

Piano Urbanistico Attuativo
dell'area ex NATO di Bagnoli
Variante Occidentale al PRG:
zona nAb, ambito n.8

PdR EX NATO

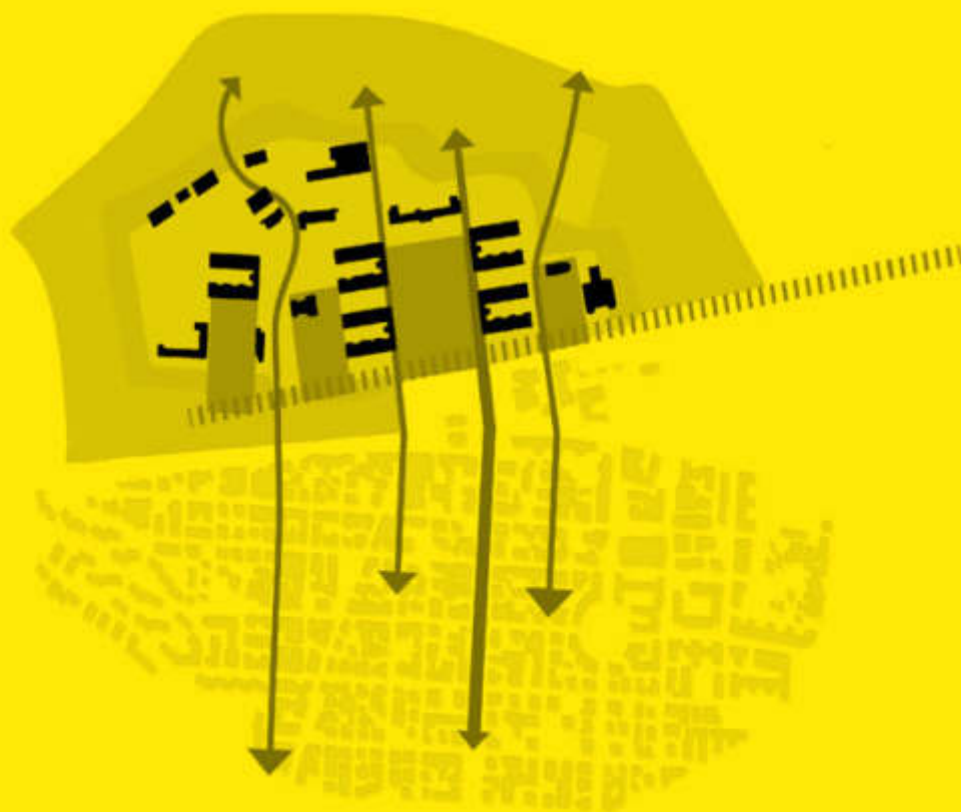
Proposta di piano

RELAZIONE **R.3**
Relazione geologica

SCALA:

FORMATO: A4

DATA: Novembre 2017 REV. : Aprile 2018



Sommario

1	PREMESSA.....	4
2	PECULIARITÀ GEOLOGICHE E AMBIENTALI.....	4
2.1	EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DEI CAMPI FLEGREI	5
2.2	GEOTERMIA DEI CAMPI FLEGREI (CAMPI DI FUOCO).....	9
2.3	CONCENTRAZIONE DI RADON - RISANAMENTO E PREVENZIONE	13
3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
3.1	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI TERRENI	17
3.2	ASPETTI IDROGEOLOGICI	18
3.3	UNITÀ IDROGEOLOGICA.....	19
3.4	IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA	20
4	CARATTERIZZAZIONE DELLA DENSITÀ TERRENI VULCANICI	22
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	24
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	24
7	CARATTERIZZAZIONE CLIMATOLOGICA	30
8	CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE	32
9	UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	34
10	STRATIGRAFIA SONDAGGIO RAPPRESENTATIVO	35
11	PROSPEZIONI GEOFISICHE -TECNO IN	37

Figure

Figura 1 - Cartografia storica dei Campi Flegrei (Ubicazione ex NATO di Bagnoli con il cerchio in giallo).....	5
Figura 2 - Caldera flegrea - Ubicazione dell'area ex NATO di Bagnoli (cerchio in giallo)	6
Figura 3 - Schema Vulcano – Tettonico della Caldera dei Campi Flegrei.	7
Figura 4 - Mappa degli spostamenti GPS orizzontali registrati nell'area flegrea dal 01 gennaio 2014 al febbraio 2018. (Ubicazione area ex NATO - cerchio in rosso) – (Fonte Osservatorio Vesuviano)	8
Figura 5 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli - Rione Terra), ACAE (Accademia Aeronautica), SOLO (Solfatara) e STRZ (Pozzuoli - Cimitero) dal 01 gennaio 2014 a febbraio 2018 (Fonte Osservatorio Vesuviano)	9

Figura 6 - Faglia Vulcano-Tettonica nell'area ex NATO e fenomeni geotermici associati alla risalita dei fluidi e gas idrotermali della Caldera dei Campi Flegrei.....	11
Figura 7 - Cronogramma delle temperature della fumarola di Pisciarelli registrate in continuo dal 2011. (Fonte Osservatorio Vesuviano).....	12
Figura 8 - Tipo di sonda geotermica.....	12
Figura 9 - Concentrazione di Radon in funzione dell'altezza di piano	13
Figura 10 - Diagramma delle concentrazioni di Radon registrate alle stazioni di Monte S. Angelo (MSA) e di Monte Olibano (Solfatara) (OLB). (Osservatorio Vesuviano).....	14
Figura 11 - Concentrazione di Radon e di Toron - Monte S. Angelo e Monte Olibano (Solfatara).	14
Figura 12 - Lago di Agnano. Stampa colorata di Pietro Fabris (1776).....	21
Figura 13 - "Galleria emissario" della Bonifica del Lago di Agnano e perimetrazione della proprietà FBNAI	22
Figura 14 - COMUNE DI NAPOLI - Coordinate = Long. 14,166269 E ; Lat. 40,822248 N	27
Figura 15 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento	28
Figura 16 - Valori dei parametri a_g , F_o , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_r	29
Figura 17 - Sottozone pluviometriche omogenee (Ubicazione ex NATO con il cerchio in giallo).....	31
Figura 18 - Perimetrazione Sito di Interesse Nazionale - Bagnoli Coroglio (in verde area ex-NATO)	33
Figura 19 - Perimetrazione Sito di Interesse Regionale di Bagnoli Coroglio (in verde area ex-NATO)	33

Tabelle

Tabella 1 - Parametri idrodinamici tipici dei depositi vulcanici	19
Tabella 2 - Parametri idrodinamici tipici dei depositi vulcanici	20
Tabella 3 - Correlazione dei diversi pesi specifici delle particelle cineritiche	23
Tabella 4 - Caratteristiche geotecniche dei terreni.....	24
Tabella 5 - Prospezione sismica in foro down-hole – W1	25
Tabella 6 - Categoria topografica e classificazione sismica del terreno.....	26
Tabella 7 - Valori dei parametri a_g , F_o , T_c , per i periodi di ritorno T_r di riferimento	30
Tabella 8 - Valori massimi delle precipitazioni registrate nel sito di Bagnoli.....	30

1 PREMESSA

La Fondazione Banco di Napoli per l'Assistenza all'Infanzia ha approvato (Delibera n. 53 del 26/07/2016), d'intesa con il Comune di Napoli (Delibera di G.M. n. 175 del 16/03/2016), il Masterplan per l'area ex Collegio Ciano di Bagnoli, che di fatto costituisce il preliminare del Piano Urbanistico Attuativo.

Il sottoscritto geologo, iscritto all'Ordine dei geologi della Toscana al n° 1204, con anzianità dal 09/03/1976, ha elaborato il seguente studio geologico preliminare allo scopo di illustrare e fornire ai progettisti una caratterizzazione geologica ed ambientale dell'area vasta interessata all'elaborazione del Piano Urbanistico Attuativo dell'area "ex NATO" di Bagnoli – Variante Occidentale al PRG - Zona nAb. Ambito 8.

