

PIANO DI SVILUPPO E COESIONE DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

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) \_FINALCA INGEGNERIA S.r.l.  
\_AMBIENTE S.p.A. \_3BA S.r.l.  
\_RINA CONSULTING S.p.A. \_DHI SRL A SOCIO UNICO  
\_ARCADIS ITALIA S.r.l. \_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)

Archeologo

\_Dott. F. Tiboni (ASPS)

Responsabile Paesaggistica

\_Ing. F. Tamburini (AMBIENTE)

Responsabile Aspetti Naturalistici e S.I.A.

\_Ing. L. Bertolé (ARCADIS)

Responsabile della Modellazione Numerica

\_Ing. A. Pedroncini (DHI)

Responsabile Impianti (CAT. IB.06)

\_Ing. G. Morlando (FINALCA)

Responsabile Acustica

\_Ing. C. Di Michele (PROGER)

Responsabile Geologia

\_Geol. M. Sandrucci (PROGER)

Coor. Sicurezza in fase di Progettazione

\_Ing. N. Sciarra (PROGER)

BIM MANAGER

\_Geom. G. Pietrolungo (PROGER)

Responsabile Rilievi

\_Geol. L. Bignotti (AMBIENTE)

Responsabile Indagini

\_Geol. M. Mannocci (AMBIENTE)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Rimozione Sedimenti

\_Geol. R. Costa (ARCADIS)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Capping

\_Geol. P. Mauri (AMBIENTE)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO		DATA	NOME	FIRMA
RELAZIONE GEOLOGICA		REDATTO	07/2023	L. Evangelisti (PROGER)
		VERIFICATO	07/2023	M. Sandrucci (PROGER)
		APPROVATO	07/2023	Ing. Edoardo Robortella Stacul
		DATA	07/2023	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI		SCALA
Rev. 0	21.07.2023	EMISSIONE		
Rev. 1	-			CODICE FILE
Rev. 2	-			2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00



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 NEL SITO DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGLIO (NA)".

## Relazione Geologica

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00 Rev. 0 – Luglio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	EMISSIONE	L. Evangelisti	M. Sandrucci	Ing. Edoardo Robortella Stacul	21/07/2023

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.

## INDICE

	Pagina
<b>PREMESSA E METODOLOGIA DI STUDIO</b>	<b>2</b>
<b>1 INQUADRAMENTO STORICO NORMATIVO DEL SITO INDUSTRIALE</b>	<b>3</b>
<b>2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>5</b>
<b>3 ASSETTO GEOLOGICO</b>	<b>7</b>
3.1 GEOLOGIA DELLE AREE A TERRA	10
3.2 GEOLOGIA DELL'AREA DELLA COLMATA	16
3.3 GEOLOGIA DELLE AREE A MARE	17
<b>4 ASSETTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>20</b>
4.1 GEOMORFOLOGIA LOCALE	20
<b>5 ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>22</b>
5.1 IDROGEOLOGIA LOCALE	24
<b>6 INDAGINI</b>	<b>26</b>
<b>7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO</b>	<b>32</b>
7.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE	36
7.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI CATEGORIA DI SUOLO (VS30)	37
7.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI CATEGORIA TOPOGRAFICA	40
<b>8 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE</b>	<b>41</b>
<b>9 RISCHIO GEOLOGICO E VINCOLI</b>	<b>42</b>
9.1 RISCHI E VINCOLI IDROGEOLOGICI	42
9.2 RISCHIO VULCANICO	47
<b>10 MODELLO GEOLOGICO DI PROGETTO</b>	<b>53</b>
10.1 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DI PROGETTO DELLE AREE A TERRA	54
10.2 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DI PROGETTO DELLE AREE DI COLMATA	55
10.3 MODELLO GEOLOGICO TECNICO AREE A MARE	60
<b>11 CONCLUSIONI</b>	<b>61</b>
<b>12 BIBLIOGRAFIA</b>	<b>62</b>

## PREMESSA E METODOLOGIA DI STUDIO

Il presente documento è parte integrante del Progetto Definitivo per la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale del Sito di Interesse Nazionale Bagnoli Coroglio predisposto da INVITALIA al fine di realizzare tutti gli interventi necessari alla piena rigenerazione urbana.

La relazione illustra le risultanze dello studio geologico condotto, supportato da indagini geognostiche, idrogeologiche e sismiche, comprensivo di elaborati cartografici.

Lo scopo del lavoro è quello di definire la compatibilità delle previsioni del Progetto Definitivo di bonifica con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio sotteso all'intervento stesso.

Lo studio geologico è stato realizzato attraverso tre fasi di lavoro:

- ✓ Ricerca e analisi della documentazione bibliografica
- ✓ Acquisizione ed interpretazione delle campagne di indagini geognostiche realizzate negli anni nel sito per diversi scopi
- ✓ Definizione del modello geologico tecnico di progetto

L'area oggetto di intervento, delimitata dal perimetro SIN, è localizzata nel settore nord-occidentale del Comune di Napoli e comprende l'intera zona degli ex stabilimenti di Bagnoli, con una superficie di circa 250 Ha. Il territorio di studio dal punto di vista geomorfologico comprende la depressione morfo-strutturale di Bagnoli-Fuorigrotta che si apre sul Golfo di Pozzuoli al margine orientale dei Campi Flegrei, un'area di vulcanismo attivo in cui le più importanti manifestazioni vulcaniche sono avvenute durante l'Olocene. Situata tra Pozzuoli e Napoli, essa deve l'origine e l'evoluzione ai fenomeni vulcano-tettonici che a partire da circa 12mila anni fa si sono protratti fino ai nostri giorni.

L'ambito territoriale di studio costituisce una ex area industriale su cui è avviato un processo di riqualificazione per la quale risulta fondamentale acquisire la conoscenza del grado di modificazione dell'ambiente naturale in relazione alle caratteristiche delle locali condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche.

# 1 INQUADRAMENTO STORICO NORMATIVO DEL SITO INDUSTRIALE

L'industrializzazione e l'urbanizzazione nell'area di Bagnoli, sebbene abbiano rappresentato, per oltre un secolo, una notevole fonte di sviluppo socio-economico, hanno profondamente alterato il delicato contesto geoambientale della pianura costiera, già caratterizzato da elevata pericolosità per essere posto in un'area di vulcanismo attivo quale quella flegrea.

L'area oggetto di intervento è delimitata dal perimetro del Sito di Rilevante Interesse Nazionale Bagnoli-Coroglio. Il sito costituisce un ex area industriale su cui è avviato un processo di riqualificazione e risanamento ambientale.

La storia industriale dell'area Bagnoli-Coroglio ha inizio con le prime attività avviate nel 1853, ma la svolta essenziale è stata determinata nel 1905 con l'avvio della costruzione dell'impianto siderurgico ILVA di Bagnoli, che si estenderà su una superficie di 120 ha. Lo stabilimento ILVA di Bagnoli viene inaugurato nel 1910. A causa dell'aumento della produttività dell'impianto e della crescente necessità di approvvigionamento di materie prime nel 1930 viene costruito il Pontile sud dove avveniva il carico del prodotto finito, nel 1935 il collegamento artificiale tra Nisida e la terraferma e nel 1936 il pontile Nord che invece era necessario a consentire l'attracco delle imbarcazioni e dove veniva accolta la materia prima (carbon fossile e scorie ferrose). Inoltre, nel 1936-1938 sorge, adiacente al sito, l'impianto Eternit.

La realizzazione dei pontili, del collegamento artificiale tra Nisida e la terraferma e le attività di carico/scarico merci hanno alterato in maniera significativa la circolazione e di conseguenza le caratteristiche sedimentologiche e morfologiche dell'area, determinando anche una significativa variazione della batimetria dei fondali in prossimità dei pontili.

La produzione industriale è stata poi interrotta tra il 1943 e il 1946 per gli eventi legati alla II guerra mondiale.

Negli anni 1950-1980 si ha il periodo di massima espansione, soprattutto con le attività legate all'acciaieria Ilva/Italsider.

Ultimato il conflitto mondiale la produzione industriale riprese ed a causa della crescente domanda di acciaio e della necessità di dover ampliare lo stabilimento, che non poteva essere ampliato nelle aree a terra, si decise di realizzare una colmata a mare con la funzione di stoccaggio di carboni fossili, rottami di ferro e semi lavorati dell'acciaieria.

Per rispondere all'aumentata capacità produttiva dello stabilimento ex Italsider, l'area di colmata di Bagnoli venne 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. La realizzazione di un'area di colmata a diretto contatto con il mare con materiale di scarto dell'impianto siderurgico, oltre a variare sensibilmente la configurazione della linea di costa, determina una potenziale contaminazione da metalli pesanti dell'area marina.

Tra il 1986 e il 1990 si assiste ad un progressivo ridimensionamento dell'apparato produttivo; viene dismessa l'attività Eternit e, a causa della crisi internazionale del mercato dell'acciaio, viene chiusa definitivamente l'area a caldo dell'ILVA nel 1990.

La storia del sito industriale si conclude nel 1991, anno in cui lo stabilimento dismette tutte le sue attività.

Nel 1994 ha inizio il Piano di Recupero Ambientale di Bagnoli. Il risanamento ambientale comprendeva le operazioni di smantellamento, rimozione e demolizione e la bonifica delle aree dalla presenza di inquinanti.

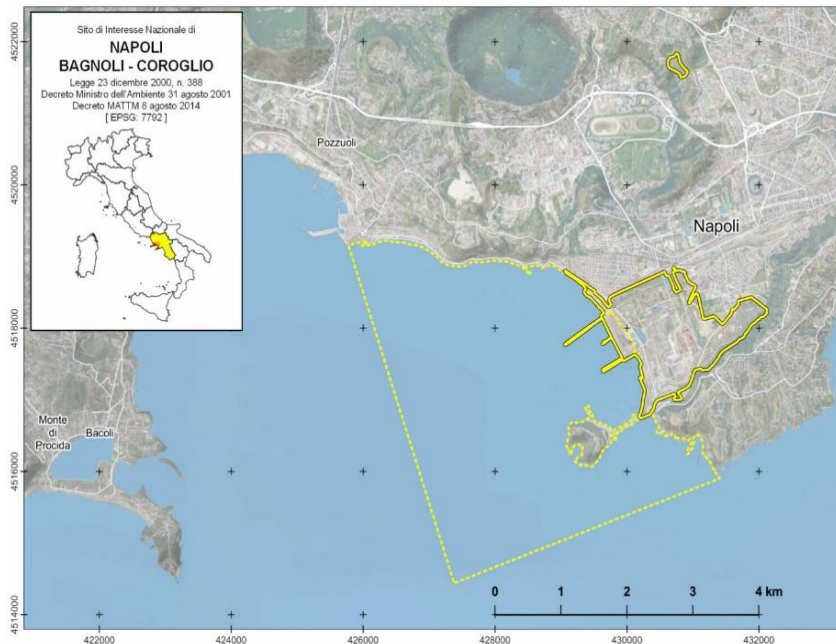


Figura 1: Perimetrazione del sito

Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

Il risanamento ambientale verrà affidato a diversi soggetti attuatori in funzione di diverse normative:

- ✓ Delibera CIPE in attuazione della Legge 80/1984 → ILVA in liquidazione S.p.A.
- ✓ Legge 582/1996 → Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI)
- ✓ L'IRI affida la missione di realizzare le opere di risanamento alla società Bagnoli S.p.A.
- ✓ Legge 388/2000 → l'area viene ricompresa tra i siti ad alto rischio ambientale e, conseguentemente, veniva istituito il Sito di Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (SIN Bagnoli-Coroglio). Inoltre, ai sensi della legge 388/2000 il Comune di Napoli acquisiva la proprietà delle aree oggetto di intervento, subentrando alla società Bagnoli S.p.A. nelle relative attività di risanamento ambientale; nel 2002 viene costituita la società di trasformazione urbana a partecipazione pubblica BagnoliFutura S.p.A., alla quale veniva affidato il compito di realizzare gli interventi di risanamento ambientale e di riconversione post industriale. Alla BagnoliFutura S.p.A. veniva trasferita la proprietà delle aree del SIN Bagnoli-Coroglio già del Comune di Napoli.
- ✓ Con il Decreto 31 Luglio 2003 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) di concerto con il Ministero dell'Economia e delle Finanze, approva il Piano di Risanamento Ambientale presentato da BagnoliFutura.
- ✓ Nel 2014 è stata deliberata la messa in liquidazione e successivamente dichiarato il fallimento di BagnoliFutura.
- ✓ Con la Legge 164/2014 sono state emanate disposizioni inerenti il risanamento ambientale (bonifiche) e rigenerazione urbana delle aree del SIN Bagnoli-Coroglio, rinominato Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio, così come perimetrato, da ultimo, con il D.M. 8 agosto 2014.
- ✓ Nel 2015, alla formazione, approvazione e attuazione del Programma di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana (PRARU), sono preposti un Commissario Straordinario di Governo e un SOGGETTO Attuatore individuato nell'Agenzia Nazionale per l'Attrazione degli Investimenti e lo Sviluppo d'Impresa S.p.A., INVITALIA.

INVITALIA diviene così proprietaria delle aree e degli immobili già di BagnoliFutura in fallimento e ha il compito di predisporre e presentare al Commissario una Proposta di Programma per il Risanamento Ambientale e Rigenerazione Urbana.

INVITALIA ha presentato inoltre il progetto di "Intervento di rimozione della colmata a mare di Bagnoli", ricadente nelle aree ex ILVA e ex ITALSIDER del SIN Bagnoli-Coroglio, che farà parte del PRARU.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La piana di Bagnoli-Coroglio è un'area pianeggiante che affaccia sul Mar Tirreno nel settore orientale del Golfo di Pozzuoli, tra Pozzuoli e Napoli.

In particolare l'area è delimitata ad ovest dal centro abitato di Bagnoli, a Nord da Fuorigrotta ad est dalla Collina di Posillipo e dall'Isola di Nisida, elemento di pregio paesaggistico. La piana e i rilievi che la circondano rappresentano parte integrante del complesso sistema vulcanico dei Campi Flegrei che, con la sua attività, ha determinato l'attuale configurazione strutturale del territorio.

La Piana di Bagnoli-Coroglio si sviluppa per circa 4 km, in senso SW-NE, in un territorio prevalentemente pianeggiante che va dalla linea di costa ad una quota di circa 50 m s.l.m. L'area ha una superficie di circa 7.5 km<sup>2</sup> e ha una forma quadrilatera trapezoidica.

L'area oggetto di intervento è densamente urbanizzata e presenta una viabilità sviluppata che si articola tra i diversi centri urbani: Bagnoli, Rione Cavalleggeri, Fuorigrotta e Posillipo. La viabilità dell'area è costituita da:

- ✓ Via Bagnoli e Via Diocleziano, al limite settentrionale del SIN
- ✓ Via Coroglio, tra la Colmata e l'area a terra, al limite occidentale del SIN.
- ✓ Via Pasquale Leonardi Cattolica e i suoi proseguimenti Via Cavalleggeri d'Aosta e Via Campegnà, in prossimità della Collina di Posillipo, al limite meridionale del SIN.
- ✓ Via Nisida che collega l'Isola di Nisida sia con il SIN che con la Discesa Coroglio e quindi con la Collina di Posillipo.
- ✓ Via Enrico Coccia, che attraversa nella parte centrale il SIN
- ✓ Le strade che fanno parte della rete stradale principale più vicine all'area sono: il tratto della Tangenziale di Napoli da Pozzuoli a Fuorigrotta e il tratto di SP 303 che comprende Via Solfatara, Via San Gennaro Agnano, Viale John Fitzgerald Kennedy e Via Giulio Cesare
- ✓ Linea metropolitana dalla fermata Bagnoli – Agnano Terme, Agnano, Cavalleggeri Aosta, Napoli Campi Flegrei e Napoli Piazza Leopardi, che costeggia esternamente al perimetro del SIN gli abitati di Bagnoli, Rione Cavalleggeri e Fuorigrotta
- ✓ L'area portuale prossima al sito del Porto di Pozzuoli

Il focus sulla viabilità è stato inserito sia in relazione alla possibile movimentazione dei materiali coinvolti nel processo di bonifica da/per le aree di trattamento e/o deposito, sia in relazione alle considerazioni espresse nel presente documento per valutare l'eventuale interazione dei luoghi oggetto dello studio rispetto alle particolari condizioni di rischio vulcanico.

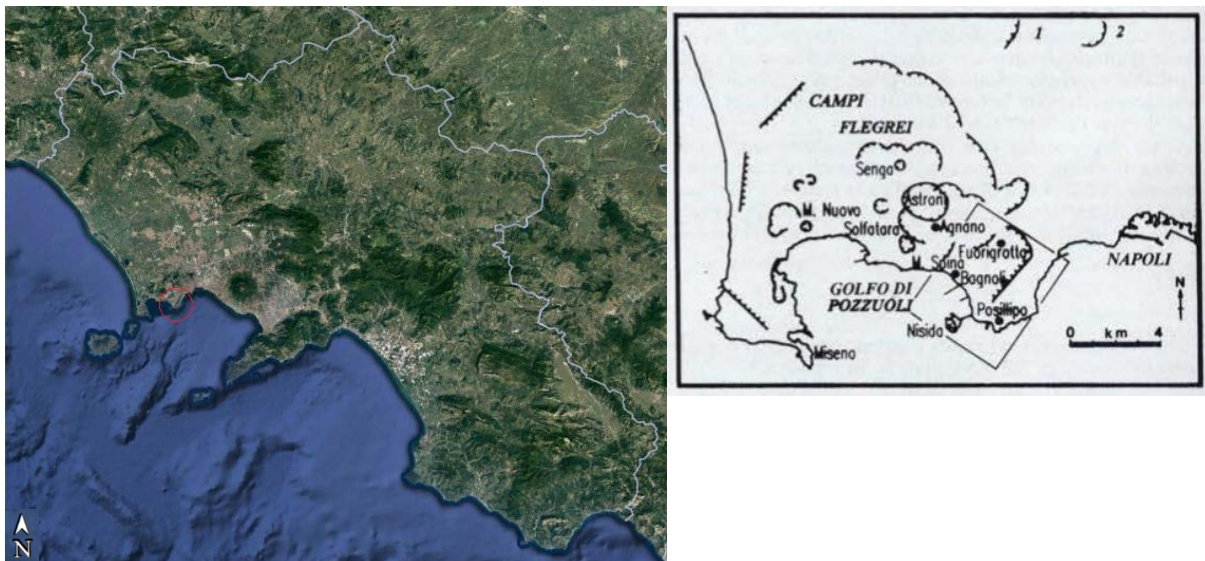


Figura 2: Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli

Fonte: Google Heart

Nella cartografia ufficiale italiana (IGM) il 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 1:50000 (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 (Fig.3).



Figura 3: Inquadramento geografico del SIN di Bagnoli Coroglio: in alto immagine da Google Heart, in basso CTR elemento n°447153 NAPOLI – POSILLIPO, scala 1:5000 Regione Campania.

Fonte: Google Heart e Regione Campania



### 3 ASSETTO GEOLOGICO

L'area di studio rientra nell'ambito dei Campi Flegrei, un distretto vulcanico quaternario che si colloca nella Piana Campana, al margine occidentale del settore meridionale della Catena Appenninica; fanno parte di quella serie di centri vulcanici che costituiscono la Provincia Magmatica Romana.

L'ampia area vulcanica dei Campi Flegrei è situata a Ovest della città di Napoli. La morfostruttura caratteristica di quest'area è una caldera complessa risultante dall'interazione tra la tettonica regionale e locale. Numerosi centri eruttivi sono presenti all'interno della depressione calderica: coni di tufo, coni di cenere, duomi di lava e coni di scorie principalmente monogenici e di piccole dimensioni.

L'attività vulcanica Flegrea può essere suddivisa in cinque principali fasi di attività:

- ✓ Vulcanismo più antico dell'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
- ✓ Vulcanismo più giovane del Tufo Giallo Napoletano

Il principale elemento geologico-strutturale è costituito dalla vasta caldera collassata in seguito ai due grandi eventi che hanno caratterizzato la storia vulcanica dell'area.

Il primo è l'eruzione e conseguente messa in posto dell'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano) di circa 35000 anni fa. 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; sono invece assenti all'interno dei Campi Flegrei, verosimilmente a causa dei processi erosivi o perché ricoperti dai prodotti delle successive eruzioni dei Campi Flegrei e del Vesuvio e da terreni alluvionali.

Il secondo evento è l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano di circa 12000 anni fa; il collasso calderico è avvenuto attraverso l'attivazione di faglie (sia preesistenti che prodottesi ex novo) che hanno sbloccato il fondo della caldera, dislocando una serie di blocchi in maniera differenziale.

A queste due eruzioni, e i relativi collassi, è legata la formazione della depressione flegrea.

I centri eruttivi successivi al Tufo Giallo Napoletano, allineati all'incirca N-S, sono ubicati all'interno dell'area calderica, il cui settore più depresso è bordato da un sistema di faglie regionale. L'eruzione e il collasso calderico del Tufo Giallo Napoletano furono seguiti dall'ingressione marina all'interno della parte meridionale degli attuali Campi Flegrei. I depositi di questa ultima importante eruzione sono separati dai depositi legati alla fase eruttiva successiva da un Paleosuolo spesso e diffuso.

Da un punto di vista strutturale i Campi Flegrei sono intensamente deformati da sistemi di faglie e fratture sia legate ai processi vulcano-tettonici che riconducibili alla tettonica regionale con orientamenti prevalenti NW-SE e NE-SW.

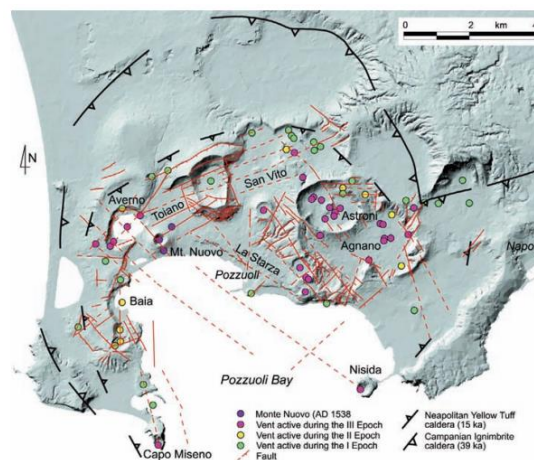


Figura 4: Schema delle principali strutture vulcaniche e tettoniche dei Campi Flegrei

Fonte: da Di Vito et al., 2010 modificata.



