti, oltre che dall'analisi bibliografica, anche dall'interpretazione delle indagini condotte in sito nel corso degli anni.

1.1 DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

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] "Relazione idrogeologica – Allegato F. Rimozione della colmata a mare e bonifica dei fondali dell'area marina costiera del sito di interesse nazionale Bagnoli-Coroglio. Bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli e Coroglio (Na) – Fase 0 – Arenili di Bagnoli – Lotto 2 – Progetto Esecutivo". Sviluppo Italia Attività Produttive S.p.a., aprile 2008.
- [4] "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". Università degli studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale, novembre 2009.
- [5] "Relazione tecnica Appalto Specifico n.2", Invitalia – 6 dicembre 2018
- [6] "Caratterizzazione ambientale dell'area marina 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
- [7] "Progetto di Fattibilità Tecnico economica della Bonifica e Risanamento Ambientale" (PFTE), Invitalia, maggio 2020
- [8] "Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud", Invitalia, luglio 2022
- [9] 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
- [10] "Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud" rev.2, Invitalia, ottobre 2022

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Area di Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (di seguito ARIN) è ubicata all'estremità sudoccidentale della città di Napoli, nell'area orientale del Golfo di Pozzuoli (Golfo di Napoli) tra la zona di Coroglio-Isola di Nisida e l'abitato di Pozzuoli (vedi Figura 2-1) e comprende l'intera zona degli ex stabilimenti di Bagnoli con una superficie di circa 250 Ha.

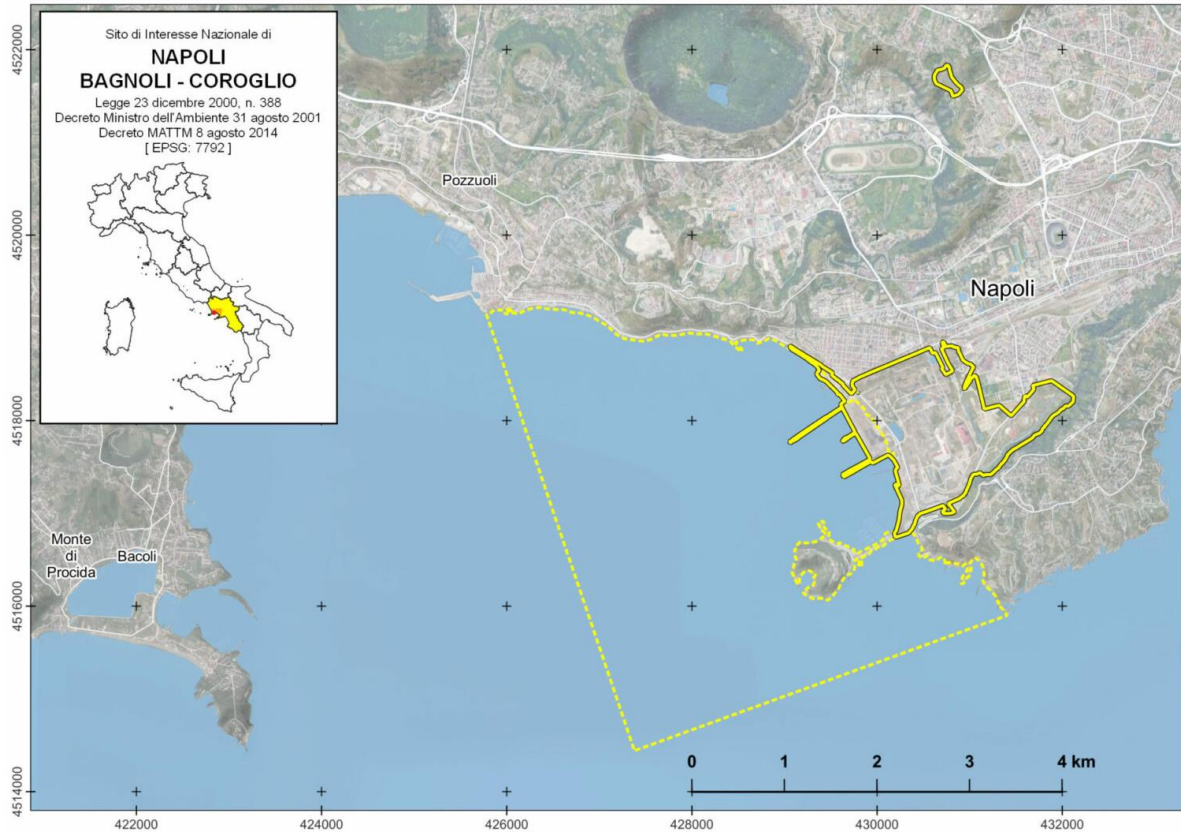


Figura 2-1: Ubicazione dell'ARIN [B1]

Nella cartografia ufficiale italiana (IGM) l'intera area risulta inquadrata nella serie 25V scala 1:25.000 tavoletta 184 III Nord Est "Pozzuoli". Per quanto riguarda la nuova produzione ufficiale (IGM serie 25) l'area ricade nella tavoletta alla scala 1:25.000 numero 447 II "Napoli". Sempre all'interno della produzione cartografica nazionale, ma alla scala 1:50.000 (IGM Serie 50), l'area è ricompresa nel Foglio 446-447 "Napoli"; mentre ricade nel Foglio 184 "Napoli" per la carta al 1:100.000 delle serie 100/V e 100/L.

Infine, per quanto riguarda la produzione cartografica della Regione Campania e della Provincia di Napoli, l'area è contenuta all'interno degli Elementi 447142 "Pozzuoli" e 447153 "Napoli - Posillipo" della Carta Tecnica Numerica della Provincia di Napoli alla scala 1:5.000 (Figura 2-2).

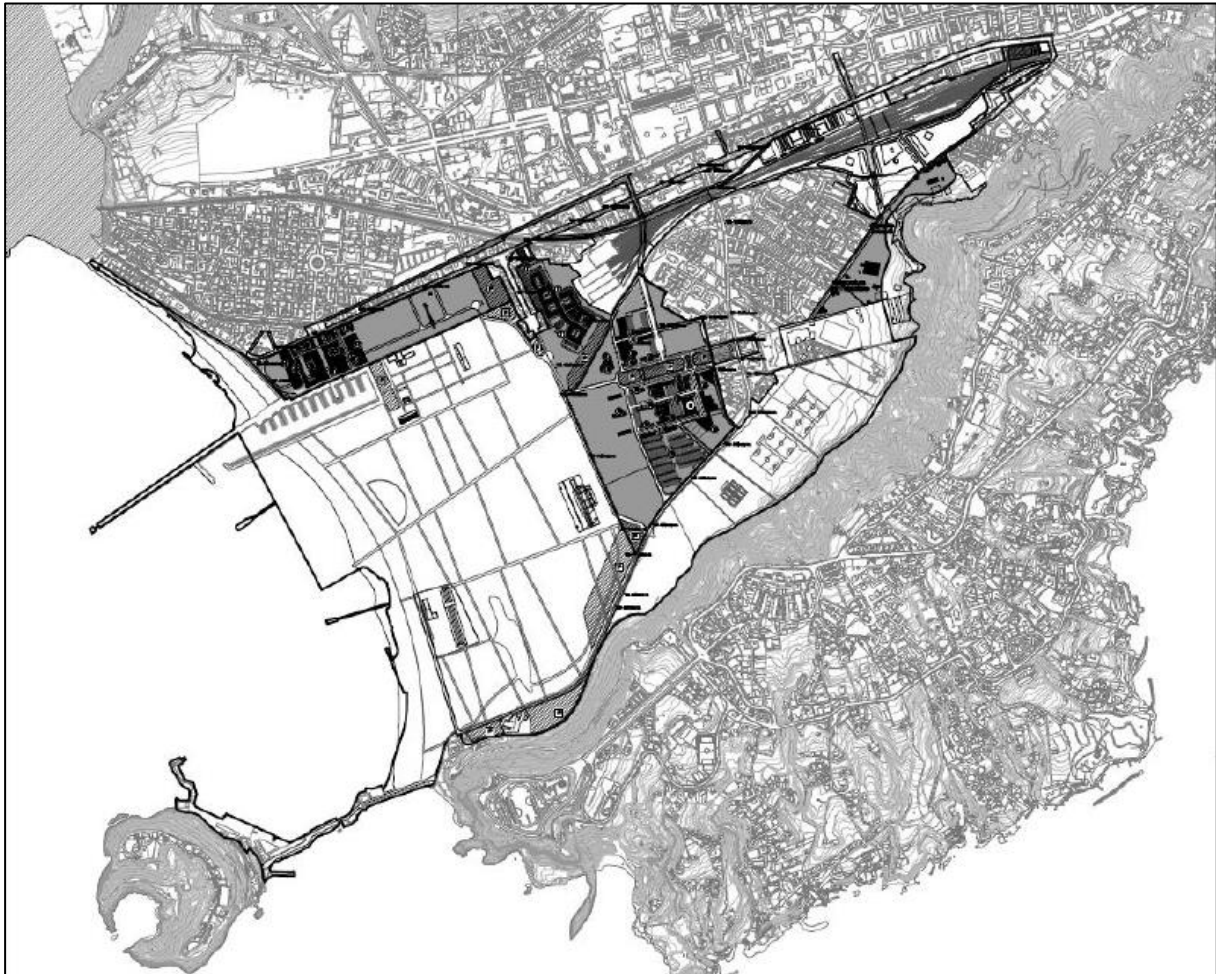


Figura 2-2: Ubicazione dell'ARIN ([B19], scala originaria 1:5.000)

Il territorio dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio costituisce parte integrante dei Campi Flegrei, una complessa area vulcanica, con caratteristiche di caldera di collasso ([B2]; [B11]; [B18]) che è stata attiva almeno negli ultimi ~ 60 ka BP ([B12], [B16], [B17]).

La distribuzione dei sedimenti nel Golfo di Pozzuoli e nelle aree adiacenti è strettamente controllata dalle vicende climatiche e vulcanotettoniche della zona ([B2]). Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali dei sedimenti del Golfo di Pozzuoli, [B2] individuano tre zone, delle quali, la prima è di interesse per il presente lavoro.

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

Le aree di interesse per il presente lavoro sono costituite dagli arenili emersi Nord e Sud, i sedimenti naturali sottostanti la colmata, i sedimenti marini onshore.

Arenile Nord

Come indicato nel PFTE, l'arenile Nord, per il quale si intende la porzione di litorale nord interessata dal solo sedimento sciolto, si colloca all'estremità settentrionale dell'ARIN, a nord rispetto alla colmata ed è storicamente suddivisibile in 3 sub-aree o lidi, identificati come:

- ✓ Lido l'Arenile: confinante a sud con la colmata e a nord con il Lido Comunale, in concessione a privati;
- ✓ Lido Comunale: confinante a sud con l'Arenile e a nord con il Lido Fortuna;

- ✓ Lido Fortuna: confinante a sud con il lido Comunale e a nord con la così detta "rotonda", anch'esso in concessione a privati.

L'estremità Nord dell'arenile è caratterizzato infine da una piccola ansa costituita da un ulteriore arenile Belvedere, situato tra gli scarichi dell'Emissario Bagnoli e della Conca d'Agnano.

L'immagine seguente mostra lo stato attuale dell'arenile Nord.



Figura 2-3: Stato attuale dell'Arenile Nord

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

Colmata

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. Vennero così, acquisiti dall'ex Italsider nuovi spazi per la realizzazione del parco fossili (area settentrionale tra il pontile Nord e la presa a mare), parco rottame e deposito semiprodotti (area meridionale tra presa a mare e Pontile Sud) che furono adeguati all'aumentata capacità produttiva dello stabilimento di Bagnoli.

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 2-4: Panoramica area di colmata

L'immagine seguente mostra lo stato attuale della colmata e alcune prese fotografiche dello stato di fatto di maggio 2023.



Figura 2-5: Stato attuale della colmata

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 14

Arenile Sud

L'arenile Sud, per il quale si intende la porzione di litorale sud interessata dal solo sedimento sciolto, è la porzione del litorale di Coroglio che si estende dal braccio di Nisida alla colmata e risulta antistante al vecchio Borgo marinaro denominato Borgo Coroglio, alla Città della Scienza e al Circolo ILVA.

L'immagine seguente mostra lo stato attuale dell'arenile Sud e alcune prese fotografiche dello stato di fatto di maggio 2023, da cui è possibile notare come attualmente tale arenile abbia una evoluzione in avanzamento rispetto il mare (si veda in particolare la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** in cui è possibile apprezzare un tratto di costa integrativa rispetto alla scogliera che delimitava in precedenza il confine dell'arenile verso mare).

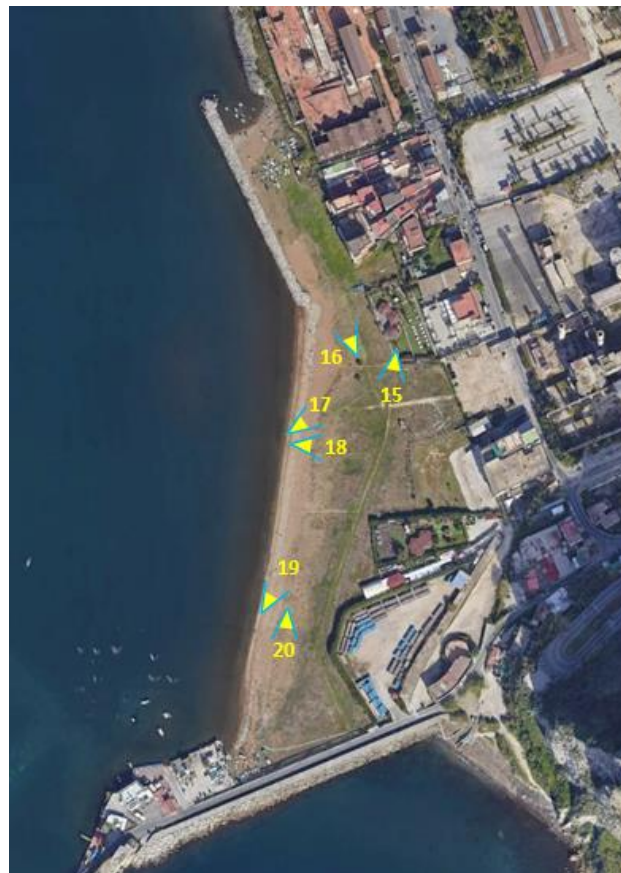


Figura 2-6: Stato attuale dell'Arenile Sud

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023



Foto 15



Foto 16



Foto 17



Foto 18



Foto 19



Foto 20

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di studio è situata nell'unità morfologica della piana di Bagnoli-Fuorigrotta dominata, da un punto di vista geologico, dalla struttura vulcanica dei Campi Flegrei.

La piana di Bagnoli-Fuorigrotta si estende per circa 7,5 km² ed è situata tra il campo policroterico di Agnano e la dorsale di Posillipo, a circa 10 km a NE rispetto al Golfo di Posillipo; essa deve il suo assetto morfologico alle vicende vulcaniche e vulcano-tettoniche connesse alle manifestazioni eruttive flegree, in particolare, all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano avvenuta circa 12.000 anni fa ([B4]). È caratterizzata da due evidenti elementi geomorfologici: il Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta e la Piana di Coroglio, separati da una debole scarpata erosionale di circa 2 m identificata come "paleofalesia", ed il suo riempimento è costituito in massima parte da sedimenti di origine vulcanica subaerei e marini depositatisi in un'area caratterizzata da prevalente subsidenza. A questi sedimenti sono spesso intercalati depositi alluvionali, palustri e paleosuoli.

In particolare, la depressione è stata individuata, come bacino di sedimentazione marina, con il collasso vulcano-tettonico che tra gli 11 e 12 mila anni fa circa, originò la «caldera flegrea» [B10]. Essa fu poi ristretta e confinata spazialmente dalla messa in posto, in seguito a numerose eruzioni prevalentemente esplosive, del campo policroterico di Agnano a NW che in due fasi distinte, tra 11 e i 3,7 mila anni fa circa, contribuì massicciamente all'aggradazione della depressione bacinale con conseguente avanzamento della linea di costa e formazione del Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

La risalita eustatica del livello marino insieme ad una marcata subsidenza di natura bradisismica consentirono che a valle del Terrazzo, nella Piana di Coroglio, la sedimentazione marina continuasse fino in epoca recente intervallata ad episodi continentali di tipo palustre. Tali ambienti sono persistiti fino agli inizi del 1800 quando l'intera area è stata definitivamente bonificata ed interamente industrializzata e urbanizzata, portando ad una completa trasformazione morfologica del territorio.

Il paesaggio locale si presenta sub-pianeggiante, interrotto dal piccolo cono scoriaceo di S. Teresa (5.500-3.500 anni fa) e da un modesto terrazzo morfologico che delimita, nel settore sud-occidentale della depressione, la Piana di Coroglio, caratterizzata da una successione deposizionale diversa soprattutto nei livelli più alti. Tale Piana contiene l'intero abitato di Cavalleggeri e l'ex area industriale di Bagnoli.

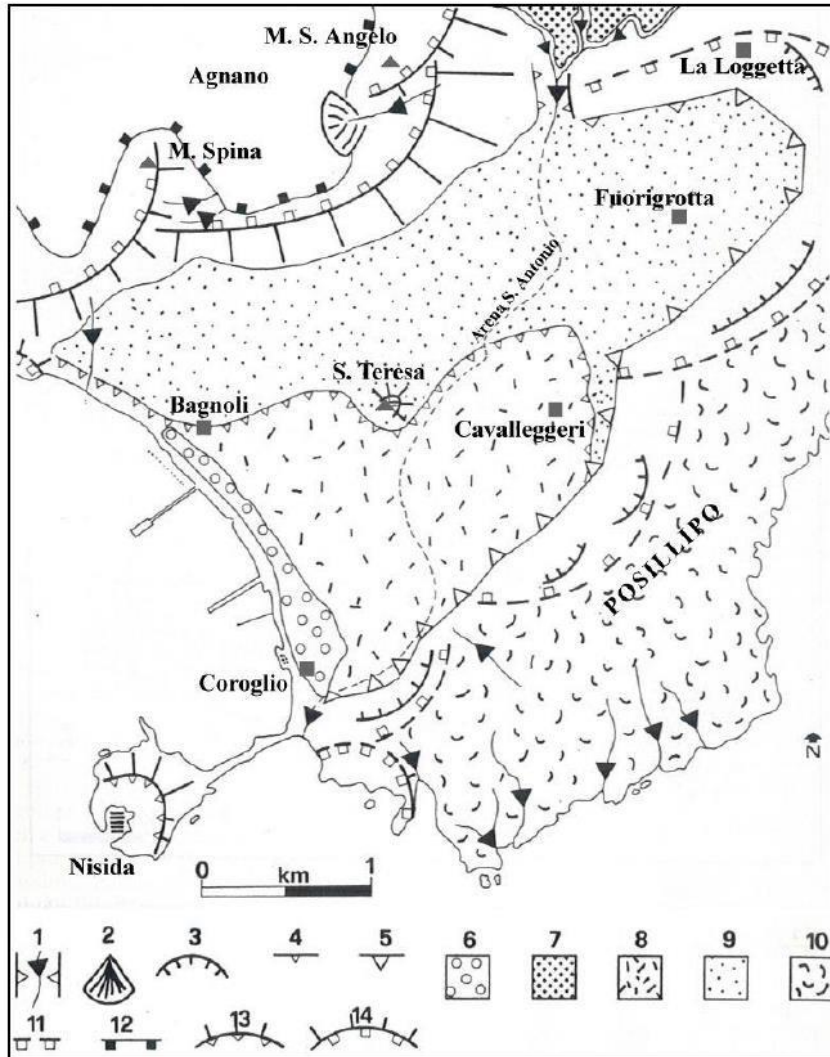


Figura 13 - Carta geomorfologica semplificata dell'area di Bagnoli-Fuorigrotta. Legenda: 1) Valloni di erosione torrentizia; 2) conoidi alluvionali; 3) versanti interessati da erosione diffusa o di tipo franoso; 4) scarpata erosionale, "paleofalesia", che delimita il terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta; 5) scarpata erosionale dovuta all'arretramento del versante della caldera; 6) area occupata dalla duna costiera; 7) superficie terrazzata della piana di Soccavo; 8) piana di Coroglio; 9) terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta; 10) superficie strutturale del recinto calderico; 11) lineamenti sub arcuati di possibili recinti craterici coinvolti nella calderizzazione; 12) orlo craterico del campo di Agnano; 13) edifici vulcanici; 14) edifici vulcanici relitti (da Russo e Calderoni, 1998, modificata).