Il presente studio caratterizza il territorio vasto, individuando tutti quei fattori che determinano l'evoluzione dinamica degli equilibri nei processi naturali, identificando le attuali peculiarità e criticità ambientali.

Saranno fornite tutte quelle informazioni geologico-ambientali dello specifico luogo, della capacità di carico sull'ambiente naturale e della sensibilità e sostenibilità ambientale delle zone limitrofe che potrebbero o meno interferire con l'ecosistema.

In caso di alterazione, di uno o più agenti fisici, saranno indicate le opere di mitigazione e/o compensazione ambientale, come previsto dalla normativa vigente, dotando gli edifici esistenti di quelle protezioni finalizzate alla mitigazione dei rischi ed alla riduzione dei consumi, adottando tutte quelle tecniche costruttive al fine di integrare l'edificato con le attuali componenti ambientali.

La finalità del presente studio è quella di fornire ai progettisti architettonici e strutturali di quegli elementi di conoscenza dell'evoluzione dinamica degli equilibri ambientali che, per la storia del comprensorio, oggi risultano compromessi e causa di frequenti crisi ambientali dell'area vasta, generate dall'intensa antropizzazione sia del suolo, sia del sottosuolo.

Dal punto di vista geologico ambientale, un qualsiasi progetto di Piano Urbanistico, per essere valido nel tempo e nello spazio deve in primis individuare le risorse naturali dei luoghi, le qualità intrinseche che lo caratterizzano, evidenziando anche tutte le potenziali criticità e le eventuali cause che possano generare tutti quegli "eventi naturali" indesiderati, che comunemente ed erroneamente sono definiti "calamità naturali".

2 PECULIARITÀ GEOLOGICHE E AMBIENTALI

Il territorio di Bagnoli, dove è ubicato il complesso immobiliare dell'ex NATO, rappresenta un *unicum*, sia in termini "naturalistici", perché è l'unica area del globo terrestre dove è concentrato un numero così elevato di crateri vulcanici attivi, quiescenti e spenti e dove si possono osservare e percepire fenomeni geologici

legati alle attività vulcaniche quali, "Bradismo", "Fumarole", "Termalismo" "Eustatismo" ecc., sia per l'interesse: geologico, archeologico, storico, paesaggistico e letterario che questo luogo ha rappresentato per oltre 2000 anni.

La ricerca preliminare, dei fattori che regolano gli equilibri naturali e le connessioni di questi ultimi con l'evoluzione dei processi di trasformazione dell'ambiente, è di primaria importanza per l'elaborazione dell'idea di Piano.

La conoscenza dell'evoluzione dei fenomeni naturali, in particolare in strutture geologiche giovani, quali quelle dei complessi vulcanici attivi, è propedeutica all'elaborazione delle scelte progettuali.

L'impostazione metodologica da seguire dovrà essere sempre ispirata ad agevolare l'evoluzione dei processi naturali di trasformazione e giammai ad ostacolarli, adoperando quello che, a prima vista, si presenta come un ostacolo e/o un problema, in una risorsa da utilizzare e valorizzare.

2.1 EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DEI CAMPI FLEGREI

Bagnoli è un sito che si colloca all'interno di un'area vulcanica molto articolata caratterizzata dalla presenza di numerosi edifici vulcanici formatisi in epoche diverse.

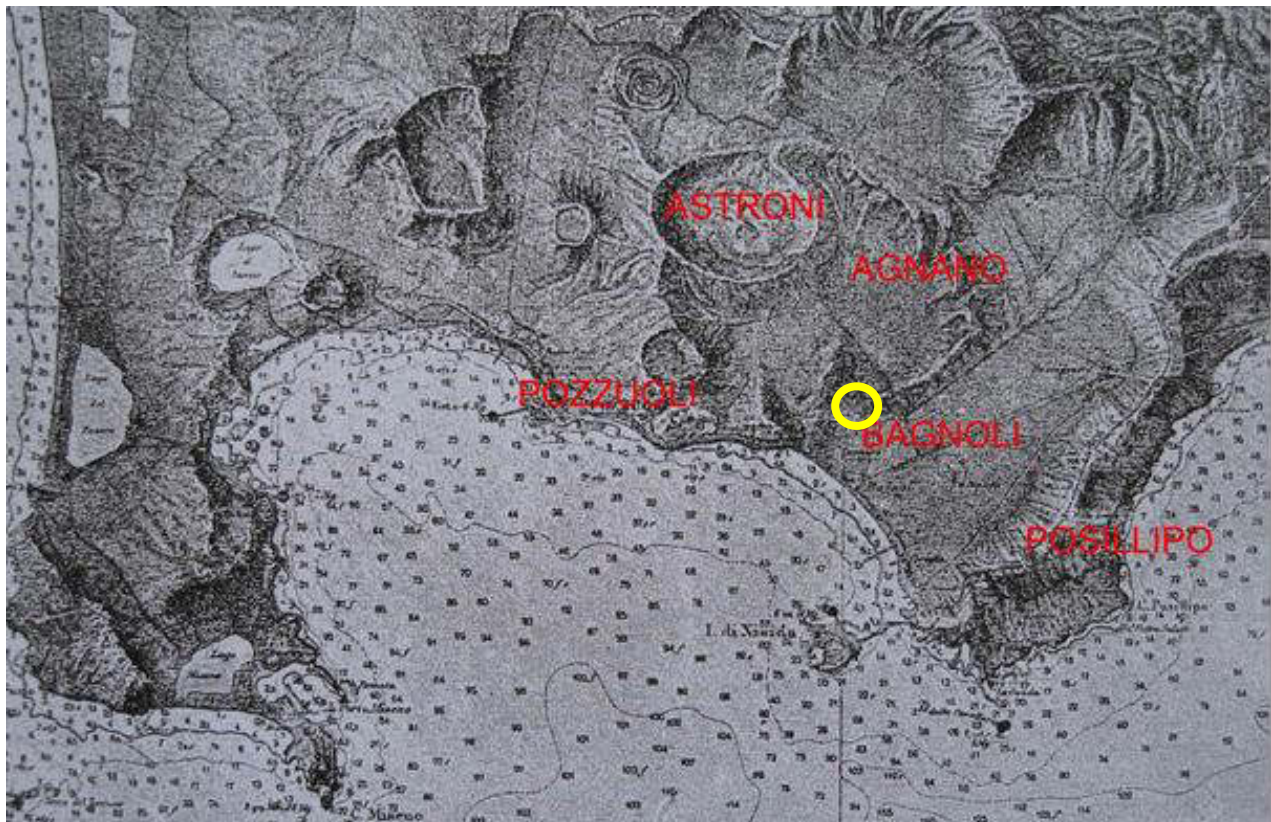


Figura 1 - Cartografia storica dei Campi Flegrei (Ubicazione ex NATO di Bagnoli con il cerchio in giallo)

In alcuni casi la costruzione di un edificio vulcanico è avvenuta in corrispondenza di uno preesistente modificandone la struttura e la morfologia. Oggi si possono osservare crateri vulcanici costruiti all'interno di altri, i quali interrompono l'integrità della struttura.

Il quartiere di Bagnoli si sviluppa nella parte sud orientale dei Campi Flegrei, tra il cratere di Agnano e la collina di Posillipo: In particolare l'area "ex NATO" è ubicata su sedimenti piroclastici del versante meridionale esterno del cratere vulcanico di Agnano - Monte Spina.

Il toponimo di "Bagnoli" deriva dalla natura del luogo che in epoca romana era chiamato "Aeque Balneolanae", non per i bagni di mare bensì per i bagni termali. Fino alla metà del secolo scorso erano ancora in funzione, lungo la costa, gli stabilimenti termali di Tricarico, (antica Juncaria), Manganella (antica Balneum Balneoli), Masullo e Cotroneo, tutte con temperature superiori a 50° gradi centigradi.

