



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

INVITALIA

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

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-03-00 - Luglio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Prima emissione	3BA	Proger	RINA	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 s.r.l.

3BA s.r.l.
engineering and consulting



AS

INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	2
INDICE DELLE FIGURE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	4
1. PREMESSA	5
2. OBIETTIVI DEL PROGETTO	7
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	13
5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO	14
5.1. MODELLO GEOLOGICO	14
5.1.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	14
5.1.2. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	16
5.2. MODELLO IDROGEOLOGICO	22
5.2.1. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE	22
5.2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO AREA DI COLMATA	23
5.2.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ARENILE NORD	29
5.2.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ARENILE SUD	29
5.2.5. PERMEABILITÀ TERRENI	29
6. ANALISI IDROLOGICA	30
6.1. METODOLOGIA DI CALCOLO	30
6.2. SCELTA DEL MODELLO PROBABILISTICO	30
6.3. LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICHE	34
7. MONITORAGGIO FREATIMETRICO OSCILLAZIONE DELLA FALDA	40
8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - AREA DI COLMATA	48
9. CUNEO SALINO	54
10. STATO DI FATTO ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA	55
11. BIBLIOGRAFIA	57

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 5.1:	Stratigrafia di riferimento colmata	20
Tabella 5.2:	Tabella piezometri – coordinate - quote	25
Tabella 5.3:	Tabella misure piezometriche marzo 2019	25
Tabella 5.4:	Tabella misure piezometriche luglio 2019	25
Tabella 5.5:	Tabella misure piezometriche dicembre 2019	26
Tabella 5.6:	Tabella misure piezometriche febbraio 2020	26
Tabella 5.7:	Tabella misure piezometriche luglio 2020	26
Tabella 6.1:	Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania	33
Tabella 6.2:	Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.	33
Tabella 6.3:	Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche	36
Tabella 6.4:	Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.	37
Tabella 6.5:	CPP per Tr 2- 1000 anni	37
Tabella 6.6:	Parametri CPP per Tr 2-500 anni	39
Tabella 7.1:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Nord	45
Tabella 7.2:	Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Sud	46

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1:	Inquadramento territoriale	8
Figura 3-2:	Ubicazione del sito ([B19], scala originaria 1: 5.000)	9
Figura 3-3:	Stato attuale dell'Arenile Nord.	10
Figura 3-4:	Panoramica area di colmata	11
Figura 3-5:	Stato attuale dell'Arenile Sud	12
Figura 5-1:	Stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda	15
Figura 5-2:	Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).	17
Figura 5-3:	Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)	18
Figura 5-4:	A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata	19
Figura 5-5:	Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche	20
Figura 5-6:	Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche	21
Figura 5-7:	stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale (De Vita et al. 2018).	22
Figura 5-8:	Ubicazione dei piezometri attivi nel 2019: in rosso i 25 superficiali, in blu i 18 profondi, cerchiati quelli d'interesse	24
Figura 5-9:	Carta soggiacenza falda acquifera ricostruita dal Politecnico di Torino	27
Figura 5-10:	Carta della soggiacenza della falda acquifera. Fonte: PFTE	28
Figura 6-1:	Progetto VAPI Regione Campania - Suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee	35
Figura 6-2:	CPP 38	
Figura 7-1:	Planimetria con ubicazione piezometri esistenti e realizzati nell'ambito dell'AS3	40
Figura 7-2:	Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Marzo 2019	41
Figura 7-3:	Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Luglio 2019	41
Figura 7-4:	Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Dicembre 2019	41

Figura 7-5:	Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Febbraio 2020	42
Figura 7-6:	Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Luglio 2020	42
Figura 7-7:	Ubicazione stazioni meteorologiche utilizzate per le considerazioni pluviometriche	43
Figura 7-8:	Riepilogo pluviometrico cumulato mensile, a partire da gennaio 2019, per le stazioni meteorologiche più vicine alla zona	43
Figura 7-9:	Oscillazione temporale del cielo falda sul livello medio marino	44
Figura 7-10:	Oscillazione temporale soggiacenza falda da piano campagna	44
Figura 7-11:	Stazione pluviometrica Camaldoli – Piogge cumulate 2021 - 2023	47
Figura 7-12:	Stazione pluviometrica Pozzuoli – Piogge cumulate 2021 - 2023	47
Figura 7-13:	Stazione pluviometrica Nisida – Piogge cumulate 2021 - 2023	47
Figura 8-1:	Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m.s.l.m.)	48
Figura 8-2:	Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.)	49
Figura 8-3:	Interpolazione della superficie piezometrica per luglio 2019 (m s.l.m.)	50
Figura 8-4:	Interpolazione della superficie piezometrica per dicembre 2019 (m s.l.m.)	51
Figura 8-5:	Interpolazione della superficie piezometrica per febbraio 2020 (m s.l.m.)	52
Figura 8-6:	Interpolazione della superficie piezometrica per luglio 2020 (m s.l.m.)	53
Figura 9-1:	Andamento dell'interfaccia nel sito ex ITALSIDER [B21]	54
Figura 10-1:	Sistema MISE previsto per le acque di falda del SIN Bagnoli-Coroglio	55

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

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 nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)".*

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di appalto integrato suddetti è stato delineato dal Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli (PRARU), il cui Stralcio Urbanistico e relative Norme Tecniche Attuative (NTA) sono stati approvati nella Conferenza di Servizi (CdS) del 14 giugno 2019 e adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019. Il PRARU prevede che saranno ricostituite le caratteristiche originarie del sito, alterate dalle precedenti attività industriali con, come obiettivo primario, il ripristino della balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito, tramite le seguenti azioni:

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

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

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

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

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

- aree a terra, sia di proprietà di INVITALIA che di competenza in qualità di Soggetto Attuatore in quanto ricadenti all'interno del SIN;
- 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 Idrologica e Idraulica sito-specifica che sintetizza le conoscenze idrologiche dell'area di interesse oggetto della presente relazione, derivanti, oltre che dall'analisi bibliografica, anche dall'interpretazione delle indagini condotte in sito nel corso degli anni

2. OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'obiettivo dell'intervento di ripascimento ha lo scopo di ricostituire l'arenile e una linea di riva stabile, che tenderà il più possibile alla linea di riva delineata dal PRARU. Inoltre, di delimitare le zone oggetto di bonifica dai sedimenti provenienti dal litorale Nord, attraverso un sistema di contenimento composto da opere rigide.

L'aggiornamento del PRARU, nel Luglio 2021, al fine del raggiungimento degli obiettivi di risanamento ambientale ha definito il seguente obiettivo specifico e la conseguente azione da implementare:

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

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

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Sito di Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (di seguito SIN) è ubicato 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 e comprende l'intera zona degli ex stabilimenti di Bagnoli con una superficie di circa 250 Ha.

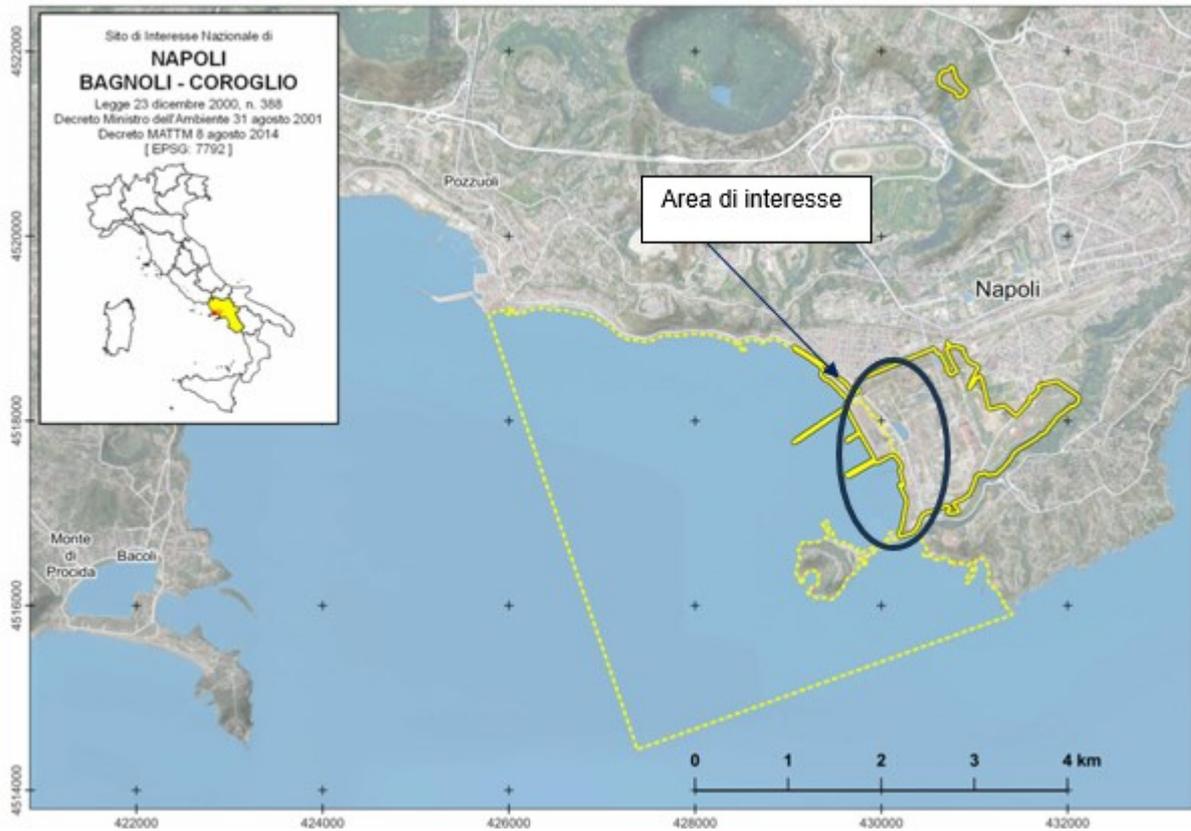


Figura 3-1: Inquadramento territoriale

Nella cartografia ufficiale italiana (IGM) l'intero sito risulta inquadrato nella serie 25V scala 1:25.000 tavoletta 184 III Nord Est "Pozzuoli". Per quanto riguarda la nuova produzione ufficiale (IGM serie 25) il sito 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, il sito è contenuto all'interno degli Elementi 447142 "Pozzuoli" e 447153 "Napoli - Posillipo" della Carta Tecnica Numerica della Provincia di Napoli alla scala 1: 5.000.

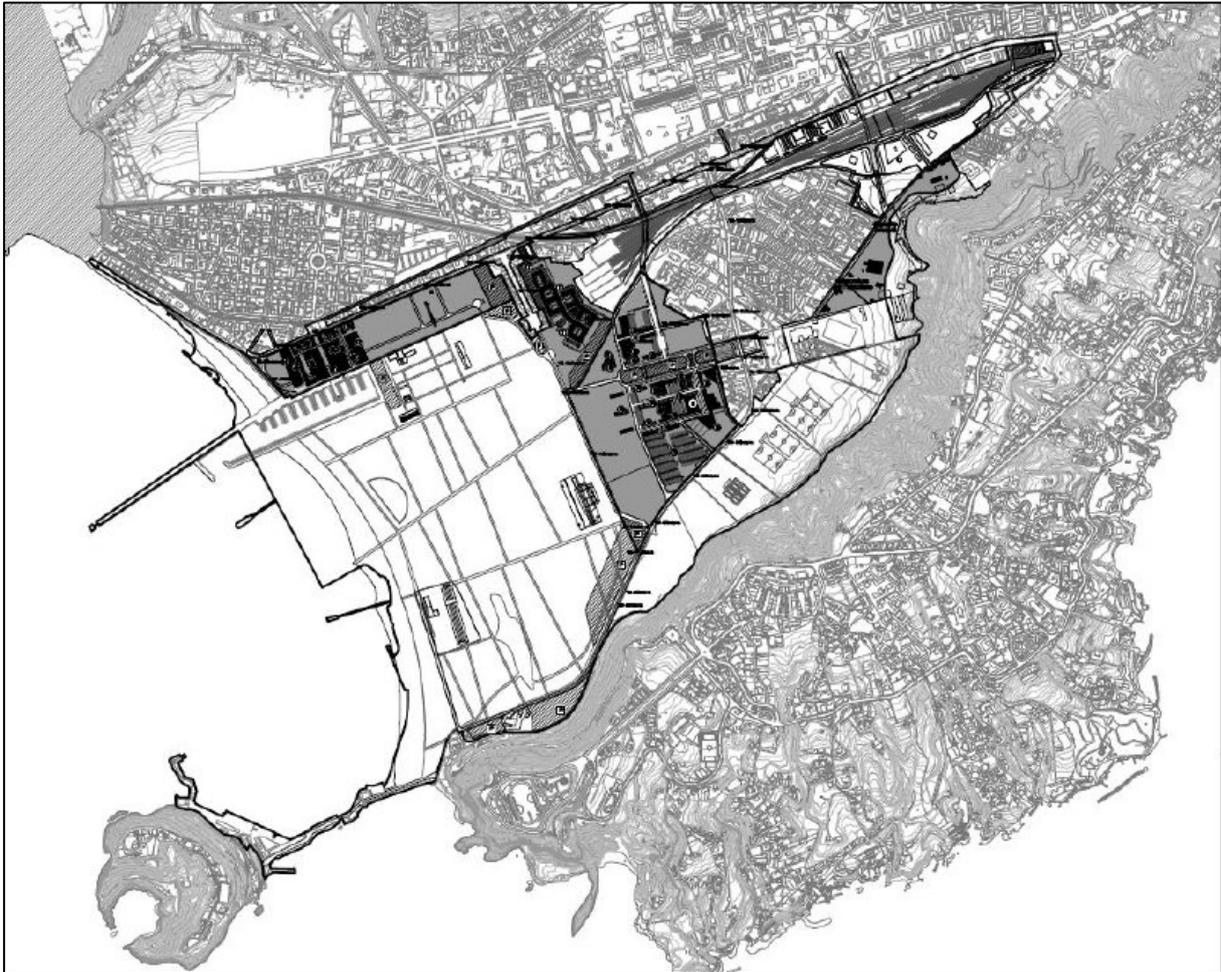


Figura 3-2: Ubicazione del sito ([B19], scala originaria 1: 5.000)

Il territorio del SIN 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 pomici, 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 si colloca all'estremità settentrionale del SIN, 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.

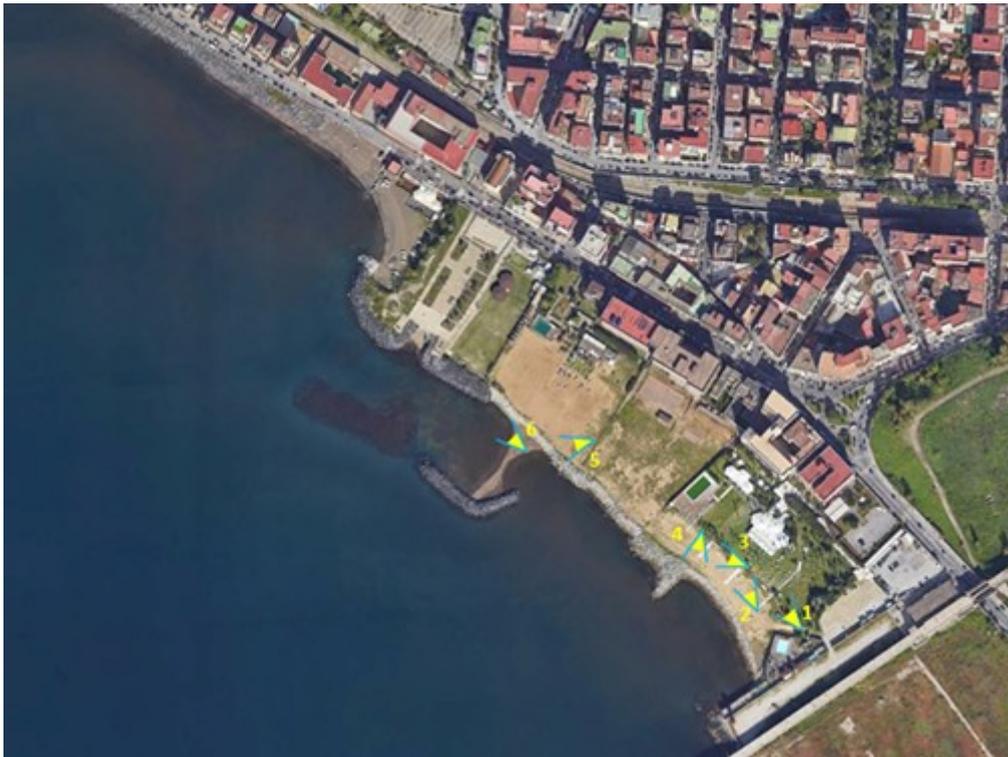


Figura 3-3: Stato attuale dell'Arenile Nord.