Figura 3-1: Carta geomorfologica semplificata dell'area Bagnoli-Fuorigrotta [B10]

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'area di studio ricade all'interno della zona vulcanica attiva dei Campi Flegrei, rappresentata dalla depressione tettonica di Bagnoli-Fuorigrotta, situata ad Ovest della città di Napoli.

Il principale elemento geologico-strutturale è costituito dalla vasta caldera vulcanica collassata circa 35.000 anni fa a seguito dell'eruzione e conseguente messa in posto dell'Ignimbrite Campana (Tufo grigio campano). I prodotti di tale eruzione costituiscono i principali litotipi affioranti lungo le scarpate che bordano i margini occidentali e settentrionali della depressione Flegrea e si estendono verso est lungo l'allineamento Camaldoli-Poggioreale [B8],

mentre sono assenti all'interno della zona dei Campi Flegrei, verosimilmente a causa dei processi erosivi o perché ricoperti dalle vulcaniti delle successive eruzioni dei Campi Flegrei e del Vesuvio e da terreni alluvionali.

L'attività vulcanica recente compresa nel periodo che va da 35.000 anni fa al 1538 D.C. può essere suddivisa nelle seguenti cinque principali fasi di attività:

- ✓ Vulcanismo pre-Ignimbrite Campana
- ✓ Eruzione dell'Ignimbrite Campana e relativo collasso calderico
- ✓ Vulcanismo tra l'Ignimbrite Campana ed il Tufo Giallo Napoletano
- ✓ Eruzione del Tufo Giallo Napoletano e relativo collasso calderico (secondo)
- ✓ Vulcanismo post-Tufo Giallo Napoletano

Dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano si verificò un collasso calderico, causato dal rapido svuotamento della camera magmatica nel corso dell'eruzione che provocò il cedimento delle rocce sovrastanti che, non più sostenute dal magma, cominciarono a fratturarsi e a crollare, determinando la formazione di una caldera. Il magma residuo, ancora presente nella camera magmatica, raggiunse la superficie in più punti attraverso le fratture calderiche generando così numerose eruzioni simultanee che produssero dense correnti piroclastiche. Queste si propagarono attorno all'area calderica, fino ad una distanza di circa 14 km dall'area corrispondente alla depressione. Con il passare dei giorni l'eruzione diminuì di intensità per l'esaurirsi del magma disponibile e la vasta depressione calderica fu invasa dal mare. La cenere rimasta nell'atmosfera lentamente cominciò a depositarsi al suolo con spessori massimi raggiunti di 100 m all'interno della caldera [B20].

Pertanto, in seguito a questo evento, la Piana Bagnoli-Fuorigrotta si ritrovò in un ambiente marino: queste condizioni, tuttavia, andarono modificandosi con la costruzione del fianco nord-occidentale della depressione dovuta agli eventi vulcanici (post-caldera), che portarono alla formazione del campo policroterico di Agnano. L'attività esplosiva si sviluppò in due fasi (11.000-7.000 anni fa - Agnano antico e da 5.500 a 3.500 anni fa), portando alla nascita di più edifici vulcanici (Monte Spina, Astroni etc.), le cui strutture costituiscono i versanti che ora delimitano a NW la depressione.

I prodotti piroclastici provenienti dai centri eruttivi più antichi determinarono, nella zona della depressione ed in tempi diversi, ambienti di tipo continentale alternati ad altri marini o lagunari. Tra i 7.000 ed i 5.500 anni fa la depressione era ormai in ambiente continentale, diventando via via più stabile per le aggradazioni dovute alle successive eruzioni.

Restava in ambiente marino la zona più a SW (l'attuale Piana di Coroglio), dove si formò una falesia costiera. Verso i 3.500 anni fa, in quest'ultima zona si instaurarono ambienti limno-palustri, con alterne fasi di ingressione marina. In epoca tardo-romana (1.860 anni fa), la formazione di un cordone dunare determinò, a tergo, un ambiente palustre relativamente malsano, che si rileva ancora nella cartografia del XVI-XVII secolo ([B6]).

All'inizio dell'Ottocento la depressione fu sottoposta a parziali opere di bonifica, per colmata ed attraverso la regimazione delle acque, che proseguirono fino al 1828.

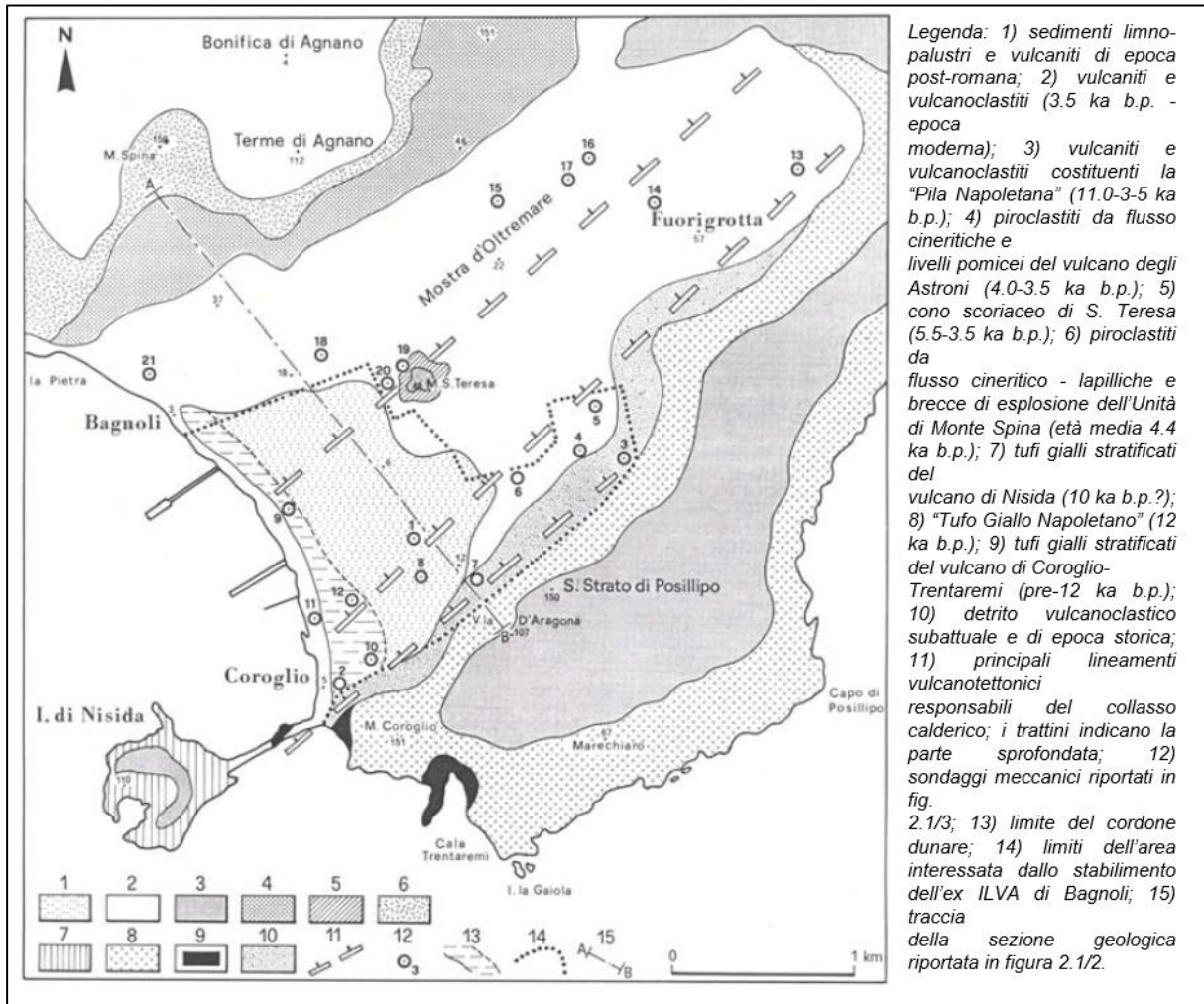


Figura 3-2: Carta geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" ([B9], semplificata)

3.3 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Dal punto di vista stratigrafico ([B9]), la "Depressione", formata a seguito dello sprofondamento del Tufo Giallo Napoletano, risulta oggi costituita da un'alternanza disordinata di sedimenti vulcanoclastici, alluvionali e detritici, frammisti a prodotti piroclastici, sedimenti limno-palustri, torbosi e di paleosuolo, nonché a depositi di origine marina, il tutto poggiante, localmente, su un substrato tufaceo costituito da Tufo Giallo Napoletano.

In particolare, suddividendo il territorio in aree omogenee dal punto di vista stratigrafico, è possibile individuare le seguenti sequenze litologiche, descritte di seguito, dall'alto verso il basso, per ciascuna zona:

Piana calderica Bagnoli-Fuorigrotta

- ✓ depositi eluviali, colluviali e torrentizi,
- ✓ depositi antropici rimaneggiati, prevalentemente di colmata di vecchi impluvi;
- ✓ detriti di versante e cumuli di frana, (localizzati prevalentemente alla base della collina di Posillipo nell'area Cavalleggeri e nell'area dell'Arsenale Militare) caratterizzati da alto grado di rimaneggiamento, fino alla fascia costiera, nell'area Bagnoli, dove è presente l'ex stabilimento Italsider e dove si trovano depositi

antropici (scorie di lavorazione mescolati con depositi naturali rimaneggiati) e dove affiorano sabbie e limi di ambiente litorale attuale e recente.

- ✓ tufi gialli stratificati contenenti pomice e scorie che costituiscono un modesto rilievo (quota pari a 36 m.s.l.m. della sommità rispetto a quota pari a 14 m s.l.m. della base del rilievo) che rappresenta il relitto di un piccolo vulcano, il Monte Santa Teresa, situato in prossimità della stazione ferroviaria di Cavalleggeri d'Aosta.

Nella zona più prossima al litorale di Bagnoli, per la gran parte dell'area ex Italsider, sono presenti sabbie e limi di ambiente litorale attuale e recente. Si tratta di depositi generalmente poco addensati, sovente rimaneggiati e localmente coalescenti con depositi antropici costituiti da scorie di lavorazione. Sono anche presenti depositi di origine palustre a granulometria prevalentemente limosa con livelli torbosi.

In tutta l'area della piana Bagnoli-Fuorigrotta-Soccavo, con esclusione delle zone immediatamente sottostanti i rilievi collinari e nell'immediato intorno del Colle di Santa Teresa, le sequenze vulcaniche risultano piuttosto profonde; in genere il tufo giallo si trova, in queste aree a profondità superiori a 50 ÷ 80 m da p.c. (in prossimità della Facoltà di Ingegneria il tufo si trova a circa 100 m di profondità).

Collina dei Camaldoli

- ✓ intercalazioni di livelli di ceneri e pomice depositatesi essenzialmente per caduta distale dei prodotti delle eruzioni recenti e paleosuoli;
- ✓ un'ampia fascia di Tufo Giallo Napoletano con pomice e frammenti litici distribuiti caoticamente nella matrice cineritica, localmente fratturati;
- ✓ una seconda fascia di Tufi antichi della serie urbana e quelli del Somma costituiti da intercalazioni di tufi litoidi e semilitoidi, stratificati e massivi, localmente associati a brecce;
- ✓ una fascia discontinua di Breccia del Museo – Piperno, costituita da brecce poligeniche grossolane in matrice sabbiosa di colore grigio rosato, intercalata o sovrapposta a livelli di Piperno, da semilitoidi a lapidei.

Soccavo – zona pedecollinare

- ✓ depositi eluviali, colluviali e torrentizi, detriti di versante e cumuli di frana, depositi antropici: si tratta dei medesimi litotipi che costituiscono il versante sovrastante, caratterizzati da alto grado di rimaneggiamento e presenti nelle aree limitrofe solo localmente in alcuni impluvi.

Fuorigrotta, ai piedi della collina del Vomero

- ✓ intercalazioni di livelli di ceneri pomice, in spessori rilevanti, depositatesi essenzialmente per caduta distale dei prodotti delle eruzioni recenti e paleosuoli;
- ✓ materiale di riporto ed accumuli antropici

Collina di Posillipo

La Collina di Posillipo costituisce un alto strutturale che delimita verso sud-est la piana di Bagnoli-Fuorigrotta, dove è riconoscibile una sequenza stratigrafica caratterizzata essenzialmente dalla presenza di:

- ✓ intercalazioni di livelli di ceneri pomice, depositatesi per caduta distale dei prodotti delle eruzioni recenti e paleosuoli;
- ✓ Tufi antichi grigiastri
- ✓ Tufi Gialli Napoletani lungo una fascia, che si restringe allontanandosi dal mare verso l'interno, con alte pareti a falesia, con importanti fratture singenetiche più o meno riattivate.

Area a Nord-occidentale di Bagnoli

- ✓ ceneri e cineriti stratificate con subordinati livelli pomice e lapilli accrezionati, appartenenti all'eruzione di Astroni, fino all'area di Pianura.

3.3.1 Caratteristiche stratigrafiche dell'ex area industriale di Bagnoli

Il territorio in cui risulta ubicata 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.

Processi di urbanizzazione ed industrializzazione hanno portato ad una completa trasformazione morfologica del territorio e di conseguenza del "naturale" substrato geologico; infatti, si rinvengono, sia in affioramento che in profondità, depositi di riempimento e di colmata costituiti da terreni di riporto formato anche da una componente di materiale litoide di provenienza industriale frammisto a prodotti cineritici rimaneggiati che hanno ricoperto in modo disuniforme l'intera piana a costituire un nuovo orizzonte litologico

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, urbanizzazione) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio.

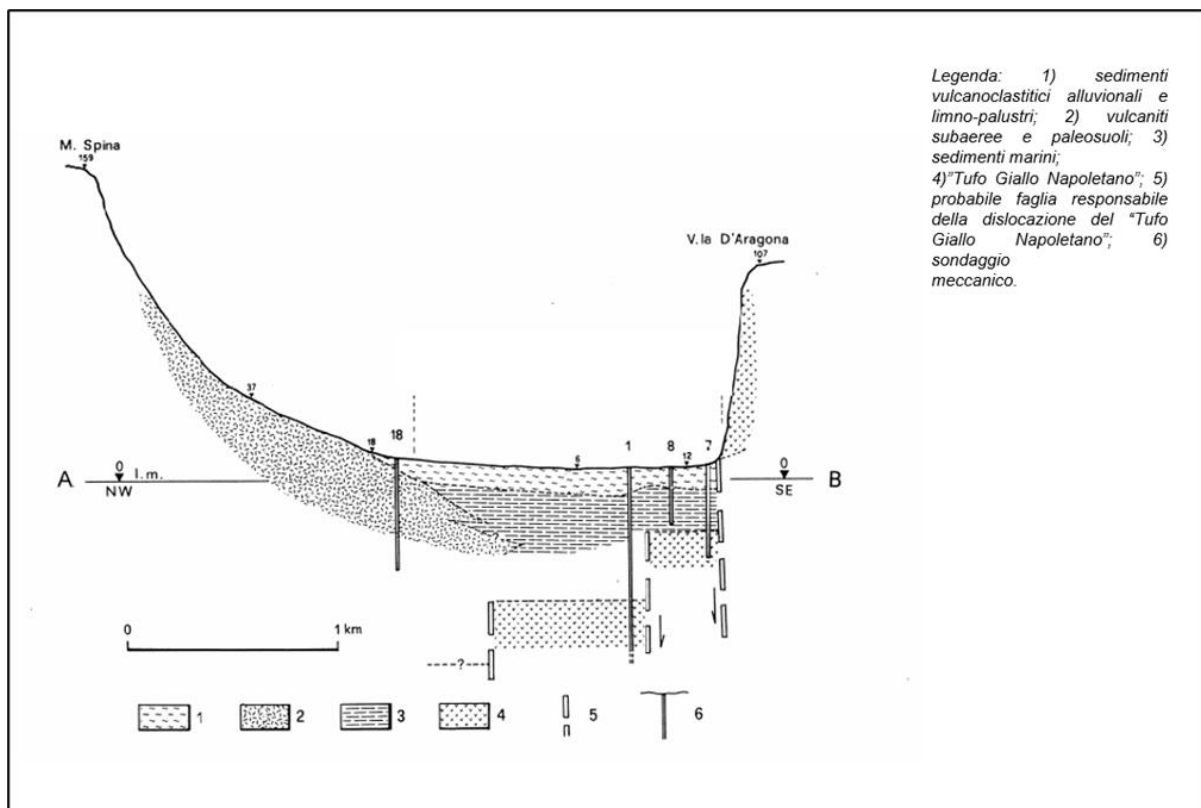


Figura 3-3: Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (B9, semplificata).

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

Dal punto di vista geologico i terreni affioranti nell'area di studio sono rappresentati in massima parte da terreno di riporto antropico che costituisce una coltre di spessore variabile per l'intera zona. I detriti accumulati, costituiti da materiale assai eterogeneo per natura, dimensioni e grado di compattazione, formano i terreni di riporto, cioè terreni la cui messa in posto è stata determinata dall'uomo.

Nei depositi antropici si rileva una notevole eterogeneità di materiali; in particolare, si distinguono: materiale naturale in ogni granulometria ed origine, scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale, costituito da loppe di altoforno, scorie di acciaieria, pezzame lateritico frammisti a terreni vulcanici

rimaneggiati, stratificati e distribuiti con spessori diversi in funzione della trasformazione, nel corso dei decenni, dei processi industriali, poggiati su un sub-strato formato in prevalenza da depositi limno-palustri e dunari.

In maniera schematica, la sequenza stratigrafica caratterizzante l'area oggetto di studio può essere così descritta, dall'alto verso il basso della serie:

- ✓ **Deposito di colmata:** Costituisce il materiale di riporto antropico e piroclastiti rimaneggiate di spessore variabile da 2 a 9 metri.
- ✓ **Prodotti del Vulcano Astroni (3.700 anni fa):** piroclastite cineritica fine, di colore grigio, inglobante lapilli pomicei centimetrici; dal punto di vista granulometrico ascrivibile a sabbia da media a finissima. Spessore variabile da 4 a 10 m;
- ✓ **Prodotti dei Vulcani Agnano-Montespina (4500 anni fa):** depositi pomiceo-cineritici e colate piroclastiche, intercalate a banchi coriacei saldati. Nelle parti distali si rinvencono depositi pomicei di ricaduta di colore rosato; sono presenti lapilli pomicei e litici centimetrici. Granulometricamente ascrivibile ad una sabbia molto grossolana e media. Spessore variabile da 7 a 10 m;
- ✓ **Prodotti del Vulcano Santa Teresa:** ceneri costituite da scorie scure anche di 4-5 cm, immerse in matrice sabbiosa pomicea. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia grossolana e media. Spessore variabile da 10 a 20 metri.
- ✓ **Sabbie fossilifere:** sabbie a granulometria media grossolana con resti fossili di origine marina. Alla base si rinviene un deposito grossolano di spiaggia.
- ✓ **Cineriti:** cinerite di colore grigio-verde con rari inclusi pomici e frammenti litici. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia fine-silt. Spessore investigativo variabile da 6 a 13 m.