Da un punto di vista stratigrafico il substrato dei Campi Flegrei è rappresentato in massima parte dalla formazione del Tufo Giallo Napoletano, che dalla dorsale di Posillipo, dove affiora estesamente, si riscontra nel sottosuolo a profondità generalmente crescenti via via che si procede verso il campo di Agnano. Se il Tufo Giallo domina per gran parte il substrato centrale ed orientale della depressione, la parte occidentale è dominata invece dalle vulcaniti del campo di Agnano.

Le vulcaniti di Agnano costituiscono buona parte del riempimento della depressione nell'area del Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta. Quelle del ciclo più antico (11-7 ka) sono intercalate o alternate a sedimenti clastici fossiliferi di origine marina, limno-palustri (torbe) e paleosuoli. Quelle del ciclo più recente (5.5-3.5 ka) costituiscono, invece, i primi 50-60 m di sottosuolo e sono alternate a paleosuoli o a livelli vulcanoclastici di origine alluvionale.

Nella Piana di Coroglio le analogie con la serie del Terrazzo sono evidenti solo per ciò che riguarda il substrato tufaceo e la prima parte, legata al ciclo antico di Agnano, di serie marino-continentale. Manca nella Piana di Coroglio, quasi totalmente, la parte di successione pertinente le vulcaniti del ciclo recente di Agnano con le relative intercalazioni di paleosuoli e vulcanoclastiti. Al suo posto vi è, invece, una successione, con spessore medio di 25m, costituita da sedimenti clastici marini fossiliferi o di spiaggia, eolici, limno-palustri vulcanoclastici, piroclastici ed antropici. Un tale complesso di sedimenti denuncia il persistere di un ambiente transizionale di pianura costiera.

Infine lungo la costa, si rileva che episodi marini e di spiaggia sono alternati a sedimenti continentali (vulcanoclastiti alluvionali, paleosuoli, torbe e limi torbosi, sabbie eoliche).

Nello specifico nell'area costiera, dove per anni ha insistito il sito industriale, il detrito antropico di colmata (in massima parte caratterizzato dagli scarti della lavorazione industriale -loppa) occupa posizioni al di sotto del livello del mare. Questo detrito ricopre sedimenti eolici sabbiosi, pertinenti una duna costiera, che si spingono fino a 3m sotto il livello del mare. A questi sedimenti segue verso il basso una successione fossilifera, spessa circa 4m, costituita da sabbie e limi alluvionali con abbondanti livelli torbosi. Questa successione, probabilmente con contatto erosionale, poggia su una serie sedimentaria sabbiosa-ghiaiosa di origine marina costiera. Questo episodio marino erode chiaramente il tetto di una nuova serie continentale (spesso circa 3m) che, verso il basso, passa ad una serie sabbioso-ghiaiosa di origine marina.

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 derivanti dai numerosi sondaggi (effettuati nell'area per vari scopi) 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 può trovare di tutto: materiale litologico di 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 pluridecennale dei processi industriali. L'insieme dei materiali sopra enunciati poggia su un substrato formato in prevalenza da depositi limno-palustri e dunali.

Dal punto di vista ingegneristico questi materiali di riporto costituiscono una criticità in quanto la loro variabilità determina un comportamento geomeccanico complessivamente scadente.

Da un punto di vista geologico la sequenza stratigrafica della serie può essere così 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 rinvengono 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

### 3.1 GEOLOGIA DELLE AREE A TERRA

L'ex area industriale di Bagnoli ha risentito dell'intensa attività vulcanica e tettonica 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 sia orizzontale. La depressione risulta, pertanto, colmata con prodotti relativi a diversi ambienti deposizionali e diverse dinamiche sedimentologiche (oscillazioni del livello medio mare, alluvioni, lagune, paludi, eruzioni vulcaniche, ecc) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio. Le stratigrafie dei sondaggi, realizzati nell'ambito di più campagne di indagine succedutesi negli anni, che si spingono oltre la coltre dei terreni di riporto, evidenziano le circostanze sopra descritte; si rinvengono, infatti, 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 la sequenza stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame può essere ricostruita con sufficiente grado di dettaglio 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).

Di seguito si riportano le stratigrafie ritenute più significative per la descrizione della sequenza stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame indagati dall'A.S.5:

Sondaggio	Sigla unità	Spessore	Profondità dal P.C. (m.s.l.m.)	Descrizione
<b>SG1</b>	Rp	7.5	7.5	Riporto eterogeneo costituito da clasti di dimensioni centimetriche, principalmente scoriacei, di colore dal grigio al nerastro.
	Sg	7.5	15	Sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, di colore dal marrone-grigiastro al rossastro e grigiastro (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei di dimensioni fino a 2÷3 cm).
	Sgb	10	25	Sabbia da ghiaiosa a debolmente ghiaiosa, di colore dal marrone grigiastro al grigiastro e marroncino, con intercalati livelli di colore grigio-nerastro.
	Sgb	5	30	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore grigiastro (con inclusi di colore rossastro), tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa.
<b>SG3</b>	Rp	2	2	Terreno vegetale e di riporto costituito da sabbia limosa di colore marrone-grigiastro, ghiaiosa, con elementi in cemento.
	Lg	3.2	5.5	Limo sabbioso di colore marrone, tendente al marroncino (4.10÷4.80m), debolmente ghiaioso tra 4.80÷5.20 m.

	Sg	21.8	27	Limo sabbioso di colore marrone-grigiastro passante a marrone tra 7.0÷8.30 m, debolmente ghiaioso; tra i 8,30÷10,0m si presenta ghiaioso (clasti eterogenei e pomici). Oltre i 10,00 m tendenza a sabbia limosa ghiaiosa di colore marrone-grigio; tra i 12.40÷13.30 m si presenta di colore grigio, ghiaiosa. Oltre 13,30 m tendenza a sabbia limosa ghiaiosa, con inclusi clasti e pomici, di colore marrone grigiastro; tra i 19.0÷19.40 m si presenta ghiaiosa con clasti di dimensioni di 3-4 cm. Oltre 19,40 m tendenza a sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, di colore grigiastro, con intercalati livelli sabbiosi di colore grigio nerastro (22.0÷22.80 m), passante a ghiaiosa; verso i 24.70÷25.0 m livello nerastro sabbioso con inclusi.
	Sgb	3	30	Sabbia ghiaiosa di colore grigio-nerastro con clasti eterogenei e pomici.
<b>SG4</b>	Rp	3	3	Terreno vegetale e di riporto costituito da sabbia limosa di colore marrone-grigiastro (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 3-4 cm); tra 1,60 ÷1,80 e tra 2.50-3.0 m riporto grigiastro cementizio.
	Lg	2	5	Limo sabbioso di colore marrone-grigiastro debolmente ghiaioso, con intercalati livelli di colore grigio chiaro.
	Sg	20	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore marrone-grigiastro con intercalati livelli di colore grigio-verdastro, giallastro e marrone, tra debolmente ghiaiosi e ghiaiosi (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei), con intercalazioni di livelli sottili sabbiosi scoriacei di colore grigio-nerastro (14,40÷14,60 m; 20,80÷21,00 m e oltre 23,00 m)
	Sgb	5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 3 cm); tra i 29,00÷30,00 m tendenza a colore marrone grigiastro.
<b>SG5</b>	Rp	1.8	1.8	Riporto costituito da sabbia limosa di colore grigiastro, con clasti eterogenei ed eterometrici di diametro fino a 3-4 cm.
	Lg	8.2	10	Limo sabbioso da debolmente ghiaioso a ghiaioso, di colore dal marrone al grigio-marrone, con intercalati livelli sabbio-ghiaiosi (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei, talora rossastri) di colore grigio-marrone (2,30÷4,00 m; 8,90÷10,00 m).
	Sg	15	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigio-marroncino al grigio marrone e grigiastro (20,0÷25,00 m) tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei, talora rossastri).
	Sgb	5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 3cm) con intercalati livelli nerastrati (26,40-26,70 m).

<b>SG6</b>	Rp	2,3	2,3	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 2-3 cm)
	Ls	2,7	5	Limo sabbioso di colore grigio-marroncino, debolmente ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici)
	Sg	20	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal marrone al grigio-marroncino e grigiastro, con intercalati livelli limosi di colore grigio-verdastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei).
	Sg	5	30	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigio-marroncino al grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 2-3 cm), con intercalati livelli sabbiosi nerastri (26,00-26,30 m)
<b>SG7</b>	Rp	3,4	3,4	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 3-4 cm).
	Lg	6,6	10	Limo sabbioso, di colore dal marrone al grigio-marroncino, debolmente ghiaioso.
	Sg	15	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal marrone al grigio-marroncino, con intercalati livelli di colore grigio-nerastro (21,0÷22,00 m circa), tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei) con inclusi clasti e pomice, di colore marrone grigiastro; tra i 19,0÷19,40 m si presenta ghiaiosa con clasti di dimensioni di 3-4cm. Oltre 19,40m tendenza a sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, di colore grigiastro, con intercalati livelli sabbiosi di colore grigio nerastro (22,0÷22,80 m), passante a ghiaiosa; verso i 24,70÷25,00 m livello nerastro sabbioso con inclusi.
	Sg	5	30	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 3cm).
<b>SG8</b>	Rp	2,3	2,3	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 3-4 cm).
	Lg	4,6	6,9	Limo sabbioso di colore marrone, debolmente ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici), con intercalato un livello ghiaioso rossastro scoriaceo (2,30- 2,60 m)
	Sg	18,1	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigio-nerastro al grigio-marroncino, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei), con intercalati livelli sabbiosi di colore grigio-nerastro
	Sg	5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigio-nerastro debolmente ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici)
<b>SG9</b>	Rp	5	5	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 3-4 cm).

	Lg	5	10	Limo sabbioso da debolmente ghiaioso a ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici), di colore dal grigio-marrone al marroncino, con frazione argillosa (9,00-10,0m) e con intercalato livello sabbio-limoso debolmente ghiaioso, di colore grigiastro (7,00-9,00mt)
	Sg	16	26	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigiastro al grigio-marroncino e grigio-marrone, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei)
	Sg	4	30	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 2-3 cm e con presenza di elementi rossastri tra 26,60-27,0m).
<b>SG10</b>	Rp	5,2	5,2	Riporto eterogeneo di colore dal grigio al marrone-grigiastro (clasti e ciottoli eterogenei, frammenti di calcestruzzo e tubazione metallica)
	Sg	24,8	30	Sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici litici e vulcanici spesso pomicei) di colore dal grigio-marrone al grigio-marroncino con intercalati livelli limosi. Tra 24,0÷25,0 m s'intercala livello di sabbia ghiaiosa di colore grigio-nerastro.
<b>SG11</b>	Rp	5	5	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici con diametro fino a 3-4 cm).
	Lg	5	10	Limo sabbioso, di colore dal grigio-marroncino al grigiastro-marrone, tra debolmente ghiaioso a ghiaioso, specie tra 9,80÷10,0m (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei)
	Sg	12,6	22,6	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigio-marroncino al grigio-marrone e grigio-verdastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici)
	Sg	7,4	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei di dimensioni fino a 3cm), con intercalati livelli sabbiosi di colore dal grigio-verdastro (23,60-25,0mt) al grigiastro.
<b>SG12</b>	Rp	5	5	Riporto eterogeneo di colore dal grigio al marrone (clasti e ciottoli eterogenei, frammenti di calcestruzzo)
	Lg	21,3	26,3	Limo da debolmente ghiaioso a ghiaioso, di colore marrone fino a circa 12,0m, passante a sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, di colore grigio-marroncino, con intercalati livelli sabbio-ghiaiosi di colore grigio-verdastro (clasti eterogenei ed eterometrici litici e vulcanici principalmente pomicei)
	Sgb	3,7	30	Sabbia ghiaiosa di colore grigiastro (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei)
<b>SG13</b>	Rp	5,7	5,7	Riporto eterogeneo di colore marrone-grigiastro con intercalate soletta di calcestruzzo (2,0÷3,0 m) e scorie di altoforno (4,70÷5,00 m).

	Ls	4,3	10	Limo sabbioso di colore grigio-marroncino e grigiastro, da debolmente ghiaioso a ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici) con intercalati livelli argillosi.
	Sgb	17,1	27,1	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici) di colore grigio con intercalati livelli di colore grigio-verdastro (18,00÷18,60m; 20,00÷20,40 m) passante a sabbia ghiaiosa di colore grigiastro. Oltre 24,00 m tendenza sabbia di colore grigio-nerastro.
	Sgb	2,9	30	Sabbia da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa di colore grigiastro tendente a grigio-marroncino oltre 29,30 m.
<b>SG15</b>	Rp	3,2	3,2	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore grigio-marrone, ghiaiosa (clasti e rari ciottoli eterogenei) e con intercalati livelli di calcestruzzo e con presenza di elementi metallici
	Ls	6,8	10	Limo sabbioso debolmente argilloso, di colore grigio-marroncino-verdastro. Oltre 5,20m tendenza a limo sabbioso debolmente ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici), di colore dal marrone-grigiastro al marrone, con inclusi livelli di colore nerastro e con alla base livello di sabbia fine nerastra (9,70÷10,0 m)
	Sg	15	25	Sabbia limosa tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici), di colore dal grigio-nerastro (10,0÷11,80 mt) al grigiastro e marroncino e con intercalati livelli sabbiosi di colore grigiastro (16,50÷17,00m e 19,80÷20,00m);
	Sgb	5	30	Sabbia fine di colore grigiastro, debolmente ghiaiosa, passante oltre 26,30m a sabbia ghiaiosa (clasti eterogenei di dimensioni fino a 3cm)
<b>SG19</b>	Rp	2,3	2,3	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore marrone-grigiastro, debolmente ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici)
	Ls	17,7	20	Limo sabbioso, di colore dal grigio-marroncino al grigio-marrone, debolmente ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei), con intercalati livelli sabbio-ghiaiosi di colore grigiastro
	Sg	6,5	26,5	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore dal grigio-marrone al grigio-marroncino e grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei di dimensioni fino a 3-4 cm), con intercalati livelli limo-sabbiosi debolmente ghiaiosi di colore grigio-marroncino
	Sg	3,5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore dal grigiastro al grigio-marroncino, tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici).
<b>SG20</b>	Rp	3,3	3,3	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore marrone-grigiastro, debolmente ghiaiosa (clasti eterogenei con diametro fino a 3-4 cm)
	Sg	2,5	5,8	Sabbia limosa, di colore dal marroncino al grigio-marrone, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici)



	Lg	9,2	15	Limo sabbioso, di colore dal grigio-marrone al grigio-marroncino, da debolmente ghiaioso a ghiaioso (clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei)
	Sg	10	25	Sabbia tra debolmente limosa e limosa, di colore dal grigio-marrone al grigio-marroncino e grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterometrici di dimensioni fino a 3-4 cm), con intercalati livelli limo-sabbiosi debolmente ghiaiosi di colore grigio-marroncino (18,40÷19,00m; 21,40÷22,00m)
	Sg	5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici).
<b>SG21</b>	Rp	4	4	Riperto eterogeneo costituito da sabbia limosa, di colore marrone-grigiastro, ghiaiosa (clasti e ciottoli eterogenei, frammenti di calcestruzzo ed elementi metallici)
	Ls	6	10	Limo sabbioso, di colore dal marrone al grigio-marroncino-beige, debolmente ghiaioso (clasti eterogenei, litici e pomicei) con intercalati livelli sabbio-ghiaiosi di colore grigio-marrone (6,80-7,00m)
	Sg	15	25	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigio-marrone, tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterogenei di dimensioni fino a 3-4 cm) con intercalati livelli limo-sabbiosi di colore nerastro
	Sg	5	30	Sabbia tra debolmente limosa a limosa, di colore grigiastro, tra debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (clasti eterogenei ed eterometrici).

**Tabella 1: Stratigrafie della campagna di indagine Luglio 2019**

Fonte: Appalto Specifico n.5

Prendendo come riferimento tutti i sondaggi eseguiti, che raggiungono in alcuni casi una profondità massima di 30m, è possibile ricostruire il seguente schema stratigrafico dell'area a terra del SIN di Bagnoli, dall'alto verso il basso:

- ✓ Terreni di riporto antropico/terreno vegetale, coltre di spessore variabile che rappresenta in massima parte i terreni affioranti nell'area di studio; costituito prevalentemente da depositi antropici in cui si può trovare materiale naturale di diversa granulometria e origine (sabbie, ciottoli e blocchi), scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale (loppe di altoforno e scorie di acciaieria), cineriti umifiche, blocchi in cls di vecchie fondazioni.
- ✓ Cinerite limoso-sabbiosa grigio chiara (Pozzolane chiare), cineriti vulcaniche che dal punto di vista granulometrico sono costituite in prevalenza da limi sabbiosi.
- ✓ Cinerite sabbioso-limosa grigio chiaro con lapilli e pomice, cineriti vulcaniche che dal punto di vista granulometrico sono costituite in prevalenza da sabbie limose
- ✓ Sabbia vulcanica di colore grigio scuro (Pozzolane scure).

Tale stratigrafia rappresenta una semplificazione di un deposito eterogeneo sia nella estensione areale del sito sia in quella verticale. Infatti, dal punto di vista stratigrafico si riscontra una certa omogeneità delle litologie presenti nell'area, seppur con eteropie verticali e orizzontali dei livelli delle differenti litologie.

## 3.2 GEOLOGIA DELL'AREA DELLA COLMATA

La colmata di Bagnoli venne 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. La realizzazione della colmata è stata eseguita con le seguenti opere:

- ✓ Diga di recinzione del tipo a scogliera con nucleo o mantellata in massi naturali;
- ✓ Colmata dietro alla recinzione dell'area compresa tra il pontile nord e la presa acqua in mare;
- ✓ Prolungamento dell'esistente canale di bonifica;
- ✓ Raccolta delle acque piovane e loro scarico mediante tombini attraverso la diga di recinzione

Nel 2001 è stata eseguita dall'Università degli Studi di Napoli "Federico II" un'analisi chimico-mineralogica su 12 campioni di riporto e sedimento (insaturi e saturi) prelevati in area di colmata.

I campioni sono stati suddivisi nelle quattro classi granulometriche (ghiaia, sabbia, limo e argilla): nella totalità dei campioni la frazione sabbiosa è risultata nettamente predominante (> 50 %), raggiungendo in alcuni casi il 90 % circa. La frazione argillosa risulta presente in poche unità percento e solo in due campioni supera il 5 %.

Dal punto di vista mineralogico si è rilevata una elevata concentrazione di calcite nella ghiaia alle quali si associano, in quantità subordinata, fasi silicatiche tipiche dei minerali vulcanici dell'area Flegrea. Le sabbie ed i limi sono caratterizzati dalla presenza di phillipsite, cabasite ed analcime che fanno ritenere che per la realizzazione della colmata siano stati utilizzati materiali ascrivibili alla formazione del Tufo Giallo Napoletano. Composizione analoga presenta anche la frazione argillosa.

Dal punto di vista chimico si sono riscontrate composizioni assolutamente paragonabili a quelle di materiali vulcanici abbondantissimi nell'area Flegrea.

Un'altra tendenza composizionale è risultata significativamente ricca in Calcio, Ferro e Magnesio e pressoché priva in Potassio ed Alluminio. La componente ricca in Ca, Fe e Mg, inoltre, tende ad aumentare significativamente nella fase granulometrica più grossolana, mentre la componente di tipo trachitico tende ad aumentare nel materiale più fine. Questo è indizio di un mescolamento meccanico di materiale chimicamente e granulometricamente eterogeneo.

Sulla base delle risultanze analitiche si è dedotto che il materiale analizzato possa essere la miscela di due componenti distinte: una di carattere trachitico di provenienza tipicamente flegrea (scarto di segazione del Tufo Giallo Napoletano e pozzolana), l'altra, calcico-ferrosa e povera in Silicio, di provenienza dalla produzione industriale.

L'area di Colmata di Bagnoli è caratterizzata da una coltre di riporto, insistente su un'area in pianta di 202734 m<sup>2</sup>, con spessore che oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 8.80 m, con una media pari a 4.82 m. 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 m<sup>3</sup>.

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; tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

Dalle diverse indagini svolte nell'area di colmata, in particolare i 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 quelle del 2021, si può estrapolare una stratigrafia di maggior dettaglio della colmata.

Da un punto di vista geologico l'area di colmata è costituita da tre differenti strati, di cui i primi due strati sono costituiti dal riporto antropico e lo strato di base invece rappresenta il sedimento naturale.

Nello specifico il primo strato, quello più superficiale e sottile, è costituito da riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa con clasti eterogeni ed eterometrici; alla base di questo strato si trova un telo di HDPE. Il secondo strato più spesso, rappresentante il corpo della colmata, è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa oppure da sabbia debolmente limosa/limo sabbioso tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei e eterometrici. Infine lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa.

### 3.3 GEOLOGIA DELLE AREE A MARE

L'area a mare del SIN Bagnoli Coroglio è rappresentata da una baia protetta del settore orientale del Golfo di Pozzuoli che comprende il settore di costa che va da Pozzuoli all'Isola di Nisida.

Tra i due pontili, ovvero il litorale che va da Bagnoli a Coroglio, è occupato dall'area di colmata, che ha alterato l'originaria morfologia costiera originaria, causando un avanzamento e la rettificazione di questo tratto della linea di costa.