Area di 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 3-4: Panoramica area di colmata

Arenile Sud

L'arenile Sud 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.

Di seguito si riporta l'immagine con lo stato attuale dell'Arenile Sud.

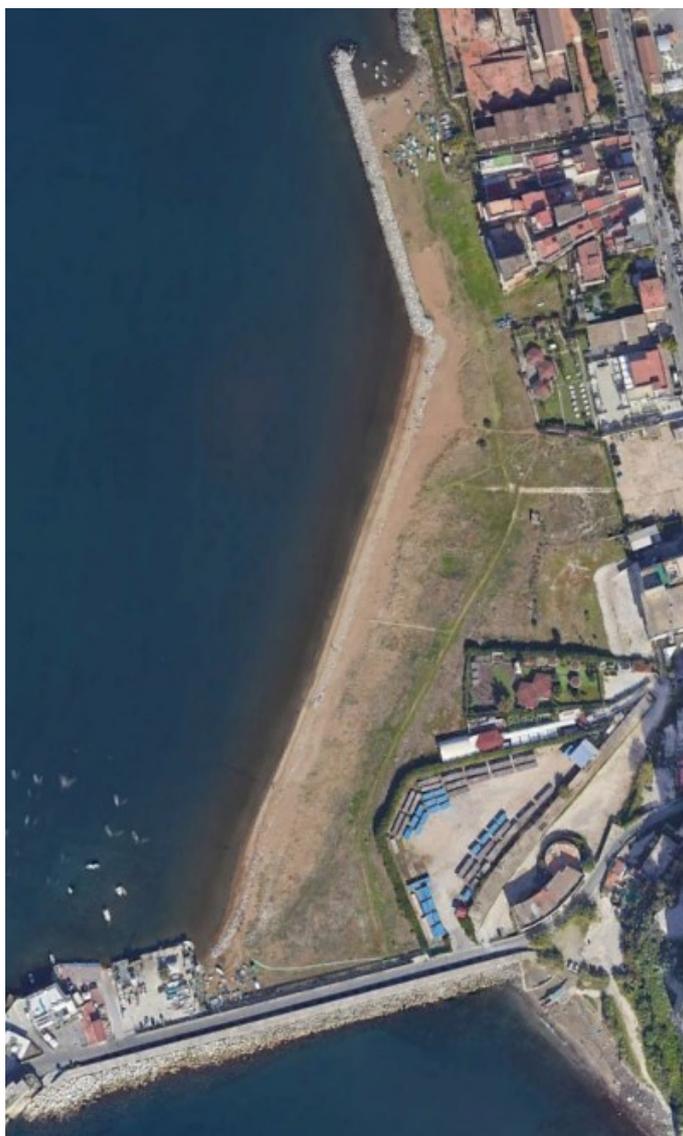


Figura 3-5: Stato attuale dell'Arenile Sud

4. DOCUMENTI 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. GNDCI Linea 1. Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia
9. Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 e note alla carta.
10. Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli (F. Russo, G. Calderoni, M. Lombardo, 1998)
11. Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)
12. P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica
13. P22041-D-00-GE-RS-REL-02-00: Relazione idrogeologica
14. P22041-D-00-GE-RS-REL-04-00: Relazione geotecnica

5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Al fine di ricostruire un modello concettuale generale del sito, vengono mostrate di seguito le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche anche sulla base dei dati disponibili.

5.1. MODELLO GEOLOGICO

Per la ricostruzione del modello geologico del sito è stata utilizzata la Carta Geologica d'Italia Foglio 446-447 (Napoli) per un primo inquadramento generale.

Per la definizione della stratigrafia di riferimento si è fatto riferimento alle diverse campagne d'indagine eseguite negli anni e in particolare i 66 sondaggi realizzati nell'ambito dell'Appalto Specifico n.2 del Contratto Quadro per le perforazioni e le indagini di laboratorio del SIN Bagnoli-Coroglio e riportate all'interno della Relazione geologica, idrogeologica e sismica redatta per il PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - BONIFICA E RISANAMENTO AMBIENTALE per INVITALIA grazie ai quali sono stati definiti gli spessori dei riporti e di conseguenza l'andamento topografico del substrato.

Sono state utilizzate anche le stratigrafie di sondaggio relative alla campagna di indagini di Luglio 2019

Attraverso queste indagini sono stati riconosciuti 2 strati e per questi è stata definita la composizione litologica.

5.1.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Geologicamente, la città di Napoli ricade nel Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. La città è compresa nella Piana Campana che rappresenta un profondo graben carbonatico, come conseguenza delle fasi tettoniche del Pliocene superiore e nel Quaternario, colmato da depositi piroclastici e alluvionali associati a frequenti depositi marini e palustri; in conseguenza di ciò, l'assetto e la costituzione geolitologica del territorio derivano non soltanto dai processi tettonici che hanno dato origine alla Piana Campana, ma anche dai successivi eventi vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio.

Nello specifico l'area di Bagnoli, situata ad Ovest della città di Napoli si trova in corrispondenza dell'areale vulcanico dei Campi Flegrei. La struttura dei Campi Flegrei è fortemente condizionata dai due grandi eventi ignimbritici che hanno eruttato enormi volumi di magma e causato due sprofondamenti calderici 39mila anni fa, con l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, e 15mila anni fa, con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano.

Entrambe sono eruzioni Pliniane e hanno avuto un'evoluzione simile, iniziando con una fase da colonna sostenuta che ha depositato prodotti da caduta, seguita dal collasso della colonna eruttiva con la formazione di correnti piroclastiche che hanno accumulato spesse successioni piroclastiche. Al contrario, lo stile eruttivo dei due eventi, e, conseguentemente, i tipi di depositi sono notevolmente diversi. Quella dell'Ignimbrite Campana è un'eruzione magmatica e la fase esplosiva è controllata dai gas interni mentre quella del Tufo Giallo Napoletano è una delle rare eruzioni di tipo freatopliniano.

Il graben nel quale è posizionato l'area di progetto è denominato depressione tettonica di Bagnoli-Fuorigrotta e si trova ad Ovest della città di Napoli.

Situata tra il campo policroaterico di Agnano e la dorsale di Posillipo, la depressione di Bagnoli-Fuorigrotta deve il suo assetto all'attività vulcanica e tettonica legata alla storia eruttiva dei Campi Flegrei degli ultimi 12 mila anni.

La serie sedimentaria che costituisce il riempimento della depressione è costituita principalmente da sedimenti di origine vulcanica subaerei e marini depositatisi in un'area caratterizzata da prevalente subsidenza. A questi sedimenti sono spesso intercalati depositi alluvionali, limno-palustri e paleosuoli.

La depressione si è individuata, come bacino di sedimentazione marina, con il collasso vulcano-tettonico che, 12 mila anni fa circa, originò la caldera Flegrea. Essa fu ristretta e confinata spazialmente dalla costruzione, in seguito a numerose eruzioni prevalentemente esplosive, del campo policroaterico di Agnano che, in due fasi distinte, tra 11 e 3.7 mila anni fa circa, contribuì all'aggradazione della depressione bacinale con conseguente avanzamento della linea di costa e formazione del Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

Tra 5.5 e 3.7 mila anni fa, avvenne l'ultima fase di grande attività del campo di Agnano (eruzioni di Celle-Monte Sant'Angelo, Monte Spina, La Solfatara, Monte Olibano, Astroni, ecc.).

La risalita eustatica del livello marino insieme ad una marcata subsidenza di natura bradisismica consentirono che a valle del Terrazzo, nella Piana di Coroglio, continuasse la sedimentazione marina, intervallata da episodi continentali di tipo limno-palustri. Da circa 1.8 ka, con la formazione di un cordone dunare lungo la costa, la Piana di Coroglio ha assunto l'attuale fisionomia. Da questo momento essa è stata oggetto solo di movimenti verticali bradisismici la cui entità è stata tale che il mare non ha più potuto avanzare su di essa.

Di seguito si riporta lo stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000.

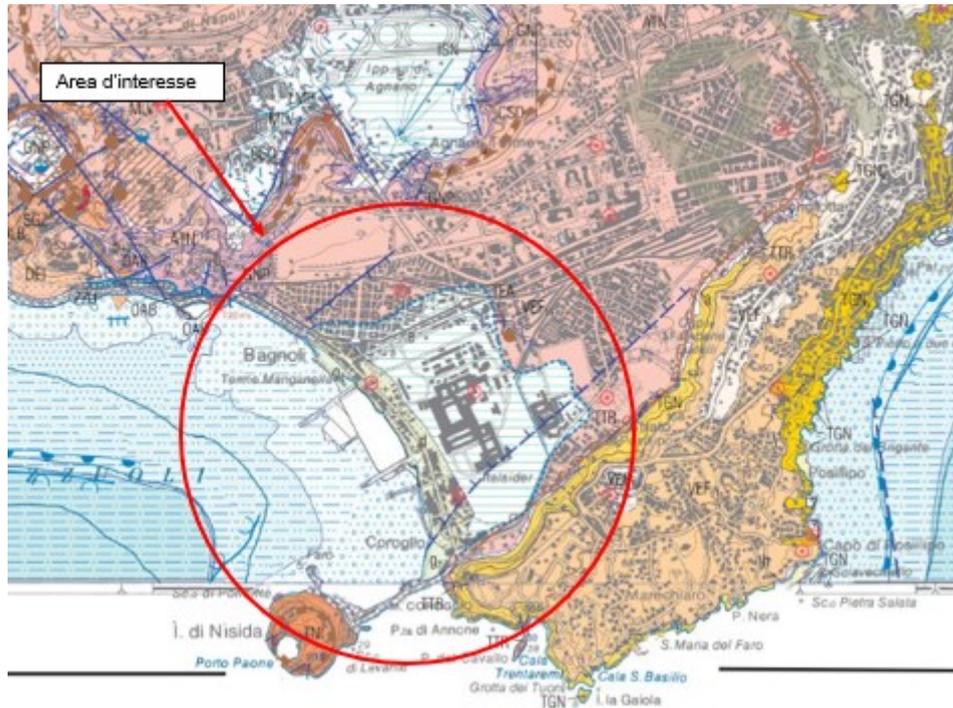


Figura 5-1: Stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda

L'attività vulcanica di Astroni viene evidenziata all'interno del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 come litosoma di Astroni (ATN). Trattasi di una sequenza complessa costituita da depositi piroclastici separati da sottili paleosuoli o superfici erosionali. I depositi sono costituiti prevalentemente da livelli di ceneri a differenti granulometrie e subordinati livelli grossolani. I livelli cineritici sono di colore grigio generalmente ricchi di lapilli e spesso coesivi.

Dopo questa fase si alternarono i numerosi eventi di trasgressione e regressione marina che diedero origine ai depositi che occupano attualmente la gran parte dell'area ex Italsider, trattasi di 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.

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.

L'area della colmata nello specifico è caratterizzata in massima parte da terreno di riporto antropico che costituisce una coltre di spessore variabile.

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 può trovare di tutto: 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 frammenti 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 limo-palustri e dunari.

Pertanto, caratterizzare un deposito antropico è un processo piuttosto complesso, poiché composto la tessitura è caotica.

5.1.2. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

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 rinvergono, sia in affioramento che in profondità, depositi di riempimento e di colmata costituiti da terreno 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

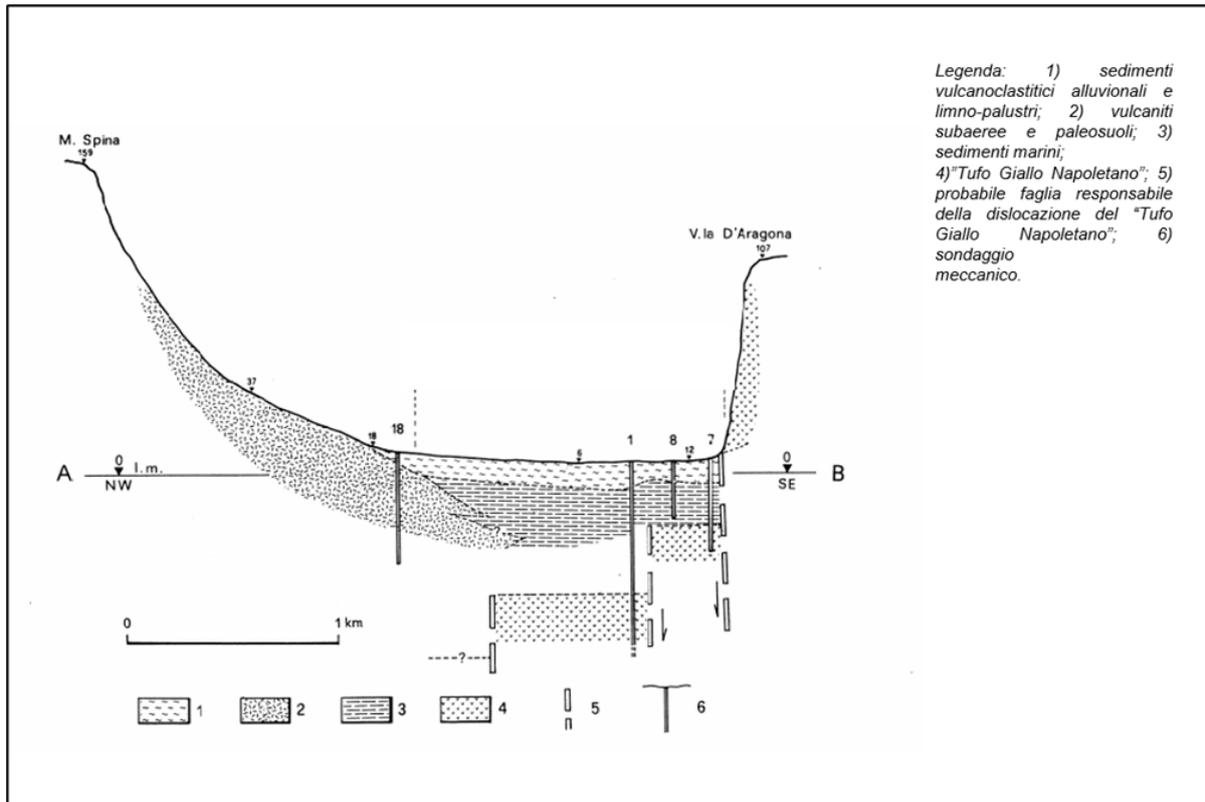


Figura 5-2: Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).

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

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 studi precedenti, si è cercato di definire la distribuzione areale del terreno di riporto, quantificandone anche lo spessore. Per far questo sono stati elaborati i dati provenienti da esame n. 346 stratigrafie di sondaggi geognostici provenienti da diverse campagne d'indagine realizzate nel tempo.

Questo studio ha permesso di definire la sequenza stratigrafica di seguito descritta dall'alto verso il basso:

- ✓ Deposito di colmata: Costituisce il materiale di riporto antropico e piroclastiti rimaneggiate di spessore variabile da 2 a 9 metri.
- ✓ Prodotti del Vulcano Astroni (3700 anni b.p.) – 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 b.p.) – depositi pomiceo-cineritici e colate piroclastiche, intercalate a banchi coriacei saldati. Nelle parti distali si rinvennero 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.

I 66 sondaggi realizzati nell'ambito dell'Appalto Specifico n.2 del Contratto Quadro per le perforazioni e le indagini di laboratorio del SIN Bagnoli-Coroglio per la caratterizzazione stratigrafica ed ambientale della Colmata e riportati all'interno della Relazione geologica, idrogeologica e sismica redatta per il PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - BONIFICA E RISANAMENTO AMBIENTALE per INVITALIA evidenziano che lo spessore della coltre dei riporti, insistente su un'area in pianta di 202734 m², oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 8.80 m, con una media pari a 4.82 m.

Da un calcolo grossolano, considerando l'area in pianta moltiplicata per lo spessore medio, è quindi possibile individuare un volume indicativo dei terreni di riporto in Colmata pari a circa 976810 m³.

Nella seguente figura viene rappresentata l'ubicazione dei n.66 sondaggi eseguiti in colmata per l'Appalto Specifico n.2.