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto lito-stratigrafico appena descritto si traduce, dal punto di vista idrogeologico, nella presenza di un acquifero poroso, di natura prevalentemente detritico-piroclastica, delimitato alla base dal substrato tufaceo e/o localmente da depositi marini pressoché impermeabili.

I terreni affioranti nella depressione e quelli del sottosuolo sono stati riuniti nei seguenti complessi idrogeologici (riportati a partire dai più recenti):

- ✓ **complesso clastico di deposizione continentale e costiera:** riunisce i sedimenti continentali, gli accumuli di origine antropica ed i depositi di origine litorale. L'insieme di tali materiali presenta stratificazione lenticolare e frequenti variazioni granulometriche in senso areale e lungo le verticali.
- ✓ **complesso piroclastico:** vi sono rappresentati i prodotti delle eruzioni vulcaniche comprese all'incirca tra 11.000 e 3.700 anni fa. Si tratta, essenzialmente, di cineriti, livelli di pomici e litici grossolani con granulometria variabile da sabbia a ghiaia media. Localmente sono presenti facies parzialmente litificate.
- ✓ **complesso clastico di deposizione continentale e costiera (sepolto):** si tratta di sabbie, sabbie limose e limi di ambiente marino e costiero nonché di depositi fluvio-lacustri e palustri. Le caratteristiche granulometriche e di permeabilità sono assimilabili a quelle dell'omonimo complesso superiore.
- ✓ **complesso tufaceo:** comprende essenzialmente la formazione del Tufo Giallo Napoletano oltre ai tufi dei vulcani S. Teresa e Coroglio-Trentaremi.

La successione idrostratigrafica è caratterizzata da orizzonti a diverso grado di "permeabilità relativa"; i diversi litotipi assumono forma pressoché lenticolare e discontinua, se di origine vulcanica o continentale, ovvero geometrie più regolari e continue, se di origine marina. Il flusso, tipico dei mezzi continui, risulta particolarmente influenzato dall'eterogeneità e dall'anisotropia dei litotipi costituenti l'acquifero. Ciò comporta che, localmente, le acque sotterranee tendono ad interdigitarsi in più livelli idrici tra loro interconnessi, mediante flussi di drenanza e/o soluzioni di continuità negli orizzonti meno permeabili.

Le ricostruzioni piezometriche ([B13], [B14]) evidenziano, nelle prime decine di metri di acquifero, la presenza di un modello idrodinamico che, a scala di bacino, è riconducibile ad un sistema a circolazione idrica sotterranea "unitaria" ("monofalda"); le diverse falde, laddove presenti, risultano caratterizzate da flussi unidirezionali, da gradienti piezometrici simili (se non disturbati da fattori antropici), da limitate differenze di carico piezometrico, oltre che dalle anzidette interconnessioni.

Localmente i deflussi idrici sotterranei più superficiali, diretti verso mare, sono condizionati localmente dalle opere profonde e dalle infrastrutture di servizio dell'area industriale dell'ex Ilva. Per contro, i circuiti idrici sotterranei relativamente più profondi, e non interferenti con le suddette opere, sembrano seguire un deflusso indisturbato diretto comunque verso mare.

Come illustrato in Figura 4-1, la direzione di flusso osservata indica la presenza di alcune zone di spartiacque sotterraneo che dividono, dal punto di vista idrodinamico, l'acquifero in tre settori principali:

- ✓ un primo settore, nord-occidentale, caratterizzato dalla presenza di una zona di drenaggio preferenziale, le cui acque trovano recapito lungo il tratto di costa dell'Arenile Nord; verso tale zona convergono direttrici di flusso che drenano acque che si infiltrano e defluiscono anche all'interno (settore retrostante il quartiere di via Enrico Cocchia) dello stabilimento dell'ex Ilva;
- ✓ un secondo settore, sud-orientale, caratterizzato dall'esistenza di più direttrici di flusso orientate verso S e SE, ossia verso una seconda zona di drenaggio preferenziale che si sviluppa alla base del versante nord-occidentale della collina di Posillipo, ove affiorano depositi detritici altamente trasmissivi; le acque, circolanti in tale settore, trovano recapito in mare, nella zona di Coroglio;
- ✓ un terzo settore, interamente collocato all'interno della zona centrale dell'area industriale, le cui acque hanno recapito diretto in mare, lungo il tratto di costa compreso tra l'area di colmata e la zona prossima a Coroglio.

Il gradiente piezometrico della falda varia da circa 0,2%, nelle zone di drenaggio preferenziale, a circa 1,2%, nelle zone di spartiacque sotterraneo, ovvero nelle zone di disturbo piezometrico indotto da opere antropiche. Infatti, il forte incremento della pendenza piezometrica esistente nel settore centrale, a ridosso dell'area di colmata, è legato, oltre che alla presenza di depositi localmente meno trasmissivi, all'esistenza di opere di fondazioni ed infrastrutture industriali che, in tal caso, riducono sensibilmente l'ampiezza della sezione drenante dell'acquifero.

In assenza dell'influenza delle attività antropiche il gradiente piezometrico medio della falda è relativamente basso (mediamente pari a circa 0,15%).

La geometria, la struttura e la granulometria dei depositi condizionano fortemente le caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero, sia saturo, sia insaturo.

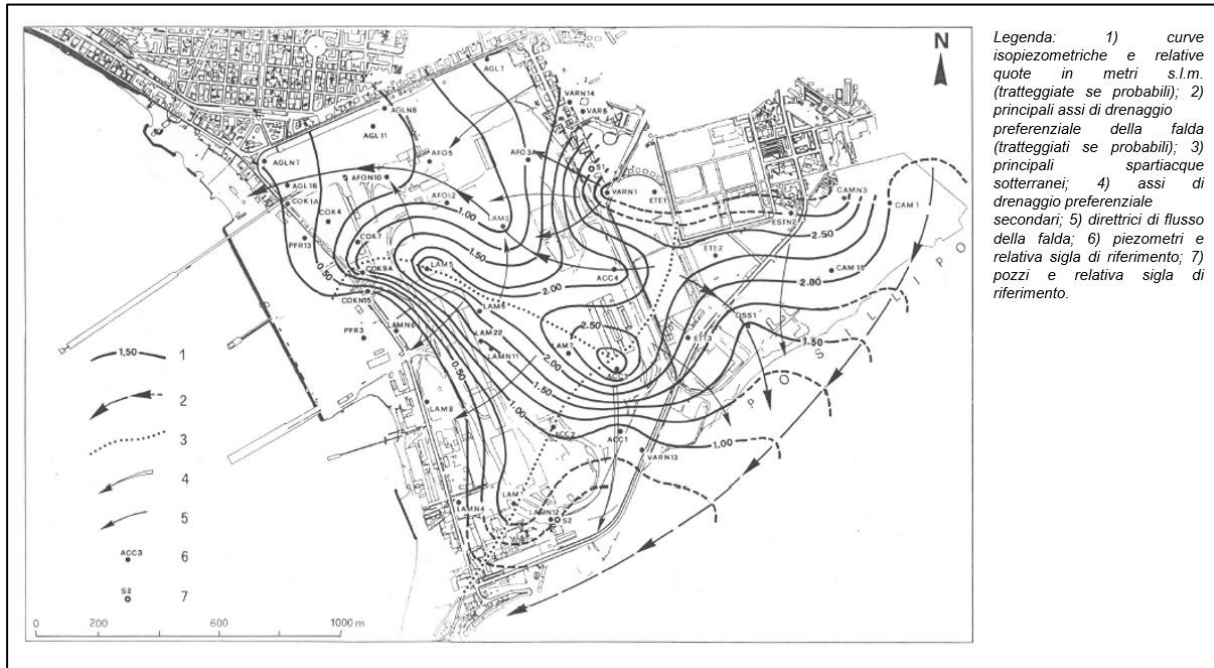


Figura 4-1: Piezometria (del settembre 1999) su dati di piezometri profondi e superficiali [B15].

4.1 INDAGINI IDROGEOLOGICHE E MONITORAGGIO ACQUE DI FALDA RECENTI

Al fine di implementare la rete piezometrica già esistente e caratterizzare l'acquifero con nuove prove idrogeologiche, nell'ambito dell'Appalto Specifico n.3 (Indagini idrogeologiche e monitoraggio acque di falda), ricompreso nell'Accordo Quadro svoltosi dal 2019 al 2022, sono state eseguite le seguenti attività:

- ✓ n. 25 sondaggi a carotaggio continuo di tipo ambientale;
- ✓ n. 3 sondaggi geognostici con prelievo di campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio ed esecuzione di prove penetrometriche in foro, tipo SPT;
- ✓ prove di permeabilità, tipo Lefranc, in n. 18 sondaggi;
- ✓ prove di pompaggio in n. 4 pozzi (Pz13-Pz16-Pz18-Pz19);
- ✓ indagini geofisiche MASW e GPR.

Nelle seguenti figure sono rappresentati i punti indagati.

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023

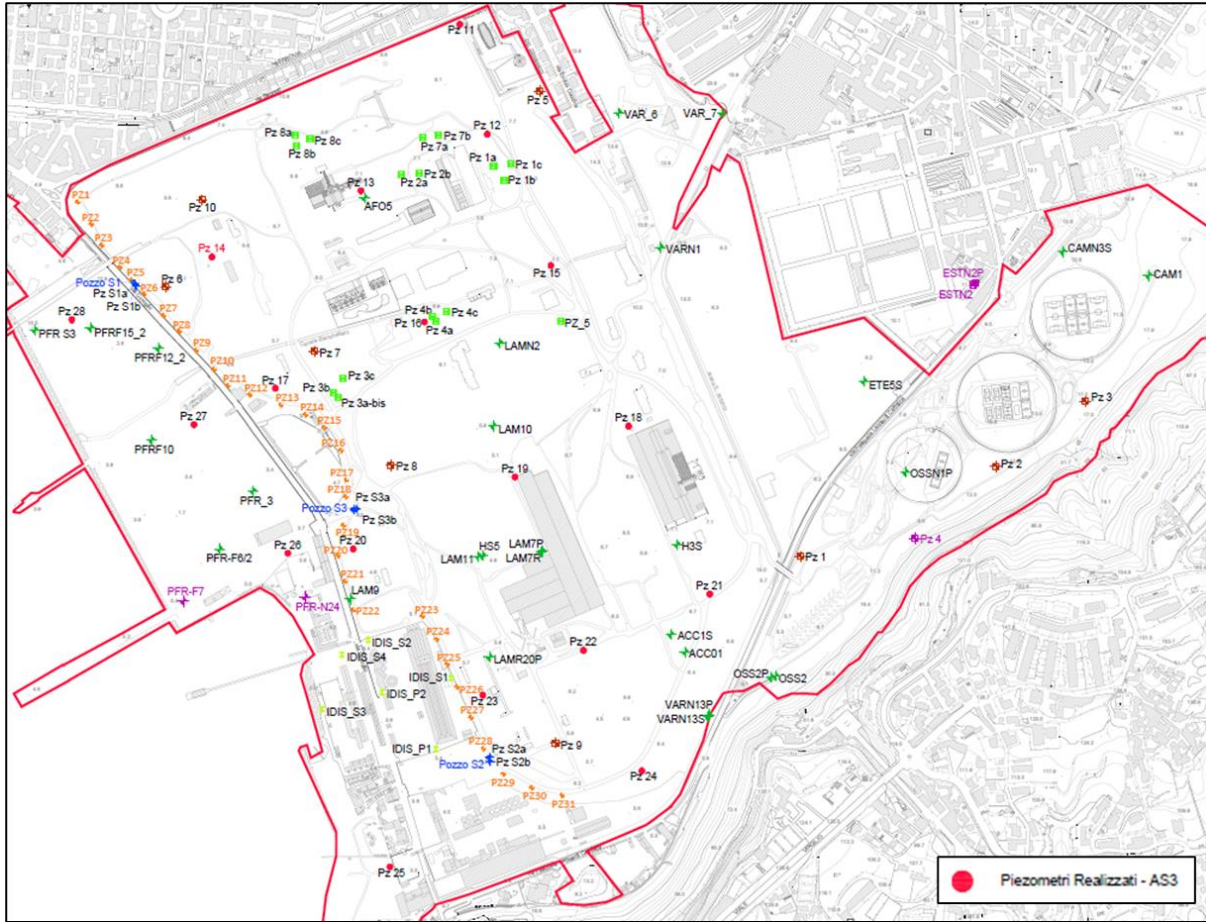


Figura 4-2: Piezometri realizzati nell'ambito dell'AS3, oltre a quelli già esistenti.

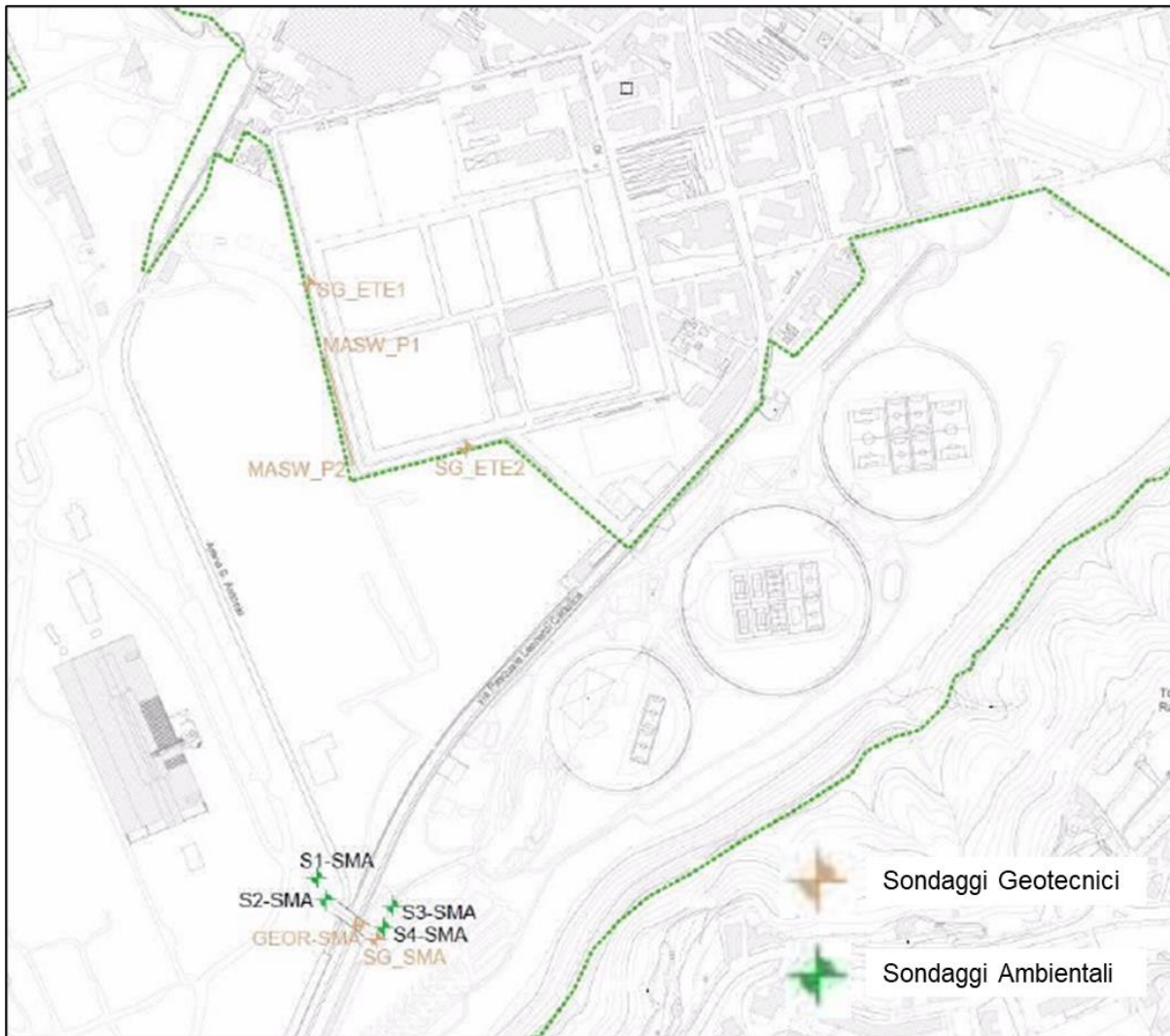


Figura 4-3: Localizzazione dei sondaggi geotecnici e ambientali

Inoltre, le indagini dell'Appalto Specifico 3 si sono concentrate anche sulla raccolta di dati piezometrici e parametrici relativi alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda.

I rilievi sulla quota piezometrica e le caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda sono stati effettuati in corrispondenza di 124 tra piezometri e pozzi, di cui 10 ubicati nell'area di interesse, in 14 campagne di monitoraggio:

- ✓ marzo 2019,
- ✓ luglio 2019,
- ✓ dicembre 2019,
- ✓ febbraio 2020,
- ✓ luglio 2020,
- ✓ settembre 2020,
- ✓ novembre 2020,
- ✓ gennaio 2021,
- ✓ marzo 2021,

- ✓ aprile 2021,
- ✓ luglio 2021,
- ✓ novembre 2021,
- ✓ febbraio 2022,
- ✓ maggio 2022.

Si sottolinea inoltre che, in ambito del nuovo Accordo Quadro Indagini 2023 e, in particolare, in relazione al Nuovo Appalto Specifico n. 4, a partire dal giugno 2023 è in corso il monitoraggio della falda dell'area in oggetto.

4.1.1 Andamento piezometrico

Come illustrato nella seguente immagine, che riporta uno stralcio della carta idrogeologica della falda del marzo 2019 contenuta nel PFTE (elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.02), i rilievi freaticimetrici più recenti confermano a grandi linee l'assetto piezometrico già rilevato in passato (si veda Figura 4-1) per il quale si era ipotizzata la presenza di uno spartiacque sotterraneo nelle zone baricentriche dell'area ex-Ilva e due probabili assi di drenaggio principali nei settori nordoccidentale e sudorientale; risultano, tuttavia, evidenti alcune variazioni dovute alle attività antropiche di messa in sicurezza attive in sito (descritte nel paragrafo 4.4).