In generale nel golfo di Pozzuoli, gli effetti della trasgressione marina olocenica (trasgressione Versiliana) si sono sommati a quelli dei moti bradisismici e vulcano tettonici che hanno portato alla sommersione o emersione di alcuni tratti di costa. Nel periodo 1982-1984 si sono verificate crisi bradisismiche che hanno determinato intense deformazioni nell'area di Pozzuoli ed un sollevamento della fascia costiera, più consistente nella zona occidentale e meno in quella orientale.

Da un punto di vista morfologico il Golfo di Pozzuoli è caratterizzato da una piattaforma costiera nella quale sono riconosciute spiagge sommerse, ampie superfici terrazzate (sia erosive sia deposizionali) disposte a diverse profondità e zone fortemente acclivi. Inoltre i fenomeni bradisismici hanno causato un innalzamento dei fondali.

Da un punto di vista geologico invece, il Golfo di Pozzuoli rappresenta la parte sommersa del sistema vulcanico dei Campi Flegrei; si tratta di una zona di sprofondamento vulcano-tettonico (collasso calderico) caratterizzata da sistemi di fratture anulari e radiali. Il golfo mostra una conformazione a catino, poiché rappresenta un'area di sprofondamento recente la cui parte centrale è priva di apparati vulcanici e in cui la sedimentazione marina è continua da oltre 15mila anni.

Si riconoscono 4 unità morfostrutturali principali:

- ✓ Una piattaforma costiera ubicata fino a 50m di profondità
- ✓ Una struttura vulcanica ad andamento subcircolare composta dai banchi sottomarini di Miseno, Penta Palumbo e Nisida e, in terraferma, dai vulcani Flegrei di Nisida e Capo Miseno
- ✓ Un'ampia depressione a forma subcircolare posta al centro del golfo ed originata da un fenomeno di collasso, delimitata dai suddetti banchi;
- ✓ Una piattaforma esterna ai banchi di probabile età Wurmiana.

Viene ipotizzato da Pescatore et al. (1984) che tutti questi elementi costituiscano un'unica struttura tettonica delimitata da due importanti faglie: la prima corrispondente al limite della piattaforma esterna e la seconda, ad andamento E-W, presente in terraferma a Nord di Pozzuoli.

La distribuzione dei sedimenti nel Golfo di Pozzuoli e nelle aree adiacenti è strettamente controllata dalle vicende climatiche e vulcanotettoniche dell'area. Si possono inoltre individuare tre zone; la prima corrisponde alla piattaforma litorale, fino a 15-20 m di profondità; qui sono presenti sabbie fini e grossolane, ricche in pomici; la seconda corrisponde alla scarpata (25-95m), caratterizzata dalla presenza di sabbie e silt sabbiosi con pomici grossolani.; la terza, e ultima, zona corrisponde alla depressione centrale del golfo ed è costituita da silt argillosi.

L'analisi della composizione mineralogica ha evidenziato che i granuli, che risultano poco elaborati e alterati, sono di origine vulcanica (sanidino, plagioclasti albitici, pirosseni e biotite); il vetro risulta la componente più abbondante. Tale composizione mineralogica permette di classificare il chimismo del vulcanesimo come trachitico o trachitico-alcalino. Molto probabilmente i materiali dei sedimenti marini provengono da trasformazione dei prodotti piroclastici che costituiscono gli affioramenti circostanti del Golfo di Pozzuoli. I materiali sono risultati essere costituiti normalmente da sabbie, mentre la frazione pelitica aumenta nelle aree più protette, caratterizzate da bassa energia, come ad esempio presso Nisida. La migrazione dei sedimenti nel settore occidentale del golfo di Pozzuoli avviene sia in senso antiorario (verso Baia) che in senso orario (verso Pozzuoli); nel settore orientale i sedimenti tendono a migrare verso Nisida dove, per la presenza del promontorio, s'instaura una circolazione secondaria con andamento orario.

Dalla batimetria (figura 6) si può osservare che, nell'area prospiciente la colmata e gli arenili, la pendenza del fondale marino, per una distanza di circa 800 m, presenta pendenza di circa 2% fino alla batimetrica -20. Dalla -20 fino alla -65 la pendenza aumenta fino a raggiungere valori di circa 5% per poi tornare a valore dell'1-2%.

Tale scarpata individuata tra la batimetrica -20 e -65 potrebbe indicare la separazione tra due unità morfologiche, già segnalate nelle note illustrative della cartografia di Napoli in scala 1:50000 di ISPRA, corrispondente nel Golfo di Pozzuoli ad una piattaforma litoranea ed un'area profonda morfologicamente piatta.

Uno studio batimetrico, di cui in figura 7 si riportano i risultati, è stato poi eseguito nel 2020.

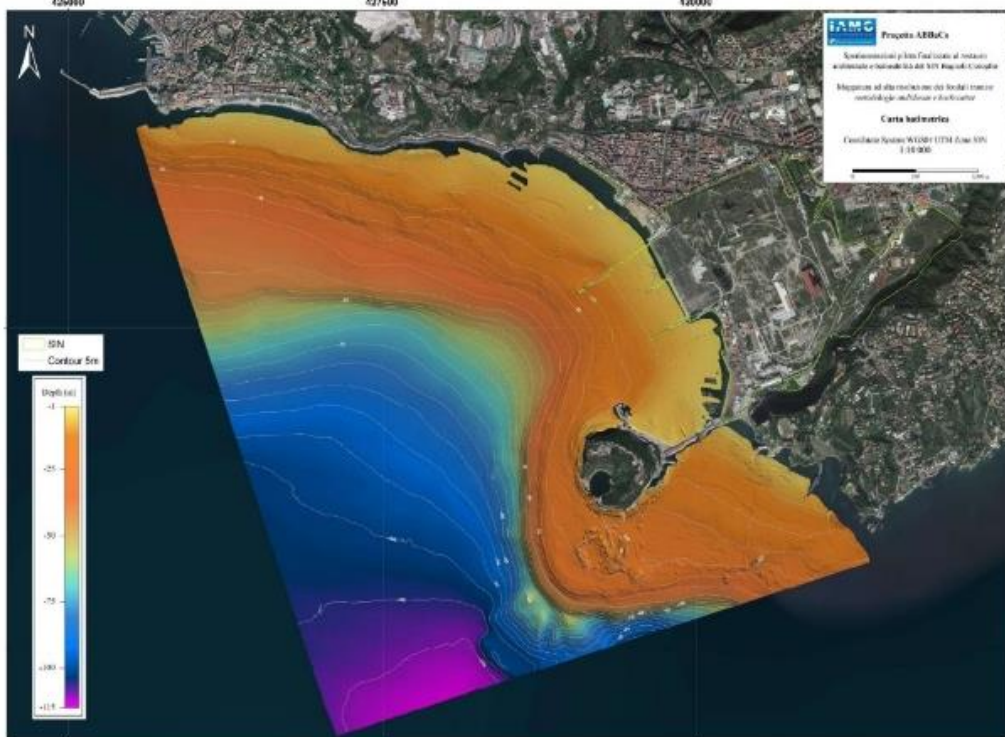
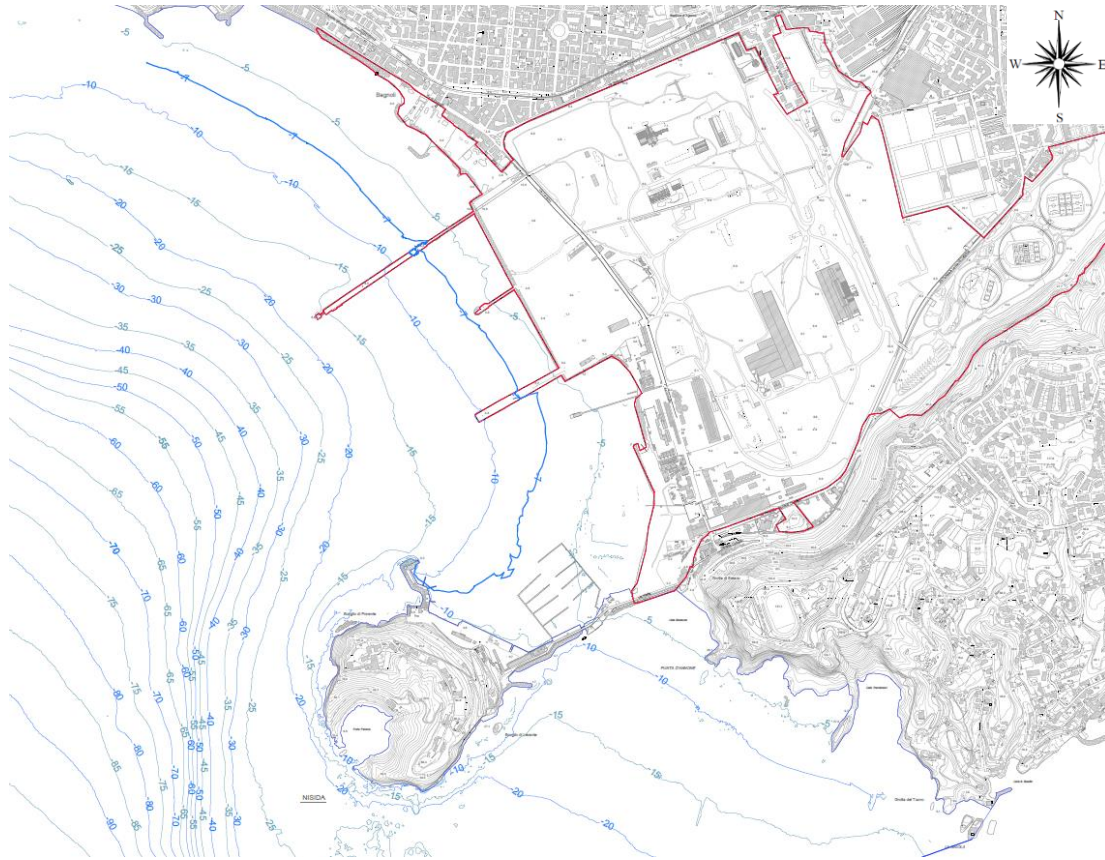


Figura 6: Batimetria progetto ABBaCo

## Relazione Geologica

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00 Rev. 0 – Luglio 2023



Figura 7: Batimetria 2020.

## 4 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

I Campi Flegrei sono un'area vulcanica complessa che comprende il territorio ad occidente della città di Napoli.

L'evoluzione geomorfologica olocenica di quest'area risulta scandita dalle principali vicende geo-vulcanologiche che hanno caratterizzato la storia eruttiva dei Campi Flegrei degli ultimi 40000 anni. Anche le variazioni del livello del mare, nel tempo e nello spazio, hanno contribuito al presente assetto geomorfologico.

A scala regionale i due elementi geo-vulcanologici e morfologici principali sono: il campo policraterico di Agnano e la dorsale di Posillipo.

Il campo di Agnano costituisce il margine nord-occidentale dei Campi Flegrei, mentre la collina di Posillipo ne costituisce il margine sud-orientale.

La conca di Agnano rappresenta con i suoi rilievi meridionali il margine settentrionale della piana, è un antico bacino di circa 6,5 km di perimetro circondato da relitti di diversi apparati vulcanici. Il fondo del bacino è a 2m sul livello del mare, mentre i punti più alti sono rappresentati da Monte Spina e Monte Sant'Angelo. Tutta la cinta della Conca di Agnano presenta un andamento complesso, derivante dall'intersezione e sovrapposizione di numerose morfologie vulcaniche. All'interno della conca si riscontra la presenza di terreni marini che segnalano un'inondazione della piana, antecedente all'eruzione di Monte Spina.

La dorsale di Posillipo si può considerare il bordo orientale della caldera flegrea. Il versante che affaccia sulla piana di bagnoli-Coroglio coincide con una ripida scarpata, dall'andamento disuniforme, caratterizzata da ampie aperture emicicliche probabili testimoni di un antico paesaggio vulcanico sepolto e collassato. La dorsale è debolmente inclinata verso SE e presenta il lato opposto, che affaccia sulla depressione, nettamente troncato, configurandosi chiaramente come orlo di sprofondamento vulcano-tettonico. Tale orlo è in rapido arretramento ad opera di processi erosionali quali frane, dilavamenti e erosione lineare, che hanno portato all'accumulo, alla base della scarpata, di uno spesso talus detritico. La scarpata dall'assetto subverticale, sospende sulla depressione flegrea, per oltre un centinaio di metri, la sommità subpianeggiante della dorsale.

La Collina di Posillipo, il cui versante nord-occidentale si affaccia sulla piana di Fuorigrotta Bagnoli, è formato in gran parte da Tufo Giallo Napoletano con una esigua copertura di prodotti incoerenti dell'attività recente dei Campi Flegrei. L'ingressione del mare unitamente all'erosione ha determinate l'accumulo, alla base della collina e nella piana, dei materiali sciolti causando l'innalzamento del fondo di quest'ultima e un raccordo più dolce con le pareti del versante. Il promontorio di Coroglio rappresenta la punta più avanzata della collina di Posillipo verso il mare e la sua naturale continuazione è rappresentata dall'isola di Nisida, che chiude ad oriente il Golfo di Pozzuoli.

L'isola di Nisida è un antico apparato vulcanico, classico esempio di tuff cone, costituito da Tufo giallo-grigiastro pseudo-stratificato. L'erosione dovuta all'azione del mare ha smantellato la parte sud occidentale del cono, lasciando un passaggio che consente l'ingresso all'interno del cratere. L'isola è collegata alla terraferma da un ponte realizzato nel 1953

### 4.1 GEOMORFOLOGIA LOCALE

L'area di Bagnoli Coroglio è situata nel settore orientale dei Campi Flegrei e confina a sud – sud est con il limite della caldera (rappresentato dal versante Coroglio-Posillipo). È caratterizzata, a Nord, dalla presenza del cratere di Agnano ed a sud dalla depressione di Bagnoli-Fuorigrotta.

La depressione di Bagnoli-Fuorigrotta, deve il suo assetto fisiografico alle vicende vulcaniche e vulcano-tettoniche succedutesi nel quaternario.

La piana di Bagnoli-Fuorigrotta si configura morfologicamente come una grande area pianeggiante affacciata a sud-ovest sul mare e circondata da una corona di rilievi, residui di coni craterici, appartenenti, quelli a sud-ovest (Nisida, Coroglio e Posillipo) al periodo di attività flegrea di circa 12000 anni fa, e quelli a nord-ovest (Agnano, Astroni, Solfatara, Colli Leucogeni, Monte Olibano) al periodo recente di attività flegrea di circa 9000 anni fa. Si ritiene che si sia formata 12000 anni fa in seguito all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano e allo sprofondamento calderico.

La piana si presenta con una forma triangolare e fisiografia costiera concava. Essa si estende per circa 4km, con direzione NE-SO, fino al mare dove si apre una spiaggia sabbiosa di circa 3km. Il lato sud-est è bordato dalla falesia della Collina di Posillipo mentre sul lato nord è presente una rottura di pendenza che rappresenta il raccordo con la Piana di Soccavo. Ad ovest la piana è delimitata da Monte Sant'Angelo e dalle pendici esterne del Monte Spina che, proseguendo fino al mare, ne chiudono il lato occidentale.

La pendenza, rivolta verso occidente è debole, la morfologia dolce, e tutta la pianura è ubicata a qualche metro sopra il livello marino attuale. Al suo interno si riscontrano due anomalie morfologiche: il Colle Santa Teresa, piccolo cono vulcanico e il gradino morfologico che sospende il Terrazzo di Bagnoli.

Tra gli abitati di Bagnoli e Cavalleggeri si riscontra la presenza del cono di tufo relitto di Santa Teresa, alto 37 m s.l.m. e con un diametro di 350m, oggi però risulta poco visibile a causa dell'intensa urbanizzazione dell'area.

L'area è caratterizzata da due evidenti domini geomorfologici: il terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta e la Piana di Coroglio, separati da una scarpatina erosionale interpretata come paleofalesia che si è probabilmente modellata quando il mare occupava l'attuale area della Piana.

La superficie del Terrazzo di Bagnoli Fuorigrotta ha un assetto morfo-topografico uniforme.

La Piana di Coroglio è caratterizzata da una vasta depressione centrale, che occupa quasi interamente gli ex complessi industriali ILVA ed ETERNIT, la cui superficie topografica è costantemente intorno ai 6 m di quota. Questa depressione centrale si trova alle spalle di un'area appena più elevata (1-2m) stretta ed allungata parallelamente alla costa da Coroglio a Bagnoli. Quest'area, sebbene totalmente alterata dalla urbanizzazione, rappresenta un antico cordone dunare costituito principalmente da depositi sabbiosi che si ritrovano sottostanti al detrito riportato e quindi ormai riconoscibili solo in sondaggio.

L'area centrale della Piana di Coroglio, quindi, si configura come una vasta e piatta depressione retrodunare sorretta verso mare da un cordone costiero. Tale depressione, essendo costituita da depositi limno-palustri doveva essere di origine continentale.

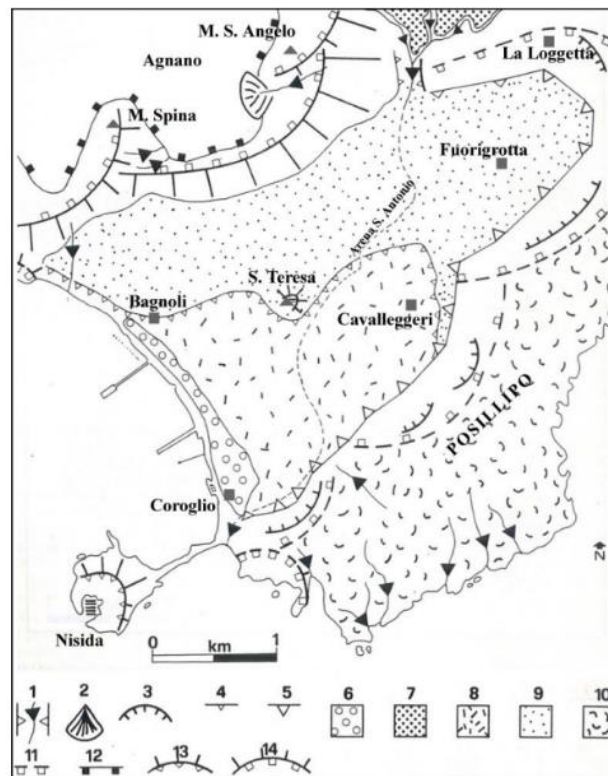


Figura 8: Carta geomorfologica semplificata dell'area di Bagnoli-Fuorigrotta. 1) Valloni di erosione torrentizia; 2) conoidi alluvionali; 3) versanti interessati da erosione diffusa o di tipo franso; 4) scarpata erosionale, "paleofalesia", che delimita il terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta; 5) scarpata 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).

Fonte: Russo e Calderoni, 1998 modificata

## 5 ASSETTO IDROGEOLOGICO

La circolazione idrica nella Piana Campana, che avviene in acquiferi dotati di permeabilità sia per porosità che per fratturazione, va dal bordo degli Appennini alla linea costiera. L'alimentazione è quindi appenninica, certamente in connessione con i complessi carbonatici posti sui rilievi e, in larga misura, in regime di falda libera. Il basamento di questo sistema può essere solo ipotizzato in strutture molto antiche; in certi casi il basamento può essere riconosciuto nel Tufo Grigio Campano.

Il senso generale del deflusso sotterraneo è fortemente condizionato all'altezza di Napoli dai due principali sistemi vulcanici: il Somma Vesuvio e i Campi Flegrei. Il Somma Vesuvio si colloca come uno sbarramento vero e proprio tra l'Appennino e il mare e tende ad imporre un andamento radiale al flusso idrico, per la morfologia pseudoconica dell'apparato vulcanico. 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.

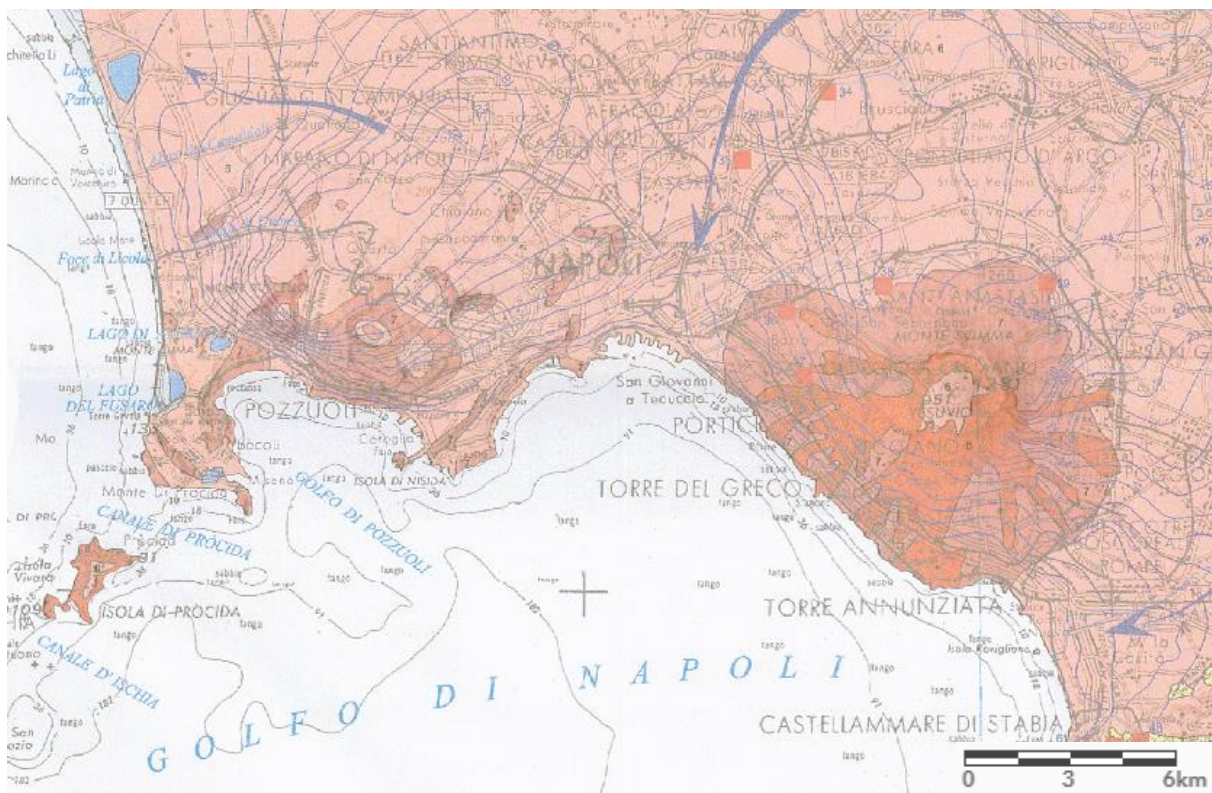


Figura 9 – Stralcio della carta idrogeologica dell'Italia Meridionale - Celico et al., 1997.