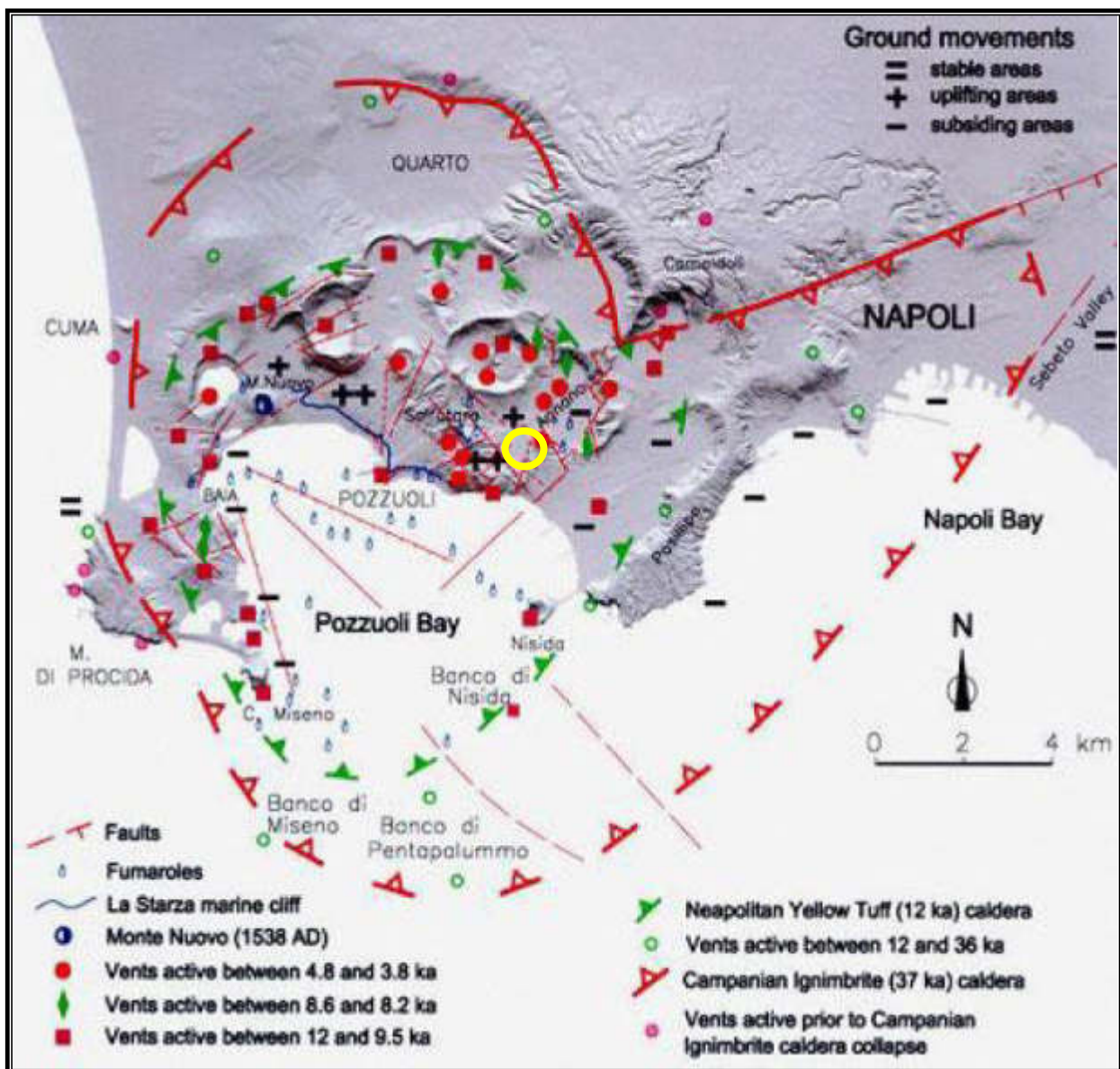


Figura 2 - Caldera flegrea - Ubicazione dell'area ex NATO di Bagnoli (cerchio in giallo)

L'eterogeneità morfologica e geologica ha condizionato anche l'idrogeologia che in quest'area è molto complessa in quanto è caratterizzata dall'equilibrio dell'evoluzione dinamica di più acquiferi a composizione chimico-fisica molto variabile nello "spazio-tempo" ed in comunicazione tra loro per: osmosi, densità, temperature e permeabilità delle rocce

Dal punto di vista petrografico e magmatologico, i prodotti flegrei appartengono alla serie potassica e variano in composizione da trachibasalti a trachiti fonolitiche peralcaline.

La morfologia attuale dell'area dei Campi Flegrei è il risultato di un'alternanza di eventi vulcanici costruttivi e distruttivi e/o processi tettonici talvolta coevi. Inoltre, variazioni nello spazio e nel tempo dei rapporti geometrici tra mare e terre emerse hanno contribuito non poco all'attuale assetto morfologico dell'area. In particolare, si ritiene che la piana di Bagnoli-Fuorigrotta si sia formata 12.000 anni fa successivamente all'eruzione del "Tufo Giallo Napoletano" ed al collasso vulcano-tettonico che ha generato la "caldera flegrea".

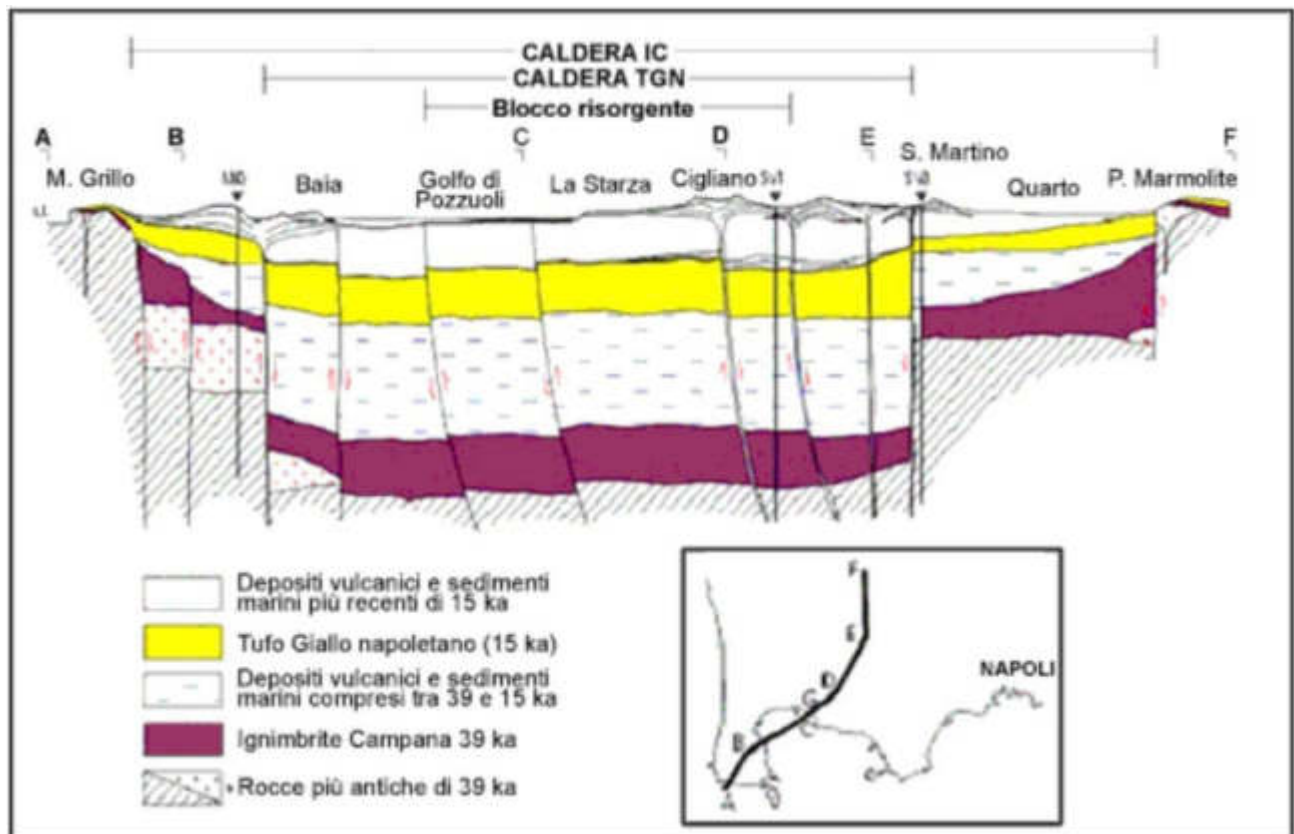


Figura 3 - Schema Vulcano – Tettonico della Caldera dei Campi Flegrei.