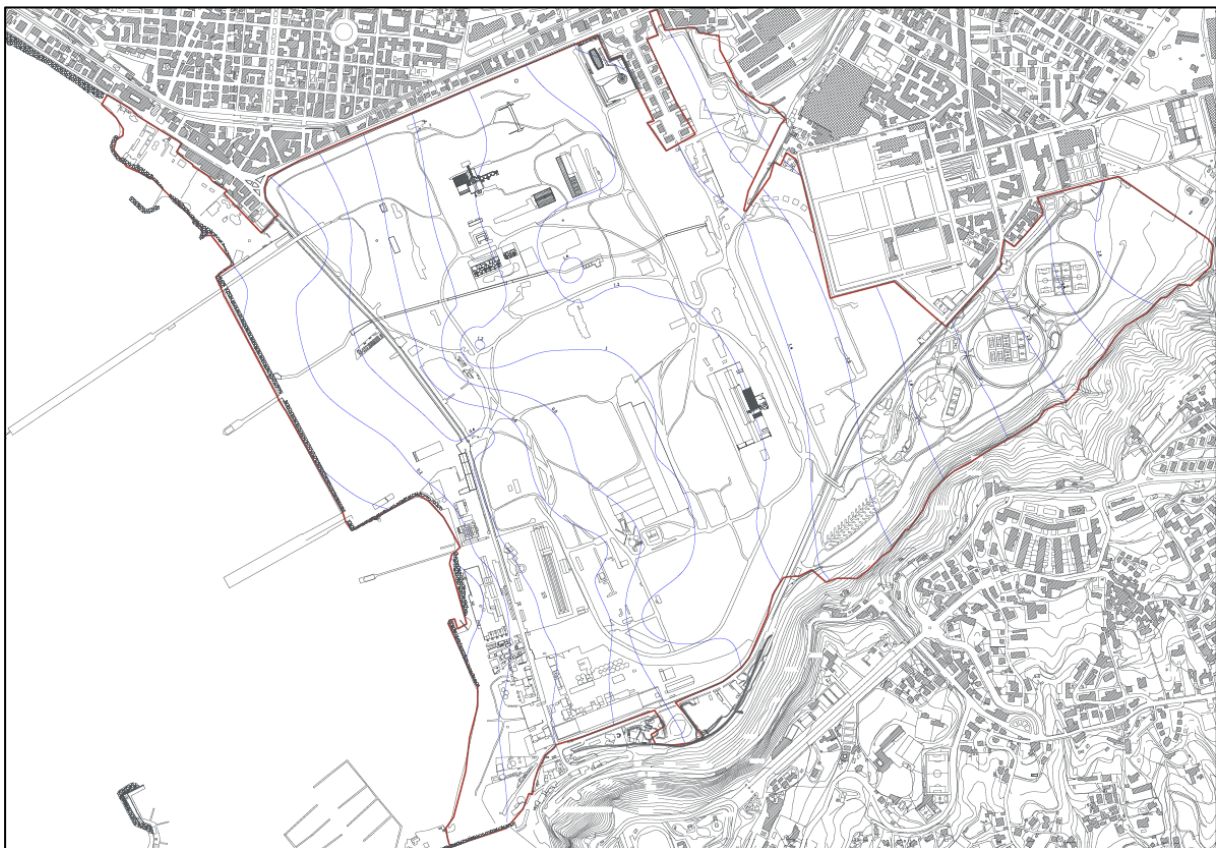


Figura 4-4: Carta idrogeologica (marzo 2019). Stralcio elaborato 2015E051INV_FTE_AMB_TT.7.02

4.1.2 Parametri idrogeologici

Al fine di ricostruire il modello idrogeologico di dettaglio del sottosuolo ed individuare i principali parametri idrodinamici che caratterizzano l'area in oggetto sono stati analizzati i dati raccolti contestualmente alle indagini idrogeologiche svolte in ambito all'Appalto Specifico n.3.

Come descritto nei precedenti paragrafi, tali indagini hanno previsto la realizzazione di n. 18 piezometri, su cui sono state effettuate, lungo le verticali, prove di permeabilità di tipo Lefranc ad intervalli di circa 5 m l'una dall'altra o in corrispondenza di evidenti cambi litologici in fase di perforazione.

Le perforazioni sono state spinte fino alla profondità massima di 50 m dal piano campagna (Pz 14) mentre la maggior parte dei piezometri sono stati realizzati fino alla profondità di 30 m dal piano campagna (n.13). I restanti quattro piezometri, ubicati in corrispondenza dell'area di colmata e dell'arenile sud, hanno raggiunto la profondità di 20 m (Pz25, Pz26, Pz27 e Pz28).

Vista la numerosa presenza sul sito di piezometri superficiali, realizzati nelle pregresse campagne d'indagini che raggiungono la profondità media di 10 m dal p.c., si è ritenuto opportuno fenestrare i piezometri nel tratto più profondo, dai 15 ai 30 m dal p.c., al fine di caratterizzare, anche dal punto di vista chimico, una parte dell'acquifero più profondo.

Le prove di permeabilità Lefranc sono state effettuate a carico variabile ad eccezione di due casi isolati in cui non si riusciva a saturare il tubo di rivestimento; in questi ultimi casi si è proceduto con prove a carico costante.

Di seguito sono riportati i valori medi dei coefficienti di permeabilità K calcolati per ogni tratto di prova suddivisi per piezometri:

Tabella 4.1: Esiti prove Lefranc (Appalto Specifico 3)

Id piezometro	Id prova	Quota da p.c. (m)	K (m/s)
Pz11	LF1	6,00-7,00	1,35E-05
Pz11	LF2	10,00-11,00	8,02E-06
Pz11	LF3	14,00-15,00	2,19E-05
Pz11	LF4	19,00-20,00	4,10E-05
Pz11	LF5	24,00-25,00	3,35E-05
Pz11	LF6	27,00-28,00	2,71E-05
Pz12	LF1	7,00-8,30	1,44E-05
Pz12	LF2	10,50-11,6	3,44E-05
Pz12	LF3	14,60-15,70	8,24E-05
Pz12	LFC1	19,50-20,50	1,28E-03
Pz12	LF4	24,00-25,00	1,39E-05
Pz12	LF5	28,00-30,00	1,28E-05
Pz13	LF1	5,50-6,50	8,74E-06
Pz13	LF2	10,00-11,00	1,19E-05
Pz13	LF3	14,50-15,50	4,40E-05
Pz13	LF4	19,00-20,30	2,70E-05
Pz13	LF5	24,50-25,50	2,04E-05
Pz13	LF6	29,00-30,00	5,89E-05
Pz14	LF1	5,00-5,50	3,80E-04
Pz14	LF2	8,50-9,50	1,10E-04
Pz14	LF3	14,00-15,00	1,27E-04
Pz14	LF4	20,00-21,00	6,10E-05
Pz14	LF5	25,70-26,70	1,09E-04
Pz14	LF6	32,00-33,00	9,30E-05
Pz14	LF7	41,50-42,00	1,01E-04
Pz14	LF8	49,00-50,00	3,37E-05
Pz15	LF1	4,50-5,50	6,68E-06

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-02-00 - Luglio 2023

Id piezometro	Id prova	Quota da p.c. (m)	K (m/s)
Pz15	LF2	9,00-10,00	8,96E-06
Pz15	LF3	14,00-15,00	3,09E-06
Pz15	LF4	19,00-20,50	3,24E-05
Pz15	LF5	23,50-25,00	4,29E-05
Pz15	LF6	29,00-30,00	6,82E-05
Pz16	LF1	4,20-5,50	2,76E-06
Pz16	LF2	12,50-13,30	1,41E-05
Pz16	LF3	16,00-17,00	7,52E-06
Pz16	LF4	20,50-22,00	2,47E-05
Pz16	LF5	25,00-26,50	1,33E-05
Pz16	LF6	28,00-30,00	4,47E-05
Pz17	LF1	5,50-6,80	3,92E-06
Pz17	LF2	11,60-13,00	9,52E-06
Pz17	LF3	14,50-15,50	1,90E-05
Pz17	LF4	21,00-22,00	8,48E-05
Pz17	LF5	25,00-26,00	1,64E-05
Pz17	LF6	28,50-30,00	7,60E-05
Pz18	LF1	6,50-7,50	1,29E-05
Pz18	LF2	11,50-13,00	2,79E-06
Pz18	LF3	14,60-15,90	4,37E-06
Pz18	LF4	20,50-22,00	1,04E-03
Pz18	LF5	25,00-26,00	2,40E-06
Pz18	LF6	28,00-30,00	1,00E-06
Pz19	LF1	4,00-5,50	2,00E-06
Pz19	LF2	9,50-10,50	7,50E-06
Pz19	LF3	14,50-15,80	1,70E-05
Pz19	LF4	20,50-21,70	1,70E-05
Pz19	LF5	24,50-25,30	3,50E-05
Pz19	LF6	29,00-30,00	4,00E-05
Pz20	LF1	5,50-7,00	2,33E-05
Pz20	LF2	10,00-11,00	9,84E-06
Pz20	LF3	14,50-16,00	1,01E-05
Pz20	LF4	20,50-22,00	1,31E-05
Pz20	LF5	23,50-25,00	1,29E-05
Pz20	LF6	29,00-30,00	3,70E-05
Pz21	LF1	4,20-5,20	4,18E-06
Pz21	LF2	11,00-12,00	1,96E-05
Pz21	LF3	14,50-15,50	1,63E-05
Pz21	LF4	19,60-21,00	1,55E-05
Pz21	LF5	23,50-25,00	2,74E-05
Pz21	LF6	29,00-30,00	6,00E-06
Pz22	LF1	5,50-7,00	8,62E-07
Pz22	LF2	10,00-11,50	1,40E-05
Pz22	LF3	14,50-15,80	1,22E-05
Pz22	LF4	20,40-21,40	2,05E-05
Pz22	LF5	24,50-25,50	2,11E-05
Pz22	LF6	29,00-30,00	1,67E-05

Id piezometro	Id prova	Quota da p.c. (m)	K (m/s)
Pz23	LF1	5,00-5,50	1,17E-05
Pz23	LF2	8,70-10,00	5,35E-06
Pz23	LF3	14,50-15,50	1,40E-05
Pz23	LF4	19,00-19,50	7,17E-05
Pz23	LF5	24,50-25,50	3,27E-05
Pz23	LF6	29,00-30,00	2,60E-05
Pz24	LF1	5,50-6,50	4,93E-06
Pz24	LF2	14,00-15,00	3,14E-05
Pz24	LF3	17,00-18,00	5,01E-05
Pz24	LF4	20,80-22,00	8,43E-07
Pz24	LF5	24,50-25,50	3,12E-05
Pz24	LF6	29,00-30,00	3,41E-05
Pz25	LF1	5,00-6,00	2,10E-04
Pz25	LF2	8,50-9,50	8,85E-06
Pz25	LF3	14,00-15,00	3,97E-05
Pz25	LF4	19,00-20,00	4,31E-05
Pz26	LF1	5,00-5,50	9,74E-05
Pz26	LF2	8,50-10,00	7,78E-06
Pz26	LF3	14,00-15,00	6,49E-05
Pz26	LF4	19,00-20,00	7,33E-05
Pz27	LF1	4,50-5,50	3,06E-04
Pz27	LF2	11,0-12,00	1,40E-05
Pz27	LF3	15,50-16,50	1,42E-05
Pz27	LF4	19,00-20,00	1,79E-05
Pz28	LF1	5,00-5,50	2,20E-04
Pz28	LF2	8,70-10,00	2,18E-05
Pz28	LF3	14,00-15,00	6,79E-05
Pz28	LF4	19,00-20,00	2,51E-05

Ad eccezione di un solo tratto di prova che ha fatto registrare un coefficiente pari a $K=8,43 E-07$ m/s e sporadici tratti con $K= E-04$ m/s, la maggior parte dei dati indica una permeabilità compresa tra $K= E-05$ m/s e $K= E-06$ m/s. Da notare che i coefficienti di permeabilità $K= E-04$ m/s sono stati registrati soprattutto in corrispondenza dei Pz27 e Pz28 realizzati in colmata nel corso delle prove Lefranc a quota compresa tra 4,5 e 5,5 m dal piano campagna e quindi al limite tra i terreni di riporto ed i terreni probabilmente attribuibili ai depositi di spiaggia della antica linea di costa. Ciò è confermato anche dalla prova LF1 del piezometro Pz25 (5,00 e 6,00 m dal p.c.) realizzato nell'area dell'Arenile Sud.

Nei due casi in cui si è proceduto con prove a carico costante (Pz 18 da 20,50 a 22,00 m e Pz12 da 19,50 a 20,50 m) il valore di K_h è risultato essere $1,27 E-03$ m/s e $1,04 E-03$ m/s.

Dall'interpretazione dei dati stratigrafici congiunti con l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di permeabilità si può ipotizzare che l'acquifero dell'ARIN di Bagnoli è caratterizzato da due unità idrogeologiche sottostanti una coltre di riporti antropici non sempre interessata dalla falda. Le differenze tra le due unità non sono evidenziate in modo netto dai risultati ma l'osservazione in fase di esecuzione dei sondaggi lascia protendere verso tale ipotesi. Si può affermare che i dati convergono, dunque, verso 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

4.2 RAPPORTI ACQUE DOLCI/ACQUE SALATE

Nelle zone costiere permeabili, l'acqua di falda galleggia su quella marina, più densa, che invade l'acquifero. Il passaggio tra i due liquidi avviene gradualmente, attraverso una zona di diffusione (o di transizione) a salinità crescente verso il basso, detta interfaccia, peraltro soggetta a movimenti verticali legati ad oscillazioni del livello marino e della falda.

La profondità dell'interfaccia (H_i) dipende dall'altezza della superficie di falda sul livello del mare (H_p) e dalla densità dei due liquidi e può essere stimata con la legge di Ghyben-Herzberg:

$$H_i \approx 37 \cdot H_p$$

Nella zona dell'ex ILVA tale formula è stata utilizzata per ricostruire la profondità dell'interfaccia lungo la sezione indicata in Figura 4-5; la validità dei risultati è stata poi verificata [B20] misurando nel piezometro LAM9-P la variazione di resistività fino alla profondità di 68 m.

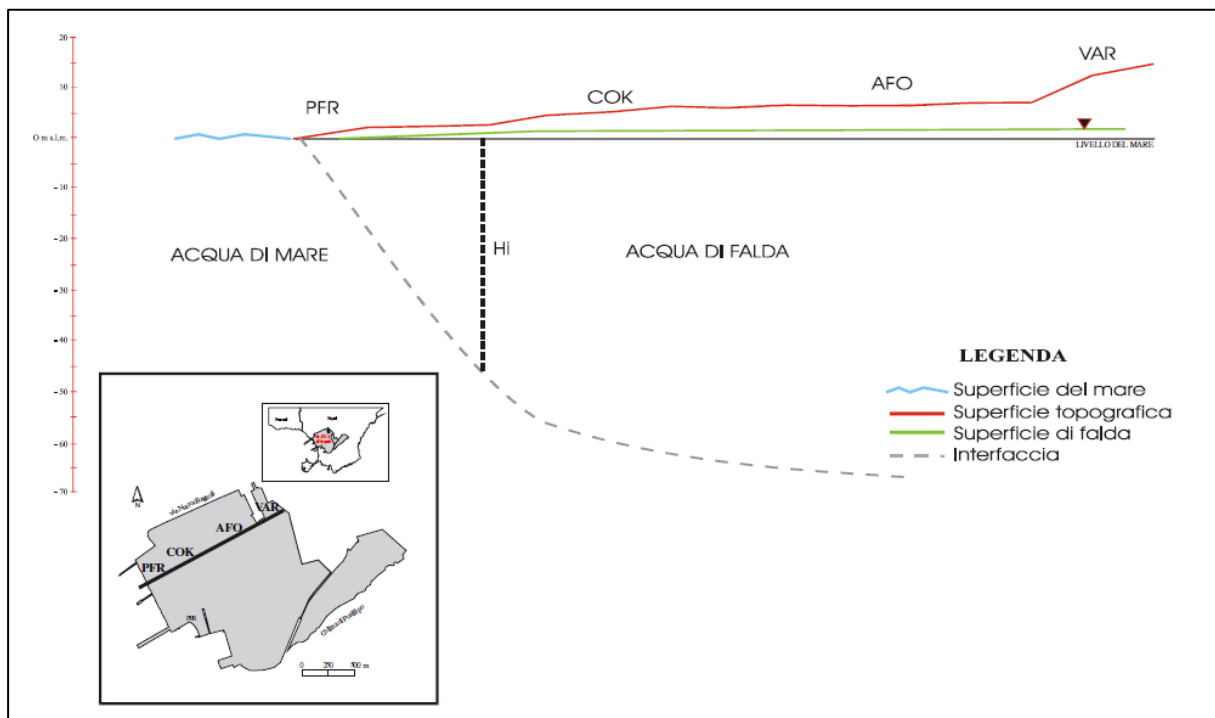


Figura 4-5: Andamento dell'interfaccia nel sito ex ITALSIDER [B20] lungo la sezione indicata nel riquadro

4.3 CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLA FALDA

In ambito dell'Appalto Specifico 3, oltre al rilievo dei dati piezometrici e allo svolgimento delle prove idrogeologiche, sono stati misurati i parametri relativi alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda.

I rilievi sono stati svolti nelle seguenti 5 campagne di monitoraggio

- ✓ marzo 2019,
- ✓ luglio 2019,
- ✓ dicembre 2019,
- ✓ febbraio 2020,

- ✓ luglio 2020,
- ✓ settembre 2020,
- ✓ novembre 2020,
- ✓ gennaio 2021,
- ✓ marzo 2021,
- ✓ aprile 2021,
- ✓ luglio 2021,
- ✓ novembre 2021,
- ✓ febbraio 2022,
- ✓ maggio 2022.

ed hanno riguardato i seguenti parametri chimico-fisici:

- ✓ Temperatura (°);
- ✓ pH;
- ✓ Conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- ✓ Ossigeno disciolto (mg/l);
- ✓ Potenziale Redox (mV).

In Allegato 1 si riporta una tabella riassuntiva dei valori freaticometrici e dei parametri chimico-fisici misurati per ciascuna campagna di monitoraggio svolta nell'area di interesse, mentre in Allegato 2 si riportano le mappe che illustrano la distribuzione areale di suddetti parametri ricostruita tramite metodo geostatistico Kriging utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC).

Si specifica che, non avendo punti di misura in corrispondenza dell'Arenile Nord, la distribuzione di valori presso tale arenile è stata ricostruita esclusivamente tramite l'interpolazione dai dati a disposizione negli altri areali, risultando, pertanto, poco rappresentativa. Si rimanda al paragrafo 5.1 per la descrizione della distribuzione dei parametri chimico-fisici investigata in ambito dell'Appalto Specifico 2 che ha previsto, tra le varie, la misurazione di parametri chimico-fisici in corrispondenza di punti di monitoraggio interni all'Arenile stesso.

Osservando le mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici riportate in Allegato 2 si evince che:

- ✓ la temperatura oscilla tra $15,90^{\circ}\text{C}$ e $21,90^{\circ}\text{C}$ con i valori più bassi spesso registrati nella porzione sud della colmata, in particolare, nell'intorno del piezometro denominato PFR-F6/2, mentre quelli più alti nell'arenile sud e in corrispondenza del Pz27;
- ✓ il pH varia da 5,40 a 9,90 con valori più acidi in corrispondenza della porzione nord della colmata e dell'arenile sud e più basici nell'intorno dei piezometri PFR3, PFR10 e Pz27.
- ✓ la conducibilità elettrica ha valori compresi tra $704 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $4012 \mu\text{S}/\text{cm}$; quelli minimi si osservano in corrispondenza del PFR-F6/2, mentre quelli massimi si osservano nell'Arenile Sud e nell'area nord della colmata;
- ✓ il potenziale redox varia da -204 mV , che indica un ambiente riducente, a $229,90 \text{ mV}$, che indica invece un ambiente ossidante; i valori più bassi si concentrano nella parte centro-meridionale della colmata e i valori più alti agli estremi nord e sud della colmata e in corrispondenza dell'arenile sud;
- ✓ l'ossigeno disciolto infine oscilla tra $0,19 \text{ mg}/\text{l}$ e $9,90 \text{ mg}/\text{l}$ con i valori più bassi in corrispondenza dell'arenile sud e della porzione settentrionale della colmata e quelli più alti in corrispondenza di Pz27, PFR-F6/2 e PFRS3. Si segnala che nella campagna svolta a dicembre 2019 sono stati registrati, in maniera anomala, valori di ossigeno disciolto molto bassi (nella maggior parte dei casi inferiori all'unità) in corrispondenza di tutti i punti di monitoraggio, mentre nelle campagne da settembre 2020 a novembre 2021 sono misurati valori di ossigeno disciolto piuttosto alti, compresi tra $6,01$ e $9,90 \text{ mg}/\text{l}$.