Fonte ISPRA – Portale Servizio Geologico d'Italia

Il Sistema idrico dei Campi Flegrei caratterizza la porzione occidentale del territorio di Napoli. L'ampio complesso vulcanico è contraddistinto dai residui di un apparato vulcanico principale e numerosi apparati secondari; gli elementi strutturali significativi sono gli orli della caldera che costituiscono un gruppo di strutture ben identificate il cui perimetro può essere preso come limite di separazione dal resto del sistema acquifero sotterraneo campano.

L'attività flegrea, che ha determinato la complessa evoluzione vulcano-tettonica del territorio, a partire dal Pleistocene superiore, si è manifestata con una serie di eruzioni, principalmente a carattere esplosivo, da numerosi centri eruttivi concentrati in una ristretta area. A testimonianza degli eventi esplosivi vi è la netta prevalenza di prodotti piroclastici a composizione alcali-trachitica e i numerosi crateri geneticamente connessi a questa tipologia di evento.

Il susseguirsi di numerosi eventi a carattere esplosivo ha determinato una stratigrafia complessa derivante dalla sovrapposizione di prodotti piroclastici variabili in granulometria, spessore ed estensione laterale. 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 accentuate 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).

I litotipi rilevati in area flegrea possono essere raggruppati in tre complessi idrogeologici, che nell'insieme costituiscono un acquifero molto eterogeneo e fortemente anisotropo dove prevalgono i litotipi tufacei:

- ✓ *Complesso delle piroclastiti e dei detriti alluvionali incoerenti*: costituito dalle formazioni più recenti è caratterizzato da permeabilità per porosità variabile da media a bassa per la presenza di abbondante matrice cineritica.
- ✓ *Complesso dei tufi*: presente a notevole profondità (in seguito al ribassamento a gradinata post-calderico) è costituito da Tufo Grigio Campano e Tufo Giallo Napoletano, caratterizzato da permeabilità per porosità e fratturazione bassa.
- ✓ *Complesso delle lave*: e delle scorie con permeabilità elevata sia per fessurazione (lave) che per porosità (scorie)

L'alimentazione avviene per infiltrazione diretta, lungo i bordi del perimetro principale del sistema acquifero, in corrispondenza della fitta rete di fratture e in corrispondenza dei bordi della caldera ove la tettonizzazione ha favorito la circolazione idrica anziché impedirla. La zona flegrea presenta un'alimentazione dovuta esclusivamente ad acque di infiltrazione, mentre l'area di ricarica principale della falda è rappresentata dalla zona di alto idrogeologico compresa tra Marano e il retroterra di Pozzuoli, presso la zona di Pianura e Quarto.

Il deflusso è orientato lungo direttrici principali disposte in modo perpendicolare alla linea di costa. Le linee piezometriche infatti indicano un flusso verso mare: orientate da N a S nel settore meridionale dei campi flegrei e da ENE a WSW nel settore occidentale. Il principale recapito finale è rappresentato dal mare e il gradiente idraulico è variabile da 0.5% a 1%.

Dal punto di vista qualitativo significativi sono gli effetti indotti dalle attività antropiche ai quali si sommano l'interazione delle acque di falda con fluidi di origine profonda. L'intensa attività vulcanica antica e recente è responsabile di manifestazioni idrotermali a medio-alta entalpia, concentrate principalmente nel settore costiero meridionale (Cratere Solfatara ed area Bagnoli-Mofete-Baia), in corrispondenza dell'incrocio di motivi tettonici regionali e fratture vulcano-tettoniche locali.

I fenomeni idrotermali sono ascrivibili alla presenza, in profondità, di un corpo magmatico che surriscalda, per conduzione, la falda marina profonda, nonché ai moti convettivi che si creano in questa e ai vapori che risalgono attraverso vie preferenziali. Si crea, in tal modo, un riscaldamento della falda d'acqua dolce superficiale che galleggia su quella marina, dando luogo a scaturigini termali. Queste a seconda delle condizioni idrodinamiche locali, della maggiore o minore presenza di fratture che consentono la risalita dei vapori profondi, e dello spessore della falda d'acqua dolce, presentano temperature diverse ed un diverso mescolamento con le acque marine profonde.

## 5.1 IDROGEOLOGIA LOCALE

Le acque sotterranee della Piana di Bagnoli, ricaricate direttamente dalle precipitazioni, fanno parte di un più ampio corpo idrico sotterraneo che interessa tutta l'area dei Campi Flegrei con recapito finale direttamente al mar Tirreno.

L'area del SIN di Bagnoli Coroglio è caratterizzata dalla presenza di una falda acquifera superficiale; un aspetto da considerare è quindi la possibilità dell'interferenza della falda con le opere di bonifica.

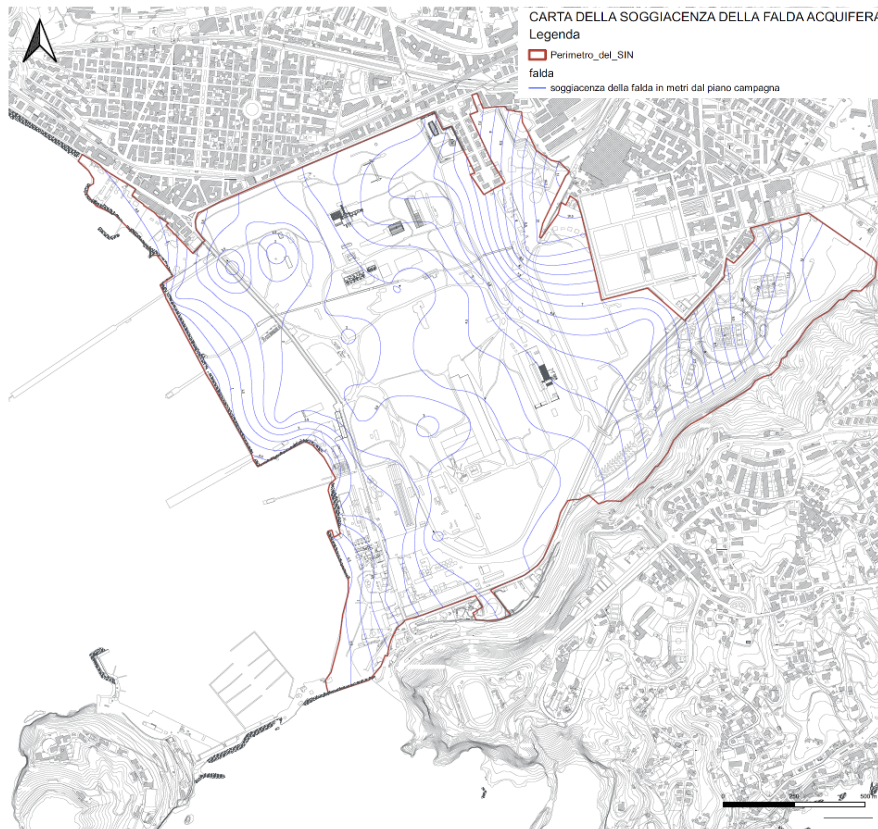


Figura 10 – Carta della soggiacenza della falda acquifera. Fonte: PFTE

Dall'analisi dei dati raccolti sulla soggiacenza della falda nel PFTE si evidenzia che la falda ha una soggiacenza variabile nell'area del SIN da valori di 0.5 m dal p.c. in prossimità della costa ad un valore massimo di 11 m dal p.c. al limite settentrionale del SIN (figura 10). Per la colmata i valori oscillano da 0.5 a 3 metri dal p.c.; Il settore delle aree a terra invece si può suddividere in due fasce: una prima, più estesa in cui i valori variano da 3 a 5 m dal p.c. e una seconda, quella nella parte settentrionale del SIN, meno estesa in cui i valori variano da 5 a 11 m dal p.c.

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 sia caratterizzato da due unità idrogeologiche sottostanti a una coltre di riporti antropici. Nei terreni di riporto, che rappresentano 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 loro estrema eterogeneità e al diverso grado di compattazione. Le due unità idrogeologiche non differiscono in modo netto e si può affermare che si tratta di un modello di circolazione monofalda a "due velocità" visto che i valori di conducibilità orizzontale differiscono di quasi un ordine di grandezza. In particolare:

- ✓ unità idrogeologica 1 fino a 15 m dal p.c. costituita da una litologia prevalentemente sabbioso limosa e /o limoso sabbiosa con valore medio di  $K_h = 2.87E-5$  m/s
- ✓ unità idrogeologica 2 oltre 15 m da p.c. costituita da una litologia di sabbia debolmente limosa-ghiaiosa con valore medio di  $K_h = 8.68E-5$  m/s

La ricostruzione delle isofreatiche, basata principalmente sulle misure piezometriche eseguite in piezometri superficiali (10 m da p.c.) permettono di osservare una falda che, nella parte più superficiale è influenzata dalla presenza sul sito di strutture antropiche sepolte. L'ipotesi derivata da questo schema di falda è la presenza di uno spartiacque nelle zone baricentriche dell'area ex-Ilva e di due probabili assi di drenaggio principale.

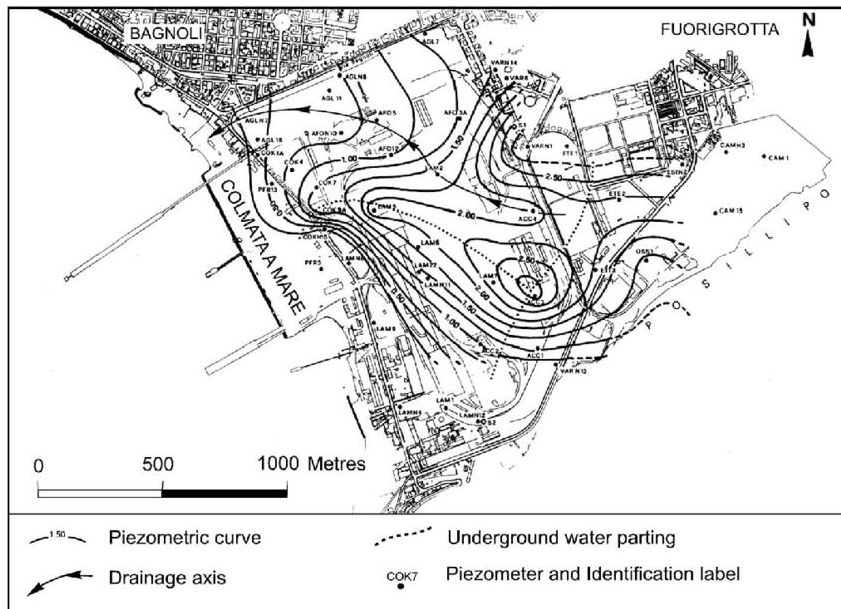


Figura 11 – Morfologia della superficie piezometrica ottenuta da piezometri superficiali e profondi. Fonte - Celico et al., 1999

Per quanto riguarda i parametri chimico-fisici (temperature, ph, conducibilità idraulica, potenziale redox, ossigeno disciolto) si può far riferimento alle diverse analisi e piani di caratterizzazioni svolte negli anni. Dalle analisi chimiche si evince una contaminazione delle acque da idrocarburi totali ed IPA; in particolare i contaminanti più critici, per numero di superamenti negli anni di monitoraggio, risultano essere il Benzo- $\alpha$ -Pirene ed il Benzo-g-h-i-Perilene (idrocarburi policiclici aromatici), mentre per gli inorganici in particolare fluoruri e cianuri. Inoltre vi sono notevoli riscontri di concentrazioni superiori ai limiti normativi per diversi metalli, tra cui arsenico ferro e manganese, la cui presenza può però essere ricondotta anche a fenomeni naturali, dovuti alla risalita di flussi geotermici caratterizzanti tutta l'area flegrea.

## 6 INDAGINI

La mole di informazioni e dati inerenti l'area del SIN è imponente essendo stata indagata a partire dal 1997, anno della prima campagna di caratterizzazione, alla quale si sono aggiunte negli anni numerose campagne di indagini geognostiche in prevalenza di tipo ambientale e subordinatamente geotecniche che hanno consentito un progressivo infittimento e un maggiore dettaglio delle informazioni analitiche.

Le numerose indagini ambientali sono state eseguite, nel tempo, per dettagliare le conoscenze del quadro ambientale delle aree ricomprese nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio, venendo strutturate con sondaggi ambientali, campionamenti di terreni per analisi chimiche di laboratorio su composti volatili e composti non volatili e campionamenti di acque superficiali e profonde.

Le indagini geognostiche invece sono state eseguite con lo scopo di delineare il modello geologico – geotecnico preliminare dell'area di studio attraverso il riconoscimento dei depositi presenti in sito, dei loro rapporti stratigrafici e della loro storia geologica, consentendo di mettere a punto un quadro preliminare sulla caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni ricadenti nell'area di progetto.

Le indagini geognostiche hanno compreso indagini dirette e indagini indirette e hanno comportato l'esecuzione di:

- ✓ Sondaggi geognostici, ambientali e geotecnici, superficiali e profondi
- ✓ Piezometri per misurare la profondità (soggiacenza) della falda acquifera con lo scopo di ricostruire la geometria della superficie freatica e di definire le direzioni di deflusso; monitoraggio parametri chimico-fisici delle acque sotterranee (temperatura, pH, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, potenziale di ossido-riduzione)
- ✓ Prove di permeabilità di tipo Lefranc e Slug Test, prove di pompaggio
- ✓ Prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test – SPT) e prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH)
- ✓ Prospezioni di sismica a rifrazione, MASW, geoelettrica e georadar, magnetometriche
- ✓ Prove geotecniche di laboratorio per la definizione di granulometria, indici e proprietà fisico meccaniche

Indagini	Anno	Area	Tipo	Note
Piano di caratterizzazione Bagnoli Futura (fase 1)	1997-1998	ILVA-ETERNIT	Indagini geognostiche ed ambientali	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 Sondaggi profondi (di cui 6 in area industriale condizionati a piezometro e due all'esterno dell'area industriale).</li> <li>- 207 sondaggi superficiali di cui 24 condizionati a piezometro</li> <li>- 905 campioni rimaneggiati di cui 621 sottoposti ad analisi chimiche e 28 campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio.</li> <li>- Prove SPT</li> <li>- Prospezioni di sismica a rifrazione, geoelettrica e georadar (solo in area eternit)</li> </ul>
Piano di caratterizzazione Bagnoli Futura (fase 2)	1999	ILVA-ETERNIT	Indagini geognostiche ed ambientali	2089 carotaggi, 5976 campioni, analisi chimiche (metalli pesanti e composti organici), prove geotecniche di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico meccaniche dei litotipi intercettati nel corso dei sondaggi geognostici, prove SPT
Campagna di indagini sulla colmata	1997	Colmata	Indagini geognostiche	19 sondaggi esplorativi
Caratterizzazione Colmata Bagnoli SpA	1999	Area Colmata	Rilevamento geologico idrogeologico e geochimico	329 carotaggi, realizzati su maglia 25 x 25 m, che hanno interessato i riporti ed i sedimenti insaturi; l'installazione di 6 piezometri spinti a profondità di -5 m al di sotto del livello di falda ed attestati in parte nel riporto in parte nel sedimento; analisi chimiche.
Caratterizzazione Colmata Bagnoli SpA	2000	Area Colmata	Rilevamento geologico idrogeologico e geochimico	80 carotaggi, realizzati su maglia 50 x 50 m, che hanno interessato i riporti ed i sedimenti saturi; l'installazione di 9 piezometri spinti a profondità di -5 m al di sotto della base del riporto e quindi attestati nel sedimento e di 1 piezometro spinto fino alla profondità di -54 m dal p.c. per il rilievo dell'interfaccia acqua dolce - acqua salata; analisi chimiche
Piano di caratterizzazione ARPAC	2007-2008	Area SIN	Indagini geognostiche ed ambientali	141 sondaggi, campionamento di terreni e acque per analisi chimiche; installazione di 38 piezometri per misurare la profondità (soggiacenza) della falda acquifera con lo scopo di ricostruire la geometria della superficie freatica e di definire le direzioni di deflusso; monitoraggio parametri chimico-fisici delle acque sotterranee (temperatura, pH, conducibilità elettrica,

				ossigeno disciolto, potenziale di ossidoriduzione)
Piano di Caratterizzazione Integrativa delle aree ex ILVA ed ex ITALSIDER del Sito di Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio	2017	Area SIN	Indagini geognostiche ed ambientali	228 sondaggi ambientali, prelievo di 615 campioni ambientali da sottoporre ad analisi chimiche, 137 campioni ADR di terreno insaturo/saturo da sottoporre ad analisi chimiche per la definizione di parametri sito specifici, prelievo di 49 campioni di terreno per esecuzione di test di cessione secondo, 2 campioni di sedimento da sottoporre ad analisi chimiche; allestimento di 10 piezometri e prelievo di 36 campioni di acque sotterranee provenienti in parte dai 10 piezometri nuovi e in parte dalla rete di 26 piezometri già esistenti da sottoporre ad analisi chimiche; prelievo di 12 campioni di acque superficiali da sottoporre ad analisi chimiche; prelievo di 8 campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove geotecniche; monitoraggio livello di falda nei piezometri; esecuzione di 6 prove SPT; esecuzione di 10 prove di permeabilità di tipo Slug Test; prelievo di 5 campioni di Top Soil; indagini magnetometriche e georadar
Campagna di indagini geognostiche e geofisiche per gli "Interventi prioritari in area ex Eternit finalizzati al completamento della bonifica"	2017	Area Eternit ex	Indagini geognostiche ed ambientali	10 sondaggi geognostici-geotecnici con 4 prove SPT per sondaggio e prelievo di 2 campioni indisturbati e 4 campioni rimaneggiati per ogni verticale da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio per la definizione di granulometria, indici e proprietà fisico meccaniche (10 sondaggi a carotaggio continuo e un totale di 40 prove spt, 20 campioni indisturbati); 13 sondaggi ambientali e 4 campioni rimaneggiati per sondaggio. prove sismiche attive di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di ottenere il profilo di velocità delle onde S in corrispondenza di 7 stese sismiche.
Piano di caratterizzazione Invitalia	2017	Area Colmata di	Indagini geognostiche ed ambientali	15 Sondaggi; test di cessione

<p>Analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio</p>	<p>2018</p>	<p>Area SIN</p>	<p>Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 1</p>	<p>Realizzazione di n.7 campi prova di Bio-Phytoremediation; Realizzazione di impianto di irrigazione all'interno dei campi prova di Bio-phytoremediation; Realizzazione di n.30 sondaggi geognostici all'interno dei campi prova di Bio-Phytoremediation; Prelievo ed analisi di n. 60 campioni di terreno provenienti dai suddetti sondaggi; Prelievo ed analisi di n. 7 campioni di suolo agronomico provenienti dai suddetti sondaggi; Realizzazione di n.17 piezometri in prossimità dei campi prova di Bio-Phytoremediation; Prelievo ed analisi di n. 17 campioni di acqua sotterranea; Prelievo ed analisi di n. 1 campione di acqua sottoposto a verifica di qualità per impianto di irrigazione; Analisi chimiche di laboratorio</p>
<p>Piano di caratterizzazione di dettaglio nell'ambito delle attività "Esecuzione indagini ambientali e geotecniche da realizzarsi sull'area di colmata del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio"</p>	<p>2018</p>	<p>Area di Colmata</p>	<p>Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 2</p>	<p>66 Sondaggi geognostici, 198 campioni di terreno proveniente da suddetti sondaggi da sottoporre ad analisi chimiche, 193 campioni di terreno provenienti da suddetti sondaggi da sottoporre a test di cessione. 64 prove penetrometriche dinamiche pesanti; analisi chimiche di laboratorio sui campioni prelevati.</p>
<p>Indagini idrogeologiche e monitoraggio acque di falda</p>	<p>2019</p>	<p>Area SIN</p>	<p>Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 3</p>	<p>25 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di tipo ambientale; 3 sondaggi geognostici con prelievo di campioni indisturbati per prove geotecniche di laboratorio ed esecuzione di prove penetrometriche in foro di tipo SPT; prove di permeabilità di tipo Lefranc in 18 sondaggi e prove di pompaggio in 4 pozzi; indagini geofisiche: 1 prospezione sismica M.A.S.W. 3 prospezioni georadar</p>
<p>Indagini geotecniche finalizzate alla determinazione dei parametri</p>	<p>2019</p>	<p>Area SIN</p>	<p>Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e</p>	<p>25 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove penetrometriche in foro tipo SPT; esecuzione di 27 prove penetrometriche</p>

fisico meccanici dei terreni - Esecuzione di sondaggi, indagini geotecniche, idrauliche			sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 5	pesanti tipo DPSH; Prospezioni magnetometriche e georadar
Manutenzione e controllo campi prova bio-phytoremediation	2019-2020	Area SIN	Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 6	Realizzazione di n.14 sondaggi geognostici all'interno dei campi prova di Bio -Phytoremediation; Prelievo ed analisi di n. 14 campioni di terreno provenienti dai suddetti sondaggi; Prelievo ed analisi di n. 17 campioni di acqua sotterranea dai piezometri di controllo delle celle Bio Phytoremediation; Prelievo ed analisi di n. 17 campioni di acqua sotterranea dai piezometri di controllo delle celle Bio-Phytoremediation
Analisi chimiche delle acque in ingresso agli impianti TAF	2019	Aree ex Ilva ex Italsider e arenili	Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 7	Attività di prelievo acque in ingresso agli impianti di trattamento acque di falda TAF1 e TAF2 dai 4 rami di adduzione presenti; Analisi chimiche di laboratorio sui 36 campioni ambientali;
Prelievo Campioni, Analisi di laboratorio, indagini Georadar nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio	2018-2019	Area SIN	Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 8	Decespugliamento percorso condotta premente; Pulizia Canale Biancettaro; Prelievo campioni infrastrutture in cemento mediante microcarote; Analisi chimiche di laboratorio; Esecuzione georadar al fine di rintracciare il percorso della condotta premente;
Analisi chimiche acque di falda prelevate dai pozzi della barriera idraulica	2019	Area SIN	Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio	Attività di campionamento e analisi delle acque di falda



			- Appalto Specifico 9	
Sondaggi arenili e colmata	2021	Arenili Colmata e	Accordo Quadro per l'affidamento di servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio - Appalto Specifico 18	56 sondaggi geognostici ambientali all'interno dell'area di colmata; 12 sondaggi geotecnici all'interno dell'area di colmata; 21 sondaggi geognostici ambientali insistenti sulle aree degli arenili; Prelievo ed analisi di 168 campioni di sedimento provenienti dai suddetti sondaggi in area di colmata e 63 campioni di terreno provenienti dalle perforazioni in aree arenili. Prelievo di campioni indisturbati da sondaggi geotecnici.
Caratterizzazione ICRAM	2004-2005	Aree a mare e arenili	Caratterizzazione sedimenti e indagini ambientali	85 carotaggi e 40 prelievi di campione superficiale sui fondali, 20 carotaggi sugli arenili, per un numero totale di campioni pari a n. 646, su n. 446 sono state eseguite analisi chimico-fisiche e microbiologiche,
Analisi chimica e mineralogica Università Federico II di Napoli	2001	Area Colmata di	Caratterizzazione sedimenti	Analisi chimico-mineralogica su 12 campioni di riporto e sedimento (insaturi e saturi) prelevati in area di colmata.
Sondaggi realizzati per ACWS	2011	Area Colmata di	Indagini geognostiche	12 Sondaggi di cui 3 attrezzati a piezometro
Piano di caratterizzazione nell'ambito del progetto di ricerca Sperimentazioni Pilota Finalizzata al "Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio" (ABBaCo)	2017	Aree a mare	Indagini geognostiche e ambientali	Prelievo di 32 campioni di sedimento superficiale sui fondali ed esecuzione di analisi granulometriche, mineralogiche e chimiche Prelievo per la caratterizzazione della macrofauna bentonica Esecuzione di carotaggi sui fondali Prelievo di organismi marini per le analisi di bioaccumulo e biomarker Prelievo per la caratterizzazione della fauna ittica Rilievo geofisico morfo-batimetrico utilizzando metodologie multibeam e backscatter per la realizzazione di una mappatura di alta definizione dei fondali del SIN.