Successivamente, l'attività del campo policroaterico di Agnano, avvenuta all'interno della caldera in due fasi ha contribuito all'aggradazione della depressione con un conseguente avanzamento della linea di costa e la formazione del terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta. Su tale terrazzo morfologico fu realizzato il complesso "ex NATO" oggetto del presente studio.

Da circa 2000 anni, con la formazione di un cordone dunale lungo la costa, la piana ha assunto la fisionomia attuale ed è stata interessata solo da fenomeni bradisismici. Tuttavia ambienti limno-palustri sono persistiti fino a circa la seconda metà del 1800, fino a quando interventi di bonifica hanno definitivamente consegnato la zona di Bagnoli al dominio continentale.

Il bradisismo flegreo, insieme a fenomeni di risalita eustatica del livello del mare, ha fatto proseguire la sedimentazione di ambiente marino a valle del suddetto terrazzo, nell'attuale piana di Coroglio fino in epoca classica.

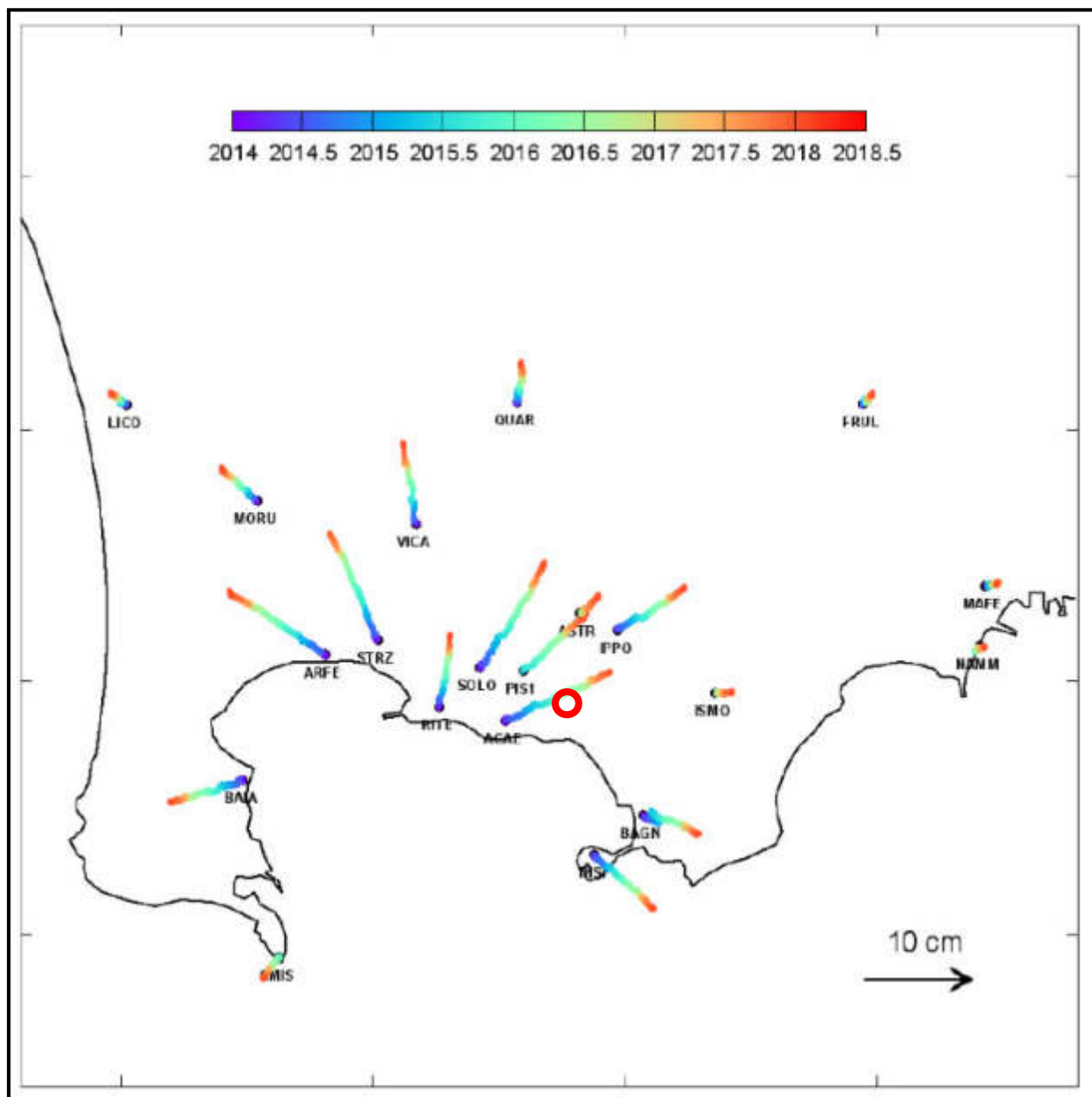


Figura 4 - Mappa degli spostamenti GPS orizzontali registrati nell'area flegrea dal 01 gennaio 2014 al febbraio 2018. (Ubicazione area ex NATO - cerchio in rosso) – (Fonte Osservatorio Vesuviano)