4.4 STATO DI FATTO ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA

In corrispondenza del SIN 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 del SIN 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 da parte di Invitalia la progettazione, l'affidamento e l'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.

Al fine di verificare la qualità delle acque intercettate dal sistema di MISE attivo nell'ARIN, dal 2019 al 2022 sono state eseguite delle campagne di monitoraggio a frequenza trimestrale in ambito dell'Appalto Specifico n.9; mentre attualmente, a partire dal giugno 2023, sono in corso in ambito dell'Appalto Specifico n. 4.

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - ARENILE NORD

Sulla base delle indagini effettuate nell'ARIN, 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, con l'Appalto Specifico n. 18 e n. 25 del concluso Accordo Quadro Indagini, e nel 2023, con l'Appalto Specifico n.2 del Nuovo Accordo Quadro Indagini, 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

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

Arenile Nord		
Sondaggio	Anno realizzazione	Quota falda (m da p.c.)
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

Inoltre, per caratterizzare l'Arenile dal punto di vista idrogeologico sono state effettuate prove di permeabilità di tipo Lefranc alle profondità e con i risultati evidenziati nella seguente tabella.

L'ubicazione dei punti di prova è invece riportata in Figura 5-1.

Tabella 5.2: Esiti prove Lefranc febbraio 2006 – Arenile Nord

Sondaggio	Prova n.	Certificato n.	Data prova	Quota Prova dal p.c.	Spessore tratto di prova	K (cm/s)
S1	1	L 138/07	02/02/2006	2,00	1,00	1,88E-05
	2	L 138/08	02/02/2006	7,50	1,50	2,82E-04
S2	1	L 138/05	01/02/2006	1,70	1,00	1,41E-04
	2	L 138/06	01/02/2006	7,00	1,50	5,63E-04
S3	1	L 138/01	27/01/2006	5,70	1,70	1,88E-05
	2	L 138/02	27/01/2006	10,20	1,80	1,88E-05
S4	1	L 138/03	30/01/2006	7,00	1,50	9,39E-05
	2	L 138/04	30/01/2006	9,50	1,20	2,82E-05
S6	1	L 138/09	03/02/2006	5,00	1,00	1,88E-05
	2	L 138/10	06/02/2006	13,00	1,00	1,88E-05

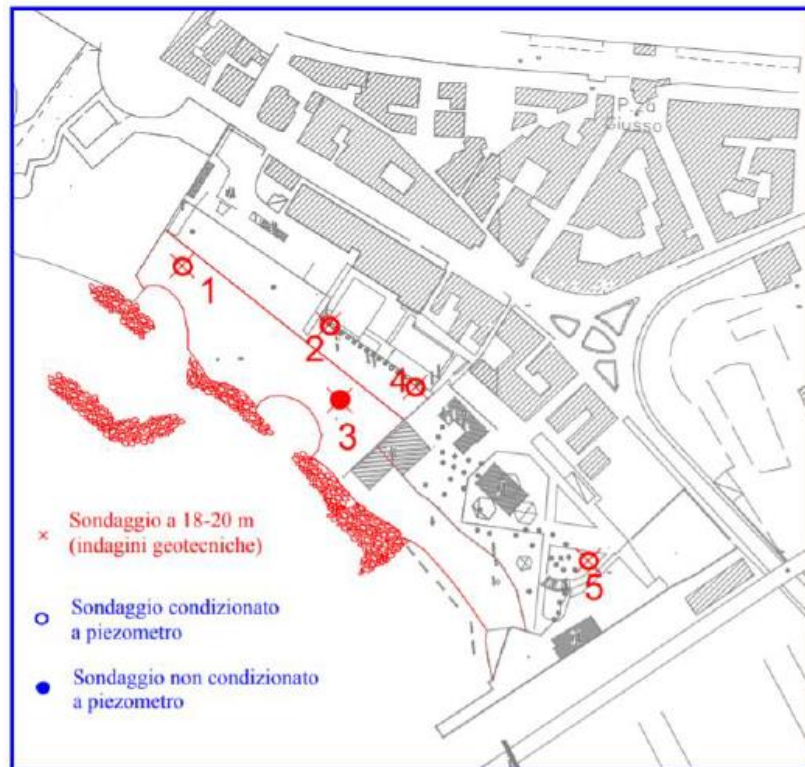


Figura 5-1: Ubicazione indagini integrative febbraio 2006 – Arenile Nord

Osservando i valori di conducibilità idraulica K (m/s) ricavati da suddette prove (Tabella 5.2) e confrontandole con i valori ricavati dalle indagini condotte in ambito dell'Appalto Specifico 3, descritte al paragrafo 4.1.2, seppur riferite ad aree diverse, comunque adiacenti all'Arenile Nord, si evince che tali valori risultano molto più bassi di quelli acquisiti di recente, anche di uno-due ordini di grandezza.

5.1 PARAMETRI CHIMICO-FISICI – APPALTO SPECIFICO 2

In ambito dell'Appalto Specifico 2 del Nuovo Accordo Quadro 2023 (Piano di caratterizzazione complementare - Arenili Nord e Sud), sono stati rilevati i principali parametri chimico-fisici delle acque di falda in corrispondenza dei piezometri **S4/5 PZ (arn)2**, **S9 PZ (arn)1**, **S5/6 PZ (arn)4** e **S10 PZ (arn)3** ubicati nell'Arenile Nord.

I rilievi hanno riguardato i seguenti parametri chimico-fisici:

- ✓ Temperatura (°);
- ✓ pH;
- ✓ Conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- ✓ Ossigeno disciolto (mg/l) e (%);
- ✓ Potenziale Redox (mV);
- ✓ Resistività elettrica ($\Omega\cdot\text{m}$);
- ✓ Solidi totali disciolti (TDS) (mg/l);
- ✓ Salinità (g/l).

Le misurazioni sono state svolte alle seguenti di profondità (m da p.c.):

- ✓ -10;

- ✓ -9;
- ✓ -8;
- ✓ -7;
- ✓ -6;
- ✓ -5;
- ✓ -4;
- ✓ -3.

Si specifica che in corrispondenza del piezometro S9 PZ (arn)1 non è stato possibile svolgere la misura alla profondità di - 3 m da p.c..

In Allegato 3 si riporta una tabella riassuntiva dei valori freaticometrici e dei parametri chimico-fisici misurati in ciascun piezometro alle diverse profondità indagate, mentre in Allegato 4 si riportano le mappe che illustrano la distribuzione areale di suddetti parametri ricostruita tramite metodo geostatistico Kriging utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC).

Di seguito invece si riportano i grafici che illustrano la distribuzione dei valori dei principali parametri chimico-fisici rilevati in ciascun piezometro alle diverse profondità.

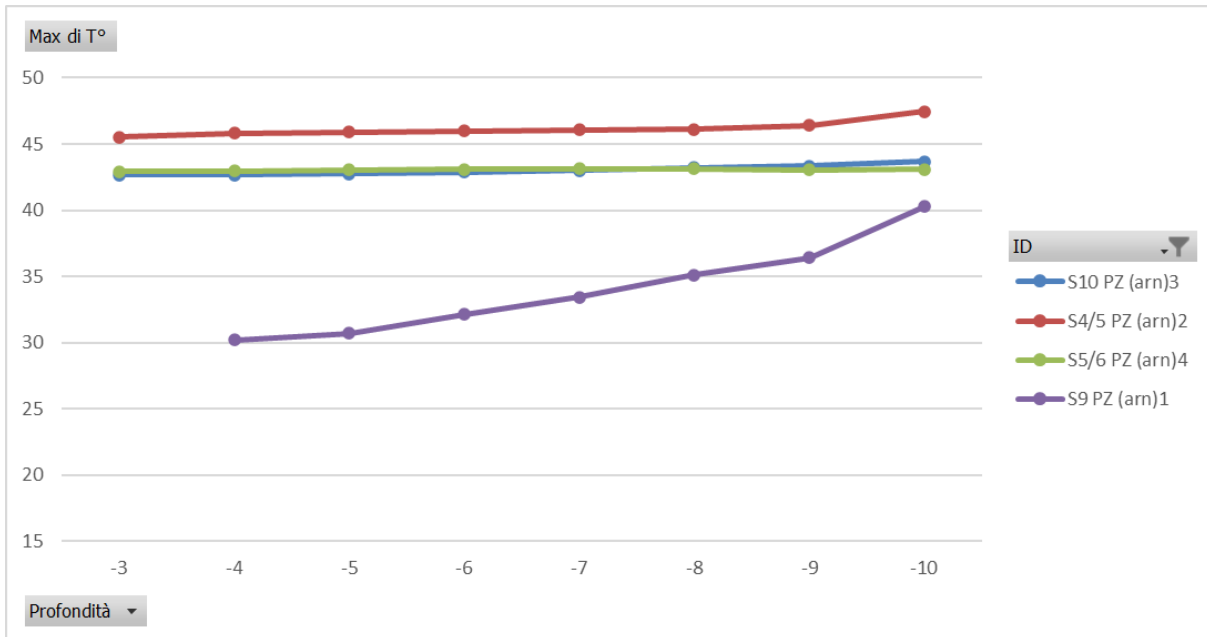


Figura 5-2: Distribuzione dei valori di temperatura (°) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

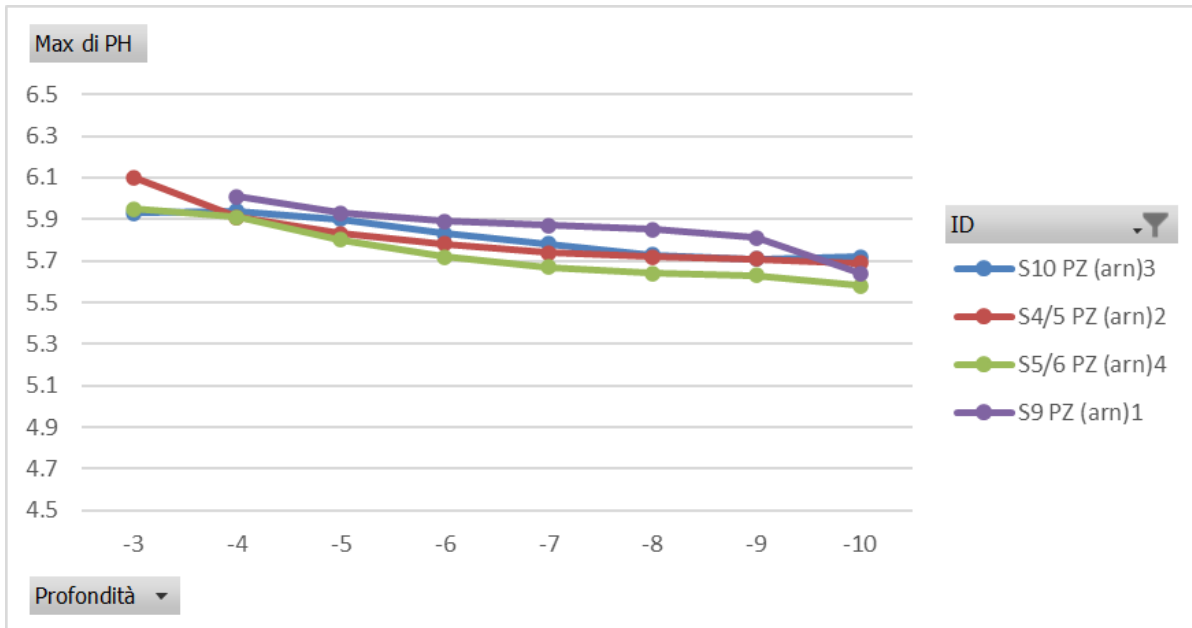


Figura 5-3: Distribuzione dei valori di pH con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

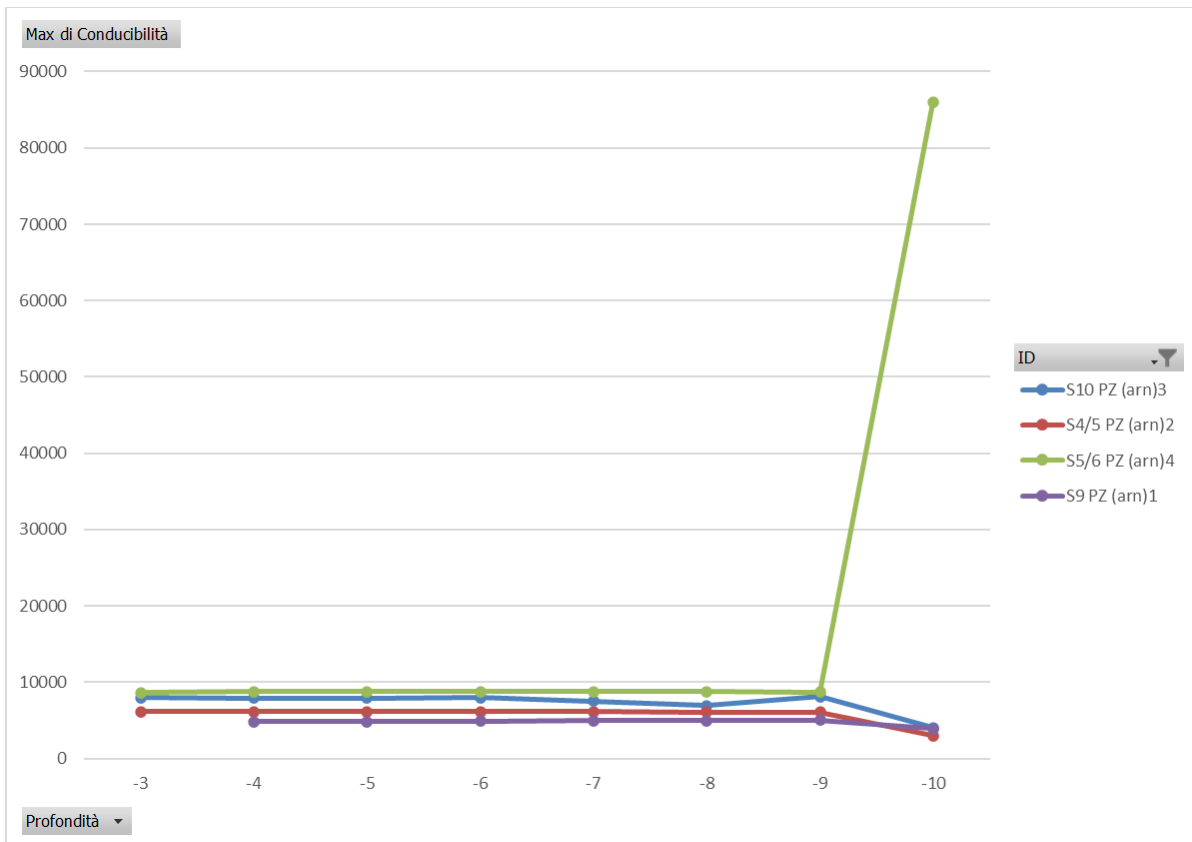


Figura 5-4: Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

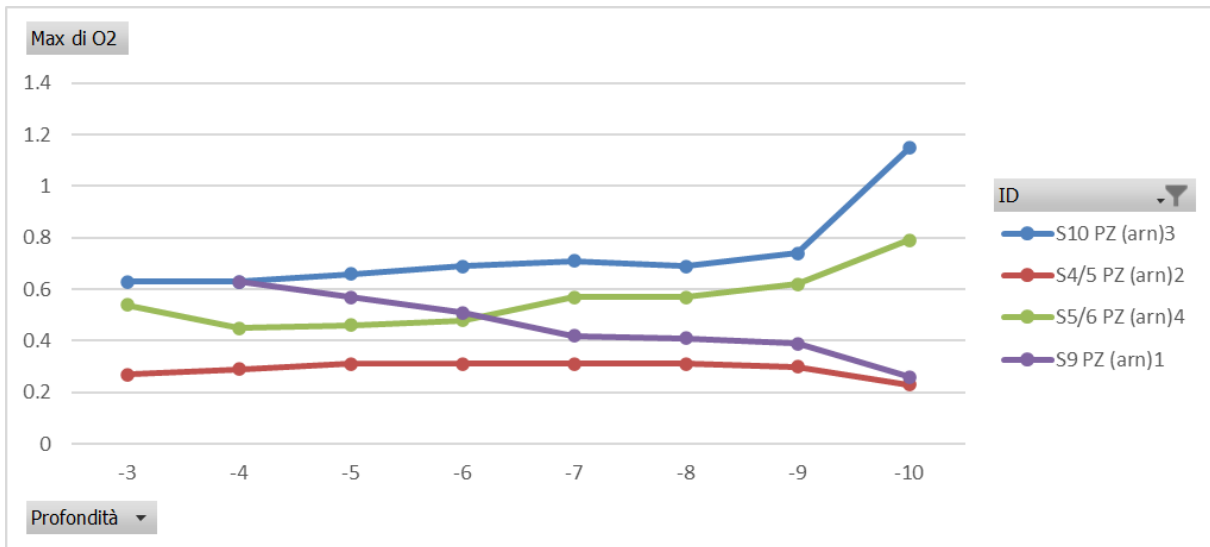


Figura 5-5: Distribuzione dei valori di ossigeno disciolto (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

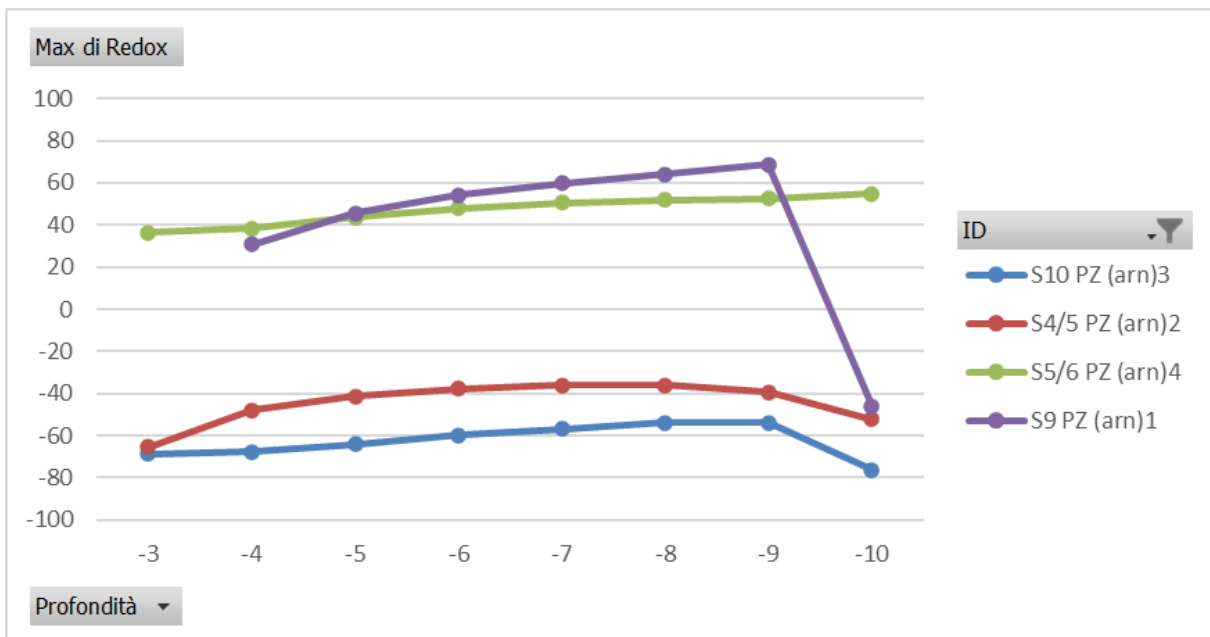


Figura 5-6: Distribuzione dei valori di potenziale Redox (mV) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