Tabella 2 – Sintesi delle Indagini svolte, in vari ambiti, nell'area del SIN Bagnoli Coroglio.

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO

La sismicità dei Campi Flegrei è intrinsecamente collegata alla dinamica dell'attività vulcanica e al fenomeno del bradisismo, movimento lento del suolo che si manifesta con un abbassamento del suolo alternato a periodi di sollevamento.

La sismicità di questa fascia costiera tirrenica è di intensità minore rispetto a quella localizzata in catena appenninica. Quest'area vulcanica è infatti caratterizzata da una sismicità che si è mantenuta su livelli di energia relativamente bassi, con magnitudo che raramente hanno superato  $M = 3.0$ . Mentre il meccanismo prevalente di fagliazione è per entrambe le zone quello normale l'intervallo di profondità è significativamente diverso, in area flegrea i terremoti sono localizzati più in superficie rispetto ai terremoti appenninici, per lo più tra 1 e 5km.

L'inizio della descrizione della sismicità dei Campi Flegrei risale all'eruzione del Monte Nuovo del 1538 che, secondo documenti storici, sarebbe stata preceduta da terremoti. Dopo alcuni secoli di subsidenza successive a quest'ultima eruzione, la caldera dei Campi Flegrei mostra una ripresa della fase di sollevamento.

Negli ultimi decenni si sono verificate tre importanti fasi di sollevamento, 1950-1952, 1969-1972, 1982-1984, accompagnati anche da attività sismica.

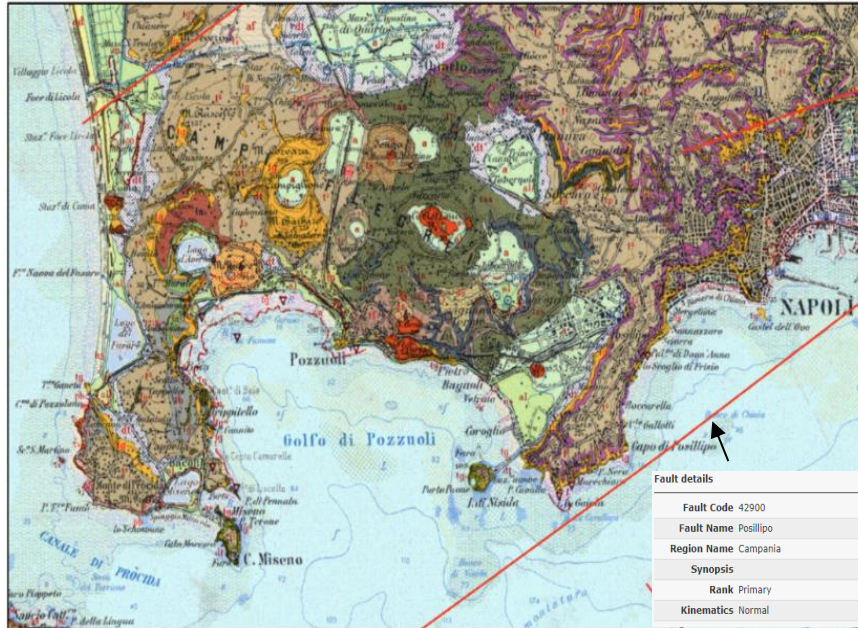
Nel 1970-1972 la sismicità è di moderata intensità con alcune centinaia di eventi vulcano-tettonici con Magnitudo  $< 2$ . La crisi sismica più importante è quella verificatasi tra il 1982-1984 quando in occasione di un sollevamento complessivo di 179cm sono stati registrati più di 16000 terremoti vulcano-tettonici con magnitudo massima  $M_I = 4.2$ ; la sequenza sismica che caratterizza questo periodo è la più rilevante registrata nell'area in termini di numero ed energia degli eventi.

Dopo questo secondo episodio, il bradisismo ha invertito la tendenza con un lento abbassamento del suolo, interrotto da brevi e poco intensi momenti di sollevamento, generalmente accompagnati da attività sismica di bassa energia, che si originano a piccola profondità (1-2km). Questi brevi eventi di sollevamento dal 2000 sono diventati più persistenti ed intensi e connessi con sciami sismici di bassa energia, principalmente caratterizzati da eventi vulcano-tettonici in alcuni casi anche da attività sismica a bassa frequenza.

L'attività sismica a bassa frequenza è stata ampiamente osservata in relazione alle attività magmatiche e idrotermali in aree vulcaniche ed è stata riconosciuta come un fenomeno precursore per l'attività eruttiva. Questi eventi sono particolarmente importanti nella quantificazione dei processi vulcanici ed idrotermali, poiché consentono di ricostruire le proprietà del sistema sorgente di questi eventi e quindi lo stato di criticità del sistema vulcanico.

In definitiva, negli ultimi trent'anni nei Campi Flegrei i segnali sismici che vengono rilevati sono essenzialmente costituiti da eventi vulcano tettonici e in misura minore da eventi a bassa frequenza. Queste caratteristiche della sismicità tendono ad evidenziare come ai Campi Flegrei gioca un ruolo fondamentale la dinamica del sistema idrotermale. Infatti, essa definisce l'interazione dei fluidi con le rocce circostanti nella generazione dei segnali sismici sia di tipo LP, dovuti alle variazioni della pressione di poro per la migrazione di fluidi attraverso le fratture, sia di tipo VT, a causa della riduzione della resistenza al taglio delle rocce a seguito della diffusione di fluidi nelle rocce.

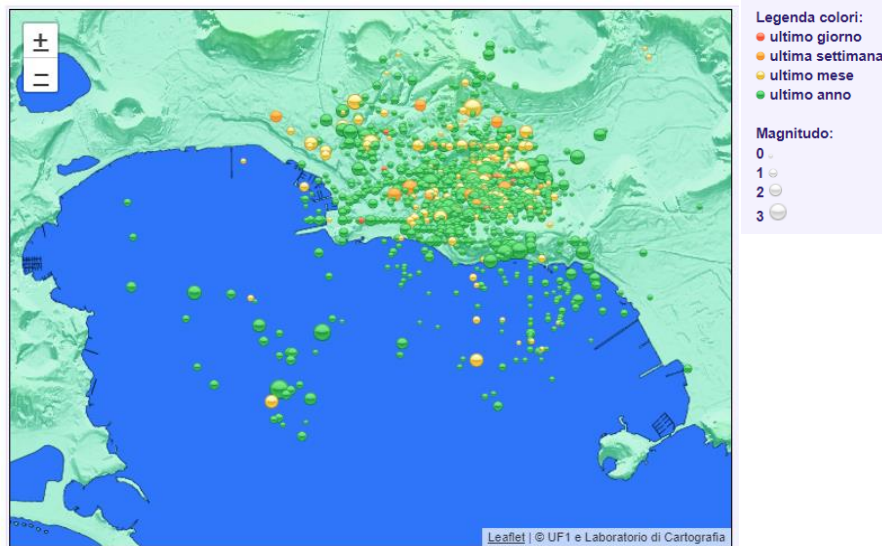
Le faglie attive e capaci, definite come attive le strutture tettoniche che si sono mosse nel recente passato geologico e che potenzialmente sono in grado di riattivarsi in un arco temporale di interesse e come capaci quelle faglie attive che ha un significativo potenziale di deformazione in corrispondenza o in prossimità della superficie. Secondo il database *Ithaca* di Ispra – Portale del Servizio Geologico d'Italia – l'area del SIN Bagnoli-Coroglio è prossima alla faglia denominata *Posillipo* (figura 12).



Fault description			
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>			
Fault Code	42900		
Fault Name	Posillipo		
Region Name	Campania		
Tectonic Environment	ND		
System Name	Posillipo		
Synopsis			
Rank	Primary		
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>			
Segmentation	Single Segment		
Average Strike (°)	50		
Dip (°)	Undefined		
Dip Direction	SE		
Fault Length (km)	35.1		
Mapping Scale	1:		
Fault Depth (m)			
Kinematics	Normal		
<b>ACTIVITY</b>			
Surface Evidence	ND		
Last Activity	Pleistocene generic		
<b>SLIP PARAMETERS</b>			
Recurrence Interval (yr)			
Slip Rate (mm/yr)	7.00		
Max Credible Rupture Length (km)			
Max Credible Slip (m)	11,000.00		
Time Since Last Event (yr)			
Max Known Magnitude (Mw)			
Max Known Intensity (MCS)			
Known Seismic Events			
<b>FINAL REMARKS</b>			
Capability Consensus	Low reliability		
Study Quality	FAIR		
Notes			
Fault Trace Reference			
Last Update			
<b>REFERENCES</b>			
Authors	Title	Reference	Year
Ascone A. & Cinque A. (a cura di) (1999) Progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili" - Faglie attive in Italia Meridionale - U.R. Università di Napoli G.N.D.T. Internet site 1999			

Figura 12 – In alto: stralcio della Carta delle faglie attive e capaci Ithaca, su base della carta geologica in scala 1:100000 – Golfo di Pozzuoli – Faglia Posillipo. In basso: Caratteristiche geometriche e referenze della Faglia Posillipo. Fonte: ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia – ITHACA Catalogo delle faglie attive e capaci.

L'INGV attraverso l'Osservatorio Vesuviano monitora una serie di stazioni sismiche l'attività sismica dei Campi Flegrei. Nell'ultimo anno ci sono state bene 143 scosse con magnitudo compresa tra 1 e 3 e tutti con profondità superficiali, sempre entro i primi 5 m di profondità. In particolare, il 5 Maggio del 2023 si è verificato un sisma di magnitudo 3.0 che insieme all'evento del 26 Aprile 2020 di magnitudo 3.1 (il principale evento di uno sciame sismico costituito da 24 scosse verificatesi nella notte del 26 Aprile 2020) corrispondono ai valori massimi registrati negli ultimi 15 anni. Tale attività conferma che il bradisismo dell'area di Pozzuoli non si ferma (figura 13).



**Figura 13 - Distribuzione degli eventi sismici relative all'ultimo anno registrati dalla rete di stazioni sismiche dell'Osservatorio Vesuviano** Fonte: <http://sismolab.ov.ingv.it/sismo/index.php?PAGE=SISMO/last&area=Flegrei> / Database Sismologico INGV-OV

Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio sito specifico, partendo dalla pericolosità sismica di base del territorio nazionale. Il SIN Bagnoli-Coroglio ricade in un'area con pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (PGA) di 0.150-0.175 g ed è prossima ad aree con pericolosità sismica inferiore (figura 14).

La magnitudo attesa per il sito, riferita alla pericolosità sismica di base, in termini di disaggregazione sismica del valore di  $a_g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ha valori medi pari a  $M=5$  per una distanza dalla sorgente sismogenetica compresa tra 0 e 10 Km. Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il sito di Bagnoli ricade nella zona 928 Ischia-Vesuvio caratterizzata da una  $M_w$  max=5.91

La strategia progettuale, in riferimento al calcolo delle azioni sismiche previste dalle NTC18, è quella di considerare le opere definite in classe d'uso II con vita nominale variabile da  $V_n=50$ . Infatti, ricordiamo che le opere di bonifica dal punto di vista ingegneristico riguarderanno scavi che in alcuni casi verranno consolidati pali.

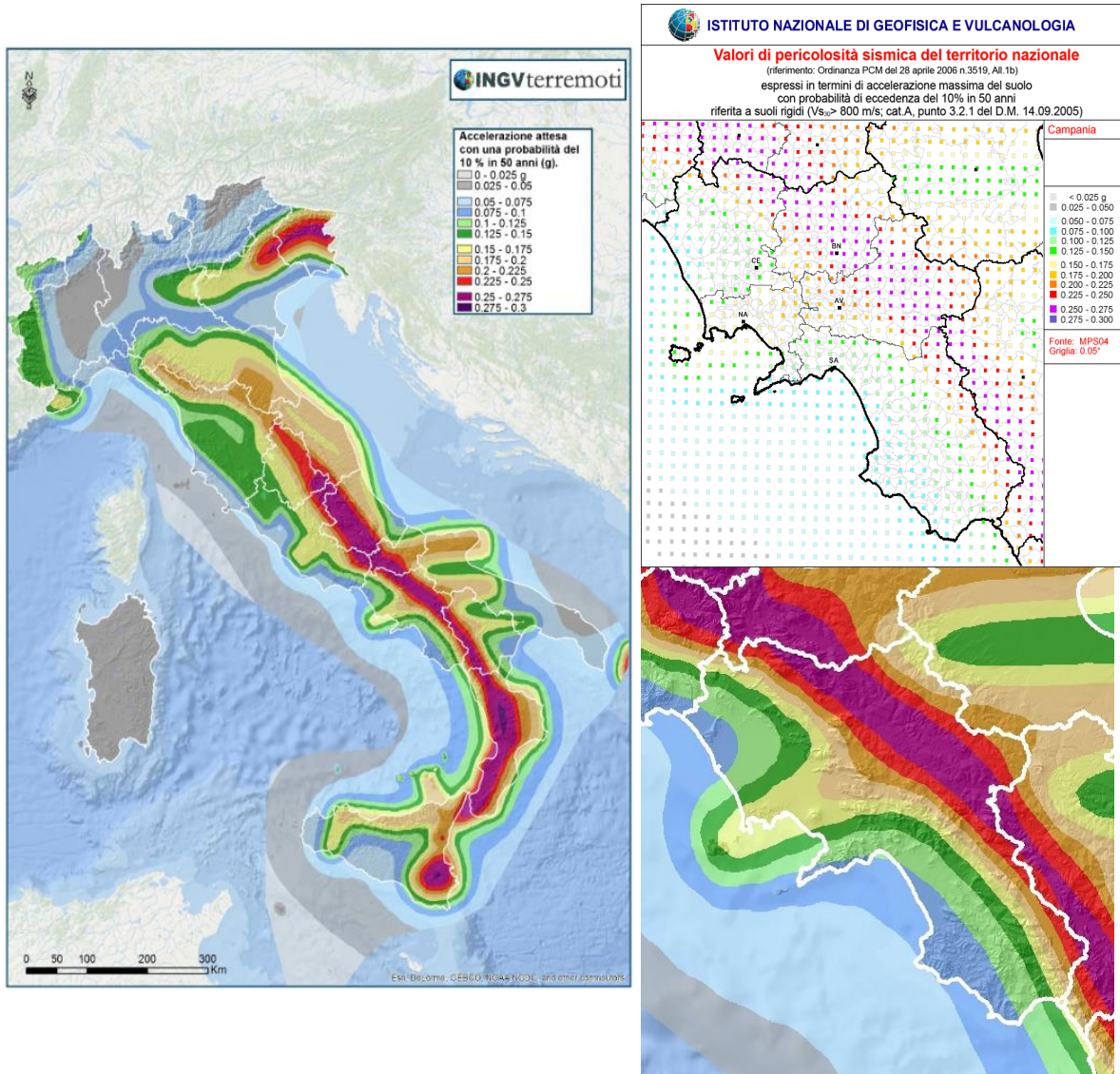


Figura 14 - Pericolosità sismica di base del territorio nazionale. In alto a dx particolare della regione Campania, in basso a dx particolare della regione Campania secondo la discretizzazione del territorio. Fonte INGV

## 7.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE

L'attuale classificazione del territorio campano entrata in vigore a seguito della Delibera della Giunta della Regione Campania n. 5447 del 07/11/2002, si basa su 3 Zone Sismiche. Nessuna delle tre classi sismiche presenta una suddivisione in sottozone. L'intero territorio della Regione Campania risulta quindi classificato entro le classi di sismicità della Classificazione sismica della Regione Campania (figura 15).

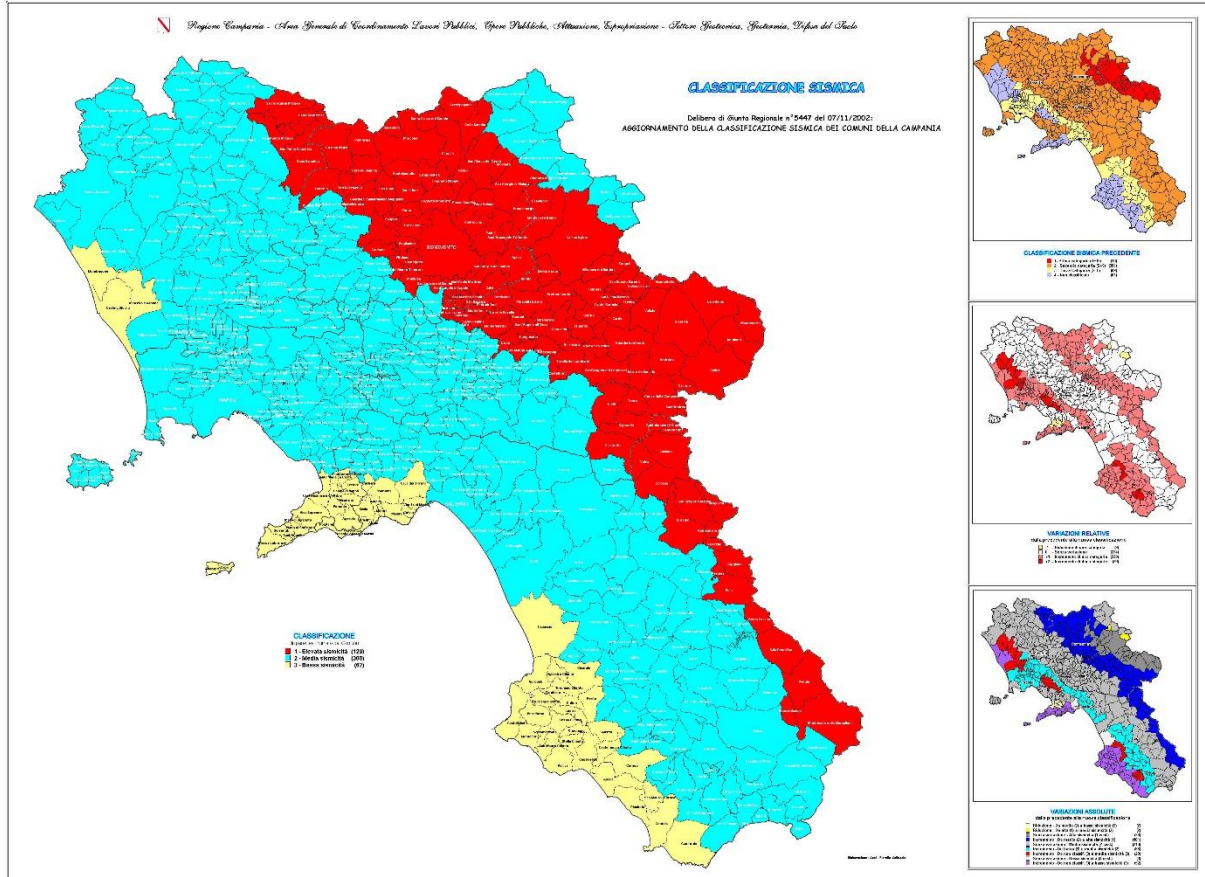


Figura 15 – Classificazione sismica della Regione Campania. Fonte: Regione Campania

Per quanto riguarda il territorio del Comune di Napoli, questo è stato classificato secondo la zona sismica 2.

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, che riclassifica l'intero territorio Nazionale.