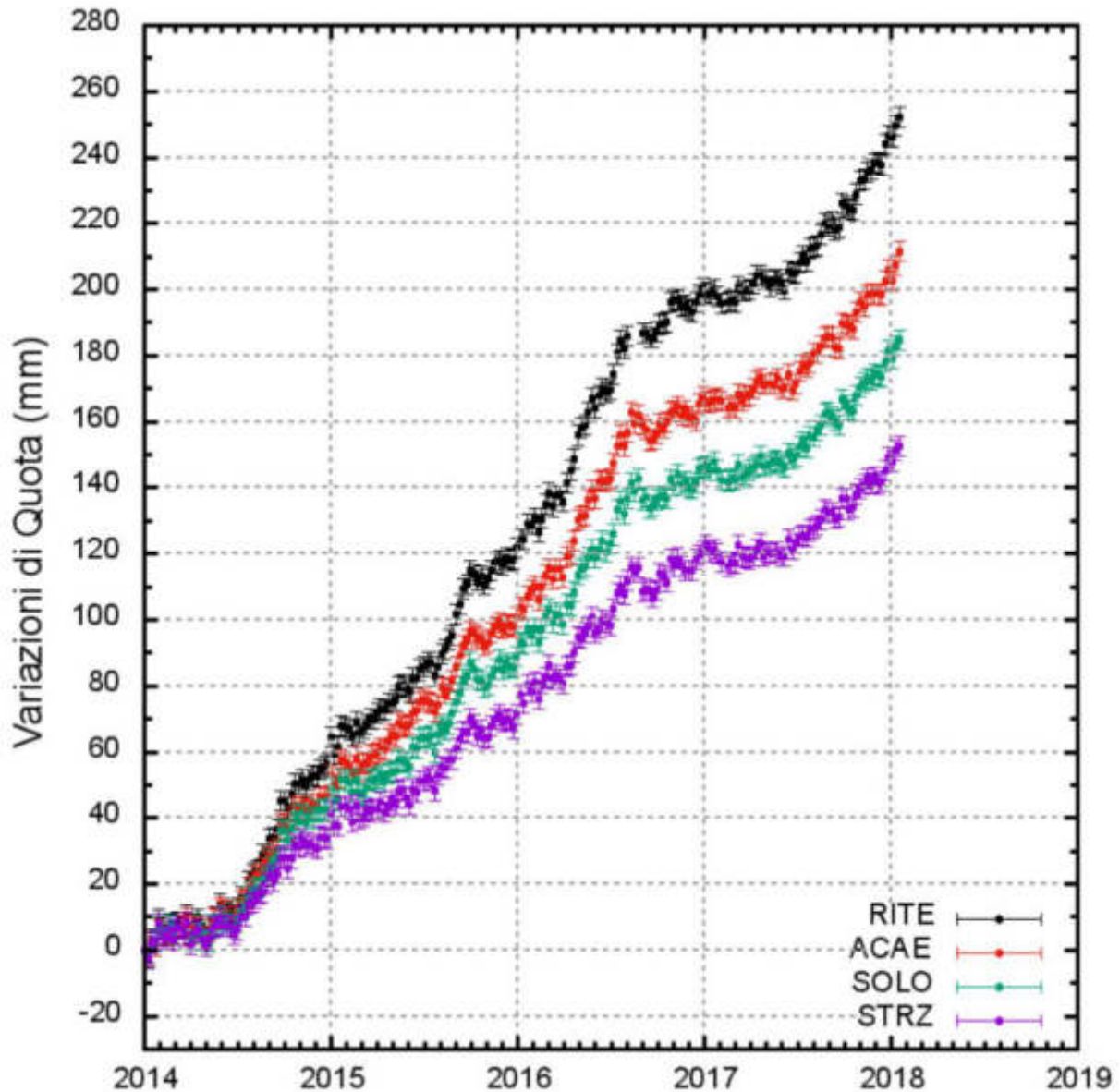


Figura 5 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli - Rione Terra), ACAE (Accademia Aeronautica), SOLO (Solfatarà) e STRZ (Pozzuoli - Cimitero) dal 01 gennaio 2014 a febbraio 2018 (Fonte Osservatorio Vesuviano)

2.2 GEOTERMIA DEI CAMPI FLEGREI (CAMPI DI FUOCO)

L'etimologia del nome "Campi Flegrei" è "Campi Ardenti" dal greco φλεγών "ardo"; questo nome fu dato a questa mitica regione, dai primi abitanti greci che colonizzarono per primi le terre e dove la mitologia vuole che Ercole sconfisse i Giganti, raffigurati "*..da un monte che un tempo gettava fiamme*" (Diodoro Siculo, I sec. a.C.).

Studi idrogeologici hanno evidenziato che nel quartiere di Bagnoli la composizione idro-chimica delle acque sotterranee del sistema flegreo è quella della famiglia *clorurato-sodiche e bicarbonato-sodiche*, mentre la zona costiera risulta permeata da acque delle famiglie clorurato-sodiche, organizzate in due diversi sistemi

complessi: uno più superficiale caratterizzato da un acquifero freatico multifalda, ed uno più profondo caratterizzato da intensa attività idrotermale.

Semplificando si possono distinguere tre tipologie di acquiferi in funzione della loro origine: **Acque meteoriche** (freatiche - acque dolci); **Acque marine** (cuneo salino di intrusione); **Acque vulcaniche** mineralizzate, calde e ricche di CO₂ (juvenili e idrotermali).

Sondaggi profondi eseguiti nel complesso ex NATO ed i monitoraggi dell'Osservatorio Vesuviano hanno confermato il seguente scenario idrogeologico:

- Falda freatica presente ad una profondità compresa tra i – 50 m ed i – 60 m dal piano campagna con temperature intorno ai 37°C (Bassa Entalpia). Tale falda, che riceve alimentazione dagli apporti meteorici diretti, può considerarsi parte di un più esteso fronte idrico che impegna tutta l'area flegrea e che ha nel mare il recapito finale.
- Primo acquifero di origine vulcanica, ad una profondità compresa tra i – 65 m ed i – 100 m dal piano campagna, con temperature medie tra i 113°C ed i 150°C (Media Entalpia), alimentato dalla attività endogena dei Campi Flegrei.
- Secondo acquifero di origine vulcanica, ad una profondità compresa tra i –150 m ed i –200 m dal piano campagna ed oltre con temperature medie di superiori a 150°C (Alta Entalpia) con un gradiente geotermico di circa 42°C/100m.

Il cuneo di intrusione marina, vista la lontananza dalla linea di costa, nell'area ex NATO non è presente.

È presente invece nella fascia costiera tra la falda freatica delle acque meteoriche e la falda idrotermale.

Di rilevante importanza sono i fenomeni di contaminazione naturale dovuti alla risalita di acque geotermiche, che notoriamente sono arricchite di metalli pesanti e tossici quando superano i limiti di concentrazione di riferimento (As, Hg, Cu, Pb, Cd, V, Sb, ecc.).

La risalita delle soluzioni idrotermali si verifica in particolare lungo le fratture (faglie) o intersezioni di fratture. Tra le faglie individuate su carta, se ne evidenzia una ricadente all'interno del complesso ex NATO, motivo per cui è atteso un chimismo delle acque naturalmente alterato dalla presenza di acque geotermiche molto calde ricche in metalli pesanti.

I fenomeni dell'attività idrotermale sono collegati alla faglia vulcano - tettonica che si sviluppa lungo la direttrice che dalla costa di Bagnoli, con le Terme Tricarico, Manganello, prosegue in linea con il pozzo piezometrico all'interno del complesso ex NATO, la grotta del cane e le Terme di Agnano, con evidenti manifestazioni visibili anche in superficie quali la "Solfatata", i "Pisciarelli" le "Terme di Agnano", limitrofe in linea d'aria alle zone interessate dal P.U.A..

Altri fenomeni geotermici superficiali con sorgenti di acque calde e fumarole anche a 60° centigradi si riscontrano lungo tutta la linea di spiaggia, da "Coroglio" a "la Pietra" ed alla base del versante sud del Monte

Sant'Angelo come è testimoniato dai ruderi di epoca romana delle "Terme di Via Terracina" e dalla presenza di antichi stabilimenti termali quali: Tricarico, (antica Juncaria), Manganella (antica Balneum Balneoli), Masullo e Cotroneo (dei primi anni del 1900).