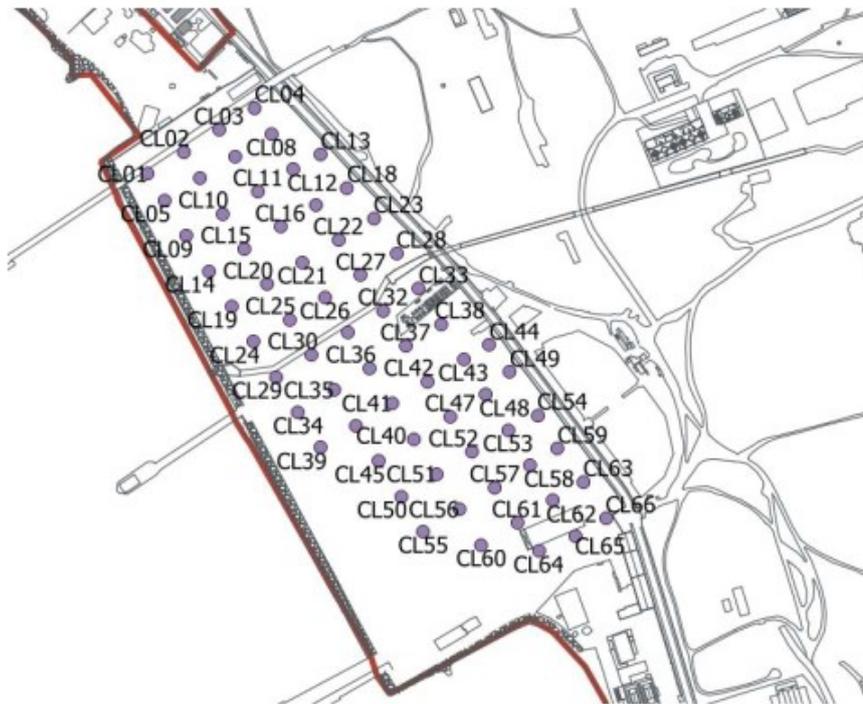


Figura 5-3: Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)

L'implementazione geostatistica dei dati a disposizione ha permesso di individuare le quote del tetto della colmata (superficie topografica) e quota del letto della colmata (bottom dei terreni di riporto). Si riportano di seguito le immagini che rappresentano le due configurazioni.

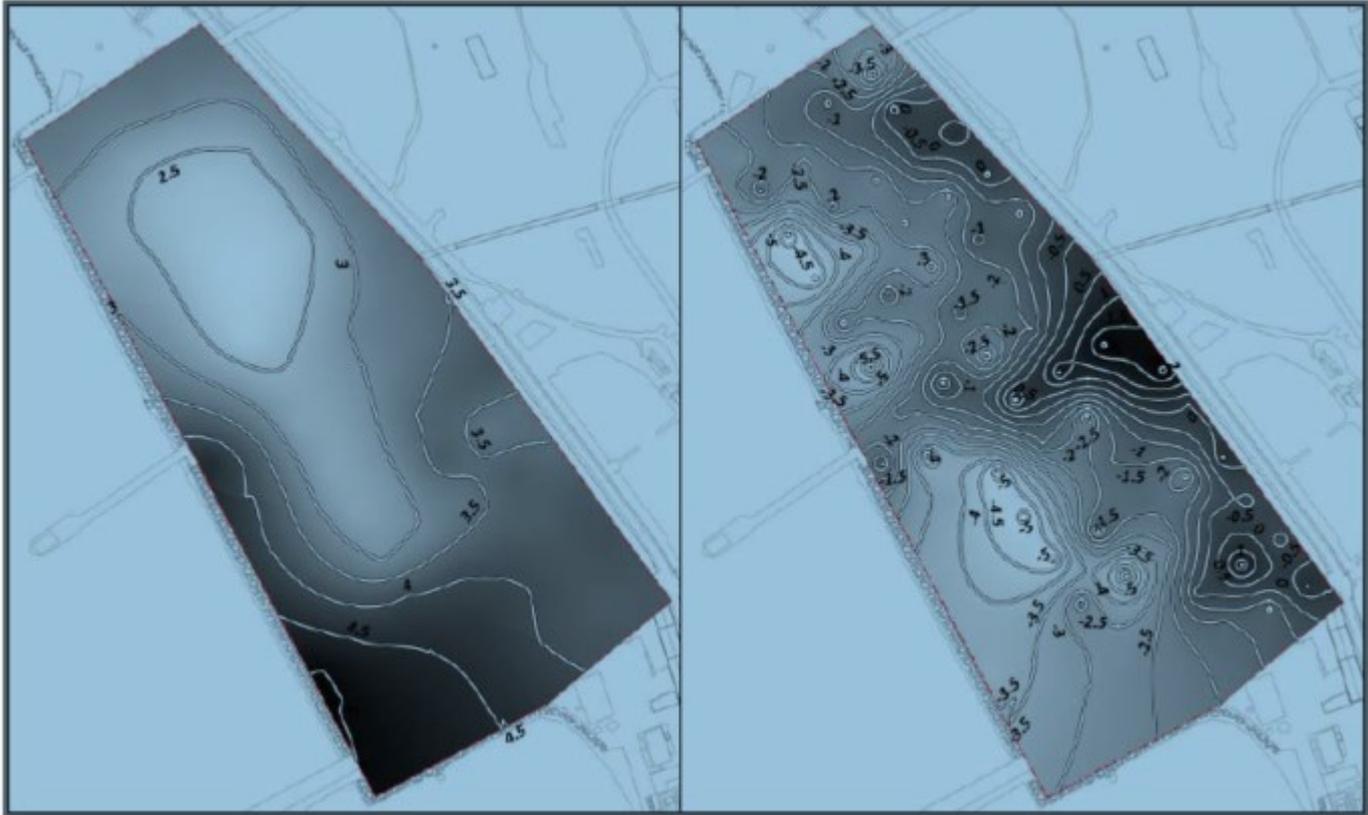


Figura 5-4: A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata

Da una interpretazione delle curve di livello che rappresentano il bottom dei terreni costituenti il riempimento della colmata, si può ragionevolmente dire che la quota identificata come zero, espressa in m sul livello del mare, potrebbe essere grossolanamente interpretata come la linea di costa preesistente la colmata.

Dal punto di vista stratigrafico, la colmata risulta quindi costituita da due differenti strati il primo costituito dal riporto antropico e lo strato di base invece rappresenta il sedimento naturale. Nello specifico all'interno del primo strato si trova un telo di HDPE che suddivide il corpo vero e proprio della colmata e gli ultimi accumuli di riporti. Il corpo della colmata è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa o da sabbia debolmente limosa/limo sabbiosa tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei ed eterometrici. Lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa.

Lo spessore medio dei riporti è di circa 4,82 m con massimi di 8,80 (dato scaturito dai sondaggi dell'Appalto Specifico n.2); tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

La sequenza stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame può essere ricostruita attraverso le stratigrafie di sondaggio relative alla campagna di indagini di Luglio 2019 (Appalto specifico n.5 – Indagini geotecniche finalizzate alla determinazione dei parametri fisico meccanici dei terreni nell'ambito dell'Accordo Quadro avente ad oggetto servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli – Coroglio), anche se, per quanto riguarda la colmata e gli arenili le indagini disponibili sono scarse.

I terreni della colmata, quindi possono essere discretizzati attraverso una campagna di 24 prove SPT, che sostanzialmente hanno permesso di riconoscere solo due principali litologie, come descritto dalla relazione nel progetto di Fattibilità Tecnico Economica, ovvero il terreno di riporto antropico e le antiche sabbie marine di origine vulcanica. Dai dati relativi alle prove sugli arenili nord e sud e con i dati delle elaborazioni eseguite su materiali simili nell'area di terra, si ricava il seguente modello geologico per la colmata:

Tabella 5.1: Stratigrafia di riferimento colmata

Strato	Profondità [m]	Litologia
1	0-5/9	Riporto
2	>5/9	Sabbia grossolana - addensata

Di seguito si riporta la ricostruzione della superficie topografica del substrato nei pressi della colmata attraverso l'interpretazione dei sondaggi realizzati. La traccia mostra con triangolo nero il principio della sezione e con freccia la fine. Tutte le sezioni devono essere interpretate con il principio (triangolo nero) a sinistra e la fine (freccia) a destra.

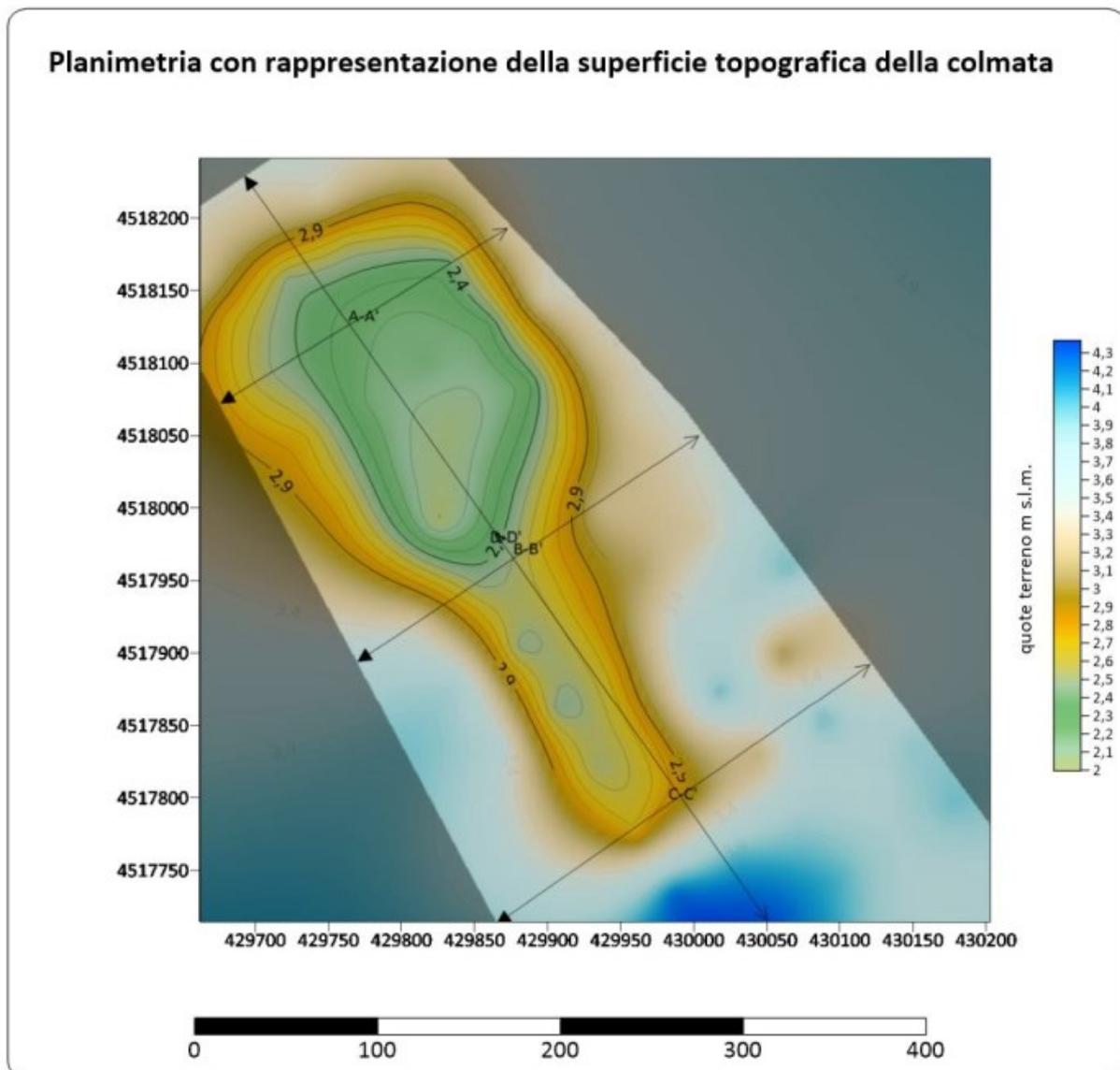


Figura 5-5: Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche

Nella pagina seguente sono illustrate le sezioni stratigrafiche che mostrano l'andamento dei riporti al di sopra del substrato geologico costituito prevalentemente da sabbie.

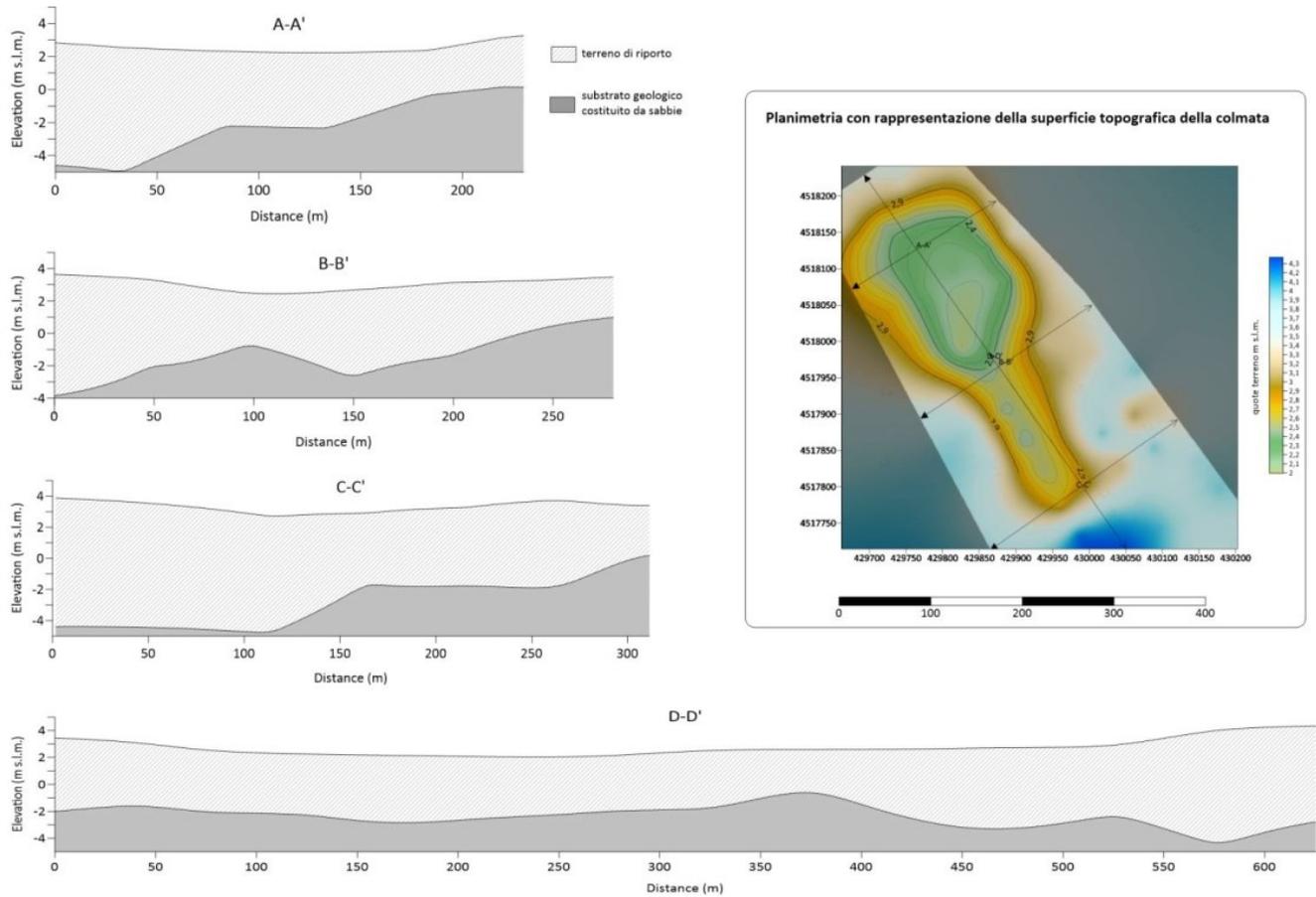


Figura 5-6: Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche

Gli arenili nord e sud sono caratterizzati dall'assenza di riporti mentre il substrato è lo stesso dell'area della colmata. Si può assegnare quindi la presenza di sabbia grossolana – addensata a partire dal p.c.

5.2. MODELLO IDROGEOLOGICO

5.2.1. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista idrogeologico è possibile distinguere tre zone idrogeologicamente omogenee: zona Occidentale-Flegrea, zona Centrale-Alluvionale, zona Orientale-Vesuviana, ben differenziate tra loro.

L'area di studio rientra nella zona Occidentale-Flegrea la quale rappresenta una struttura vulcanica molto eterogenea con un assetto stratigrafico variabile. Ciò è dovuto alla giacitura, potenza e granulometria dei terreni sciolti, dal grado di fessurazione nei termini lapidei e per la presenza di numerose discontinuità di genesi vulcano tettoniche.

Da ciò discende uno schema di circolazione idrica sotterranea "per falde sovrapposte", tra loro interconnesse per fenomeni di interdigitazione e di depositi. Per alcuni autori, conduce a un modello assimilabile alla falda unica, con vari orizzonti interconnessi.

Di seguito viene riportata lo stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale (De Vita et al. 2018).