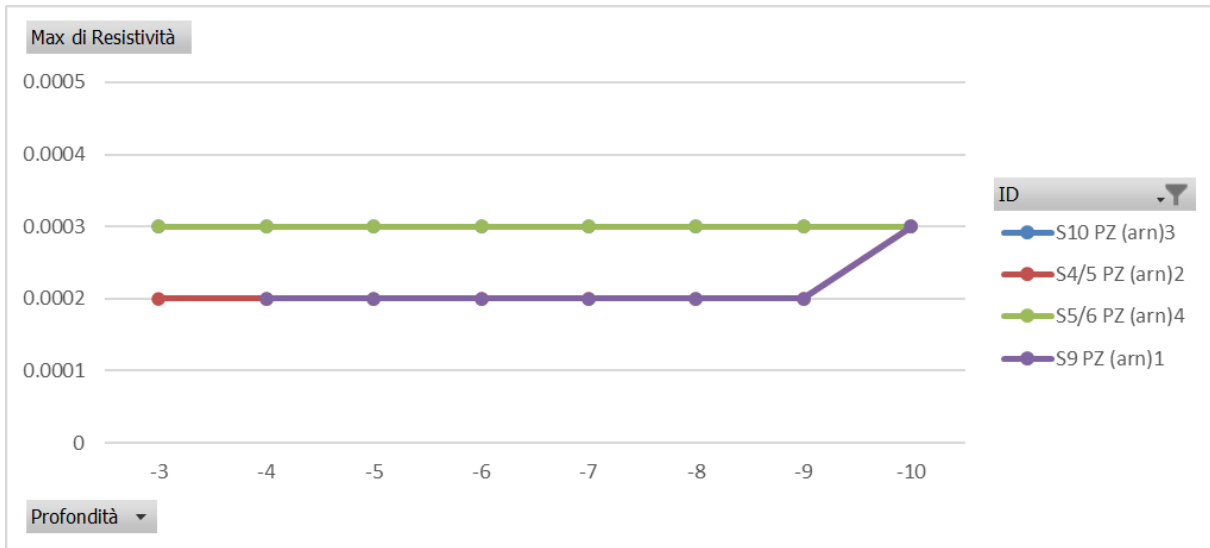


Figura 5-7: Distribuzione dei valori di resistività elettrica ($\Omega \cdot m$) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

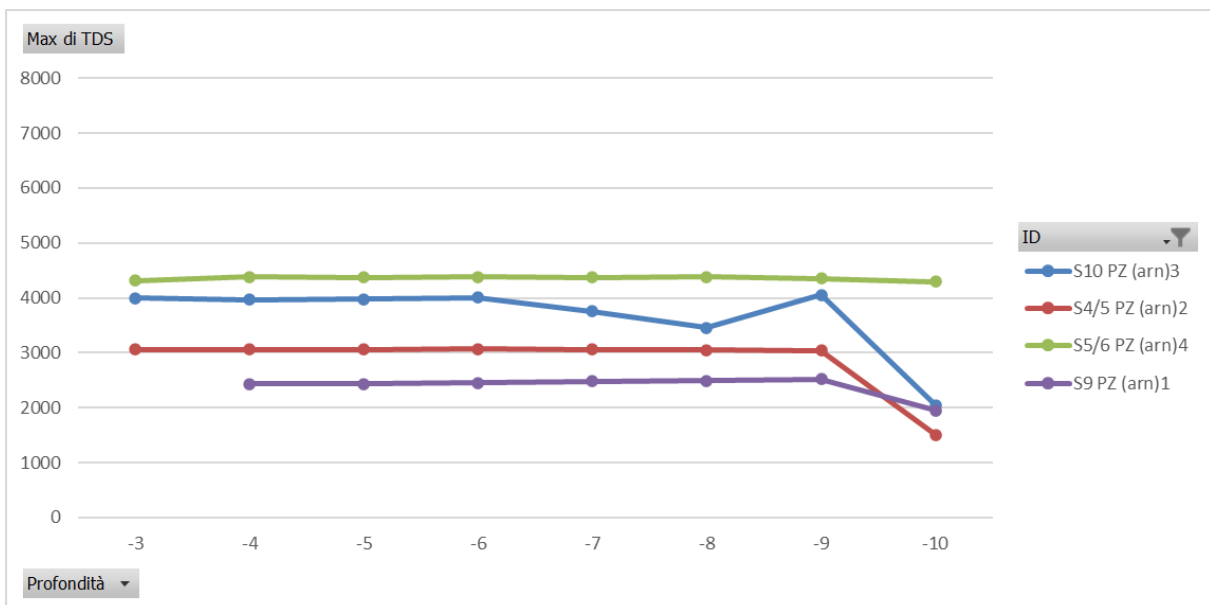


Figura 5-8: Distribuzione dei valori di solidi totali disciolti (TDS) (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

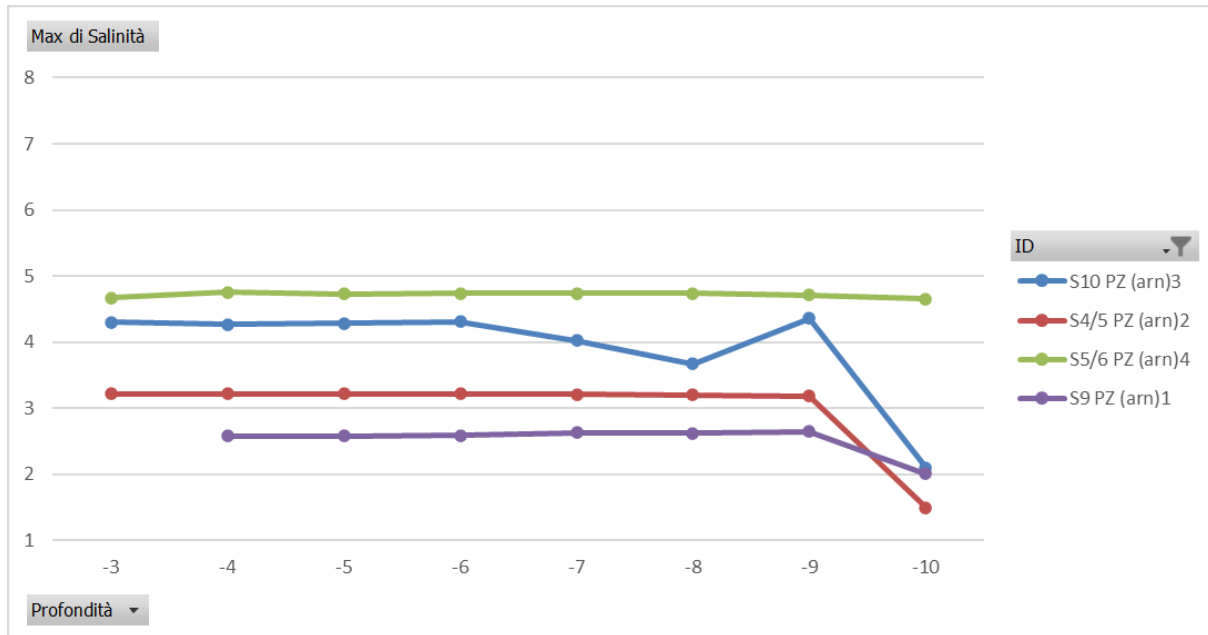


Figura 5-9: Distribuzione dei valori di salinità (g/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Nord

Osservando le mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici riportate in Allegato 4 e i grafici sopra riportati si evince che:

- ✓ la temperatura oscilla tra 30,20°C e 47,45°C con i valori più bassi registrati in corrispondenza del piezometro denominato S9 PZ (arn)1 alla profondità di 3 ma da p.c., mentre quelli più alti in corrispondenza del S4/5 PZ (arn) 2 alla profondità di 10 m da p.c.;
- ✓ il pH varia da 5,58 a 6,10 con valori più acidi in corrispondenza del S5/6 PZ (arn) 4 alla profondità di 10 m da p.c. e più basici nel piezometro S4/5 PZ (arn) 2 alla profondità di 3 m da p.c.. In generale si osserva un trend decrescente con la profondità;
- ✓ la conducibilità elettrica ha valori compresi tra 3.002 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 85.940 $\mu\text{S}/\text{cm}$; per la maggior parte dei piezometri si osserva una leggera flessione a partire dai 9 m di profondità ad eccezione che nel S5/6 PZ (arn) 4 in cui si ha un repentino innalzamento a 10 m di profondità di ben un ordine di grandezza rispetto ai valori più superficiali;
- ✓ l'ossigeno disciolto oscilla tra 0,23 mg/l e 1,15 mg/l con i valori più bassi in corrispondenza del S4/5 PZ (arn) 2 a 10 m di profondità e quelli più alti in corrispondenza di S10 PZ (arn) 3 a 10 m di profondità.
- ✓ il potenziale redox varia da -76,10 mV, che indica un ambiente riducente a 68,5 mV, che indica invece un ambiente ossidante; i valori negativi sono stati riscontrati nei piezometri S10 PZ (arn) 3 e S4/5 PZ (arn) 2 mentre i valori positivi nei piezometri S9 PZ (arn)1 e S4/5 PZ (arn) 2. Si sottolinea tuttavia che alla profondità di 10 m il piezometro S9 PZ (arn)1 ha mostrato valori negativi;
- ✓ la resistività elettrica mostra valori abbastanza coerenti in tutti i piezometri variando da 0,0002 a 0,0003 $\Omega \cdot \text{m}$;
- ✓ i solidi totali disciolti (TDS) variano da 1.504 mg/l a 4.386 mg/l; nei piezometri S10 PZ (arn) 3, S4/5 PZ (arn) 2 e S9 PZ (arn)1 si osserva una brusca diminuzione a partire dai 10 m di profondità, mentre nel S5/6 PZ (arn) 4 si osservano valori piuttosto costanti in tutta la verticale;
- ✓ la salinità varia da 1,50 a 4,75 g/l e mostra una distribuzione dei piezometri alle diverse profondità del tutto simile a quella dei solidi totali disciolti descritta nel precedente punto.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - ARENILE SUD

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

Inoltre, per caratterizzare l'Arenile dal punto di vista idrogeologico sono state effettuate prove di permeabilità di tipo Lefranc alle profondità e con i risultati evidenziati nella seguente tabella.

L'ubicazione dei punti di prova è invece riportata in Figura 6-1.

Tabella 6.2: Esiti prove Lefranc febbraio 2006 – Arenile Sud

Sondaggio	Prova n.	Certificato n.	Data prova	Quota Prova dal p.c.	Spessore tratto di prova	K (cm/s)
S6	1	L 138/13	08/02/2006	3,50	1,50	9.39E-06
	2	L 138/14	09/02/2006	13,00	1,00	9.39E-06
S9	1	L 138/11	06/02/2006	3,50	1,00	1.88E-05
	2	L 138/12	07/02/2006	11,00	1,00	1.88E-05
S10	1	L 138/15	10/01/2006	9,00	2,50	9.39E-06
	2	L 138/16	10/01/2006	12,00	2,00	9.39E-06
S12	1	L 138/19	14/01/2006	1,50	1,00	1.88E-05
	2	L 138/20	14/01/2006	10,50	1,00	9.39E-06
S14	1	L 138/17	11/02/2006	0,50	1,00	1.88E-05
	2	L 138/18	11/02/2006	7,00	1,00	9.39E-06

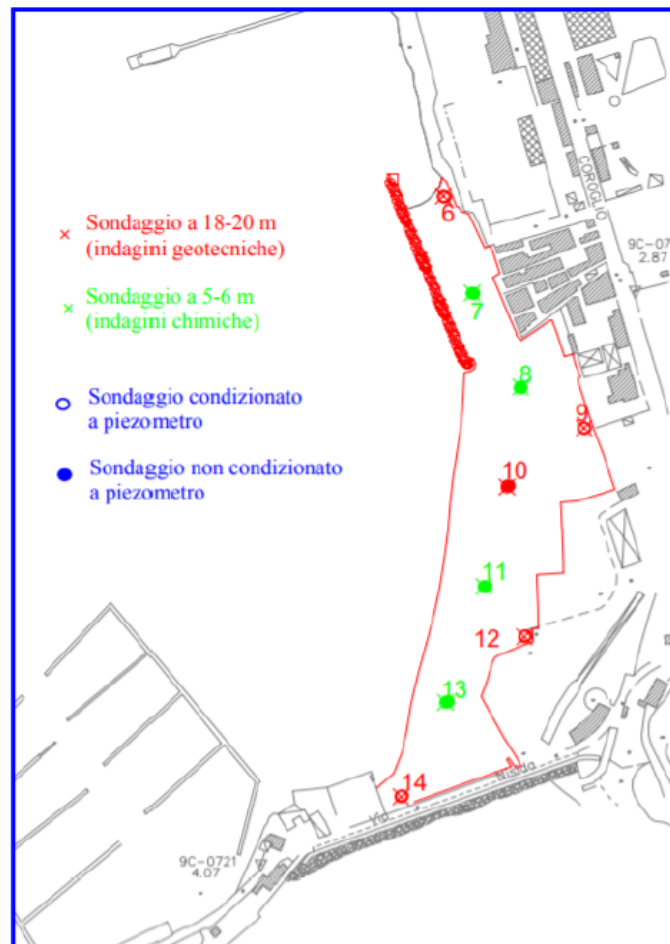


Figura 6-1: Ubicazione indagini integrative febbraio 2006 – Arenile Sud

Osservando i valori di conducibilità idraulica K (m/s) ricavati da suddette prove (Tabella 6.2) e confrontandole con i valori ricavati dalle indagini condotte in ambito dell'Appalto Specifico 3, descritte al paragrafo 4.1.2, si evince che tali valori risultano molto più bassi di quelli acquisiti di recente, anche di uno-due ordini di grandezza.

6.1 PARAMETRI CHIMICO-FISICI

In ambito dell'Appalto Specifico 2 del Nuovo Accordo Quadro 2023 (Piano di caratterizzazione complementare - Arenili Nord e Sud), sono stati rilevati i principali parametri chimico-fisici delle acque di falda in corrispondenza dei piezometri **S10bis PZ (ars)3**, **S6/10 PZ (ars)4**, **S6 PZ (ars)5**, **S3 PZ (ars)2**, **S8 PZ (ars)1** e **PZ25** ubicati nell'Arenile Sud.

I rilievi hanno riguardato i seguenti parametri chimico-fisici:

- ✓ Temperatura (°);
- ✓ pH;
- ✓ Conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- ✓ Ossigeno disciolto (mg/l) e (%);
- ✓ Potenziale Redox (mV);
- ✓ Resistività elettrica ($\Omega\cdot\text{m}$);
- ✓ Solidi totali disciolti (TDS) (mg/l);
- ✓ Salinità (g/l).

Le misurazioni sono state svolte alle seguenti di profondità (m da p.c.):

- ✓ -10;
- ✓ -9;
- ✓ -8;
- ✓ -7;
- ✓ -6;
- ✓ -5;
- ✓ -4;
- ✓ -3.

Si specifica che in corrispondenza del PZ25 le misurazioni sono state effettuate fino alla profondità di 20 m da p.c., mentre nei piezometri S6 PZ (ars)5 e S3 PZ (ars)2 sono stati effettuati rilievi anche alla profondità di -2 m da p.c. oltre che alle profondità precedentemente elencate.

In Allegato 3 si riporta una tabella riassuntiva dei valori freaticometrici e dei parametri chimico-fisici misurati in ciascun piezometro alle diverse profondità indagate, mentre in Allegato 4 si riportano le mappe che illustrano la distribuzione areale di suddetti parametri ricostruita tramite metodo geostatistico Kriging utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC).

Di seguito invece si riportano i grafici che illustrano la distribuzione dei valori dei principali parametri chimico-fisici rilevati in ciascun piezometro alle diverse profondità.

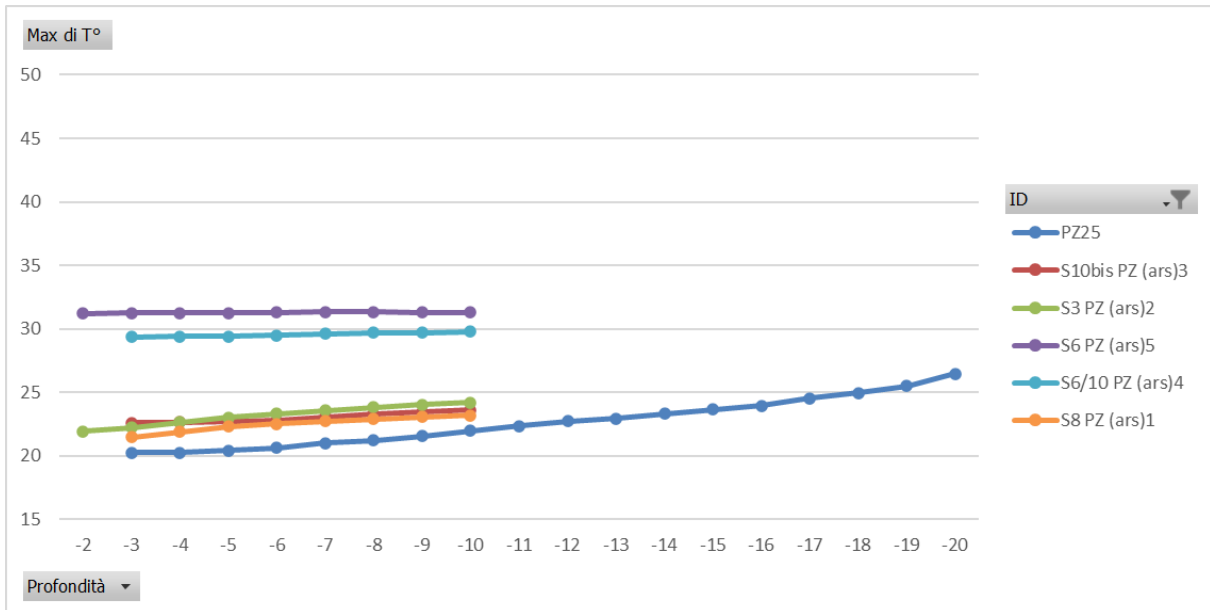


Figura 6-2: Distribuzione dei valori di temperatura (°) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