La Regione Campania non ha ancora recepito e aggiornato la classificazione sismica regionale in attuazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003.

## 7.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI CATEGORIA DI SUOLO (VS30)

Ai fini della definizione/valutazione dell'azione sismica di progetto secondo quanto riportato nel nuovo DM del 17/01/2018, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione sia di categorie di sottosuolo di riferimento che topografiche.

Per la differenziazione delle prime, la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$  ottenuti mediante specifiche prove, oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, valutata tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 3: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. Fonte: NTC2018

Nelle definizioni precedenti  $V_{s,eq}$  è la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- ✓  $h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;
- ✓  $V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- ✓  $N$  = numero di strati
- ✓  $H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Nell'ambito delle Campagne di indagini afferenti all' "Accordo Quadro avente ad oggetto servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli" rientra l'Appalto specifico n.5 – "Indagini geotecniche finalizzate alla determinazione dei parametri fisico meccanici dei terreni" affidato a Giugno 2019. L'Appalto specifico n.5 ha riguardato soprattutto la caratterizzazione geotecnica e stratigrafica nonché quella sismica dei terreni che interessano le opere infrastrutturali, con lo scopo di fornire un quadro preliminare dei principali parametri geotecnici dei terreni utili alle future progettazioni di dettaglio. Tra le indagini sono state eseguite

n. 18 prospezioni sismiche di superficie realizzate con la tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) con la finalità di definire il profilo Vs dei siti indagati.

Indagini di tipo MASW sono state svolte anche nell'ambito del progetto di bonifica dell'area ex Eternit.

Di seguito il riassunto in formato tabellare dei risultati in termini di parametro  $V_{s30}$  e  $V_{seq}$  delle prospezioni eseguite nell'ambito dell'A.S.5.

Profilo	Vs (m/sec)	Vseq (m/sec)	Classe di suolo	Coordinate geografiche estremi			
				Nord	Est	Nord	Est
MASW 1	216	216	C	4518491	429935	4518438	429943
MASW 2	218	218	C	4518557	430198	4518575	430244
MASW 3	258	258	C	4518572	430519	4518545	430560
MASW 4	239	239	C	4518351	430775	4518341	430722
MASW 5	262	262	C	4518141	430882	4518101	430848
MASW 6	307	307	C	4517880	430913	4517834	430933
MASW 7	286	286	C	4517478	430992	4517531	431019
MASW 8	318	318	C	4517260	430892	4517303	430907
MASW 9	443	349	C	4517423	430560	4517471	430543
MASW 10	311	311	C	4517764	430197	4517826	430175
MASW 11	327	327	C	4517964	430104	4517996	430143
MASW 12	242	242	C	4518131	429966	4518173	429931
MASW 13	319	319	C	4517049	430401	4517092	430384
MASW 14	256	256	C	4518142	431720	4518193	431716
MASW 15	241	241	C	4517954	431594	4517953	431542
MASW 16	291	291	C	4517724	431337	4517766	431365
MASW 17	312	312	C	4518500	430998	4518553	431021
MASW18	547	332	C	4518527	430923	4518594	430911

**Tab 4: Risultati delle prospezioni sismiche di superficie tipo MASW della campagna di indagini del 2019. Fonte: A.S.n.5**

Come si evince dai risultati delle Masw 9 e Masw 18 (allegato indagini Appalto specifico n.5) a profondità inferiori a 30 m dal piano campagna si registrano velocità delle onde di taglio >800 m/s quindi ascrivibili ad un bedrock sismico. Correttamente si è calcolato, in questi due casi, il parametro  $V_{seq}$  in luogo del parametro  $V_{s30}$  che, solo in questi due casi, indica la categoria di suolo di fondazione di tipo E. Da sottolineare che i sondaggi più prossimi alle stese Masw18 (SG\_23) e Masw9 (SG\_13) non hanno dato evidenza della presenza di un substrato lapideo; non vi è dunque una buona correlazione tra l'indagine indiretta ed i sondaggi geognostici (figura 15).

Tenendo conto del contesto geologico-stratigrafico nel quale si inserisce l'opera e dei risultati ottenuti dall'elaborazione delle M.A.S.W. si può ipotizzare di classificare l'area nella categoria di suolo di fondazione di tipo C, ai fini delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (Tabella 3).



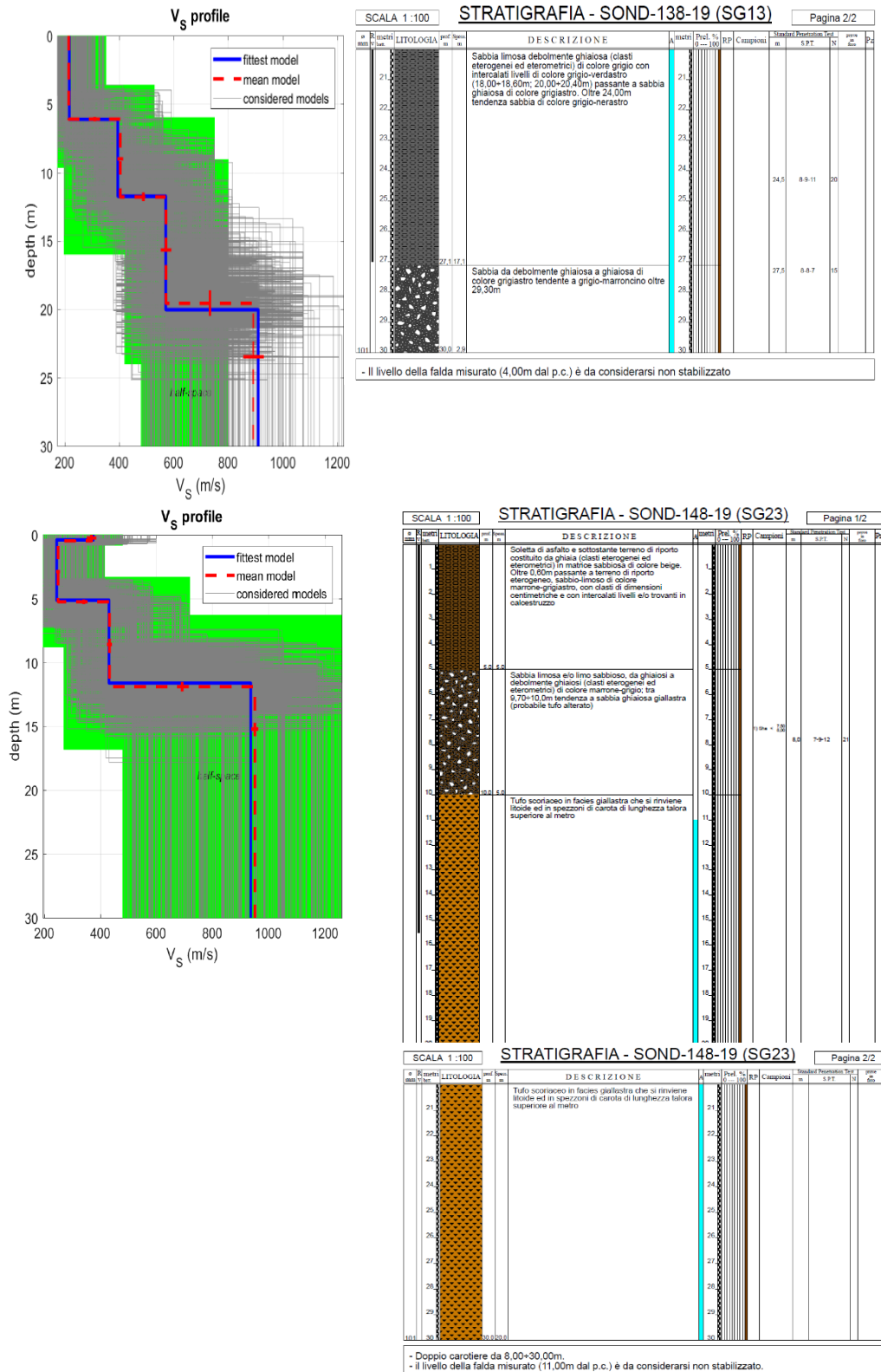


Figura 16: A sinistra elaborazione MASW 9 e MASW 18, a dx stratigrafie dei sondaggi SG\_13 e SG\_23 prossimi alle indagini geofisiche. Fonte: Allegati indagini Appalto Specifico n. 5.

### 7.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per ciò che concerne le categorie topografiche in caso di configurazioni superficiali semplici che non richiedano particolari studi di risposta sismica locale le stesse andranno individuate sulla base della successiva tabella:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 5 - D.M. 17/01/2018 – Tab. 3.2.III – Categorie topografiche. Fonte: NTC2018.

Stante l'andamento pianeggiante dell'area d'intervento, la relativa Categoria Topografica non può che essere la "T1".

## 8 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Ai fini della verifica alla liquefazione, viste le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 relativo all'Esclusione della verifica a liquefazione", si osserva che "La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze":

- ✓ Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- ✓ Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- ✓ Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- ✓ Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 17 (in alto) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 17 (in basso) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

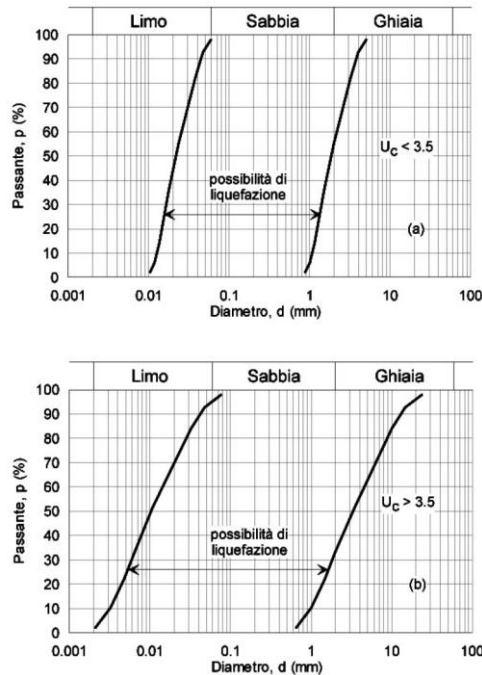


Figura 17 - Limiti granulometrici per esclusione verifica a liquefazione. Fonte: NTC2018.

Nel caso del sito in esame e più in generale per la piana di Bagnoli-Coroglio non si manifesta nessuna delle condizioni sopracitate, pertanto si ritiene necessario nelle successive fase progettuali effettuare le dovute verifiche a liquefazione dei terreni interessati dalle opere.

Il calcolo dei parametri di input tra i quali l'accelerazione massima attesa al piano campagna andrà effettuato sulla base delle scelte della classe d'uso e della vita nominale di cui al paragrafo precedente.

Sarà necessario stimare l'amplificazione litostratigrafica in superficie ( $a_{max}$  in superficie in condizioni di free field) attraverso modellazioni numeriche.

Si consiglia di utilizzare, oltre ai criteri delle NTC2018 (vedi circolare n.7 del 21 gennaio 2018 C7.11.3.4), anche quelli esposti nelle "linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione" della commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907).

## 9 RISCHIO GEOLOGICO E VINCOLI

Nell'area del SIN di Bagnoli si identificano due tipologie di rischio geologico:

- ✓ Rischio idrogeologico: idraulica e frane
- ✓ Rischio vulcanico

### 9.1 RISCHI E VINCOLI IDROGEOLOGICI

L'analisi dei vincoli di natura idrogeologica è stata fatta sulla base degli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale. In particolare sono state prese in esame sia le cartografie relative al rischio frana che quelle relative al rischio idraulico.

Per entrambe le tipologie di rischio l'area di studio è solo marginalmente interessata da perimetrazione di aree a rischio nel settore della collina di Posillipo.

Dal punto di vista geomorfologico, il margine orientale del perimetro di studio è interessato da rischio frana, in quanto il versante della collina di Posillipo è costituito da un costone tufaceo che può dare origine a crolli. All'interno del perimetro di studio, facendo riferimento alla carta del rischio frana del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale (P.A.I.), si individuano zone a rischio R2 e R3 e ambiti territoriali molto ridotti a rischio R4. Per gli ambiti territoriali ricadenti all'interno delle aree perimetrate dal PAI valgono le norme riportate nel PAI.

Per quanto riguarda la viabilità invece, solo in una piccola parte di Via Coroglio, delimitante il margine del SIN e confinante con la collina di Posillipo, si trova in area mappata dal PAI a rischio R3 e R4.

Si noti come la maggior parte delle aree del versante Posillipo siano associate a rischio molto elevato R4. Alcuni poligoni in area Parco Urbano, sui quali si interverrà con metodologia Soil Washing e Desorbimento termico nonché con messa in sicurezza permanente ricadono in area a rischio frana R2 ed in piccola parte in area a rischio R3. Per quanto concerne le Norme di Attuazione del PAI, art.24 comma 2), si ricorda che nelle aree a rischio frana medio e moderato sono consentite tutte le attività a condizione che siano rispettati i contenuti delle N.A. e sempre che i costi relativi alla condizione di rischio determinata siano minori dei benefici socio economici conseguiti. In R3 invece è previsto uno scavo di modesta entità di 1,5 m dal p.c..

Per il Rischio Alluvione non si segnalano, nell'area d'interesse, zone perimetrate a rischio o pericolo inondazione, ad esclusione dei valloni della collina Posillipo e relativi sbocchi nella piana in corrispondenza dell'area nord-orientale dove si rinvergono aree ad elevata suscettibilità di allagamento con pericolosità idraulica P3. Per quanto riguarda la viabilità non vi sono strade dell'area del SIN interessate da rischio idraulico.

Di seguito si riportano le cartografie del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale relative a pericolosità e rischio frana e pericolosità e rischio idraulico.





## Relazione Geologica

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00 Rev. 0 – Luglio 2023

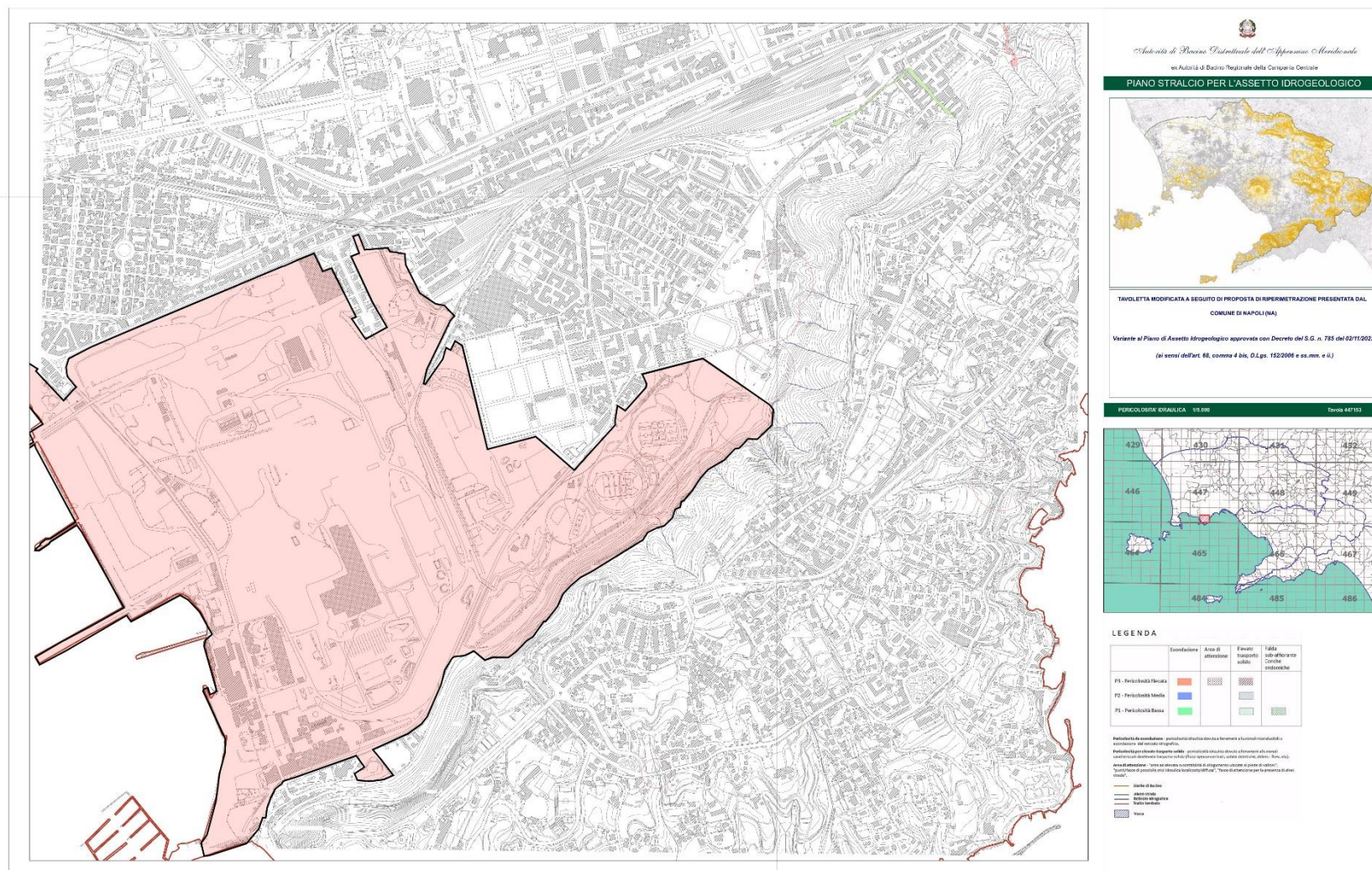


Figura 20 – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico: pericolosità idraulica. Fonte: Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale.

## Relazione Geologica

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00 Rev. 0 – Luglio 2023

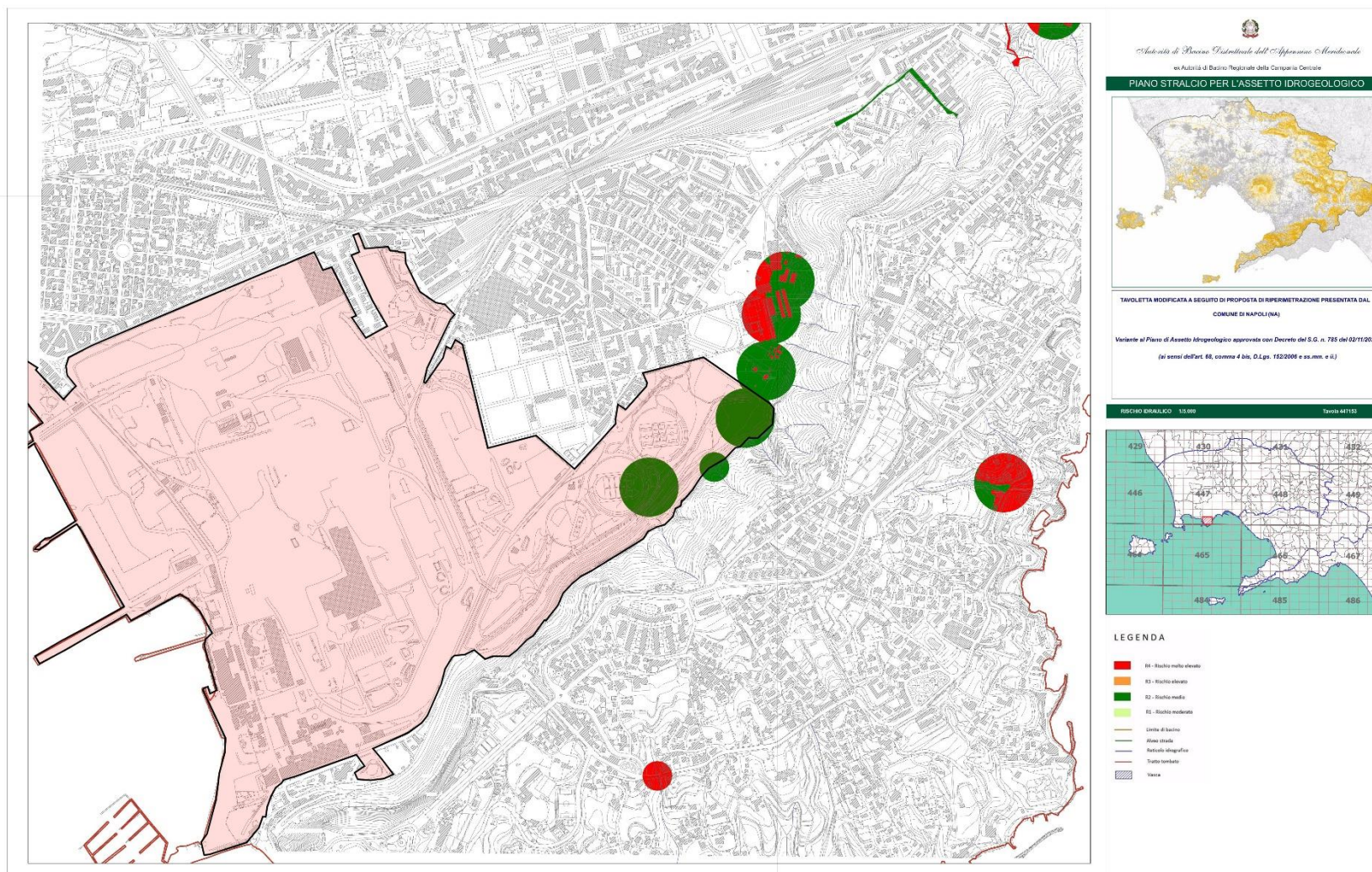


Figura 21 – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico: rischio idraulico. Fonte: Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale.



## 9.2 RISCHIO VULCANICO

Il SIN Bagnoli Coroglio rientra completamente nell'area vulcanica dei Campi Flegrei, uno dei tre vulcani attivi della regione Campania (oltre al Somma-Vesuvio e Ischia).

Questa vasta area vulcanica ha una struttura particolare, non un vulcano a forma di cono troncato ma una "caldera", cioè un'area ribassata di forma quasi circolare, che si è formata a seguito di grandi eruzioni esplosive. La caldera dei Campi Flegrei si estende da Monte di Procida a Posillipo, compresa una parte sottomarina.