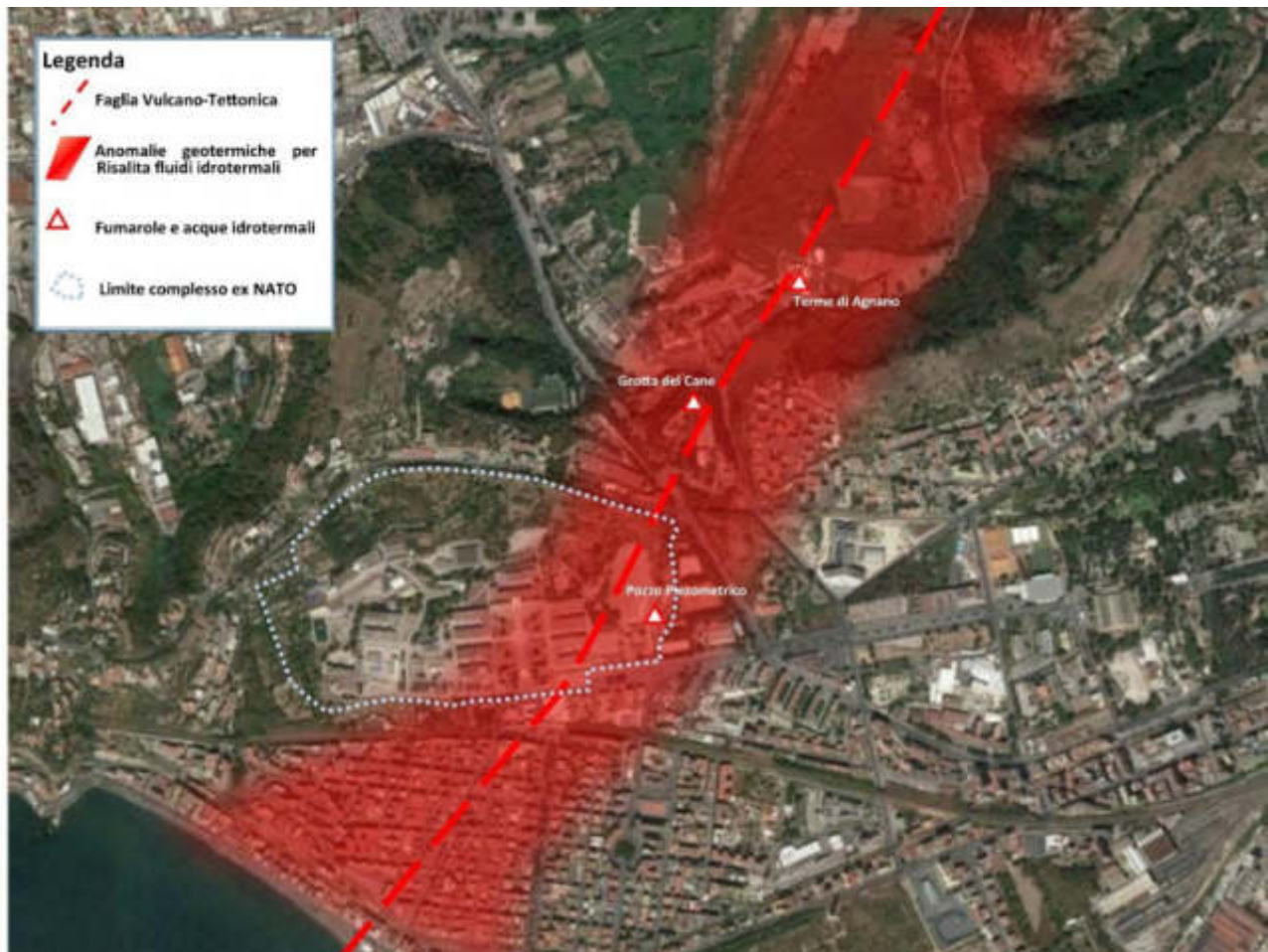


Figura 6 - Faglia Vulcano-Tettonica nell'area ex NATO e fenomeni geotermici associati alla risalita dei fluidi e gas idrotermali della Caldera dei Campi Flegrei.

In condizioni di stabilità idraulica le acque dolci di falda freatica si attestano tra i +10,00 m ed i -1,00 m.s.l.m.m. dove si registrano temperature comprese tra i + 35°C, per gli strati più superficiali ed i + 70°C, per gli strati a contatto con i fluidi geotermici i quali raggiungono temperature medie intorno ai 113°C (Vedi Diagramma delle temperature registrate alla fumarola di Pisciarelli).

Vista la potenzialità del bacino idrotermale presente si potrebbe prevedere, per un reale risparmio energetico, di estrarre energia termica con un normale scambiatore a sonda geotermica per il riscaldamento e per la produzione di acqua sanitaria dagli attuali pozzi piezometrici presenti all'interno del complesso immobiliare ex NATO e realizzati per la caratterizzazione ambientale delle acque.

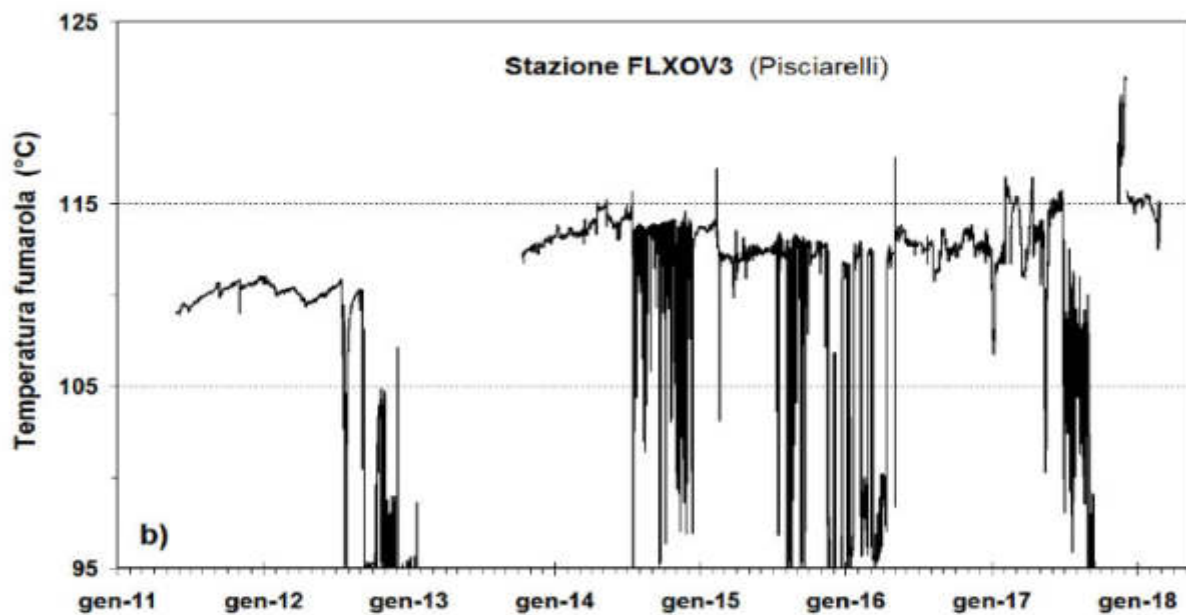


Figura 7 - Cronogramma delle temperature della fumarola di Pisciarelli registrate in continuo dal 2011. (Fonte Osservatorio Vesuviano)

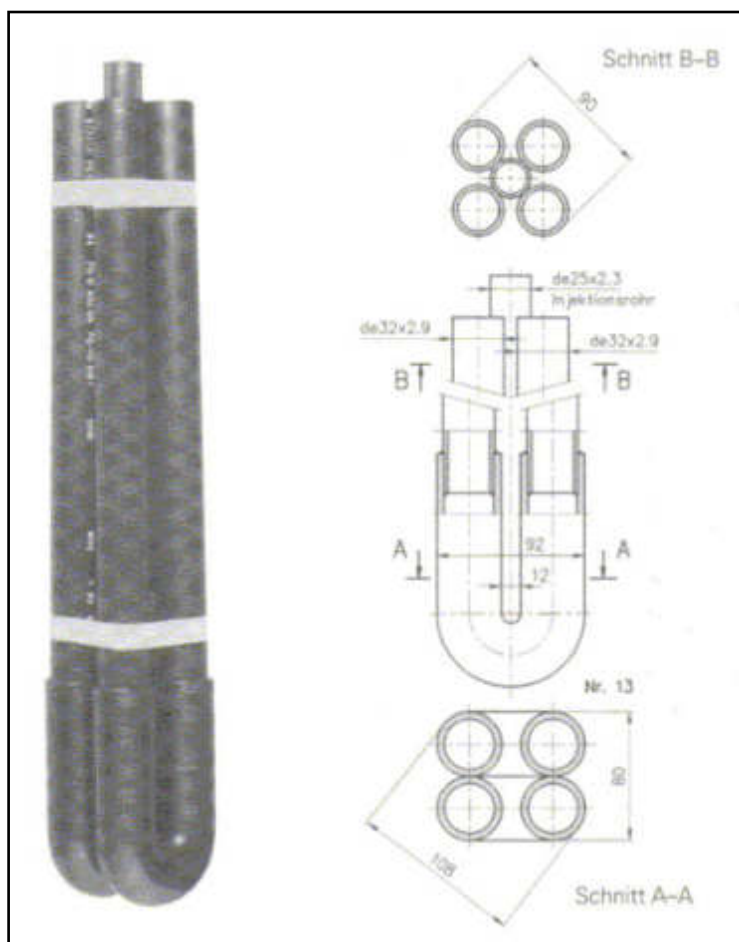


Figura 8 - Tipo di sonda geotermica

Dai succitati pozzi piezometrici si potrà prevedere di estrarre anche acqua, che per le sue caratteristiche chimiche ed organolettiche ed approvvigionare un'eventuale piscina termale o una S.P.A (*Salus Per Aquam*). Le acque emunte dai pozzi, dopo aver rilasciato la sua energia termica, potranno essere utilizzate, se idonee chimicamente, per innaffiamento, pulizia delle strade e per qualsiasi altro uso consentito.