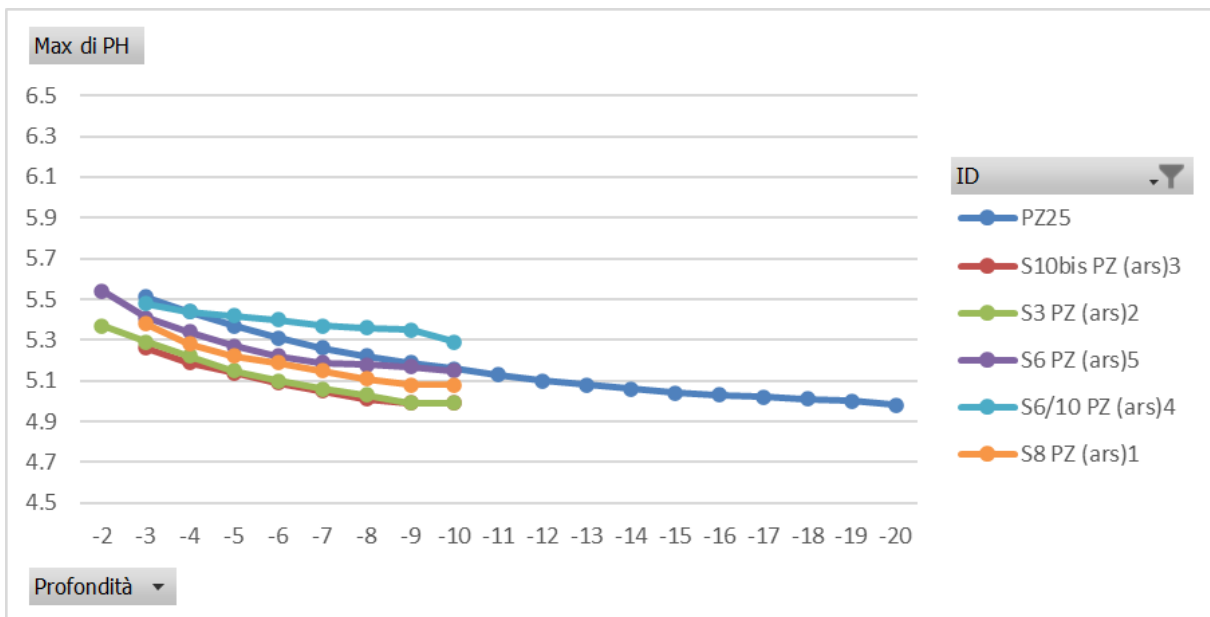


Figura 6-3: Distribuzione dei valori di pH con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

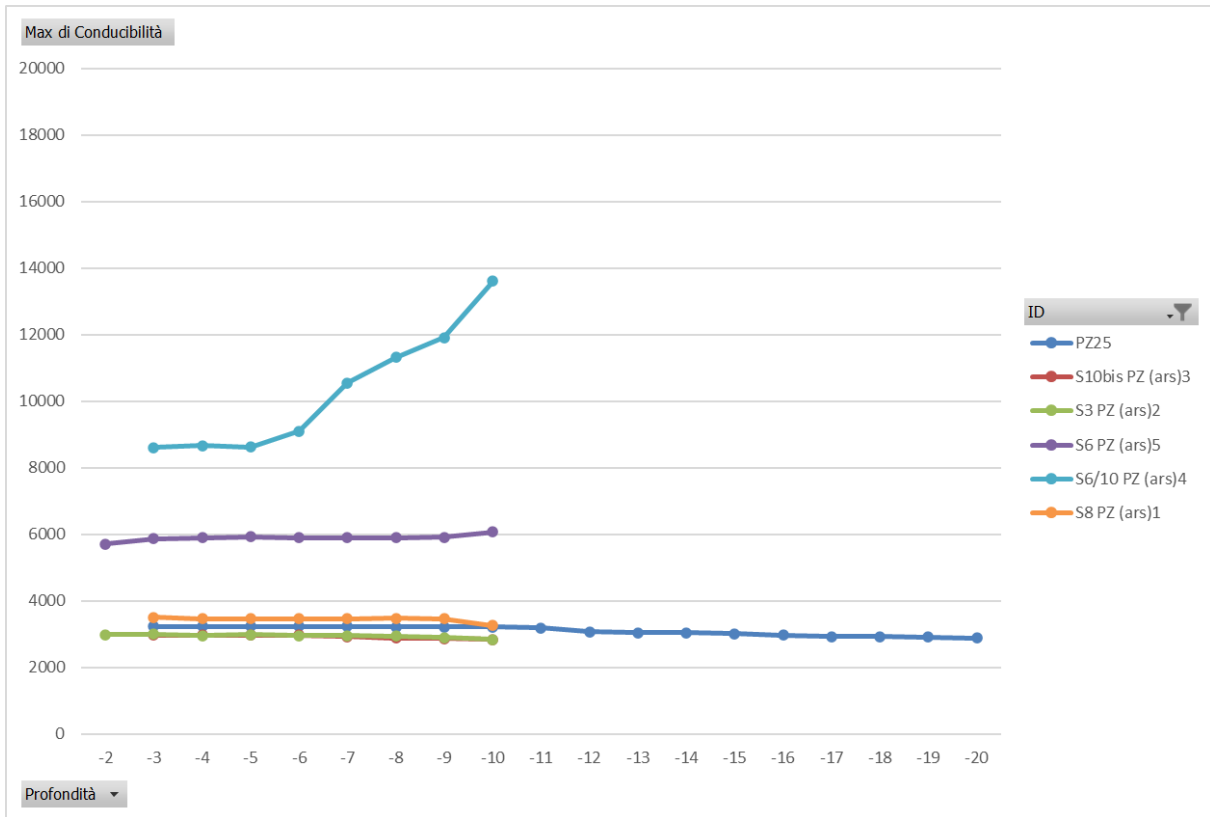


Figura 6-4: Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica (µS/cm) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

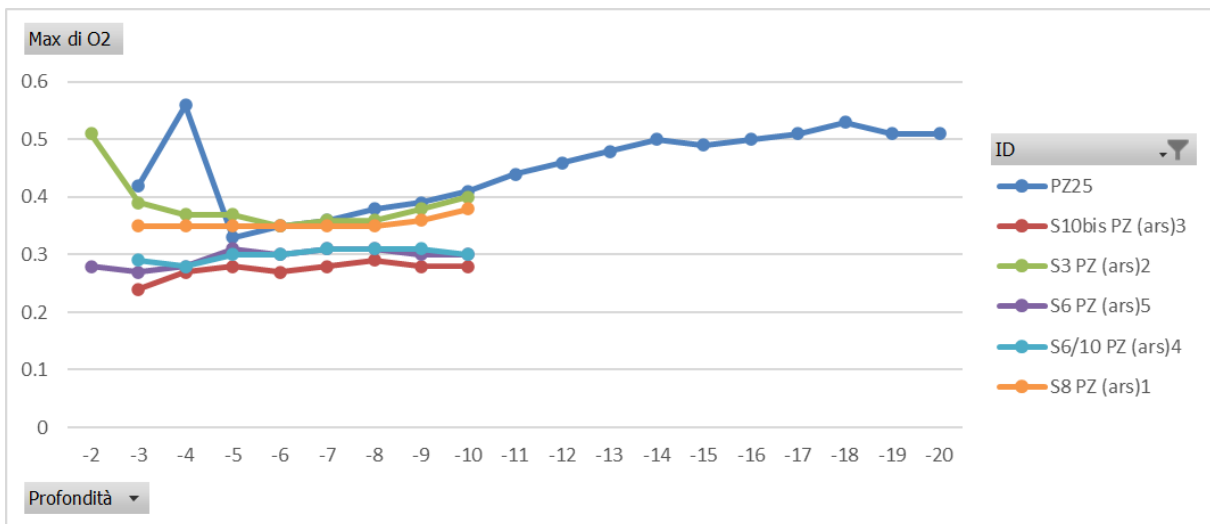


Figura 6-5: Distribuzione dei valori di ossigeno disciolto (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

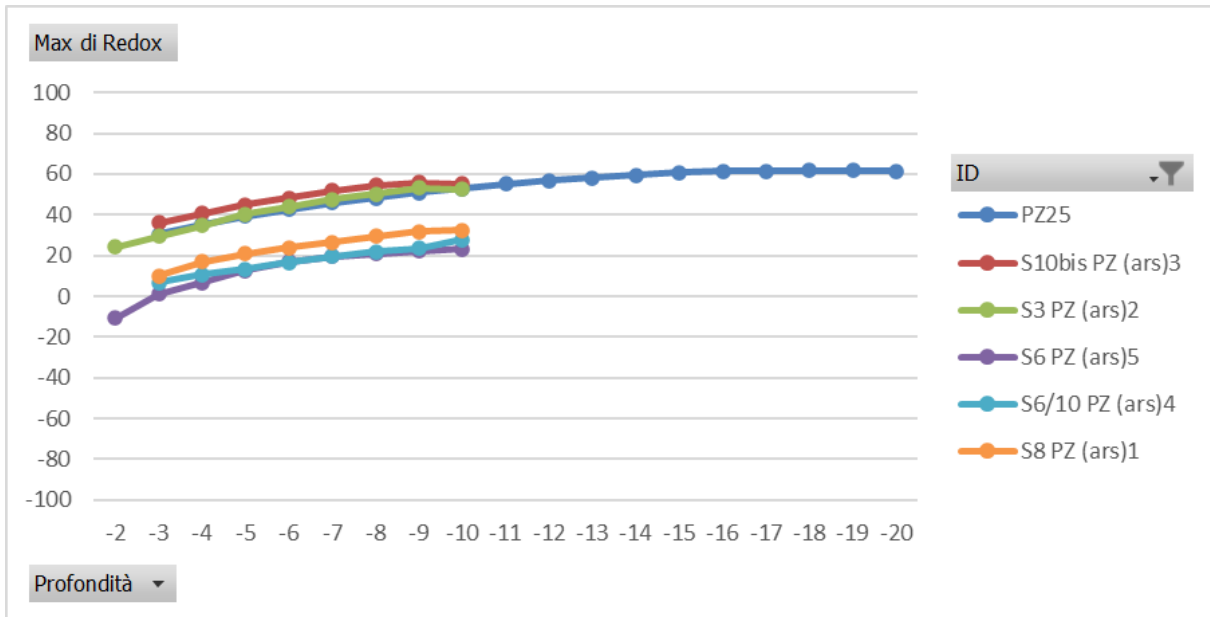


Figura 6-6: Distribuzione dei valori di potenziale Redox (mV) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

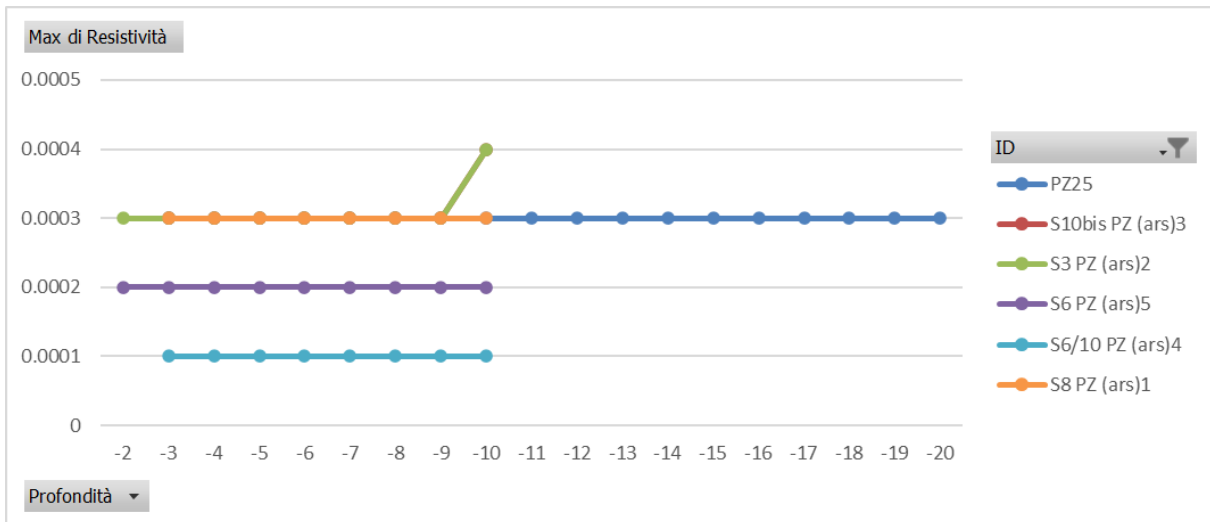


Figura 6-7: Distribuzione dei valori di resistività elettrica (Ω·m) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

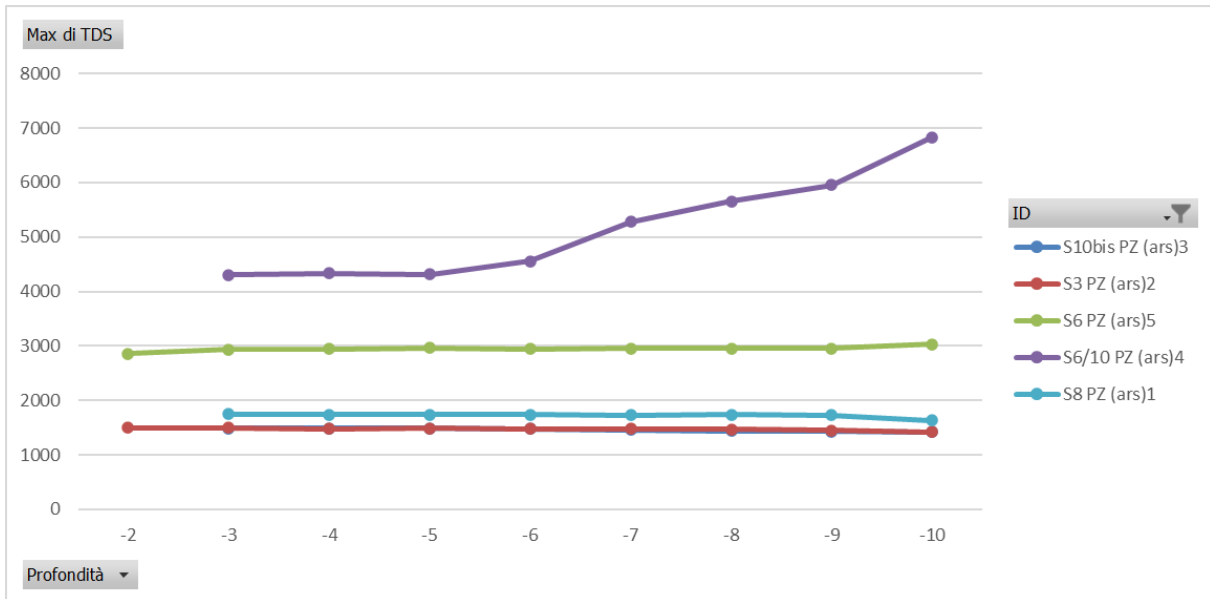


Figura 6-8: Distribuzione dei valori di solidi totali disciolti (TDS) (mg/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

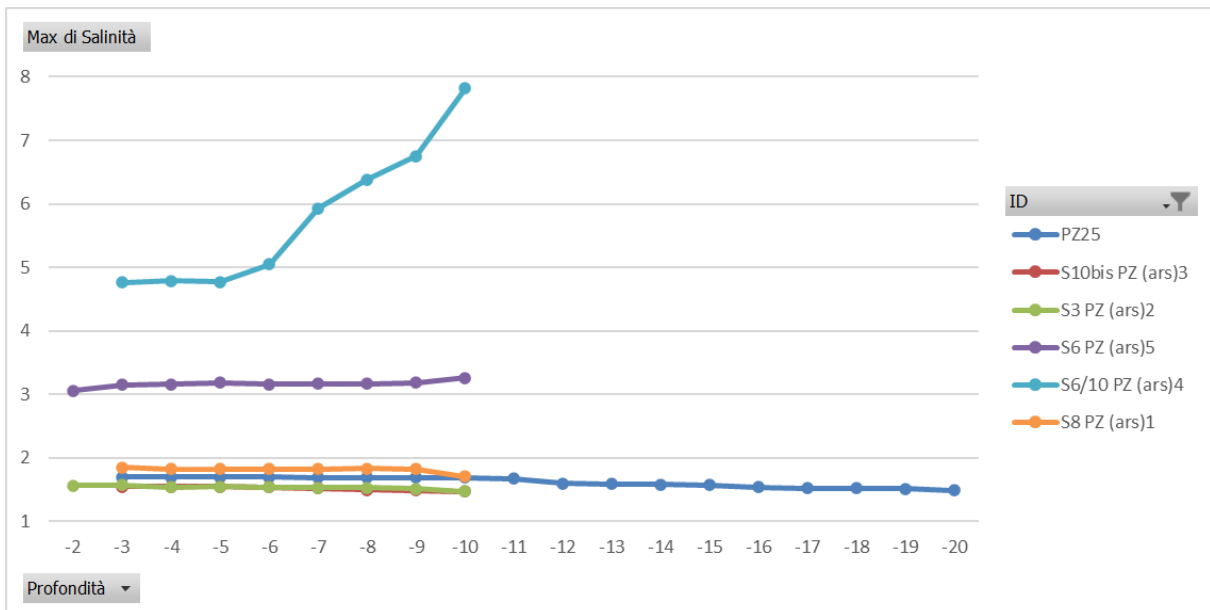


Figura 6-9: Distribuzione dei valori di salinità (g/l) con la profondità (m da p.c.) – Arenile Sud

Osservando le mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici riportate in Allegato 4 e i grafici sopra riportati si evince che:

- ✓ la temperatura oscilla tra 20,24°C e 31,32°C con un trend crescente con la profondità, evidente soprattutto nel PZ25, in corrispondenza del quale le misurazioni sono arrivate fino ai 20 m di profondità;
- ✓ il pH varia da 4,98 a 5,54 con valori più bassi in corrispondenza dei piezometri S10bis PZ (ars)3, S3 PZ (ars)2 e Pz25, alle profondità di 10 m da p.c. per i primi due piezometri e di 20 m per il terzo, e più alti nei

piezometri S6 PZ (ars) 5 alla profondità di 2 m da p.c., S6/10 PZ (ars)4 e PZ25 alla profondità di 3 m. Come per l'Arenile Nord, anche in questo caso in generale si osserva un trend decrescente con la profondità;

- ✓ la conducibilità elettrica ha valori compresi tra 2.838 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 13.610 $\mu\text{S}/\text{cm}$; per la maggior parte dei piezometri si osserva un andamento piuttosto costante con la profondità ad eccezione che nel piezometro S6/10 PZ (ars) 4 in cui si osserva un incremento non trascurabile con la profondità;
- ✓ l'ossigeno disciolto oscilla tra 0,24 mg/l e 0,56 mg/l con i valori più bassi in corrispondenza del S10bis PZ (ars) 3 a 3 m di profondità e quelli più alti in corrispondenza del PZ25 3 a 4 m di profondità.
- ✓ il potenziale redox varia da -10,60 mV, che indica un ambiente riducente a 61,8 mV, che indica invece un ambiente ossidante; i valori negativi sono stati riscontrati unicamente nel piezometro S6 PZ (ars) 5;
- ✓ la resistività elettrica mostra valori abbastanza coerenti in tutti i piezometri variando da 0,0001 a 0,0004 $\Omega\cdot\text{m}$;
- ✓ i solidi totali disciolti (TDS) variano da 1.419 mg/l a 6.827 mg/l; per la maggior parte dei piezometri si osserva un andamento piuttosto costante con la profondità ad eccezione che nel piezometro S6/10 PZ (ars) 4 in cui si osserva un incremento non trascurabile con la profondità;
- ✓ la salinità varia da 1,47 a 7,82 g/l e mostra una distribuzione dei piezometri alle diverse profondità del tutto simile a quella della conducibilità elettrica e dei solidi totali disciolti descritta nei precedenti punti.

7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - AREA DI COLMATA

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 sito 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.