Data la complessità del sistema vulcanico flegreo, caratterizzato dalla compresenza di numerosi crateri e l'assenza di eruzioni recenti, non è possibile prevedere con certezza quando, come e dove avverrà la prossima eruzione. Inoltre non è possibile escludere che la ripresa dell'attività eruttiva avvenga da più bocche contemporaneamente, né prevedere la durata dell'attività. Da uno studio probabilistico effettuato – che ha considerato gli ultimi 5mila anni di attività dei Campi Flegrei – è emerso che, in caso di riattivazione del vulcano, si avrebbe circa il 95% di probabilità che si verifichi un'Eruzione minore o uguale a quella di taglia media. Pertanto l'aggiornamento della pianificazione nazionale di protezione civile si basa su questo tipo di eruzione che prevede i seguenti fenomeni:

- ✓ Formazione di una Colonna eruttiva composta da gas e brandelli di lava incandescenti, alta fino a decine di chilometri;
- ✓ Caduta di materiale vulcanico sia di grosse dimensioni nell'area più vicina alla bocca eruttiva, sia di ceneri e lapilli anche a diverse decine di chilometri di distanza, lungo la direzione del vento;
- ✓ Scorrimento di flussi piroclastici (valanghe di gas, cenere, e frammenti vulcanici) formati dal collasso della Colonna eruttiva. Questi flussi hanno velocità e temperature elevate e possono scorrere per alcuni chilometri.

Inoltre, è da considerare che ai Campi Flegrei possono verificarsi particolari fenomeni esplosivi legati al coinvolgimento di acqua esterna, esplosioni freatiche, in aree con intense attività idrotermale (area Solfatarata/Pisciarelli), o dove esistono attualmente significative disponibilità di acqua superficiale, quali ambienti lacustri (Agnano), laghi craterici (Averna) e mare (Golfo di Pozzuoli).

L'ultima Eruzione si è verificata nel 1538 e, nel giro di pochi giorni, ha dato origine al cono di Monte Nuovo. Da allora il vulcano è quiescente ma mostra segnali di attività: sismicità, deformazione del suolo, in particolare il bradisismo (lento sollevamento e abbassamento del suolo) e fumarole.

La normativa relativa al rischio vulcanico dei Campi Flegrei:

- ✓ Delibera della Giunta regionale n. 669 del 23/12/2014 - Rischio vulcanico in area flegrea. Delimitazione della zona rossa. Presa d'atto delle proposte comunali
- ✓ Delibera della Giunta regionale n. 175 del 03/04/2015 - Delimitazione della zona gialla della pianificazione di emergenza per rischio vulcanico in area flegrea
- ✓ Decreto del presidente del consiglio dei ministri 24.06.2016 - Disposizioni per l'aggiornamento della pianificazione di emergenza per il rischio vulcanico dei Campi Flegrei
- ✓ Delibera della Giunta regionale n. 506 del 01/08/2017 - Legge regionale 22 maggio 2017, n. 12. Istituzione tavolo permanente di pianificazione del rischio vulcanico nell'area vesuviana e nell'area flegrea
- ✓ Delibera della Giunta regionale n. 35 del 29/01/2018 - Pianificazione di emergenza per il rischio vulcanico dei Campi flegrei di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 24 giugno 2016. Gemellaggi. Approvazione dello schema di protocollo d'intesa disciplinante l'operatività dei gemellaggi e dell'allegato tecnico.
- ✓ Delibera della Giunta regionale n. 547 del 04/09/2018 - Decreto legislativo 2 gennaio 2018 n. 1 codice della protezione civile - legge regionale 22 maggio 2017 n. 12. Pianificazione di emergenza per il rischio vulcanico nell'area flegrea - approvazione delle aree di incontro e dei cancelli di accesso alla viabilità principale per l'allontanamento della popolazione dalla zona rossa.
- ✓ Delibera della giunta Regionale n. 325 del 16/07/2019 - "decreto legislativo 2 gennaio 2018, n. 1 "codice della protezione civile", l.r. 22 maggio 2017, n.12 "sistema della protezione civile in Campania" - esercitazione di livello nazionale per il rischio.
- ✓ Delibera della Giunta Regionale n. 187 del 19.04.2023 Rischio vulcanico Campi Flegrei. Percorsi per l'allontanamento assistito e per l'allontanamento assistito e per l'allontanamento autonomo della popolazione dalla Zona Rossa. Approvazione aggiornamento per la pianificazione d'emergenza

Il 19 agosto 2016 è uscito in Gazzetta Ufficiale il decreto contenente le “Disposizioni per l’aggiornamento della pianificazione di emergenza per il rischio vulcanico dei Campi Flegrei”, firmato dal Presidente del Consiglio dei ministri il 24 giugno 2016. Questo provvedimento ufficializza la nuova zona rossa, cioè l’area da evacuare in via cautelativa in caso di eruzione approvata con delibera della Giunta della Regione Campania nel 2014 e la zona gialla, cioè l’area esterna alla zona rossa, potenzialmente esposta a una significativa ricaduta di cenere vulcanica, approvata con delibera della Giunta della Regione Campania nel 2015. Entrambe le aree sono state individuate dal Dipartimento della protezione civile, in raccordo con la Regione Campania, sulla base delle indicazioni fornite dalla comunità scientifica.

Secondo il piano di rischio la nuova zona rossa dei Campi Flegrei, maggiormente estesa rispetto a quella tracciata nel 2001, delimita l’area da evacuare in via cautelativa in caso di eruzione. Tale area potrebbe risultare essere esposta all’invasione di flussi piroclastici, una miscela di gas e materiale solido caratterizzati dall’ elevata velocità di movimento e dalle alte temperature.

Si tratta della fenomenologia vulcanica più pericolosa per la vita umana e per la quale l’unica misura di salvaguardia per la popolazione è l’evacuazione preventiva. La nuova area comprende per intero i comuni di Pozzuoli, Bacoli, Monte di Procida e Quarto e parte dei Comuni di Giugliano in Campania, Marano di Napoli e alcune municipalità di Napoli: per intero le municipalità 9 (quartieri Soccavo e Pianura); 10 (quartieri Bagnoli e Fuorigrotta) e alcune porzioni delle municipalità 1 (quartieri di San Ferdinando, Posillipo e Chiaia) 5 (quartieri di Arenella e Vomero) e 8 (quartiere di Chiaiano).

La zona gialla dei Campi Flegrei, l’area esterna alla zona rossa, delimita l’area potenzialmente esposta a una significativa ricaduta di cenere vulcanica; per la delimitazione dell’area ci si è basati su recenti studi e simulazioni della distribuzione a terra di ceneri vulcaniche, tenendo anche conto delle statistiche storiche del vento in quota. La ricaduta delle ceneri vulcaniche può produrre, a livello locale, sia effetti sulla salute dell’uomo, inoltre così come individuate attraverso le mappe di probabilità l’accumulo di ceneri è in grado di causare il collasso di tetti con resistenza medio-bassa.

Di seguito si riporta la mappa di delimitazione della zona rossa e della zona gialla, da essa si evince come il territorio di Bagnoli ricade all’interno della delimitazione della zona rossa.

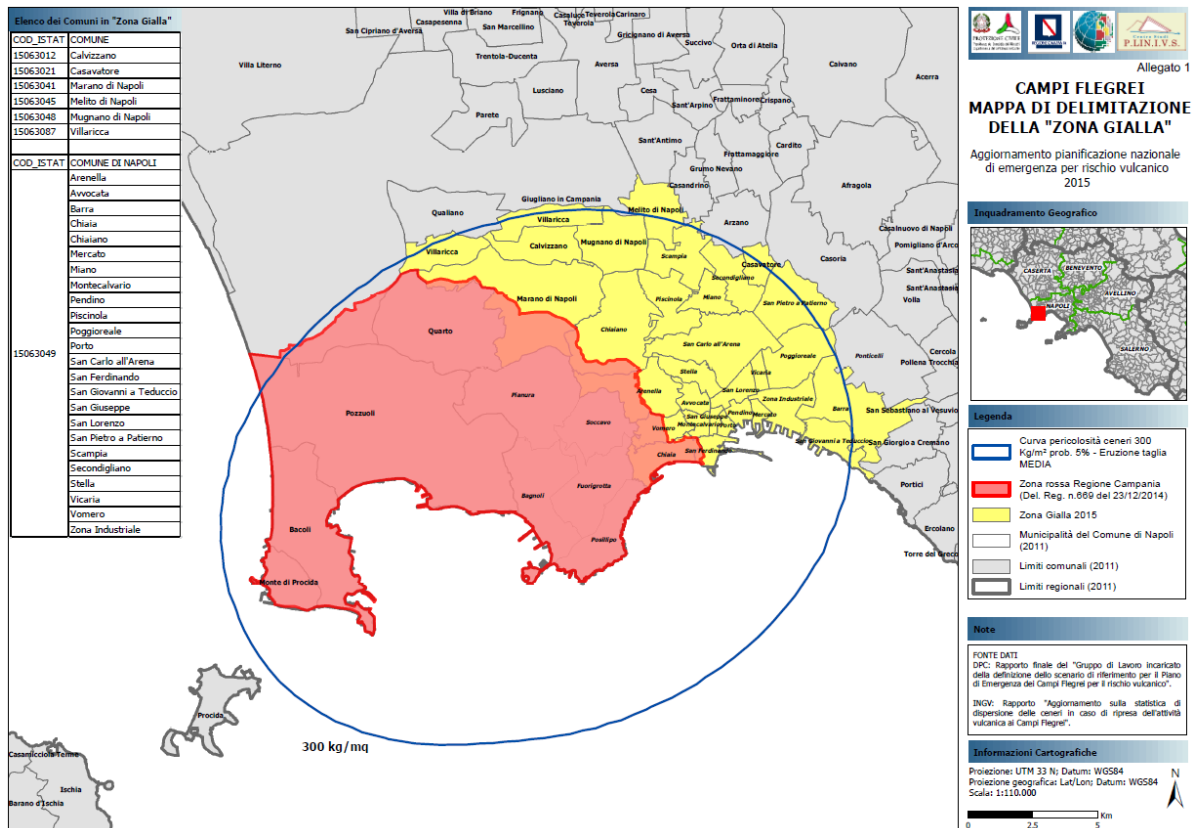


Figura 22 – Mappa delimitazione zona rossa e zona gialla. Fonte: Regione Campania.

La riduzione del rischio è fatta di previsione e prevenzione.

I centri di competenza (Ingv/Osservatorio Vesuviano, Cnr, Plinius) ogni giorno realizzano attività di sorveglianza vulcanica: i dati vengono fatti confluire al Dipartimento Nazionale di Protezione civile che ogni mese indice poi una Conferenza con la Regione in cui viene svolta l'analisi del monitoraggio per verificare i cambiamenti dei dati. Se si evidenzia qualche variazione significativa i dati vengono trasferiti alla Commissione Grandi Rischi che li valuta. La valutazione si traduce in bollettini periodici e in stati di allerta che hanno un codice colore; I livelli di allerta per i Campi Flegrei descrivono lo stato di attività del vulcano e scandiscono il tempo che precede una possibile ripresa dell'attività eruttiva.

- ✓ Verde (Base)
- ✓ Giallo (Attenzione)
- ✓ Arancione (Preallarme)
- ✓ Rosso (Allarme)

Il passaggio da un livello di allerta al successivo è stabilito sulla base delle variazioni dei parametri monitorati e di fenomeni in corso. Dal 2012 a oggi le variazioni di alcuni parametri monitorati nell'area della caldera hanno reso necessario innalzare l'allerta dal livello verde al livello giallo (figura 23) e attivare la fase operative di attenzione.

Livello di allerta	Stato del vulcano
<b>Verde</b>	<b>Vulcano in stato di equilibrio</b> Parametri di monitoraggio nella norma
<b>Giallo</b>	<b>Vulcano in stato di potenziale disequilibrio</b> Parametri di monitoraggio su valori anomali protratti nel tempo
<b>Arancione</b>	<b>Vulcano in stato di disequilibrio</b> Parametri di monitoraggio su valori elevati protratti nel tempo
<b>Rosso</b>	<b>Vulcano in stato di forte disequilibrio</b> Parametri di monitoraggio in rapida evoluzione su valori costantemente molto elevati

Figura 23 – Livelli di allerta. Fonte: Regione Campania.

Il rischio vulcanico dell'area risulta elevato in considerazione della sussistenza dei motivi di pericolosità geologica concomitanti alle caratteristiche di vulnerabilità del territorio evidenziate dal fatto che nell'area della caldera dei Campi Flegrei vivono circa 500mila persone.

La strategia della prevenzione parte dalla considerazione che se non è possibile diminuire il valore esposto per limitare il danno economico possiamo fare molto sulla capacità del sistema di reagire (resilienza), che è data dalla combinazione di mezzi e risorse disponibili per aumentare la resilienza.

Pianificare, informare, comunicare sono tutte attività che vengono inserite nel codice della protezione civile sotto la voce "prevenzione non strutturale" e che consentono di aumentare appunto la capacità del sistema.

Se aumenta la capacità del sistema si riduce il rischio, perché la comunità diventa resiliente.

La pianificazione è fatta dalla somma dei piani dei vari attori competenti istituzionalmente: dei centri di competenza, delle forze armate, dell'ordine pubblico, del settore sanitario, salvaguardia dei beni culturali, delle telecomunicazioni in emergenza (sperimenteremo una dorsale che consente ai soggetti coinvolti una comunicazione in digitale che consente anche di veicolare immagini), pianificazione dei servizi essenziali, di allontanamento (insieme ad Acamir), pianificazione di trasferimento e accoglienza nelle regioni.

L'Agenzia Campana per la Mobilità, le Infrastrutture e le Reti (ACaMIR) opera di concerto con la Direzione Generale Regionale «Lavori Pubblici e Protezione Civile» e con la Direzione Generale Regionale «Mobilità» per la definizione degli aspetti di pianificazione che, nell'ambito dell'allontanamento e del trasferimento della popolazione residente in Zona Rossa, sono stati demandati alla Regione Campania. Di concerto, dunque, con gli uffici regionali preposti, l'ACaMIR ha sviluppato la pianificazione di emergenza relativa ai Campi Flegrei, le analisi tecniche e le verifiche trasportistiche previste dalla Normativa di riferimento e relative all'allontanamento "autonomo" ed a quello "assistito", definendo dei piani di allontanamento e dei piani di trasferimento.

Ogni Comune nella propria pianificazione comunale prevede le Aree di attesa all'interno dei Comuni dove la popolazione che si allontana in maniera assistita si raccoglie – da qui viene accompagnata (secondo un piano di allontanamento attraverso Autobus messi a disposizione da Regione Campania) alle Aree di Incontro che sono fuori dalla zona rossa (e quindi vuol dire essere già mettere in sicurezza la popolazione) - da qui c'è il trasferimento a carico della regione gemellata verso il punto di prima accoglienza e da qui verso le strutture di accoglienza.

Le attività vengono cadenzate in base a livelli di allerta. La Pianificazione prevede una fase di Preallarme (ARANCIONE) e una fase di Allarme (Rosso), in quest'ultima si prevede che l'evacuazione avvenga in 72 ore.

Di seguito si riportano gli schemi dei percorsi di allontanamento.

Per quanto riguarda lo schema dei percorsi di allontanamento sulla rete stradale principale per i residenti che si spostano in maniera autonoma non vi sono interferenze con le aree del SIN, né relativamente alle aree oggetto di bonifica né per la viabilità; quindi in caso di evacuazione della popolazione in seguito ad un evento eruttivo non ci sarebbero interferenze.

Invece, per quanto riguarda i percorsi delle navette bus tra aree di attesa ed aree di incontro esterne alla zona rossa, la strada che delimita parte delle aree a terra nel settore confinante con gli abitati di Bagnoli e Cavalleggeri interferisce in parte con il percorso di allontanamento, in particolare la strada interessata da una possibile interferenza è un tratto di Via Bagnoli.

### Relazione Geologica

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-01-00 Rev. 0 – Luglio 2023

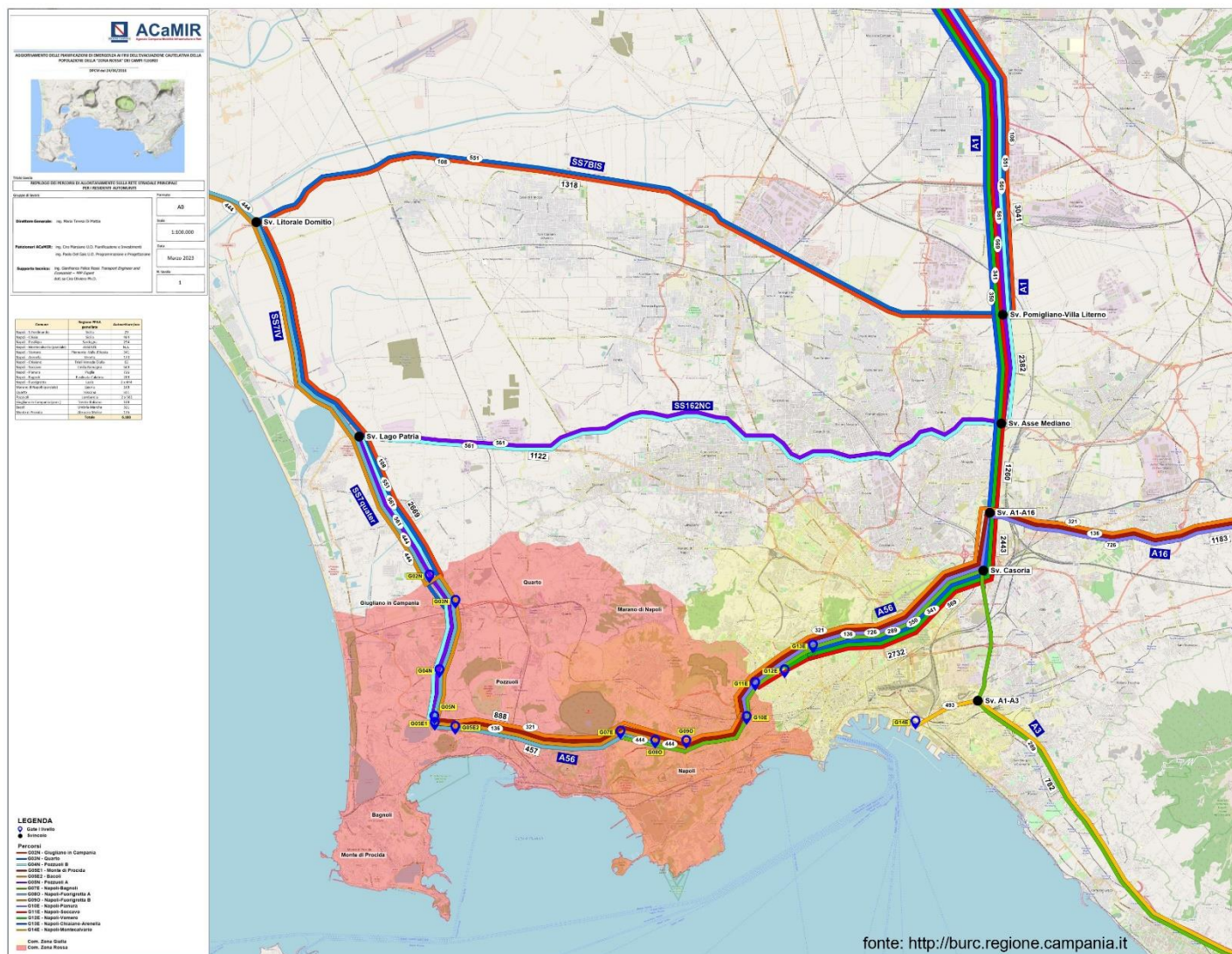


Figura 24 – Riepilogo dei percorsi di allontanamento sulla rete stradale principale per i residenti automuniti. Fonte: Lavori pubblici e Protezione Civile Regione Campania.



## 10 MODELLO GEOLOGICO DI PROGETTO

Tenendo conto della strutturazione del lavoro nei tre comparti territoriali delle aree a terra, di quelle di colmata e delle aree a mare, sulla base di tutti i dati fin qui esposti ed analizzati è stato possibile individuare i corrispondenti modelli geologico tecnico (uno per ogni comparto territoriale) corrispondenti al substrato litologico indagato.

## 10.1 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DI PROGETTO DELLE AREE A TERRA

Sulla base delle 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) è stato ricostruito il modello geologico tecnico delle aree a terra del SIN.

Modello geologico tecnico di progetto	
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Riporto - terreno vegetale (Rp)</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	0 - 5 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Il riporto risulta molto eterogeneo con alternanza di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-marrone; componente ghiaiosa con clasti da centimetrici a decimetrici molto variabile. Comportamento geomeccanico scadente, terreno sciolto.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Limo sabbioso - sabbia limosa (Ls-Sl)</b>
<b>Distribuzione</b>	Pressoché omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	5 - 15 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Limo sabbioso di colore marrone – beige e sabbia limosa di colore marrone scuro, di origine cineritica con inclusioni di pomice scoriacee, poco addensato.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Limi/sabbie ghiaiose (Lg-Sg)</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	10 - 20 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Limo da debolmente ghiaioso a ghiaioso di colore marrone, sabbia limosa da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa di colore grigio marroncino, con intercalati livelli sabbio-ghiaiosi di colore grigio-nerastri con clasti eterogenei ed eterometrici litici e vulcanici principalmente pomicei. dalle prove SPT si evidenzia incremento della rigidezza con la profondità.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Sabbia ghiaiosa grigia (Sgb)</b>
<b>Distribuzione</b>	Pressoché omogenea su tutto il sito
<b>Spessore</b>	5 - 10m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Sabbia ghiaiosa di colore grigiastro con clasti eterogenei ed eterometrici litici, vulcanici e pomicei.

Tabella 6 – Modello geologico tecnico aree a terra.