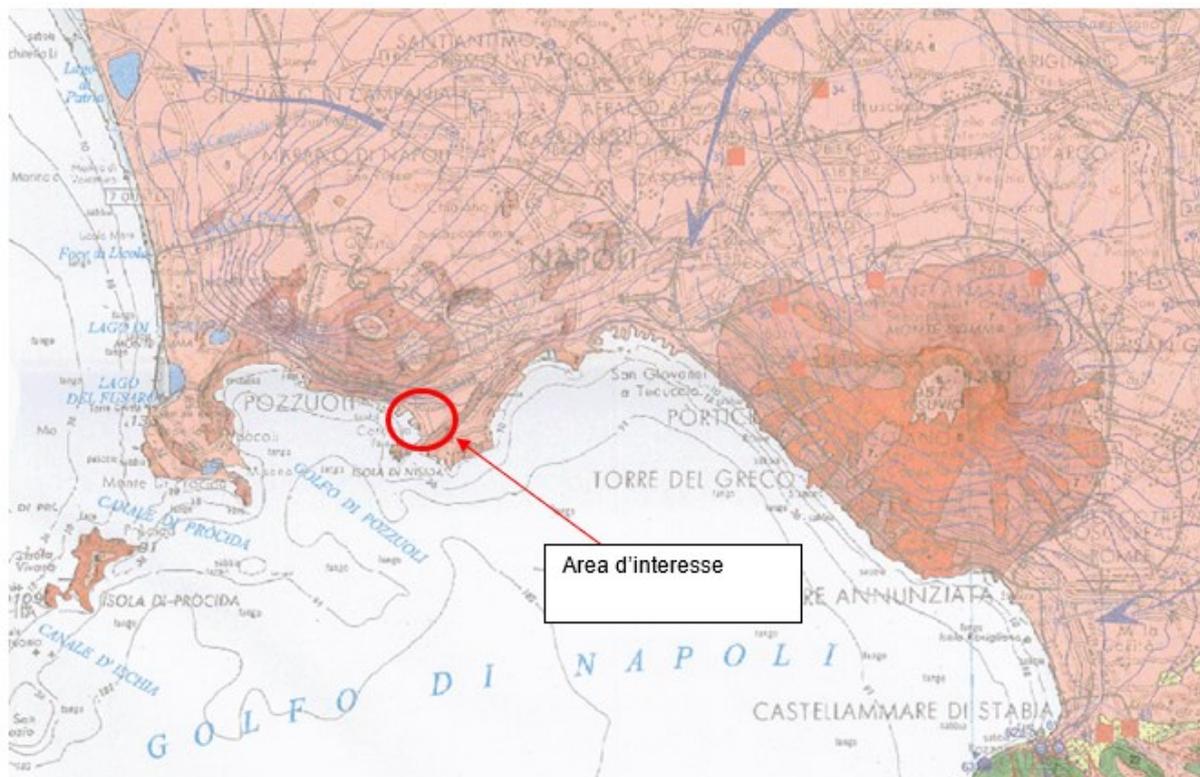


Figura 5-7: stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale (De Vita et al. 2018).

L'antica caldera dei Campi Flegrei induce le direttrici del flusso a disporsi radialmente attorno ai bordi dell'apparato vulcanico ma, a differenza del Somma-Vesuvio, nei Campi Flegrei si è potuta instaurare, proprio a causa della caldera, una circolazione idrica che ha dato luogo ad un sistema sotterraneo a sé stante.

Dalla carta sopra riportata si nota come la circolazione idrica sotterranea all'interno dei complessi vulcanici è molto presente e la direzione del flusso va dall'entroterra verso il mare, in direzione ENE-WSW. Il principale recapito finale è rappresentato dal mare e il gradiente idraulico è variabile da 0.5% a 1%.

L'acquifero è quindi costituito da livelli a varia litologia e granulometria e, pertanto, a diverso grado di permeabilità, la cui giacitura è principalmente sub-orizzontale. Detti livelli sono a forma lenticolare e discontinui, se di origine vulcanica o continentale; sono relativamente continui ed arealmente estesi quelli di origine marina. Si può assimilare il sistema flegreo ad una conca in parte sottomarina, in cui si sono sedimentati spessori di materiali incoerenti di origine alluvionale, palustre e costiero; localmente questi sedimenti sono in continuità con depositi di origine

vulcanica permeabili essenzialmente per porosità, ma anche per fratturazione; quando ciò accade aumentano anche le possibilità di circolazione idrica e le capacità di interconnessione idraulica.

In tutta la regione flegrea, benché la natura eterogenea dei depositi possa spesso determinare una stratificazione anche accentuata della falda con possibilità di rinvenirla localmente in pressione, l'acquifero può essere nell'insieme definite di tipo freatico. I terreni sede di acquifero sono rappresentati dalle alluvioni, detriti e sabbie litorali e dai prodotti recenti delle eruzioni vulcaniche dei Campi Flegrei, mentre la base del sistema di circolazione può essere riconosciuta nei depositi più antichi riferibili al complesso tufaceo principale.

Per effetto dell'attività tettonica e vulcanica, la continuità orizzontale dell'acquifero non è sempre certa; tuttavia, è lecito supporre che tali interruzioni siano solo locali e non pregiudichino la continuità del sistema.

Tenuto conto del particolare disordine che caratterizza lo spessore, la granulometria e la giacitura dei singoli strati che costituiscono l'acquifero, oltre che dell'assenza di livelli che possano essere considerati veri e propri impermeabili, nel sottosuolo si ha la tipica circolazione idrica per falde sovrapposte. A scala più ampia si può però ritenere che la falda debba essere unica essendo, i vari corpi idrici locali, tra loro interconnessi, per drenanza (attraverso i livelli semipermeabili).

5.2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO AREA DI COLMATA

Nell'area della colmata, fortemente occupata da materiale di riporto antropico e piroclastiti rimaneggiate per spessori variabili da 2 a 9 metri, si riscontra a volte la presenza di acqua, anche in cospicua quantità, che assume il carattere di vera e propria circolazione idrica sotterranea. La permeabilità di tali terreni può essere considerata media ma varia fortemente, sia in senso orizzontale che verticale, in relazione alla loro estrema eterogeneità e al diverso grado di compattazione.

Dalle diverse campagne d'indagine eseguite è stato possibile, nello specifico prendere in considerazione per l'area della colmata oggetto di studio i piezometri PFR S3, PFR F12-2, PFR F-10, PFR 3, Pz26, Pz27 e Pz28 come riportato nella figura sottostante.

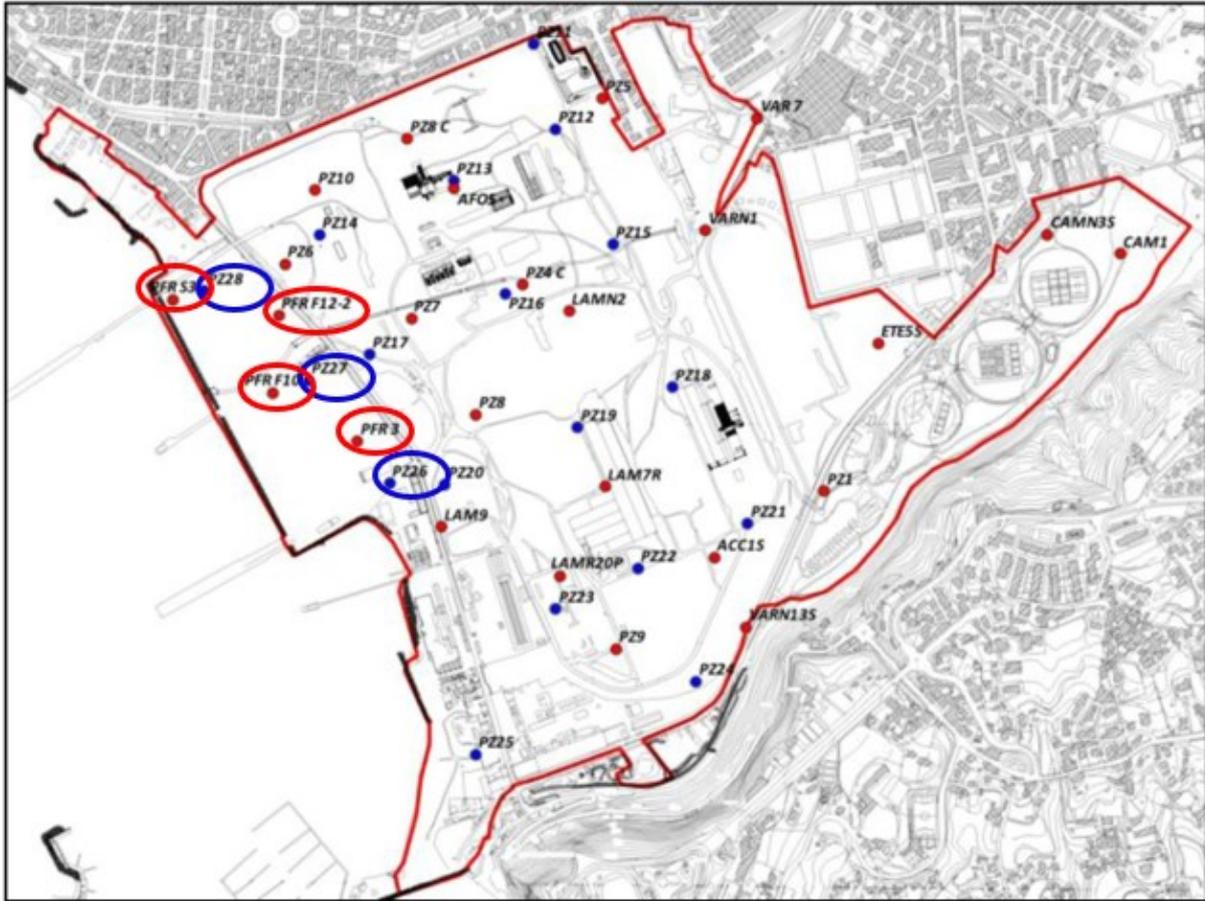


Figura 5-8: Ubicazione dei piezometri attivi nel 2019: in rosso i 25 superficiali, in blu i 18 profondi, cerchiati quelli d'interesse

Per i piezometri numerati da Pz11 a Pz25, realizzati fuori dalla colmata, la permeabilità misurata attraverso prove Lefranc indica valori compresi tra $K = E-05$ m/s e $K = E-06$ m/s.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva delle misure effettuate da marzo 2019 a luglio 2020:

Tabella 5.2: Tabella piezometri – coordinate - quote

CODICE	Descrizione	EST	NORD	BF	PC
PFR F12-2	Vecchi Piezometri	429910,61	4518106,20	3,02	2,98
PFR S3	Vecchi Piezometri	429664,78	4518141,98	3,26	3,08
PFR F10	Vecchi Piezometri	429897,49	4517922,60	2,21	2,12
PFR3	Vecchi Piezometri	430096,52	4517810,08	3,91	3,58
Pz26	New Piezometri Profondi	430170,22	4517710,43	3,48	3,62
Pz27	New Piezometri Profondi	429981,47	4517953,83	3,01	3,13
Pz28	New Piezometri Profondi	429737,85	4518163,50	2,65	2,40

Di seguito si riportano le misure piezometriche relative a marzo 2019:

Tabella 5.3: Tabella misure piezometriche marzo 2019

CODICE	Mar_19_BF	Mar_19_slm	Mar_19_PC
PFR F12-2	2,63	0,39	2,59
PFR S3	3,44	-0,18	3,25
PFR F10	1,89	0,32	1,80
PFR3	3,66	0,25	3,32
Pz26	2,95	0,53	3,09
Pz27	2,60	0,41	2,72
Pz28	2,40	0,25	2,16

Di seguito si riportano le misure piezometriche relative a luglio 2019:

Tabella 5.4: Tabella misure piezometriche luglio 2019

CODICE	Lug_19_BF	Lug_19_slm	Lug_19_PC
PFR F12-2	2,62	0,40	2,58
PFR S3	3,30	-0,04	3,11
PFR F10	1,90	0,31	1,81
PFR3	3,72	0,19	3,38
Pz26	3,00	0,48	3,14
Pz27	2,63	0,38	2,75
Pz28	2,31	0,34	2,07

Di seguito si riportano le misure piezometriche relative a dicembre 2019:

Tabella 5.5: Tabella misure piezometriche dicembre 2019

CODICE	Dic_19_BF	Dic_19_slm	Dic_19_PC
PFR F12-2	2,71	0,31	2,67
PFR S3	3,40	-0,14	3,21
PFR F10	1,63	0,58	1,54
PFR3	3,40	0,51	3,06
Pz26	3,00	0,48	3,14
Pz27	2,68	0,33	2,80
Pz28	2,34	0,31	2,10

Di seguito si riportano le misure piezometriche relative a febbraio 2020:

Tabella 5.6: Tabella misure piezometriche febbraio 2020

CODICE	Feb_20_BF	Feb_20_slm	Feb_20_PC
PFR F12-2	2,68	0,34	2,64
PFR S3	2,98	0,28	2,79
PFR F10	1,84	0,37	1,74
PFR3	3,20	0,71	2,86
Pz26	3,15	0,33	3,29
Pz27	2,68	0,33	2,80
Pz28	2,20	0,45	1,96

Di seguito si riportano le misure piezometriche relative a luglio 2020:

Tabella 5.7: Tabella misure piezometriche luglio 2020

CODICE	Lug_20_BF	Lug_20_slm	Lug_20_PC
PFR F12-2	2,63	0,39	2,59
PFR S3	2,95	0,31	2,76
PFR F10	1,92	0,29	1,83
PFR3	3,87	0,04	3,53
Pz26	3,19	0,29	3,33
Pz27	2,67	0,34	2,79
Pz28	2,21	0,44	1,97

Secondo le misure piezometriche sopra riportate nell'area della colmata la soggiacenza della falda è sempre inferiore ai 3,5 m da p.c. Di seguito si riporta la carta della soggiacenza dell'acquifero nella zona della colmata ricostruita dal Politecnico di Torino. Secondo tale studio, nei pressi dell'area della colmata la soggiacenza è compresa tra 0,5 m e 3 m dal p.c. e può raggiungere i 3,5 m da p.c. nelle aree più interne in corrispondenza del piezometro PFR3.

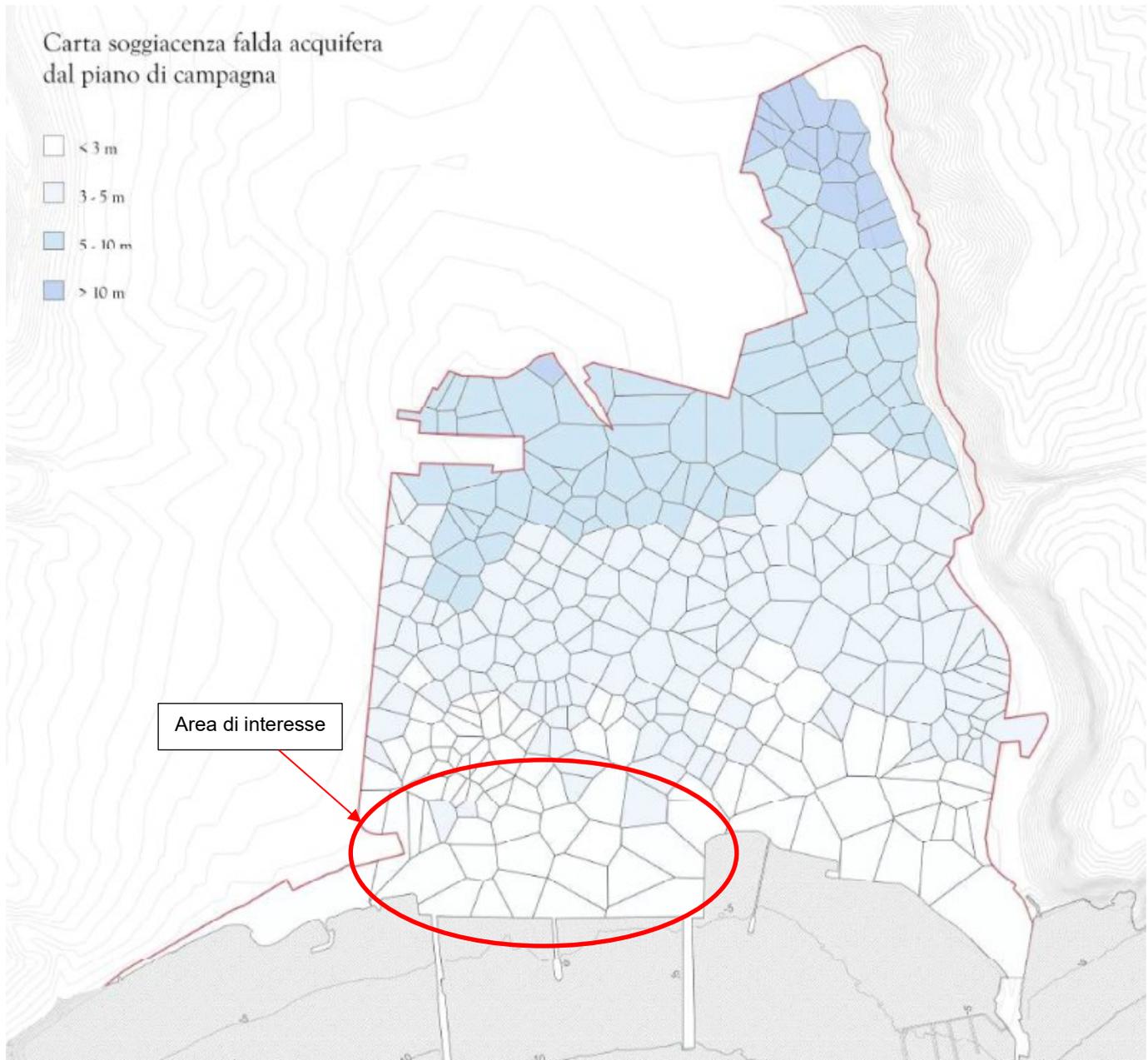


Figura 5-9: Carta soggiacenza falda acquifera ricostruita dal Politecnico di Torino

Si riporta di seguito la carta della soggiacenza della falda acquifera ricostruita durante la fase di PFTE che ricalca con maggior dettaglio quella del Politecnico di Torino.