Al fine di determinare la profondità della superficie di interfaccia tra materiali di riporto presenti nella colmata e sedimenti naturali sottostanti sono stati valutati i dati dei sondaggi delle campagne di indagine più recenti (2018-2021), realizzate a valle della messa in sicurezza della colmata tramite capping¹, selezionando unicamente quelli che sono arrivati ad intercettare l'orizzonte di separazione tra riporti e sedimenti naturali, per un totale n. 124 verticali d'indagine.

L'immagine seguente mostra la quota (m s.l.m.) della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti ricavata dall'elaborazione condotta con Surfer mediante metodo geostatistico *Kriging* utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC).

¹ L'interpolazione effettuata utilizzando tutti i n. 560 sondaggi disponibili avrebbe portato ad identificare una superficie disomogenea, a causa di informazioni litostratigrafiche discordanti tra sondaggi vicini realizzati in anni differenti, in particolare tra quelli realizzati prima e dopo la messa in sicurezza della colmata tramite capping.

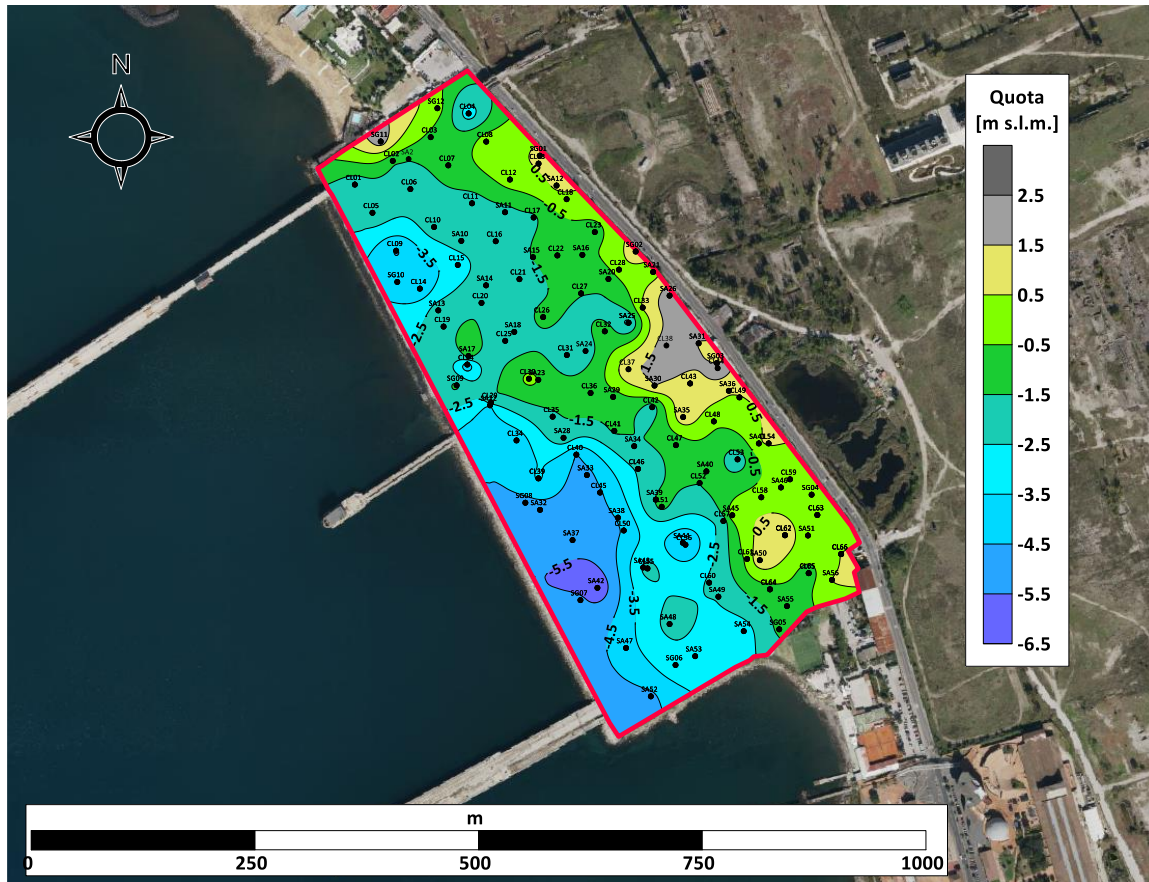


Figura 7-1: Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

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 (GOLDEN SOFTWARE, LLC) è stata effettuata la ricostruzione riportata nelle figure seguenti, rispettivamente con visualizzazione in pianta e tridimensionale.

Come si può osservare dalle seguenti figure il livello piezometrico in corrispondenza della colmata oscilla tra 0,50 m s.l.m. nella porzione sudorientale della colmata, posta ad una distanza maggiore dal mare, e -0,1 m s.l.m. nella porzione nordoccidentale della colmata, in prossimità del mare.

Le misurazioni svolte nelle altre campagne di monitoraggio in ambito dell'Appalto Specifico 3 confermano tale andamento, evidenziando oscillazioni stagionali decimetriche e alcune interferenze probabilmente legate sia all'attività antropica che alle oscillazioni marine.

In Allegato 5 si riportano le ricostruzioni piezometriche in condizioni statiche, ovvero con la barriera idraulica inattiva, interpolate con il metodo geostatistico *Kriging* utilizzato dal software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC) relative a tutte le campagne di monitoraggio svolte in ambito dell'Appalto Specifico 3.

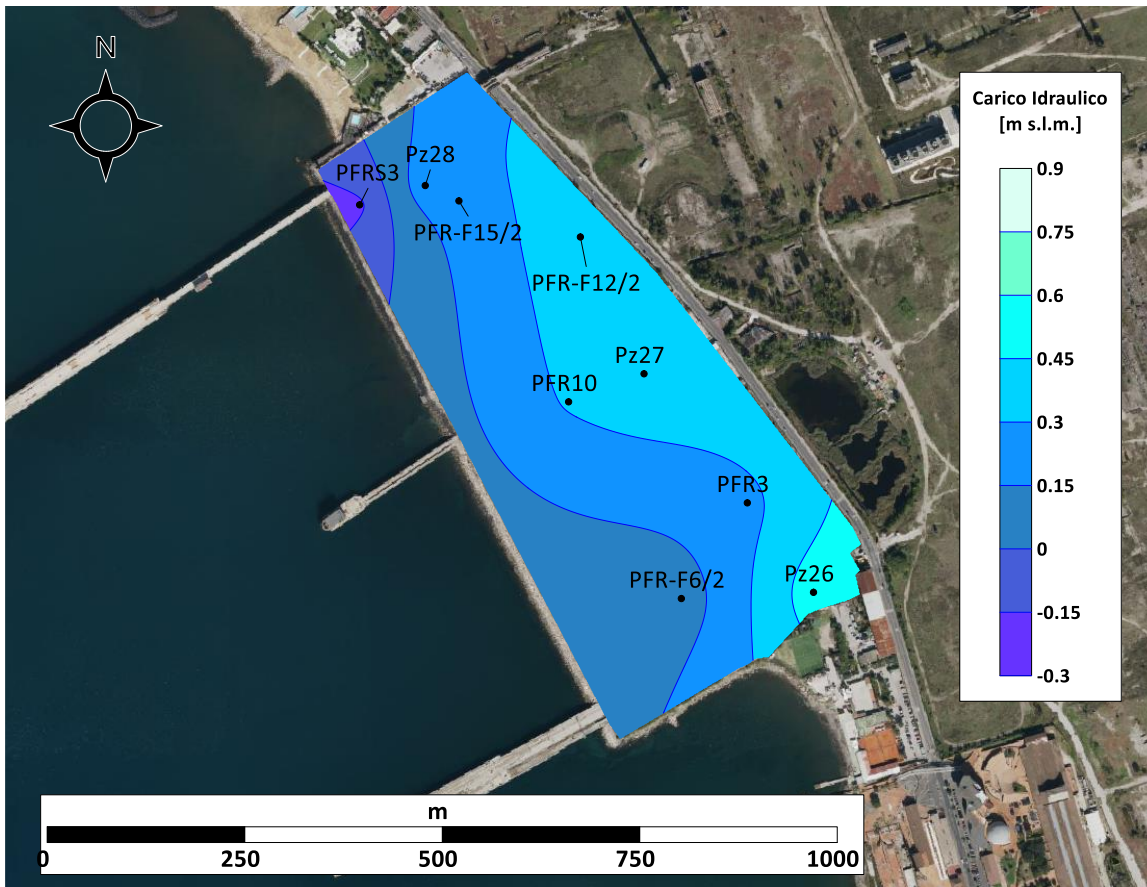


Figura 7-2: Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.) (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

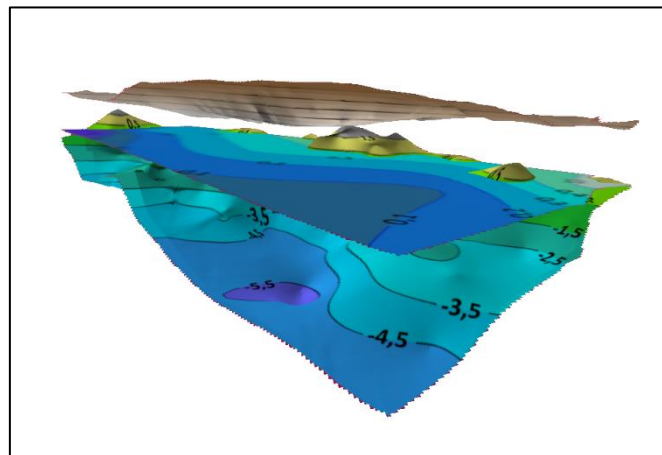


Figura 7-3: Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (topografia, interfaccia colmata-sedimenti e superficie piezometrica del marzo 2019)

7.1 PARAMETRI SITO SPECIFICI DELLA FALDA

Al fine di caratterizzare nel dettaglio l'area di colmata dal punto di vista idrogeologico, nell'anno 2000, nell'ambito della fase 2 della fase di caratterizzazione, sono state svolte una serie di prove di laboratorio e Lefranc secondo quanto riassunto nella seguente tabella:

Tabella 7.1: Parametri idrogeologici - Colmata

Id Piezometro	Comparto	Quota top (m da p.c.)	Quota bottom (m da p.c.)	Tipo di prova	k(m/s)	Porosità efficace (%)
PFR-F19/1	Riporto sopra falda	1,5	1,9	Laboratorio	1,04E-08	9
PFR-F10/2	Riporto sopra falda	1,5	1,9	Laboratorio	3,42E-08	15
PFR-F6/2	Riporto sopra falda	1,5	1,9	Laboratorio	1,79E-08	8
PFR-F19/1	Riporto sotto falda	-	-	Lefranc	5,58E-06	-
PFR-F19/1	Riporto sotto falda	-	-	Lefranc	6,71E-06	-
PFR-F18	Riporto sotto falda	3	3,5	Laboratorio	1,45E-08	17
PFR-F18	Riporto sotto falda	3	3,5	Lefranc	1,35E-07	-
PFR-F18	Riporto sotto falda	3	3,5	Lefranc	5,86E-06	-
PFR-F10/2	Riporto sotto falda	3,5	3,5	Laboratorio	3,86E-08	12
PFR-F10	Riporto sotto falda	2,5	2,8	Lefranc	5,84E-06	-
PFR-F10	Riporto sotto falda	2,5	2,8	Lefranc	1,19E-05	-
PFR-F8/2	Riporto sotto falda	6	6,5	Lefranc	8,87E-07	-
PFR-F8/2	Riporto sotto falda	6	6,5	Lefranc	1,31E-05	-
PFR-F7	Riporto sotto falda	6,2	6,6	Lefranc	1,57E-07	-
PFR-F7	Riporto sotto falda	6,2	6,6	Lefranc	8,37E-07	-
PFR-F6/2	Riporto sotto falda	5	5,5	Lefranc	2,03E-06	-
PFR-F6/2	Riporto sotto falda	5	5,5	Lefranc	4,42E-06	-
PFR-F12/2	Suolo sopra falda	2,1	2,6	Laboratorio	3,12E-08	18
PFR-F6/2	Suolo sotto falda	7	7,5	Laboratorio	9,40E-08	18
PFR-F6/2	Suolo sotto falda	7	7,5	Lefranc	1,13E-06	-
PFR-F6/2	Suolo sotto falda	7	7,5	Lefranc	2,12E-05	-
PFR-F7	Suolo sotto falda	13,2	13,8	Laboratorio	2,32E-09	8
PFR-F7	Suolo sotto falda	13,2	13,8	Lefranc	2,70E-06	-
PFR-F7	Suolo sotto falda	13,2	13,8	Lefranc	5,86E-06	-
PFR-F8/2	Suolo sotto falda	14,6	15	Laboratorio	5,44E-08	6
PFR-F8/2	Suolo sotto falda	14,6	15	Lefranc	1,05E-07	-
PFR-F8/2	Suolo sotto falda	14,6	15	Lefranc	2,77E-07	-
PFR-F10	Suolo sotto falda	4,5	5	Lefranc	5,26E-07	-
PFR-F10	Suolo sotto falda	4,5	5	Lefranc	1,92E-07	-
PFR-F10/2	Suolo sotto falda	8	5	Lefranc	2,46E-08	-
PFR-F15/2	Suolo sotto falda	3	3,4	Laboratorio	1,10E-07	18
PFR-F15/2	Suolo sotto falda	3	3,4	Lefranc	2,60E-06	-
PFR-F15/2	Suolo sotto falda	3	3,4	Lefranc	6,52E-06	-
PFR-F15/2	Suolo sotto falda	4,5	5	Lefranc	1,22E-06	-
PFR-F15/2	Suolo sotto falda	4,5	5	Lefranc	6,64E-06	-
PFR-F18	Suolo sotto falda	7,5	8	Laboratorio	1,08E-07	19
PFR-F18	Suolo sotto falda	7,5	8	Lefranc	9,31E-07	-
PFR-F18	Suolo sotto falda	7,5	8	Lefranc	3,41E-06	-
PFR-F19/1	Suolo sotto falda	8,5	10,5	Lefranc	2,90E-06	-

Id Piezometro	Comparto	Quota top (m da p.c.)	Quota bottom (m da p.c.)	Tipo di prova	k(m/s)	Porosità efficace (%)
PFR-F19/1	Suolo sotto falda	8,5	10,5	Lefranc	7,63E-06	-
PFR-F12/2	Suolo sotto falda	11	11,5	Lefranc	6,30E-07	-
PFR-F12/2	Suolo sotto falda	11	11,5	Lefranc	1,07E-06	-

Suddividendo il sottosuolo in terreno di riporto e sedimenti naturali si ottengono i seguenti valori di conducibilità idraulica media (m/s):

Tabella 7.2: Conducibilità idrauliche medie

Comparto	Tipo di Prova	Conducibilità idraulica media (m/s)
Riporto	Laboratorio	2,31 E-08
Riporto	Lefranc	4,79 E-06
Sedimenti	Laboratorio	6,67 E-08
Sedimenti	Lefranc	3,45 E-06

Nella seguente immagine invece si illustra la distribuzione della porosità efficace (%) individuata attraverso le prove di laboratorio tramite ricostruzione dei poligoni di *Thiessen*:



Figura 7-4: Distribuzione della porosità efficace (%) tramite Poligoni di Thiessen (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

8 BIBLIOGRAFIA

Publicazioni scientifiche

- [B1] Perimetrazione del SIN 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;
- [B2] P. Colantoni et al. (1972), Ricerche geologiche nel Golfo di Pozzuoli, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 83, 46-50, Roma.
- [B3] M. Pennetta, Vecchione C., (1984), Contributi allo studio del Golfo di Pozzuoli: caratteristiche tessiturali dei sedimenti superficiali.
- [B4] Di Girolamo, P., M. R. Ghiara, L. Lirer, R. Munno, G. Rolandi, and D. Stanzione (1984), Volcanology and petrology of Campi Flegrei, Boll. Soc. Geol. Ital., 103, 349– 413.
- [B5] Rosi, M. and Sbrana, A. (1987), Phlegraean Fields: Quaderni de La Ricerca Scientifica. Consiglio Nazionale delle Ricerche Monograph 114, Volume 9, 175 p.
- [B6] Cardone V. (1989), Bagnoli nei Campi Flegrei.
- [B7] Cardone V. (1992) – Nisida. Storia di un mito dei Campi Flegrei. Ed. Electa, Napoli.
- [B8] Orsi, G., S. de Vita, and M. Di Vito (1996), The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): Constraints on its evolution and configuration, J. Volcanol. Geotherm. Res., 74, 179– 214.
- [B9] F. Russo, G. Calderoni e M. Lombardo (1998), Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli.
- [B10] Calderoni G. e Russo F. (1998), The geomorphological evolution of the outskirts of Naples during the Holocene: a case study of the Bagnoli-Fuorigrotta depression, Sage Journals, Volume 8, Issue 5.
- [B11] Di Vito M., Isaia R., Orsi G., Southon J. (1999), Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy), Journal of Volcanology and Geothermal Research 91:221-246.
- [B12] Pappalardo L. et al.) (1999), "Chemical and Sr-isotopic evolution of the Phlegraean magmatic system before the Campanian Ignimbrite and the Neapolitan Yellow Tuff eruptions.
- [B13] Celico P., Habetswallner F., 1999a. Prime considerazioni idrogeologiche sull'area dell'ex Ilva di Bagnoli. Società Bagnoli S.p.A., 1999, Napoli.
- [B14] Celico P., Habetswallner F., 1999b. Considerazioni idrogeologiche sull'area dell'ex Ilva di Bagnoli. Società Bagnoli S.p.A., 1999, Napoli.
- [B15] Celico F., Esposito L., Mancuso M. (2001) – Complessità idrodinamica ed idrochimica dell'area urbana di Napoli: scenari interpretativi. GeologiaTecnica ed Ambientale 2/2001.
- [B16] Piochi, M., L. Pappalardo, and G. De Astis (2004), Geochemical and isotopic variation within the Campanian Comagmatic Province: Implications on magma source composition, Ann. Geophys., 47, 1377– 1391.
- [B17] M. Sacchi, F. Pepe, M. Corradino, D.D. Insinga, F. Molisso , C. Lubritto (2014), The Neapolitan Yellow Tuff caldera offshore the Campi Flegrei: Stratal architecture and kinematic reconstruction during the last 15 ky, Marine Geology 354 (2914) 15-33.
- [B18] Sacchi M., Pepe F., Corradino M., Insinga D.D., Molisso F. (2014), Seismic expression of the shallow structure of The Neapolitan Yellow Tuff (NYT) caldera offshore the Campi Flegrei, Rend. Online Soc. Geol. It., Suppl. n. 1 al Vol. 31 (2014).

Siti Internet

- [B19] <http://www.comune.napoli.it>
- [B20] <https://www.ov.ingv.it/index.php/flegrei-storia-eruttiva/le-eruzioni-principali/tufo-giallo-napoletano>
- [B21] <http://www.bagnolifutura.it/>: Bagnolifutura SpA: il progetto, la bonifica, la storia. Copyright 2003-2005, Bagnolifutura SpA.

Allegato 1

Tabella riassuntiva parametri chimico-fisici – AS 3

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-
REL-02-00 - Luglio 2023**

Allegato 2

Mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici– AS 3

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-
REL-02-00 - Luglio 2023**

Allegato 3

Tabella riassuntiva parametri chimico-fisici – AS 2

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-
REL-02-00 - Luglio 2023**

Allegato 4

Mappe di distribuzione dei parametri chimico-fisici– AS 2

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-
REL-02-00 - Luglio 2023**

Allegato 5

Ricostruzioni piezometriche area di colmata – AS3

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-
REL-02-00 - Luglio 2023**