2.3 CONCENTRAZIONE DI RADON - RISANAMENTO E PREVENZIONE

Il complesso immobiliare dell'ex Nato di Bagnoli è ubicato in un'area vulcanica attiva con fenomeni geotermici quali: Bradisismo, Fumatole, Sorgenti idrotermali, ecc. e tra queste manifestazioni si annovera anche l'emissione di gas Radon e gas Toron. Il 17/01/2014 è stata pubblicata sulla gazzetta ufficiale Europea la Direttiva 2013/59/Euratom che rivoluziona il campo delle radiazioni ionizzanti ed in particolare del Radon. In particolare, l'Italia entro il 06/02/2018 avrebbe dovuto emanare delle disposizioni nazionali che attuino la Direttiva 2013/59/Euratom la quale stabilisce nuovi limiti per le concentrazioni di Radon in 300 Bq/m^3 in ambienti chiusi.

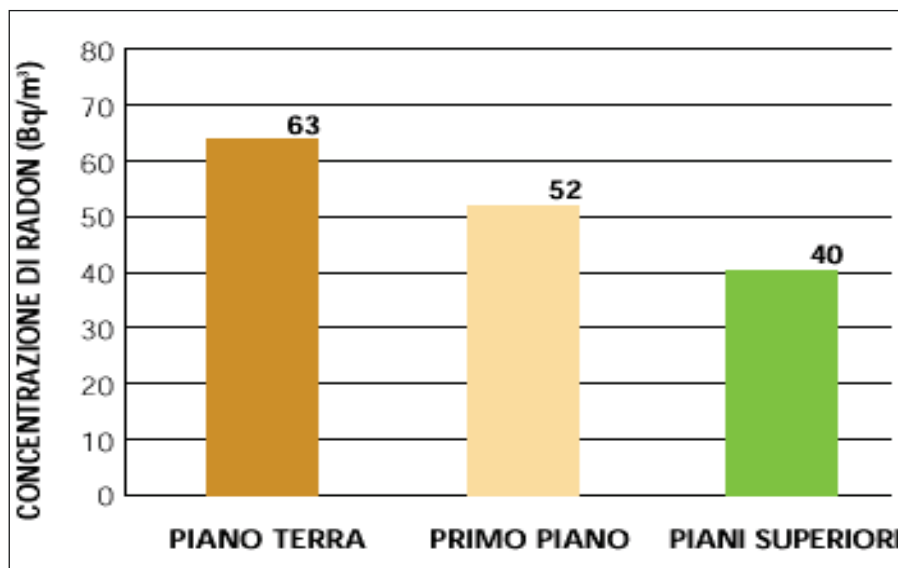


Figura 9 - Concentrazione di Radon in funzione dell'altezza di piano

La rilevazione della concentrazione di Radon sul suolo ed all'interno degli edifici è di particolare importanza al fine di fornire ai progettisti indicazioni idonee per dotare gli edifici esistenti di dispositivi tali da impedire l'ingresso del radon dal terreno e favorire nel contempo un frequente ricambio d'aria negli ambienti specialmente quelli interrati, seminterrati ed ai piani terra.

L'Osservatorio Vesuviano, il quale svolge una attività di monitoraggio delle fumarole e delle emanazioni di gas, ha registrato, negli anni, aumenti significativi di concentrazione di gas Radon e Toron i cui risultati sono riportati nelle tavole seguenti.

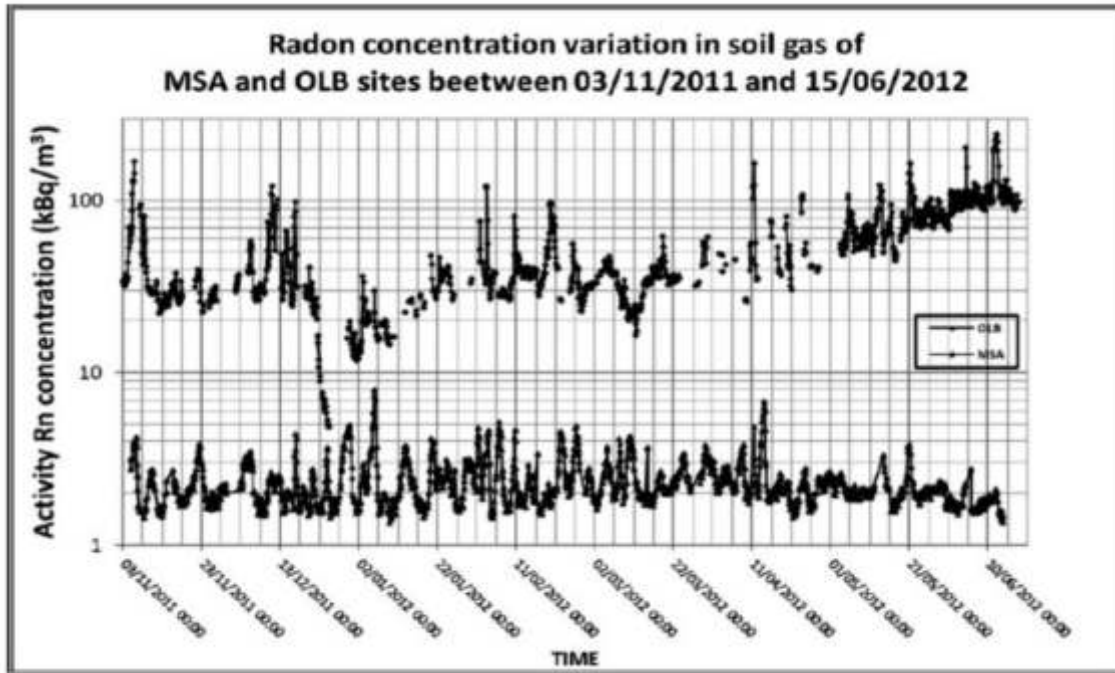


Figura 10 - Diagramma delle concentrazioni di Radon registrate alle stazioni di Monte S. Angelo (MSA) e di Monte Olibano (Solfatar) (OLB). (Osservatorio Vesuviano)

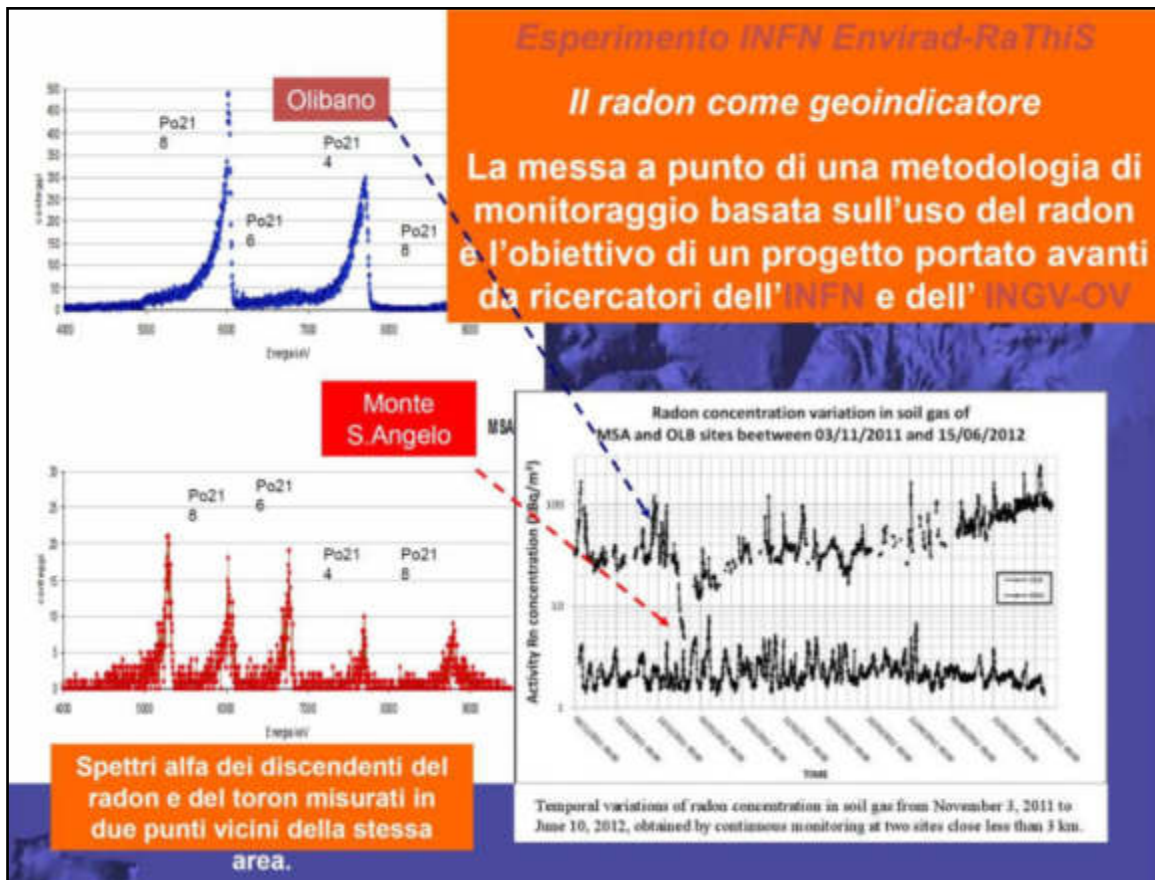


Figura 11 - Concentrazione di Radon e di Toron - Monte S. Angelo e Monte Olibano (Solfatar).