Figura 5-10: Carta della soggiacenza della falda acquifera. Fonte: PFTE

Nei pressi dell'area della colmata del SIN di Bagnoli Coroglio è quindi da considerarsi la presenza di una falda acquifera superficiale. Un aspetto da considerare sarà la possibilità dell'interferenza della falda con le opere di bonifica.

5.2.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ARENILE NORD

Sulla base delle indagini effettuate in sito, in particolare quelle condotte da IAM-CNR nel 2005 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.

Per il dettaglio delle misure piezometriche effettuate dal 2021 al 2023 si fa riferimento al Cap. 7.

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.

5.2.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 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.

Per il dettaglio delle misure piezometriche effettuate dal 2021 al 2023 si fa riferimento al Cap. 7.

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.

5.2.5. PERMEABILITÀ TERRENI

Per i piezometri presi in esame e in particolare per il Pz27 e Pz28, realizzati in colmata, nel corso delle prove Lefranc eseguite a quota compresa tra 4.5 e 5.5 m dal piano campagna, sono stati misurati valori di permeabilità $K = E-04$ m/s (maggiori rispetto alle misure eseguite fuori colmata). Questi valori potrebbero corrispondere al limite tra i terreni di riporto ed i terreni probabilmente attribuibili ai depositi di spiaggia della antica linea di costa. Queste profondità, difatti, corrispondono con la ricostruzione dei terreni di riporto riportata in precedenza.

Dall'interpretazione dei dati stratigrafici congiunti con l'elaborazione statistica dei risultati delle prove di permeabilità si può ipotizzare che l'acquifero del SIN di Bagnoli è caratterizzato da due unità idrogeologiche sottostanti una coltre di riporti antropici non sempre interessata dalla falda. Nella coltre di riporto, che rappresenta il primo livello stratigrafico di quasi tutto il territorio studiato, si riscontra a volte la presenza di acqua che assume il carattere di vera e propria circolazione idrica sotterranea; la permeabilità media varia però fortemente, sia in senso orizzontale che verticale, in relazione alla sua estrema eterogeneità e al diverso grado di compattazione. Le differenze tra le due unità sottostanti non sono evidenziate in modo netto dai risultati ma l'osservazione in fase di esecuzione dei sondaggi lascia pretendere 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 come mostrato di seguito:

- 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 possibile attribuire un coefficiente medio $K_h = 8.68E-5$ m/s

6. ANALISI IDROLOGICA

6.1. METODOLOGIA DI CALCOLO

L'analisi idrologica delle precipitazioni di elevata intensità è stata eseguita partendo dalle risultanze del Progetto VA.PI. Campania ed individuando differenti sottozone omogenee.

La metodologia utilizzata fa riferimento a quella proposta su scala nazionale dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). In particolare, viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) che interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte di eventi (eventi massimi ordinari ed eventi massimi straordinari). Le elaborazioni relative all'applicazione di tale modello fanno riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica in cui i parametri vengono valutati a scale regionali differenti, in funzione dell'ordine statistico.

6.2. SCELTA DEL MODELLO PROBABILISTICO

La stima dei massimi istantanei di una variabile aleatoria (altezza di pioggia, intensità di pioggia, portata di piena, etc.) corrispondenti ad assegnati valori del periodo di ritorno T può essere effettuata attraverso una metodologia di tipo probabilistico con diversi tipi di approcci. Tra questi, vengono spesso utilizzati il modello di Gumbel e il modello T.C.E.V. Il modello di Gumbel, molto diffuso in campo tecnico, quando applicato all'analisi dei massimi annuali delle altezze di pioggia o delle portate al colmo di piene tende a sottostimare i valori più elevati osservati nel passato (valori corrispondenti ai periodi di ritorno più elevati).

Il modello T.C.E.V. (Two Components Extreme Value) risulta maggiormente rispondente alle esigenze di un'attenta valutazione delle altezze di pioggia o delle portate al colmo di piena che possono defluire nei tronchi di un corso d'acqua.

Di fatto, il modello T.C.E.V. costituisce una generalizzazione del modello di Gumbel. Esso risulta, infatti, costituito dal prodotto di due leggi di Gumbel, la prima delle quali destinata ad interpretare e descrivere, in chiave probabilistica, i massimi valori ordinari e, la seconda, quelli straordinari (aventi, secondo il classico modello di Gumbel, una probabilità di superamento inferiore del 5% e, quindi, tali da potersi ritenere eccezionali). In base a tale modello, la generica variabile X_t (altezza o intensità di pioggia, portata al colmo, etc.) corrispondente ad un assegnato valore del periodo di ritorno T può trarsi dall'espressione:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{-\eta k/\Theta^*})}$$

dove:

$$K_T = \frac{X_T}{\mu_X}$$

Nelle quali:

- K_T è il fattore di crescita col periodo di ritorno T , definito come il rapporto tra la variabile X_t corrispondente all'assegnato periodo di ritorno T e la media μ_X della distribuzione di probabilità della variabile X ;
- Λ^* e Θ^* sono parametri adimensionali dipendenti solo dal coefficiente di asimmetria e, pertanto, stimabili solo sulla base di un'indagine regionale ad amplissima scala (Analisi regionale di I Livello);
- Λ_1 è il numero medio di eventi indipendenti, di tipo ordinario, che si determinano nella zona (e, pertanto, è una caratteristica climatica di una zona omogenea che può essere valutata una volta noti Λ^* e Θ^* , attraverso un'analisi regionale di II Livello);
- η è un parametro strettamente dipendente da Λ_1 , Λ^* e Θ^* .

Nel caso specifico la variabile aleatoria presa in esame è il massimo annuale dell'altezza di pioggia $h_{d,T}$ di assegnata durata d , corrispondente al periodo di ritorno T .

La legge:

$$h_{d,T} = h_{d,T} (d, T)$$

viene, come noto, denominata 'curva di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno T'.
La precedente relazione assume notoriamente l'espressione:

$$h_{d,T} = \zeta_{h_d} \cdot K_T$$

Dove:

- ζ_{h_d} e' il parametro centrale della distribuzione di probabilità del massimo annuale della altezza di pioggia in assegnata durata (per es. il valore modale (ϵ) o la media (μ), ovvero parametri legati a momenti del primo ordine).
- K_T e' il coefficiente di crescita col periodo di ritorno T., che dipende per una data regione omogenea rispetto ai massimi annuali delle altezze di pioggia, dal modello probabilistico adottato e dal parametro ζ_{h_d} preso a riferimento.

Per quanto concerne la variabile ζ_{h_d} essa si assume comunemente corrispondente al valore della media μ_{h_d} dei massimi annuali di pioggia di durata d

$$\zeta_{h_d} \equiv \mu_{h_d}$$

Con riferimento al modello probabilistico TCEV si ha inoltre:

$$K_T = K_T(T, \eta, \Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1)$$

essendo Λ_* , Θ_* , Λ_1 i parametri della distribuzione.

Dal Rapporto VA.PI. ("Valutazione delle piene in Campania" elaborato dal G.N.D.C.I. del CNR) i valori di Λ^* e Θ^* validi per l'intera Regione Campania sono i seguenti:

Tabella 6.1: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania

Piogge	$\Theta^* = 2.136$	$\Lambda^* = 0.224$	$\Lambda_1 = 41$	$\eta = 4.688$
--------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

I valori del coefficiente di crescita KT sono riportati, per differenti periodi di ritorno T, nella successiva tabella.

Tabella 6.2: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
Kt (piogge)	0.93	1.22	1.43	1.65	1.73	1.90	1.98	2.26	2.55	2.95	3.26

6.3. LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICHE

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa.

Tali leggi devono essere strettamente monotone, in quanto mediamente l'intensità di pioggia media per una durata superiore deve essere necessariamente minore di quella per una durata inferiore. Inoltre, per una durata molto piccola devono raggiungere un valore finito, rappresentante al limite per d che tende a zero, la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia istantanea.

Per la Campania è stata adottata una espressione del tipo:

$$\mu[I(d)] = \frac{\mu(I_o)}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta}$$

in cui d e d_c vanno espressi in ore, $\mu[I_o]$ e $\mu[I(d)]$ in mm/ora e vale:

$$\beta = C - D Z$$

I parametri sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra.

Per identificare in quale area omogenea rientra il bacino in studio, si può fare riferimento alla corografia in figura.

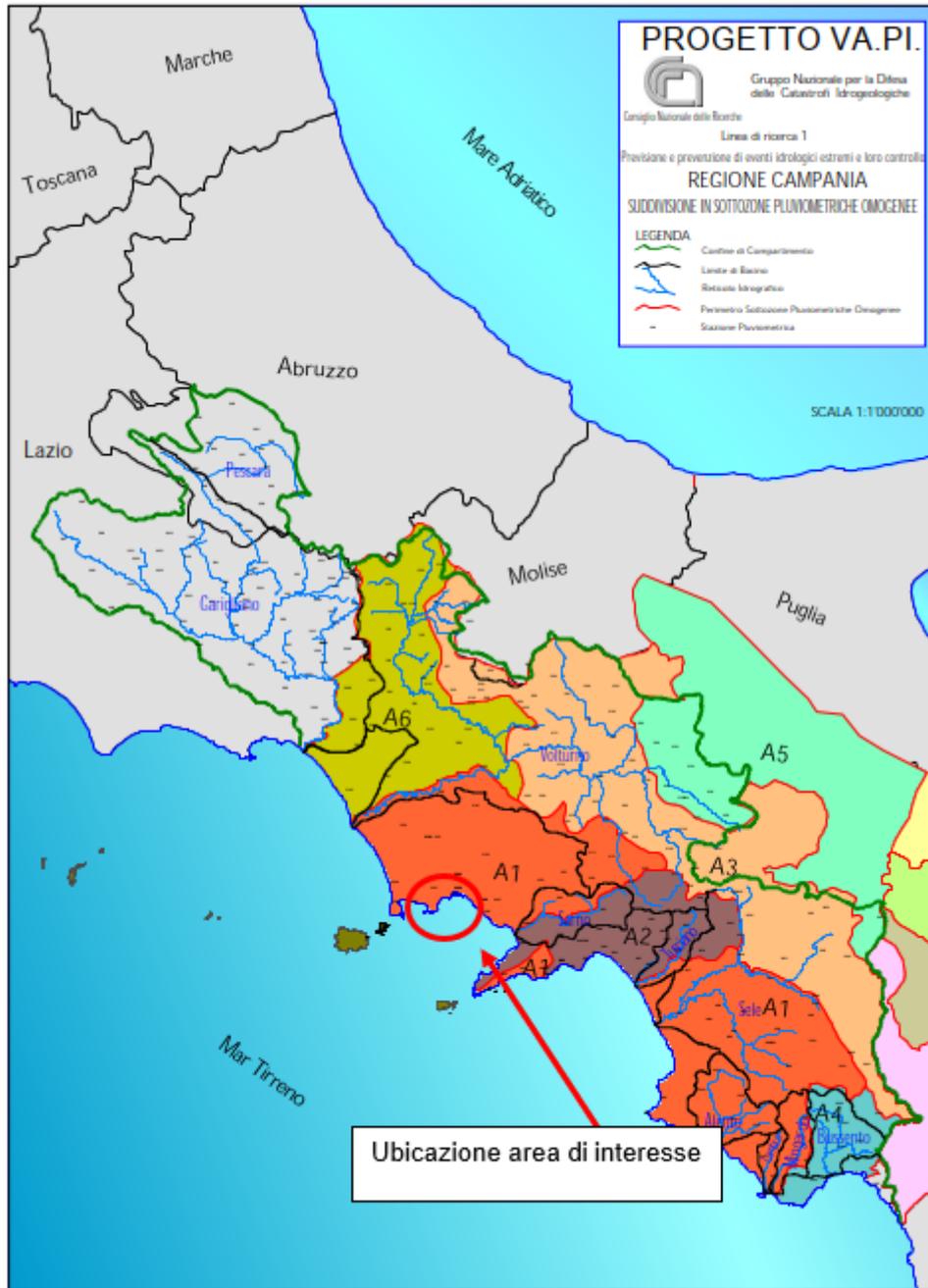


Figura 6-1: Progetto VAPI Regione Campania - Suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee

Tabella 6.3: Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche

Area omogenea	n. stazioni	$\mu[lo]$ (mm/h)	Dc (ore)	C	D*10 ⁵	ρ^2
1	21	77.08	0.3661	0.7995	8.6077	0.9994
2	18	83.75	0.3312	0.7031	7.7381	0.9991
3	11	116.7	0.0976	0.7360	8.73	0.9980
4	7	78.61	0.3846	0.8100	24.874	0.9930
5	12	231.8	0.0508	0.8351	10.800	0.9993
6	28	87.87	0.2205	0.7265	8.8476	0.9969
7	11	83.75	0.3312	0.7031	7.7381	0.9989

L'area di interesse risulta ubicata all'interno della **sottozona pluviometrica omogenea A1**.

Sulla base dei parametri statistici relativi alla sottozona in esame, sono state desunte le altezze di pioggia massime per durate da 1 a 24 h funzione di diversi tempi di ritorno.

Tabella 6.4: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
Kt (piogge)	0.93	1.22	1.43	1.65	1.73	1.90	1.98	2.26	2.55	2.95	3.26

Tabella 6.5: CPP per Tr 2- 1000 anni

CPP											
T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
t (h)	0.93	1.22	1.43	1.65	1.73	1.90	1.98	2.26	2.55	2.95	3.26
0.5	18.0	23.6	27.7	31.9	33.5	36.8	38.3	43.7	49.4	57.1	63.1
1.0	25.0	32.8	38.5	44.4	46.5	51.1	53.2	60.8	68.6	79.3	87.7
3.0	36.5	47.9	56.1	64.7	67.9	74.5	77.7	88.6	100.0	115.7	127.9
6.0	43.8	57.5	67.4	77.8	81.5	89.5	93.3	106.5	120.2	139.0	153.6
12.0	51.5	67.6	79.3	91.5	95.9	105.3	109.7	125.3	141.3	163.5	180.7
24.0	59.9	78.6	92.2	106.3	111.5	122.4	127.6	145.6	164.3	190.1	210.1

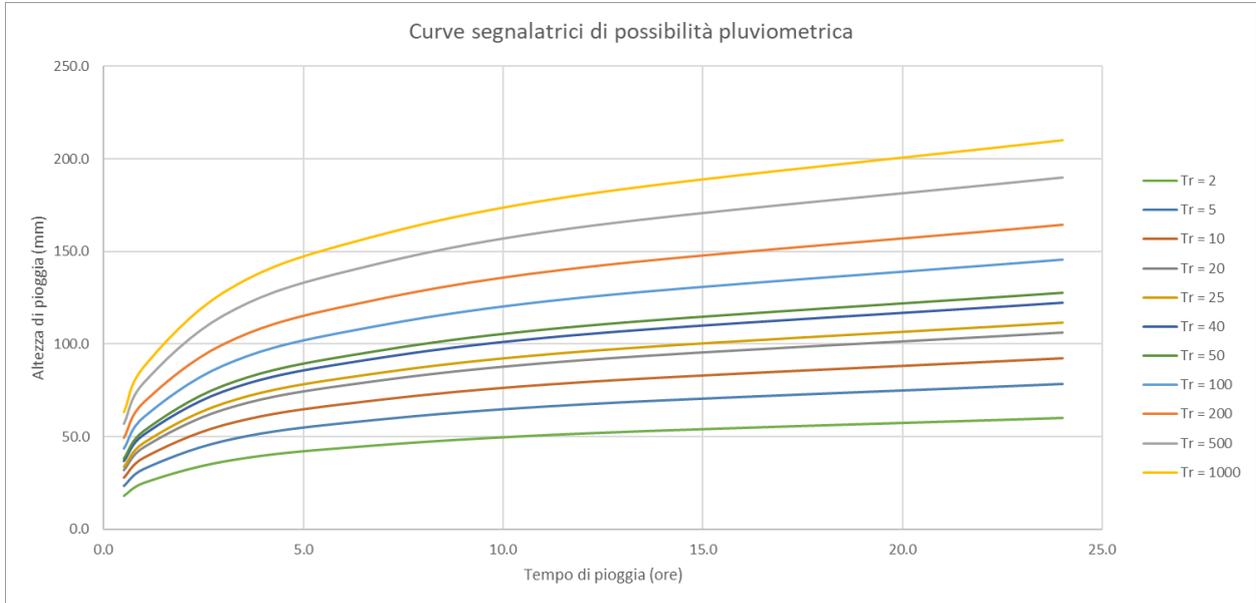


Figura 6-2: CPP

Di seguito si riportano i parametri pluviometrici (a,n) desunti mediante regressione di potenza in funzione dei diversi tempi di ritorno adottati.