## 10.2 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DI PROGETTO DELLE AREE DI COLMATA

Nell'ambito della progettazione "Intervento di rimozione della colmata a mare di Bagnoli" è stata fondamentale la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico tridimensionale della colmata. Questo per poter stimare i volumi di terreno da rimuovere e da trattare con le diverse tipologie di bonifica (soil mixing, soil washing, ecc).

Per la costruzione del modello si è scelto di far uso del software Autodesk Civil 3D e in particolare di un modulo dedicato: il Geotechnical Module.

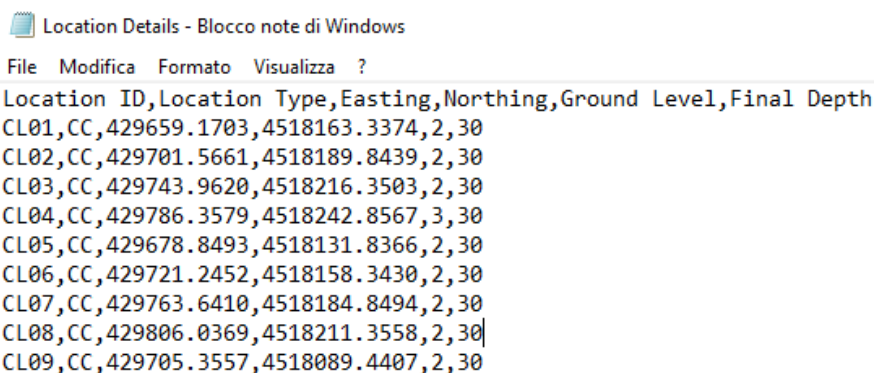
Questo applicativo tecnico mette a disposizione tutti gli strumenti necessari per importare i dati dei sondaggi e documentare le analisi geologiche, ricostruendo la stratigrafia in ambito tridimensionale, generando i profili e le sezioni e calcolando i volumi.

Nel dettaglio la metodologia utilizzata per sfruttare le funzionalità operative del Geotechnical Module e generare il modello 3D è stata la seguente:

- ✓ Georeferenziazione del progetto e perimetrazione dell'area di studio
- ✓ Importazione dati sondaggi geognostici mediante standard .csv. questo passaggio ha comportato la scrittura di due file uno con i dati riguardanti la geolocalizzazione dei sondaggi (Location Details) e l'altro relativo invece ai caratteri geologici dell'indagine (Field Geological Descriptions). Il processo di importazione consente il caricamento dei sondaggi con conseguente acquisizione del grado informativo che li caratterizza e successiva rappresentazione in 2D e 3D.

Le informazioni da inserire nel file Location details (figura 26) sono:

- ✓ Denominazione sondaggio
- ✓ Tipo sondaggio (Carotaggio continuo, distruzione di nucleo, ecc)
- ✓ Coordinate EST e NORD (WGS/UTM33N)
- ✓ Quota topografica
- ✓ Profondità del sondaggio



Location ID	Location Type	Easting	Northing	Ground Level	Final Depth
CL01	CC	429659.1703	4518163.3374	2	30
CL02	CC	429701.5661	4518189.8439	2	30
CL03	CC	429743.9620	4518216.3503	2	30
CL04	CC	429786.3579	4518242.8567	3	30
CL05	CC	429678.8493	4518131.8366	2	30
CL06	CC	429721.2452	4518158.3430	2	30
CL07	CC	429763.6410	4518184.8494	2	30
CL08	CC	429806.0369	4518211.3558	2	30
CL09	CC	429705.3557	4518089.4407	2	30

Figura 26: Esempio file Location Details

Le informazioni da inserire nel file Field Geological Descriptions (figura 27) sono:

- ✓ Denominazione sondaggio
- ✓ Profondità TOP livello
- ✓ Profondità BASE livello
- ✓ Codice identificativo del livello
- ✓ Denominazione geologica del livello

Field Geological Descriptions - Blocco note di Windows

File Modifica Formato Visualizza ?

```
Location ID,Depth Top,Depth Base,Legend Code,Geology Code,Geology Code 2,BGS Lexicon,Description
CL01,0,0.30,1,RIPORTO ETEROGENEO,,
CL01,0.3,6,2,RIPORTO SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA,,
CL01,6,14,3,SABBIA MOLTO FINE,,
CL01,14,30,4,SABBIA,,
```

Figura 27: Esempio file Field Geological descriptions

I dati di INPUT (figura 28) utilizzati per la costruzione del modello sono:

- ✓ Piano di caratterizzazione integrativa delle aree ex Ilva ex Italsider del sito di interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio 2017 (sondaggi ambientali e analisi chimiche sui campioni prelevati)
- ✓ Appalto specifico n.2 – Esecuzione indagini ambientali e geotecniche da realizzarsi sull'area di colmata del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio 2018 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 (66 sondaggi geognostici, analisi chimiche di laboratorio e test di cessione sui campioni prelevati)
- ✓ Appalto specifico n.18 – Indagini geotecniche del sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio 2021 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 (56 sondaggi geognostici ambientali, 12 sondaggi geotecnici e analisi chimiche sui campioni prelevati).



- Sondaggi Ambientali 2017 ● Sondaggi Geognostici 2018
- Sondaggi geotecnici 2021 ● Sondaggi Ambientali 2021

Figura 28: Planimetria con ubicazione dei sondaggi

- ✓ Ricostruzione log stratigrafici (figura 29)



- Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa con clasti eterogeni ed eterometrici (capping)
- Terreno di riporto costituito da sabbia limosa tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa
- Sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso

Figura 29: Esempio di Log Stratigrafico derivante dalla modellazione geologica con il Geotechnical Modeler Fonte:

- ✓ Ricostruzione delle superfici rappresentanti i limiti stratigrafici: a partire dai sondaggi, Geotechnical Module ricostruisce la stratigrafia del terreno grazie a superfici di AutoCAD Civil 3D
- ✓ Modellazione 3D (figura 30)

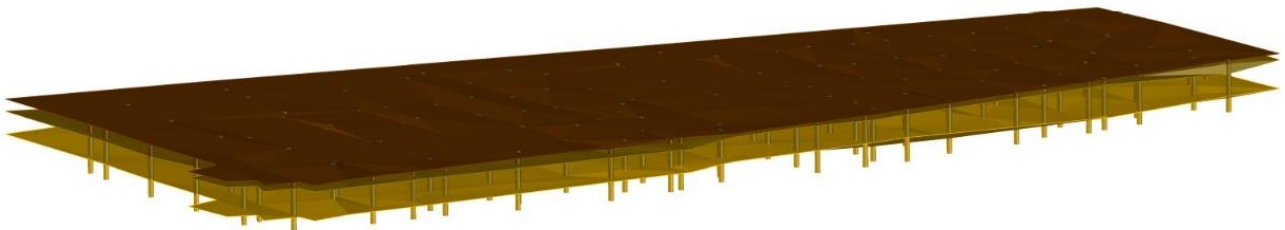


Figura 30: Modello geologico della colmata: in alto ubicazione del modello, in basso visualizzazione del modello 3D

Fonte:

- ✓ Ricostruzione di profili e sezioni geologiche longitudinali e trasversali (figura 31)

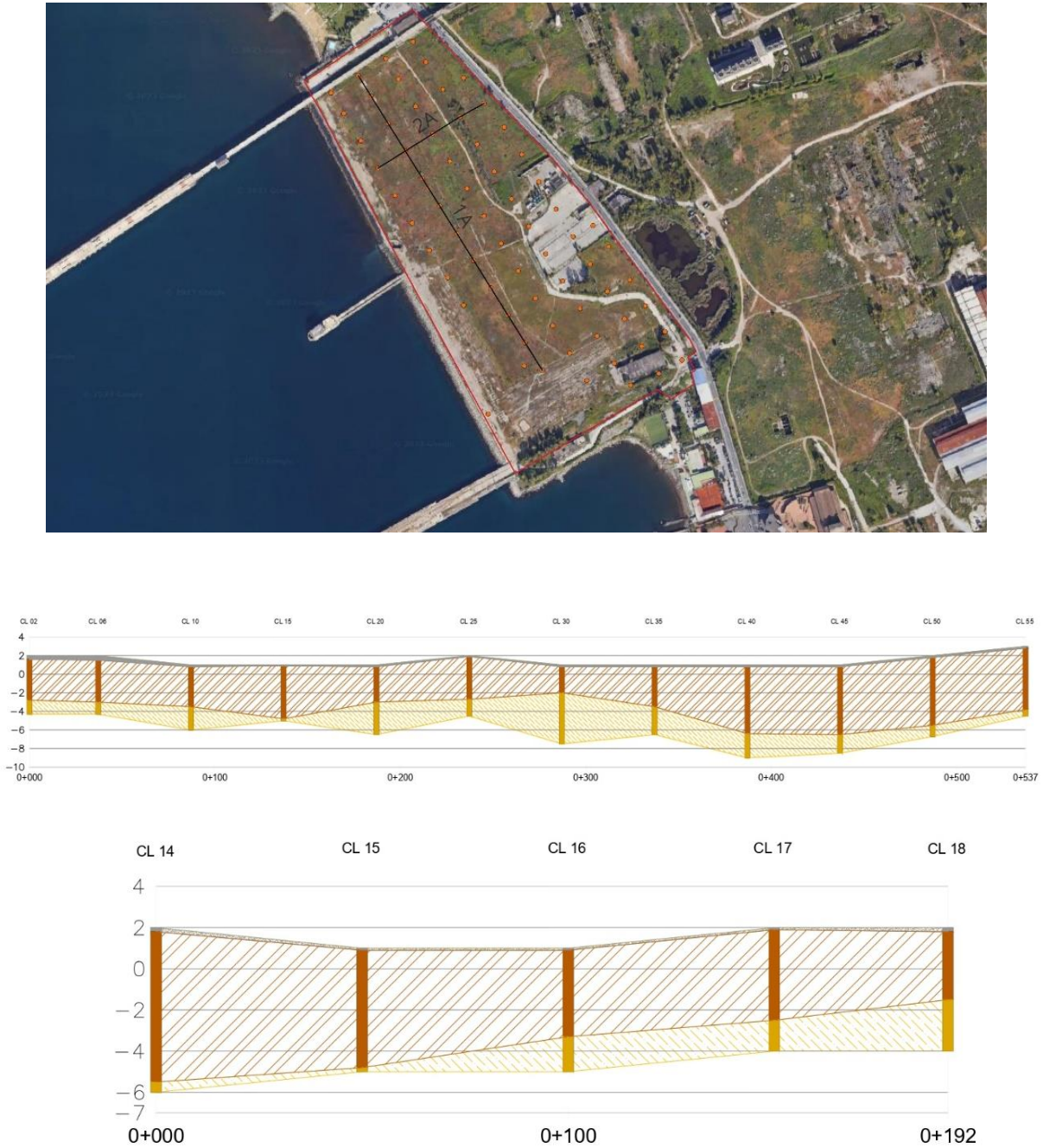


Figura 31: Planimetria con profili delle sezioni ed esempio di sezioni geologiche derivanti dal modello della colmata: in alto profilo longitudinale – sezione 1A, in basso profilo trasversale - sezione 2A

Fonte:

La ricostruzione dei due profili geologici nell'area di colmata permette di fare delle osservazioni: dalla sezione longitudinale si nota l'articolazione morfologica del sito e quindi la maggior variabilità delle litologie presenti, dalla seconda invece si può osservare come lato mare le litologie rappresentanti il corpo di colmata sono più spesse rispetto alla parte più interna della colmata e come le sabbie costituenti il sedimento naturale degradano dalla parte più interna della colmata verso la linea di costa.

✓ Calcolo dei volumi

Ricapitolando, Autodesk Geotechnical Modeler è un'estensione di Civil 3D che consente di visualizzare e analizzare i dati geologici e geotecnici direttamente all'interno dell'ambiente Civil 3D. Il Geotechnical Modeler fornisce strumenti per generare facilmente superfici di strato, creare visualizzazioni del sottosuolo di dati geotecnici e geologici nelle viste del profilo e trasporre le informazioni del profilo in una vista tridimensionale.

Il modello geologico tecnico della Colmata si può definire come segue:

<b>Modello geologico tecnico di progetto</b>	
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Riporto eterogeneo</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in quasi tutto il sito, eccetto una porzione orientale in cui è presente una soletta centimetrica di bitume
<b>Spessore</b>	0 - 5 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa con clasti eterogeni ed eterometrici di colore marrone o marrone grigiastro, con alla base telo HDPE. Comportamento geomeccanico scadente, sciolto o poco addensato.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Terreno di riporto</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	3 - 8 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa oppure da sabbia debolmente limosa/limo sabbioso tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei e eterometrici, colore marrone, marrone grigiastro o marrone giallastro; presenza di clasti di tufo giallo, frammenti di laterizi, calcestruzzo; rappresentante il corpo della colmata. Comportamento geomeccanico scadente, sciolto o poco addensato
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Limi/sabbie ghiaiose (Lg-Sg)</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	3 - 8 m
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Sedimento naturale rappresentato da depositi di spiaggia, dal punto di vista granulometrico è costituito principalmente sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, che scendendo in profondità ha tendenza a sabbia medio grossolana. Poco addensato.

**Tabella 7 – Modello geologico tecnico della Colmata.**

### 10.3 MODELLO GEOLOGICO TECNICO AREE A MARE

I sedimenti marini prospicienti il SIN di Bagnoli-Coroglio sono costituiti principalmente da sabbie con litoclasti, in prevalenza di origine vulcanica quali pomici, bioclasti, gusci e frammenti di bivalvi e gasteropodi, briozoi, echinodermi, rodoliti e foraminiferi. nell'area compresa tra i pontili e la colmata vi è una rilevante componente di origine antropica. In tutta l'area di studio sono presenti resti vegetali, in prevalenza di *Posidonia oceanica*.

Bisogna inoltre tenere presente che il sedimento costituente l'area marina del SIN è caratterizzato da eterogeneità sia in senso verticale che laterale, le unità individuate si possono trovare a profondità diverse nei vari settori delle aree a mare.

Sulla base dei carotaggi svolti nell'ambito del progetto ABBcO nel 2017, il modello geologico-tecnico di progetto per le aree a mare del SIN si può così sintetizzare:

<b>Modello geologico tecnico di progetto</b>	
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Sabbia fine - limo</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea pressoché in tutto il sito, eccetto nel settore meridionale
<b>Spessore</b>	10 – 60 cm
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Sedimento costituito principalmente da sabbia fine, sabbie limose e in minor parte da limi sabbiosi e limo argilloso. Grado di compattazione buono.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Sabbia media /sabbia</b>
<b>Distribuzione</b>	Omogenea in tutto il sito
<b>Spessore</b>	30 – 50cm
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Sabbia di granulometria media a volte tendente a sabbie più grossolane a volte invece a sabbie limose.
<b>Unità geotecnica</b>	<b>Sabbia grossolana</b>
<b>Distribuzione</b>	Principalmente nei settori settentrionali e meridionali del sito, in percentuale minore nel settore centrale
<b>Spessore</b>	20 – 60cm
<b>Descrizione e Addensamento</b>	Sedimento costituito da sabbie grossolane spesso tendenti alla ghiaia, sabbie ghiaiose, ghiaia

**Tabella 8 – Modello geologico tecnico aree a mare.**

## 11 CONCLUSIONI

Il lavoro sviluppato si inserisce nell'ambito del progetto definitivo di bonifica del SIN di Bagnoli Coroglio e definisce il quadro geologico entro il quale si vanno a delineare i diversi interventi che concorrono alla bonifica e rimozione della colmata, bonifica degli Arenili emersi "nord" e "sud", risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nel sito di rilevante interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio.

L'interpretazione dei dati a disposizione permette di definire l'assetto geologico, idrogeologico, sismico dell'area e di ricostruire un modello geologico tecnico di progetto per le tre aree (area a terra, colmata e area a mare) in cui è stato suddiviso il sito al fine di valutare la compatibilità del progetto di bonifica con i rischi geologici del territorio.

Inoltre, nell'ambito del progetto "Intervento di rimozione della colmata a mare di Bagnoli", è stato dettagliato lo studio dell'area di colmata. È stato ricostruito il modello geologico-stratigrafico tridimensionale della colmata in ambiente BIM al fine di poter stimare i volumi di terreno da rimuovere e da trattare con le diverse tipologie di bonifica (soil mixing, soil washing, ecc).

Dal presente studio sono quindi state caratterizzate dal punto di vista geologico-tecnico le tre aree che compongono il SIN:

- ✓ l'area di colmata è composta da tre differenti strati: il primo strato, quello più superficiale e sottile, è formato da riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, alla base di questo strato si trova un telo di HDPE; il secondo strato più spesso, rappresentante il corpo della colmata, è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa oppure da sabbia debolmente limosa/limo sabbioso tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei e eterometrici. Infine lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente da sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa. Per quanto riguarda la soggiacenza della falda invece, dalle analisi fatte per il PFTE, questa risulta trovarsi a pochi metri dal p.c., con valori variabili da 0.5m in prossimità della costa e gradualmente crescenti fino a 3m dal p.c. al limite della colmata.
- ✓ Le aree a terra sono caratterizzate da materiale di riporto fortemente eterogeneo soprastante strati di terreno costituiti principalmente da granulometri limoso sabbiose, sabbioso limose e ghiaiose. Anche in questo settore la falda è superficiale con valori di soggiacenza che variano da 3 a 11 m dal p.c. andando dalla fascia prossima alla colmata verso il limite settentrionale del sito.
- ✓ l'area a mare ricadente nel perimetro del SIN è caratterizzata da forti eteropie sia in senso verticale che laterale. In prevalenza questo settore del sito è caratterizzato da litologie sabbiose con granulometrie variabili da fini a grossolane con buon grado di compattazione.

La criticità principale dei terreni che costituiscono il SIN è rappresentata dalla scarsa qualità da un punto di vista geomeccanico che combinata con la superficialità della falda costituiscono elementi da approfondire per le future fasi progettuali al fine di verificare la compatibilità con le attività di bonifica.

Il territorio del sito non risulta caratterizzato da rischi legati al dissesto idrogeologico, se non nell'area del SIN confinante con la Collina di Posillipo; invece, non è altrettanto stabile per quel che concerne il rischio Vulcanico. L'area rientra completamente nel cratere dei Campi Flegrei ed è compresa nella zona rossa perimetrata dal dipartimento della protezione civile e dalla Regione Campania (OPCM del 2016).

Il territorio naturale in cui oggi sorge il SIN è stato fortemente modificato dallo sviluppo industriale e urbano che dai primi anni del '900 ha caratterizzato l'area occidentale di Napoli. Dall'analisi dei dati è emerso come importanti volumi di terreni risultino inquinati in tutti i settori del sito, così come purtroppo a volte la contaminazione ha raggiunto gli strati naturali sotto l'area a terra e sotto la colmata e in parte riguardando anche i sedimenti marini. Per questo la definizione dell'evoluzione di fenomeni geologici attraverso uno studio multidisciplinare che integra informazioni qualitative e quantitative è fondamentale per capire come lo sviluppo del progetto si possa integrare con i rischi che insistono sul territorio.

Il modello geologico tecnico di progetto costituirà una base di riferimento per la definizione delle altre fasi lavorative e per le successive fasi di sviluppo progettuale. Ma si ritiene comunque che aspetti quali l'andamento della falda, l'evoluzione del territorio e dei rischi geologici andranno monitorati e approfonditi nei successivi livelli progettuali.

## 12 BIBLIOGRAFIA

### Studi pregressi

Relazione generale – Inquadramento generale “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazione geologica, idrogeologica e sismica “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazione geotecnica – aree a terra “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazione geotecnica – aree a mare “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazioni indagini ambientali e geotecniche eseguite “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazione tecnica – Area colmata e Arenili emersi “Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Bonific E Risanoamento ambientale del SIN di Bagnoli-Coroglio” – Invitalia Spa;

Relazione geologica per il “Progetto Definitivo del Lotto 1 del Parco Urbano nell’ambito degli interventi previsti nel P.U.A. di Coroglio – ex sito industriale di Bagnoli” – Bagnoli Futura Spa;

Relazione Finale Progetto ABBAco - Caratterizzazione ambientale dell’area marino costiera all’interno del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio

Piano di Caratterizzazione del Sito di Interesse Nazione Bagnoli Coroglio 2003 – Bagnoli Futura SpA

### Sitografia

[Geological Survey of Italy Portal | Portale del Servizio Geologico d'Italia \(isprambiente.it\)](#)

[Home \(ingv.it\)](#)

[Home \(distrettoappenninomeridionale.it\)](#)

[Osservatorio Vesuviano - Home \(ingv.it\)](#)

[Regione Campania](#)

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ([mite.gov.it](#))

### Bibliografia e Studi pregressi consultati

Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 446-447 NAPOLI – ISPRA – Servizio Geologico d’Italia

Progetto IFFI Inventario fenomeni franosi in Italia ISPRA – Dip.to Difesa del Suolo – Servizio Geologico d’Italia

Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield site coastal sea sediments (Naples, Italy) – S. Albanese, B. De Vivo, A. Lima, D. Cicchella, D.Civitillo, A.Cosenza. -2010 – Journal of Geochemical Exploration.

Hydrogeochemical characterization of the urban coastal acquifers of Napoli (southern Italy): an overview. – A. Corniello e D. Ducci. – 2019 Italian Journal of Groundwater.

Note illustrative della Carta Idrogeologica dell’Italia Meridionale. Celico et alii, 1997.



Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST" - F. Bianco, M. Castellano, R. Cogliano, P. Cusano, E. Del Pezzo, M.A. Di Vito, A. Fodarella, D. Galluzzo, M. La Rocca, G. Milana, S. Petrosino, S. Pucillo, G. Riccio, A. Rovelli. Quaderni di Geofisica ISSN 1590-2595 Anno 2010\_Numero 86

Russo F., Calderoni G., Lombardo M., 1998. Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli. Boll. Soc. Geol. It., 117, 21-38, Roma.

Indagini e risultati per il risanamento dei siti ex industriali dell'area di Bagnoli Benedetto De Vivo Dipartimento di Scienze della Terra Università di Napoli "Federico II"