Tabella 6.6: Parametri CPP per Tr 2-500 anni

Parametri CPP											
Tr 2		Tr 5		Tr 10		Tr 20		Tr 25		Tr 40	
a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)
24.19	0.31	31.73	0.31	37.19	0.31	42.91	0.31	44.91	0.31	49.41	0.31
Tr 50		Tr 100		Tr 200		Tr 500		Tr 1000			
a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)		
51.49	0.31	58.77	0.31	66.32	0.31	76.72	0.31	84.78	0.31		

7. MONITORAGGIO FREATIMETRICO OSCILLAZIONE DELLA FALDA

Con riferimento a quanto riportato all'interno del documento di PFTE '2020E028INV-01_DEF_AMB_BF_RIDR_05 - PROGETTO DEFINITIVO BONIFICA LOTTO 1 FONDIARIE ALL'INTERNO DEL SITO DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI – COROGGIO - Relazione Idrologica e Idraulica', le osservazioni e le elaborazioni sull'andamento freaticometrico in termini assoluti sul livello medio mare e di soggiacenza da piano campagna scaturiscono dai monitoraggi effettuati tra marzo 2019 e luglio 2020 da Invitalia nell'ambito dell'Appalto Specifico n.3 – Indagini idrogeologiche afferenti all'Accordo Quadro denominato "Servizi di analisi di laboratorio e indagini ambientali del Sito di rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio, esecuzione di sondaggi, indagini geotecniche, idrauliche". L'Appalto Specifico n.3 prevede monitoraggi con cadenza trimestrale per quanto riguarda il monitoraggio freaticometrico.

Di seguito si riporta la planimetria con l'ubicazione dei punti indagati.

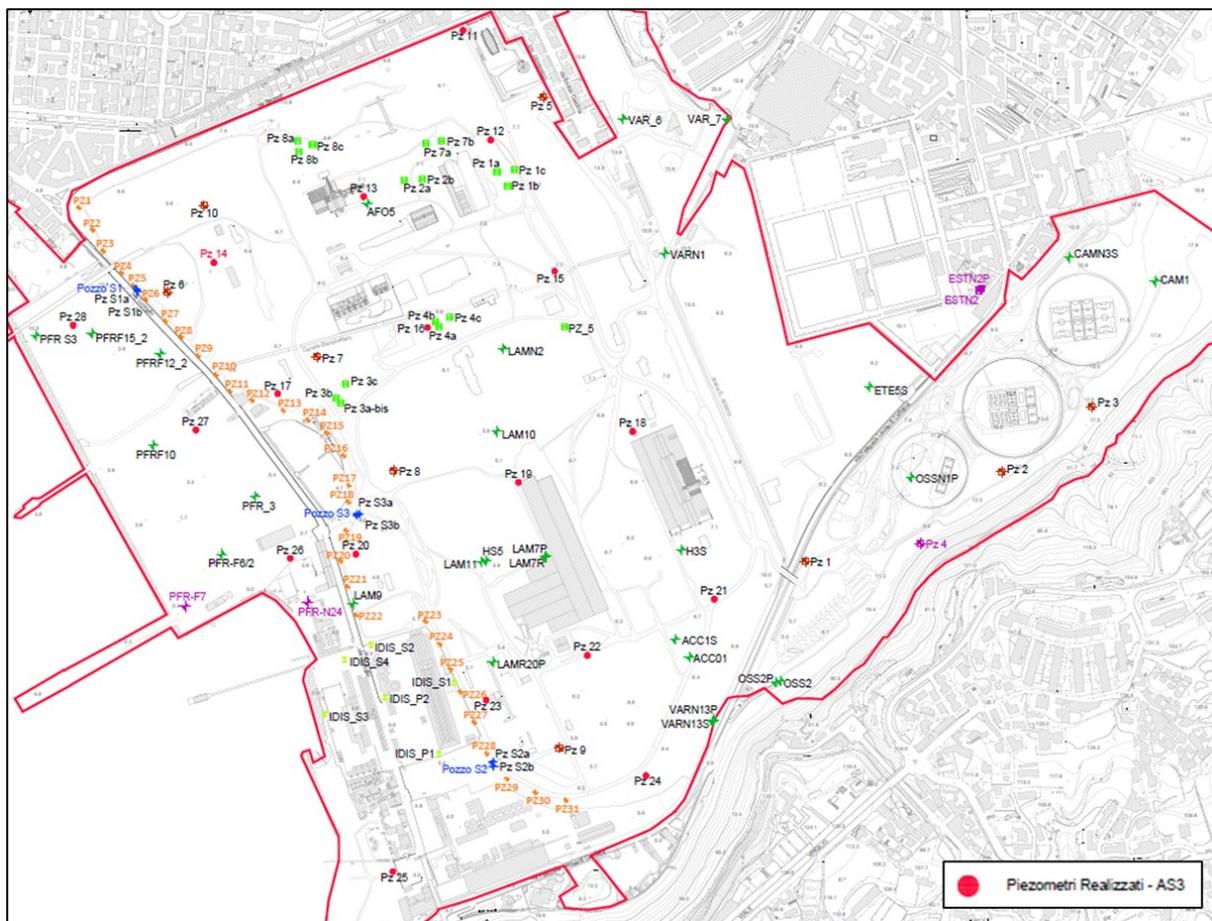


Figura 7-1: Planimetria con ubicazione piezometri esistenti e realizzati nell'ambito dell'AS3

All'interno dell'acquifero freatico è presente una falda idrica che si attesta a quote di poco superiori al livello marino (con un'elevazione media, calcolata su tutti i piezometri monitorati, pari a circa 1 m s.l.m.) e che, pertanto, si trova a profondità ridotte da piano campagna. Vengono di seguito riportati gli istogrammi relativi ai rilievi freaticometrici effettuati nell'ambito dell'Appalto Specifico n. 3.

Come si evince dai seguenti istogrammi, risultano mancanti le misure del piezometro PZ3 non campionabile a dicembre 2019 e le misure dei piezometri della Fondazione IDIS (P1, P2, S2, S4) non campionabili a luglio 2020.

Il piezometro PFRS3, caratterizzato mediamente da una quota negativa sul livello idrico marino, non costituisce un errore nel dataset freatimetrico, ma piuttosto una situazione reale legata all'ubicazione del piezometro stesso, sito a ridosso della linea di costa, nella zona della Colmata.

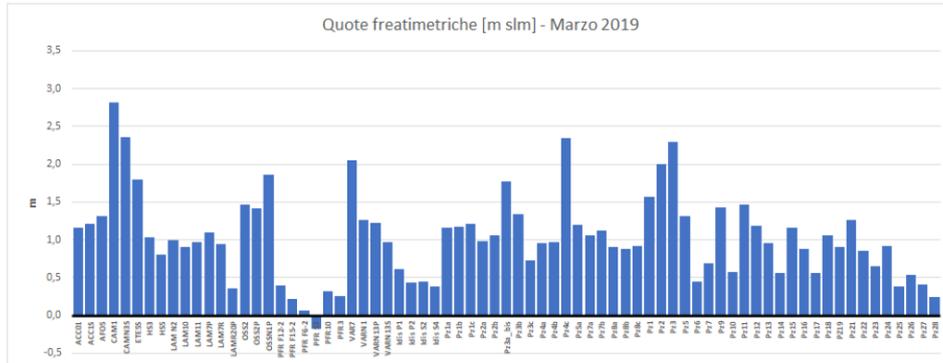


Figura 7-2: Istogramma quote freatimetriche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Marzo 2019

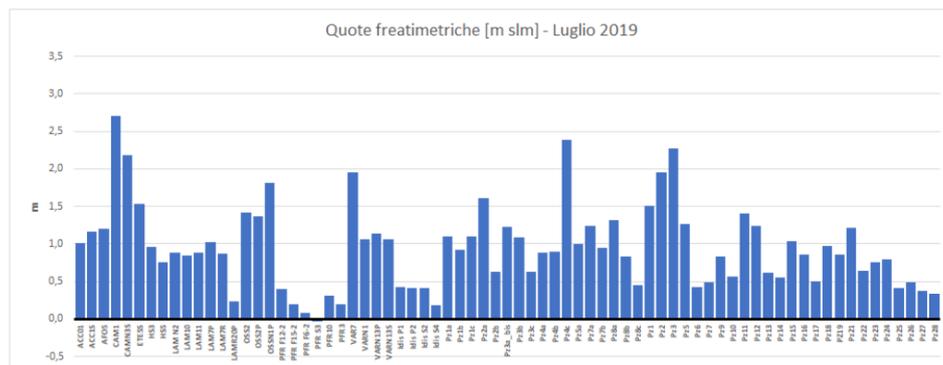


Figura 7-3: Istogramma quote freatimetriche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Luglio 2019

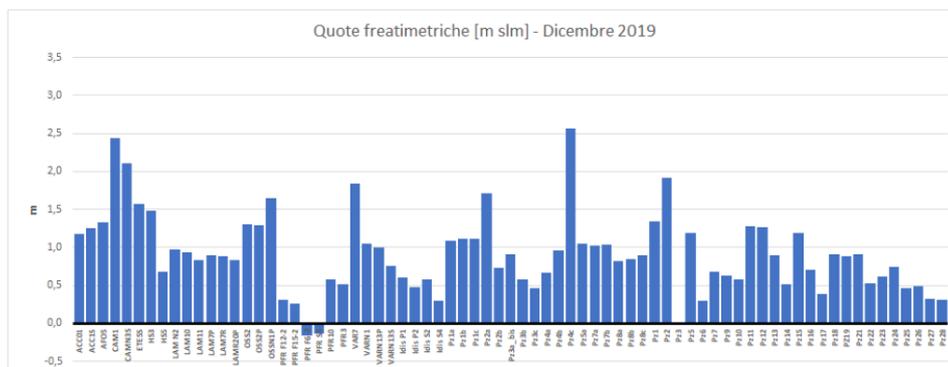


Figura 7-4: Istogramma quote freatimetriche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Dicembre 2019

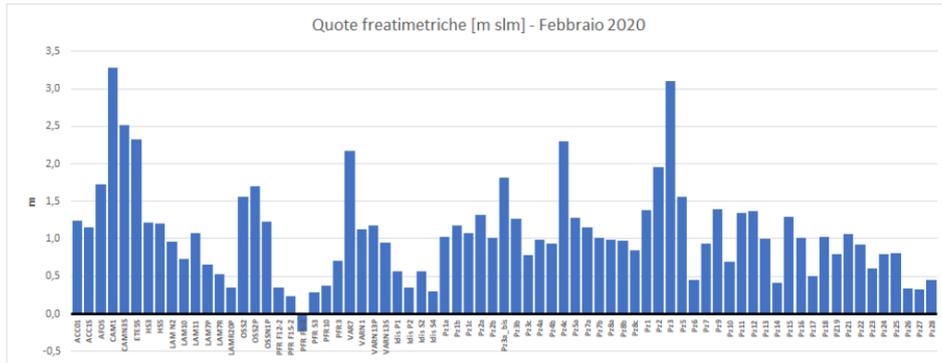


Figura 7-5: Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Febbraio 2020

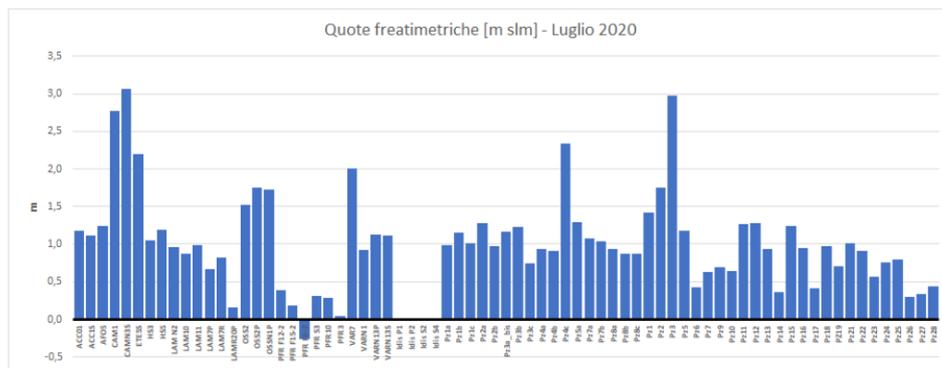


Figura 7-6: Istogramma quote freatiche s.l.m.m. dei piezometri rilevati - Luglio 2020

Tale falda è da considerarsi come parte di un più esteso fronte idrico che impegna tutta l'area flegrea: l'alimentazione che riceve dagli apporti meteorici diretti presenta infatti un ritardo idrologico di qualche mese, osservabile dalla correlazione tra gli eventi pluviometrici e l'oscillazione dei livelli piezometrici. A tal fine viene proposto un istogramma riepilogativo delle condizioni pluviometriche, discretizzate per accumuli mensili. In particolare, sono stati considerati i pluviometri delle stazioni meteorologiche di Nisida 1, Pozzuoli e Camaldoli, per via della loro vicinanza con la zona in esame.

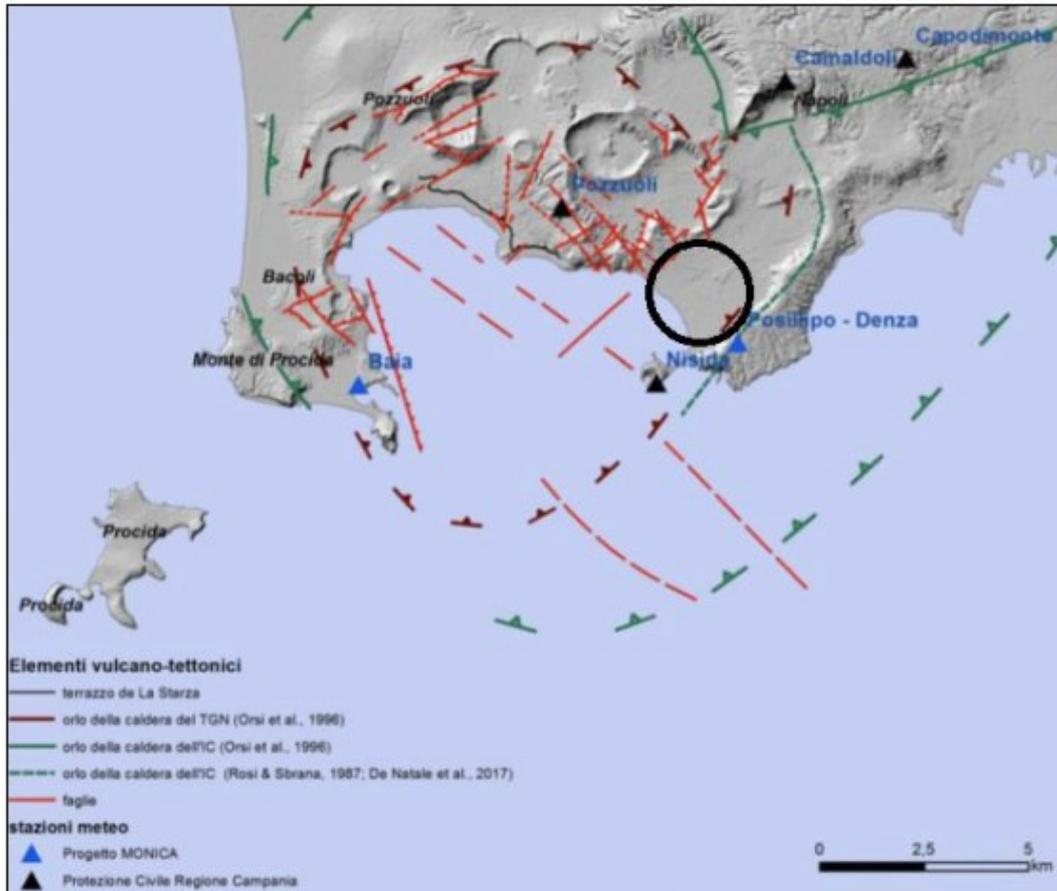


Figura 7-7: Ubicazione stazioni meteorologiche utilizzate per le considerazioni pluviometriche

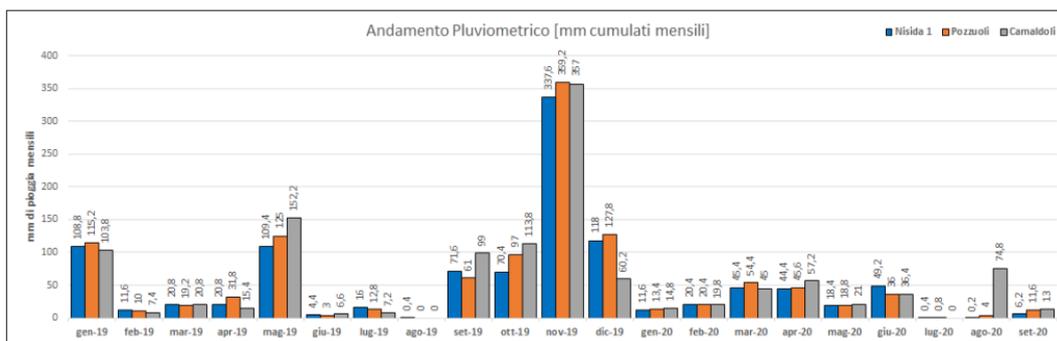


Figura 7-8: Riepilogo pluviometrico cumulato mensile, a partire da gennaio 2019, per le stazioni meteorologiche più vicine alla zona

L'oscillazione media del tetto della falda è nell'ordine di 20-30 cm nel corso di un anno, con dei massimi individuabili generalmente nei mesi di febbraio-marzo e minimi nei mesi estivi-autunnali. A tal proposito si veda l'andamento temporale del livello medio del cielo falda, calcolato sulla base dei rilevamenti freaticometrici condotti dal 2019 ad oggi e della soggiacenza da piano campagna.

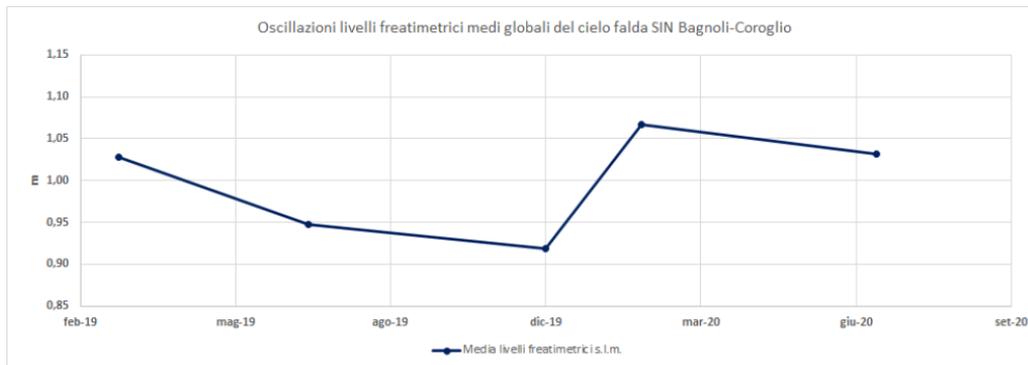


Figura 7-9: Oscillazione temporale del cielo falda sul livello medio marino

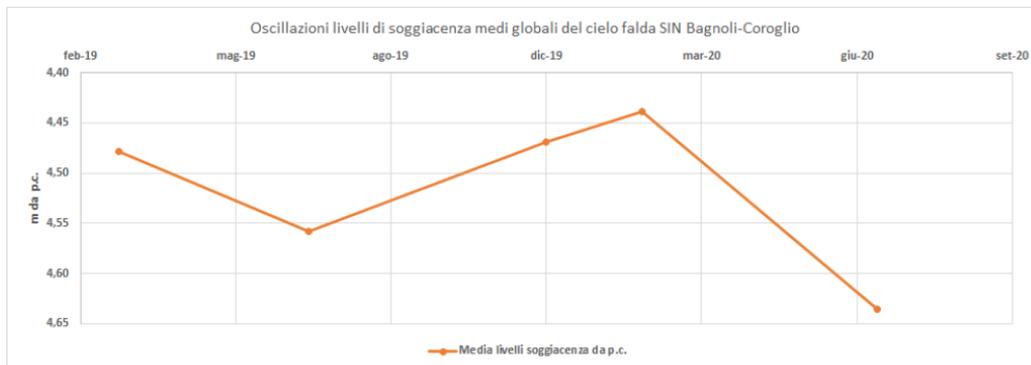


Figura 7-10: Oscillazione temporale soggiacenza falda da piano campagna

Con riferimento a quanto riportato all'interno dell'elaborato ' **P22041-D-00-GE-RS-REL-02-00 - RELAZIONE IDROGEOLOGICA** ', 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:

1. 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.;
2. 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 nelle seguenti tabelle.

Tabella 7.1: Quota rinvenimento della falda nei sondaggi 2021-2023 realizzati nell'Arenile Nord

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

nd = falda non rinvenuta in fase di perforazione del sondaggio

Tabella 7.2: 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

Di seguito si riportano le precipitazioni cumulate relative alle stazioni metereologiche di Nisida 1, Pozzuoli e Camaldoli per gli anni 2021-2023.

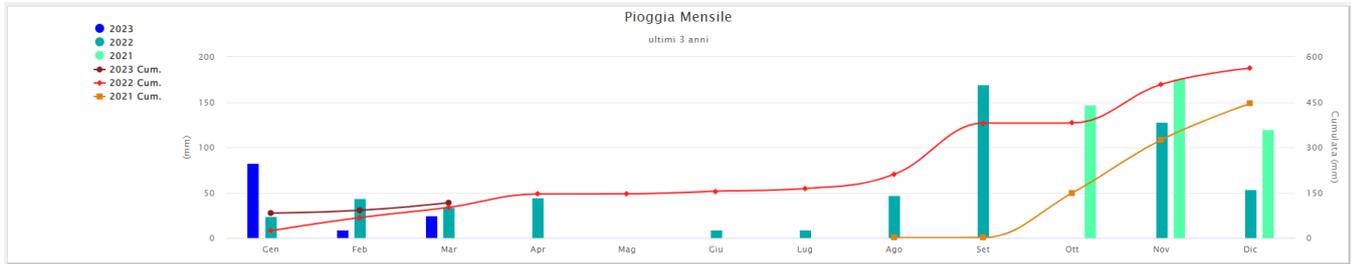


Figura 7-11: Stazione pluviometrica Camaldoli – Piogge cumulate 2021 - 2023



Figura 7-12: Stazione pluviometrica Pozzuoli – Piogge cumulate 2021 - 2023



Figura 7-13: Stazione pluviometrica Nisida – Piogge cumulate 2021 - 2023

8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO - AREA DI COLMATA

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 capping, 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).

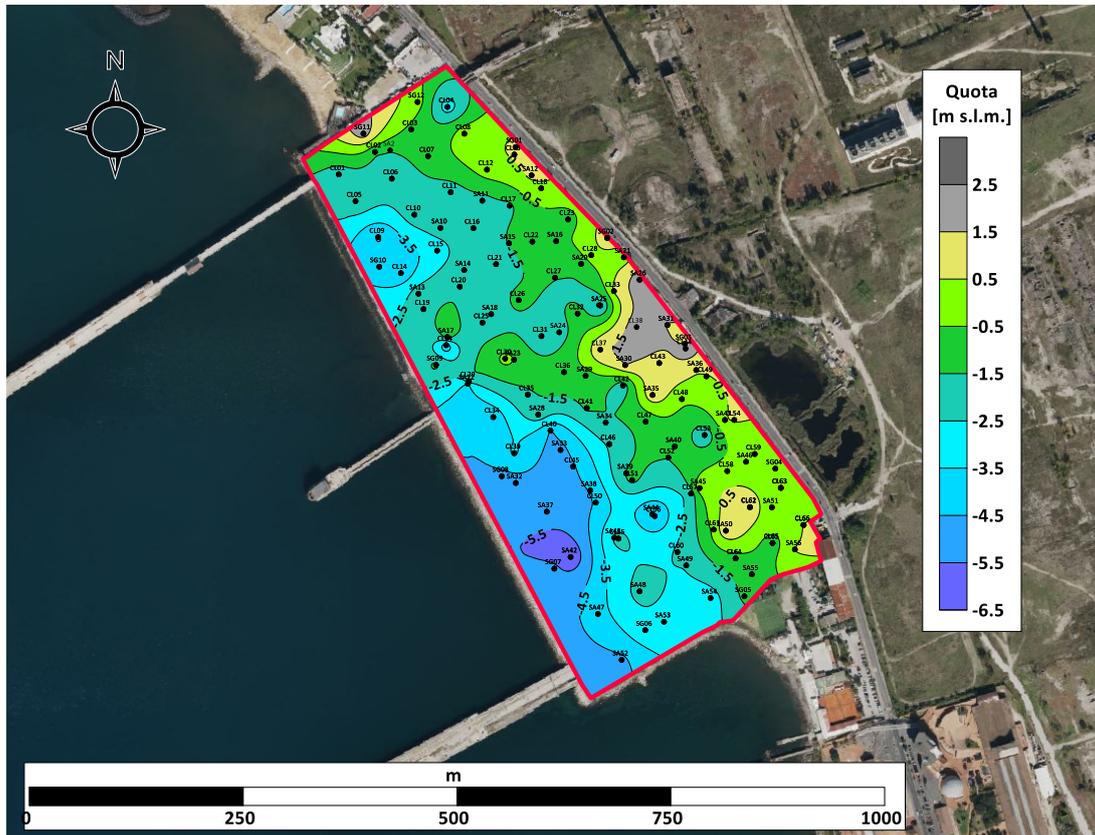


Figura 8-1: Interpolazione della superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti (m.s.l.m.)

Considerando i dati freatimetrici 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, nei mesi di luglio e dicembre 2019, febbraio e luglio 2020, confermano tale andamento, evidenziando oscillazioni stagionali decimetriche e alcune interferenze probabilmente legate sia all'attività antropica che alle oscillazioni marine.

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.

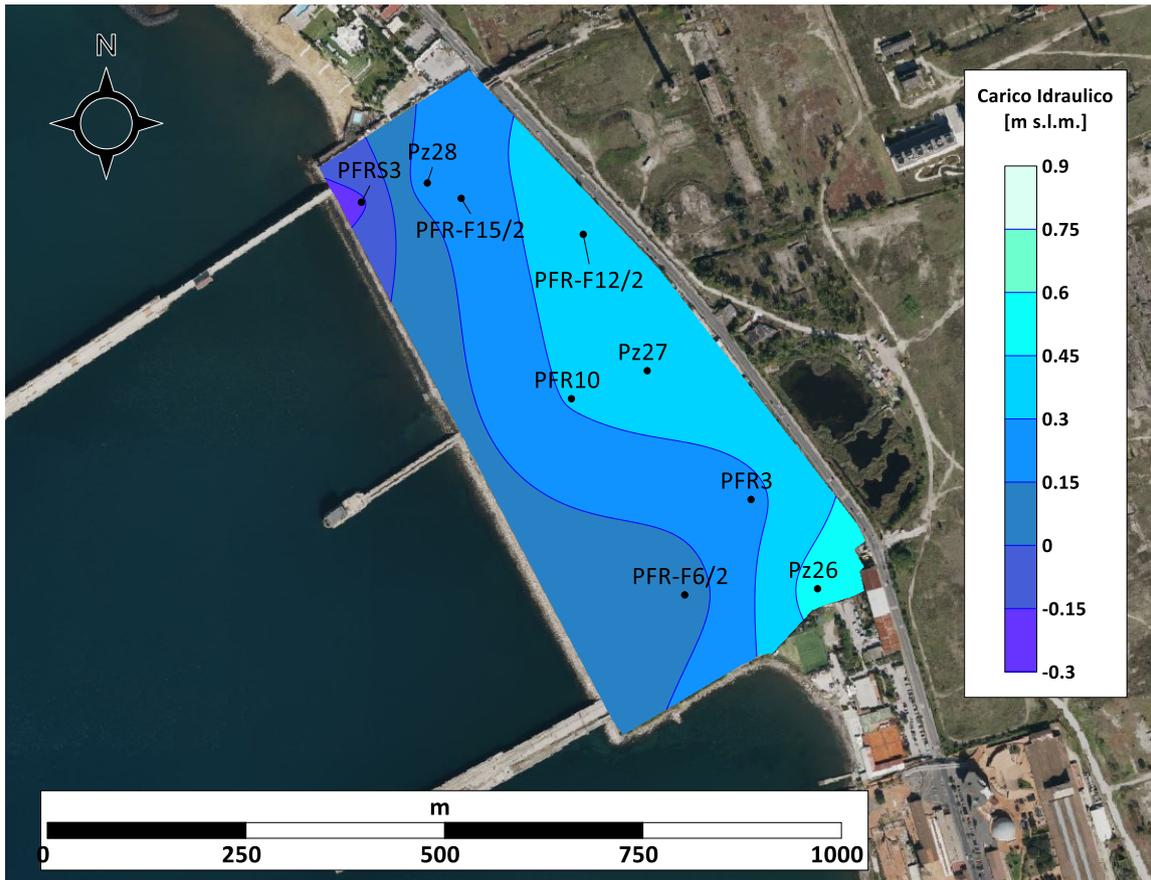


Figura 8-2: Interpolazione della superficie piezometrica per il marzo 2019 (m s.l.m.)

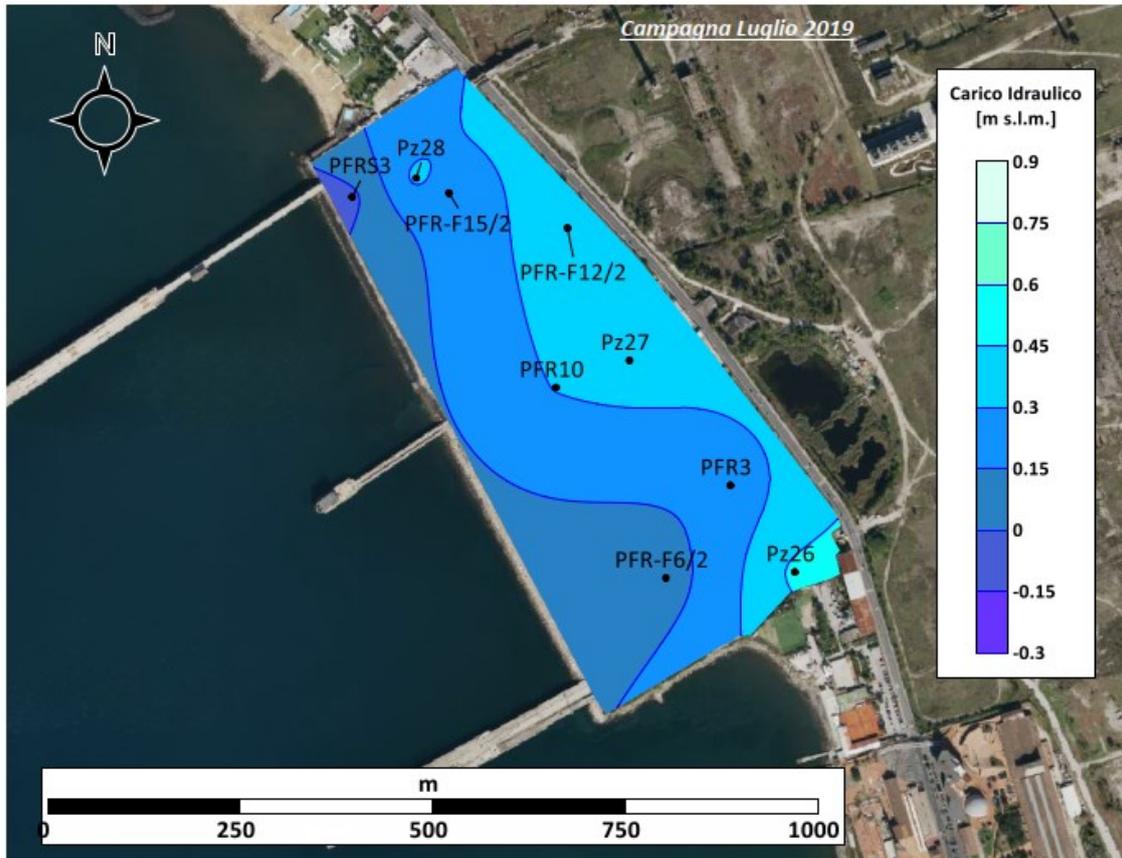


Figura 8-3: Interpolazione della superficie piezometrica per luglio 2019 (m s.l.m.)

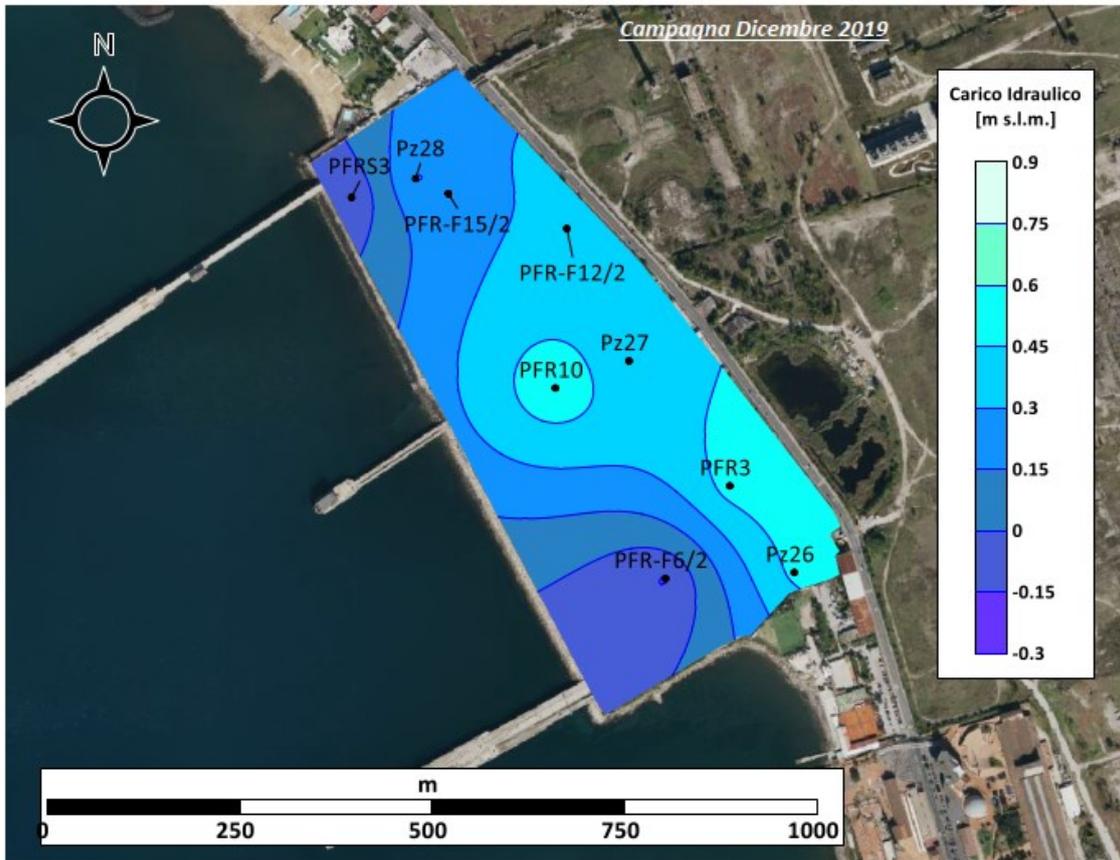


Figura 8-4: Interpolazione della superficie piezometrica per dicembre 2019 (m s.l.m.)

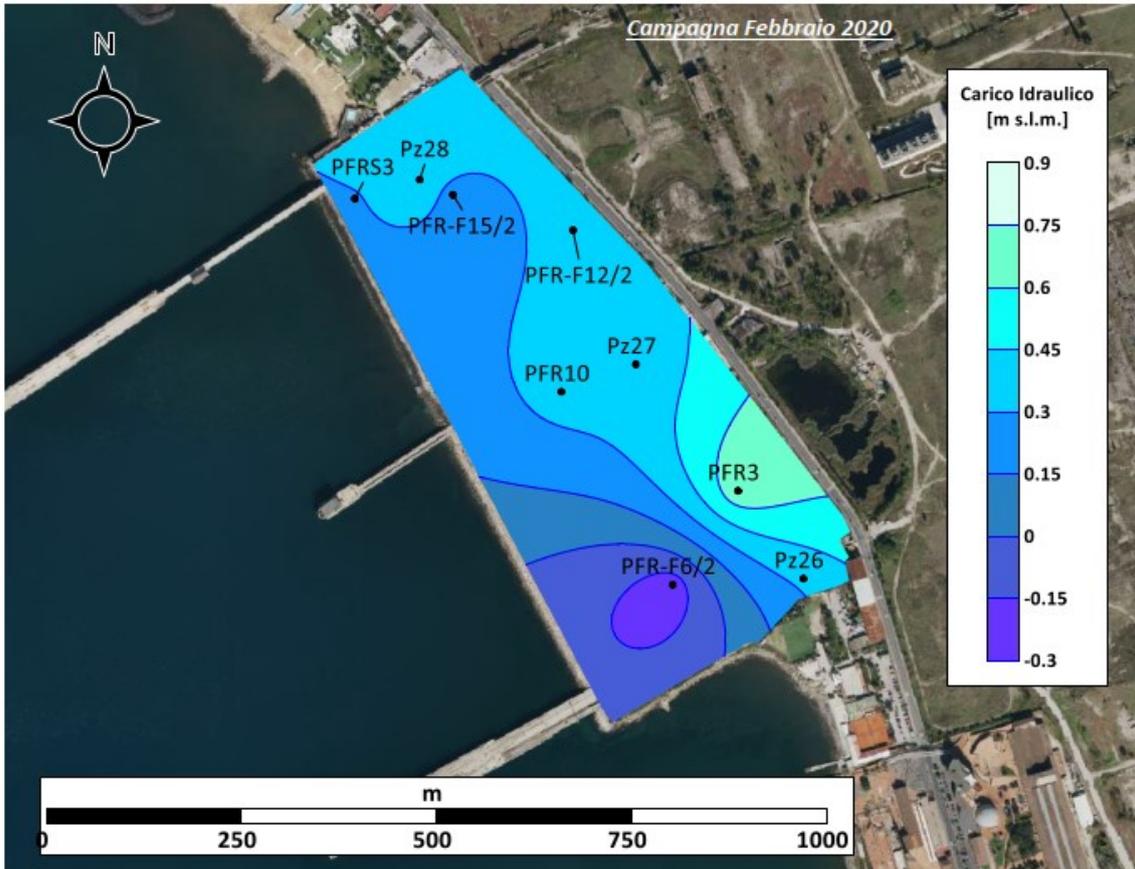


Figura 8-5: Interpolazione della superficie piezometrica per febbraio 2020 (m s.l.m.)

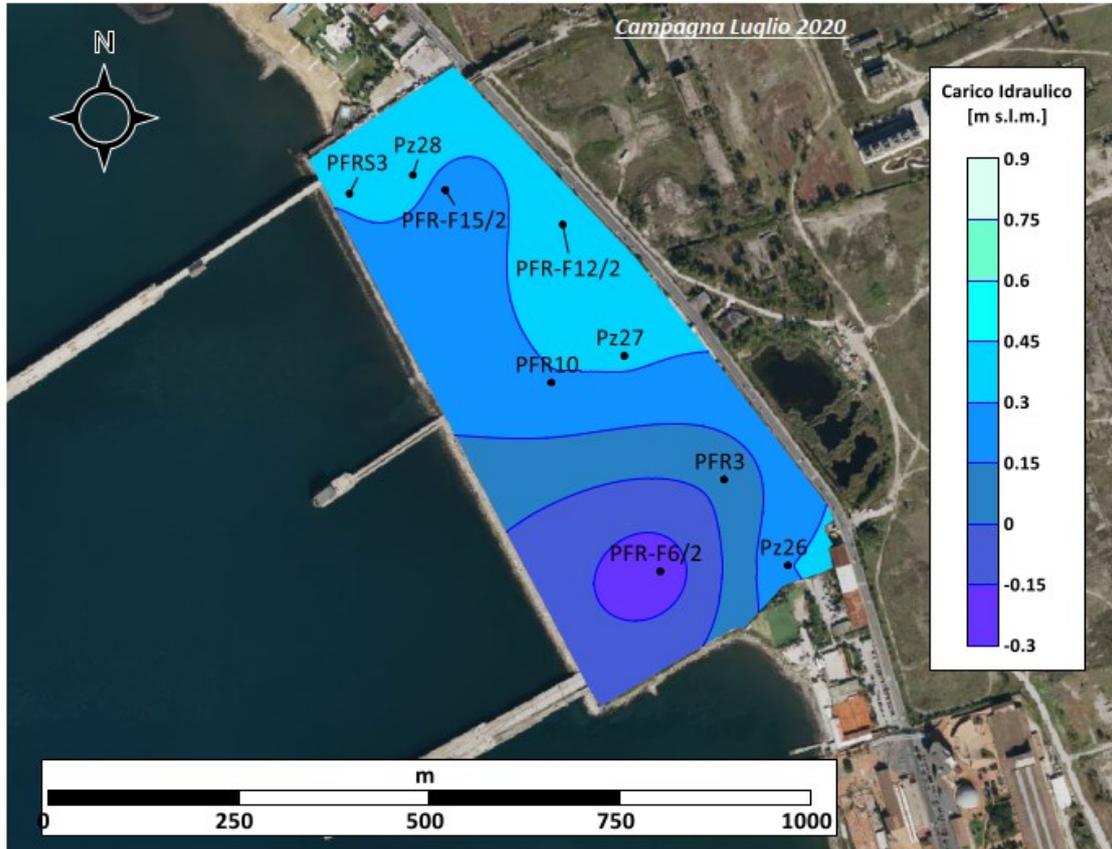


Figura 8-6: Interpolazione della superficie piezometrica per luglio 2020 (m s.l.m.)

9. CUNEO SALINO

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 nella seguente figura.

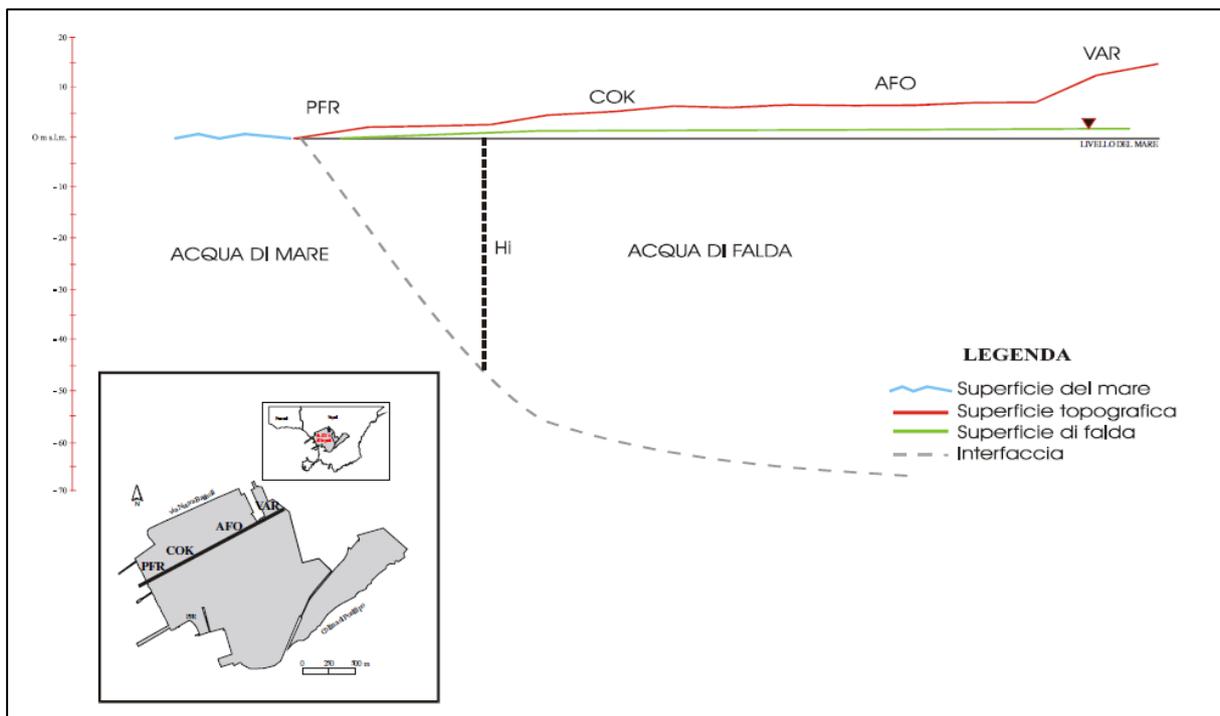


Figura 9-1: Andamento dell'interfaccia nel sito ex ITALSIDER [B21]

la validità dei risultati è stata poi verificata misurando nel piezometro LAM9-P la variazione di resistività fino alla profondità di 68 m.

10. 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").

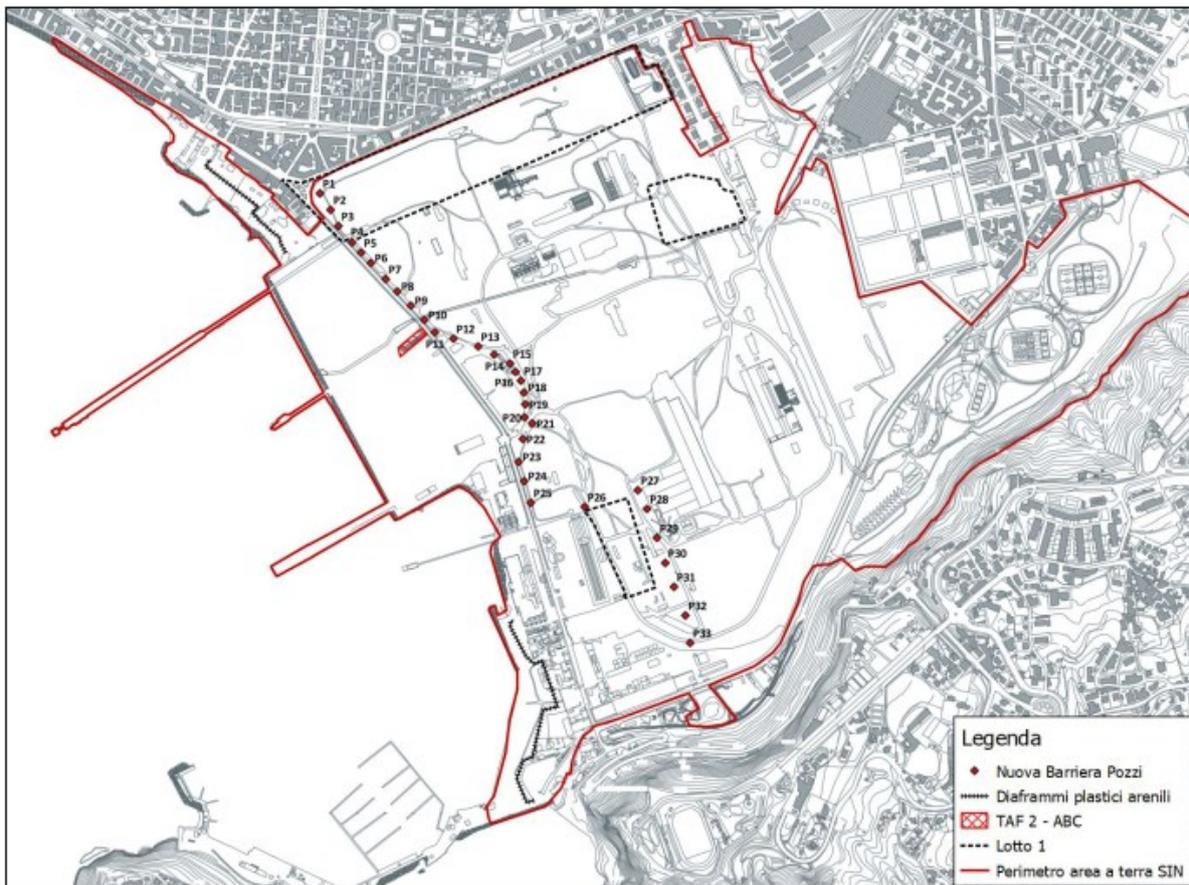


Figura 10-1: Sistema MISE previsto per le acque di falda del SIN Bagnoli-Coroglio

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

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

11. BIBLIOGRAFIA

Pubblicazioni 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. Stanzone (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.