Queste tecniche sono bene documentate ed i risultati sono in genere soddisfacenti.

La prevenzione dal radon inizia dalla progettazione dei nuovi edifici, delle strutture e degli impianti, con particolare attenzione riguardo alla: posizione; destinazione d'uso dei locali; scelta di materiali da costruzione, i quali devono essere impermeabili al radon, per le parti di edificio a contatto con il suolo; alla pianificazione dei passaggi di condotte nel sottosuolo che non devono essere a contatto diretto con il terreno; all'isolamento termico; al sistema d'aerazione dei locali, privilegiando l'ingresso di aria forzata dall'esterno.

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Sotto il profilo morfologico, l'area ricade lungo il versante esterno del cratere di Agnano ed è ubicato sul terrazzo vulcano-tettonico di Bagnoli-Fuorigrotta formatosi a seguito del collasso della caldera flegrea con quote sul livello medio mare comprese tra i +35,00 m. ed i +70,00 m. Le pendenze sono quelle caratteristiche delle formazioni strato-vulcaniche di versante esterno del cono craterico con valori non superiori al 20%; mentre le rotture brusche della pendenza si riscontrano in corrispondenza degli:

- Impluvi per erosione delle acque dilavanti;
- Scavi e riporti antropici con la modifica dell'originario pendio.

Le zone instabili coincidono con quelle dove è più intensa l'azione erosiva degli agenti atmosferici e dove le attività antropiche hanno prodotto repentini stravolgimenti degli equilibri geomorfologici ed ambientali consolidati, con fronti di scavi e riporti anche verticali.

La copertura vegetale come è noto costituisce una ottima protezione attiva al dilavamento dei prodotti piroclastici, più o meno cementati per la deposizione a caldo delle pozzolane, lapilli, pomici ed alla disgregazione della roccia piroclastica litoide (Tufo).

La depressione dei Campi Flegrei è una struttura calderica all'interno della quale, negli ultimi 39.000 anni, sono stati attivi più di settanta centri eruttivi. Tale struttura deriva dalla sovrapposizione di due principali episodi di sprofondamento (Orsi et al., 1996) connessi all'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC – 39.000 anni, De Vivo et al., 2001) e del tufo Giallo Napoletano (TGN; 12.000 anni; Alessio et al., 1973).

La definizione della storia geologica è stato oggetto di molti studi a partire dal secolo scorso, ma l'interpretazione di nuovi dati stratigrafici sia di superficie che di sottosuolo, ha consentito una dettagliata ricostruzione della storia vulcanica e deformativi dei Campi Flegrei. La ricostruzione degli eventi vulcanici susseguitisi nel sistema Flegreo è stata realizzata avvalendosi di marker stratigrafici, quali la Formazione del Tufo Giallo Napoletano e l'Ignimbrite Campana come segue:

- Vulcanismo più recente di 12.000 anni;

- Eruzione del Tufo Giallo Napoletano;
- Vulcanismo di età compresa tra i 39.000 e i 12.000 anni;
- Eruzione dell'Ignimbrite Campana;
- Vulcanismo più antico di 39.000 anni

Dal punto di vista strutturale, l'elemento più importante è dato dalla caldera dei Campi Flegrei; essa costituisce una struttura complessa risultante da due fasi principali di collasso, connesse alle eruzioni della Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano; quella più recente si è formata nel settore sud-occidentale della precedente ed è stata sede di una intensa attività vulcanica e vulcano tettonica più recente.

Vulcanismo più antico di 39.000 anni

Le rocce più antiche si rinvengono solo lungo le scarpate che bordano i Campi Flegrei. Esse comprendono i duomi lavici di Punta Marmolite e di Cuma, i depositi piroclastici dei Tufi di Torre Franco ed il relitto del Tufo di Monte Grillo. A questa attività, concentrata nella parte occidentale dei Campi Flegrei, segue l'eruzione dell'Ignimbrite Campana.

Ignimbrite Campana (39.000 anni)

L'Ignimbrite Campana è il deposito piroclastico a più ampia distribuzione areale della Campania; esso infatti ha ricoperto un'area di circa 30.000 Km², con un volume di magma eruttato di circa 150 Km³ (Fisher et al., 1993, Civetta et al., 1997); essa rappresenta il prodotto della maggiore eruzione esplosiva avvenuta nell'area mediterranea negli ultimi 20.000 anni.

Tale eruzione, avvenuta in un centro ubicato nei Campi Flegrei, ha seppellito gran parte della Campania sotto una spessa coltre di tufi. Durante l'eruzione si formò una caldera che determinò lo sprofondamento di una vasta area che comprende i Campi Flegrei, parte della città di Napoli ed una parte delle baie di Napoli e di Pozzuoli.

Vulcanismo tra 39.000 e 12.000 anni

Le rocce eruttate nel periodo compreso tra l'eruzione dell'Ignimbrite Campana e quella del Tufo Giallo Napoletano, sono esposte lungo il bordo della caldera dell'Ignimbrite Campana, all'interno della città di Napoli ed i versanti nord occidentale e sud occidentale della collina di Posillipo. La maggior parte delle rocce esposte rappresenta il prodotto di eruzioni esplosive a carattere generalmente freatomagmatico. Le caratteristiche tessiturali e sedimentologiche delle rocce in affioramento, indicano che i centri eruttivi erano ubicati all'interno della Caldera dell'Ignimbrite Campana, Formazione del vulcano di Solchiamo (Procida), dalla Formazione del vulcano di Torregaveta e dalla deposizione dei Tufi Biancastri (affioranti a Soccavo) e dei Tufi Antichi (affioranti nella zona urbana di Napoli).

Il Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni)

L'eruzione del Tufo Giallo Napoletano è la seconda per importanza nell'area Campana. Nel corso dell'eruzione furono emesse, da un centro ubicato nei Campi Flegrei, alcune decine di Km³ di magma che ricoprirono un'area di circa 1.000 Km². I depositi connessi con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano si rinvennero nell'area napoletana-flegrea e nella Piana Campana fino ai rilievi dell'Appennino.

Il Tufo Giallo Napoletano consiste in un vasto deposito da flusso piroclastico, di colore giallastro e grigiastro a struttura da massiva a stratoide, costituito da pomici, frammenti lavici e tufacei costituiti da pomici, frammenti lavici e tufacei immersi in una matrice cineritica, con una composizione da trachitica a fonolitica. Il Tufo Giallo Napoletano è generalmente grigio e scarsamente litificato in aree distali, mentre è giallo e litificato per zeolitizzazione (De Gennaro et al., 1990) nell'area prossimale napoletana flegrea, da cui prende il nome.

Vulcanismo più recente di 12.000 anni

Il vulcanismo più recente del Tufo Giallo Napoletano è concentrato in tre epoche di intensa attività, alternate a periodi di quiescenza. Le eruzioni sono state per la maggior parte esplosive, magmatiche e freatomagmatiche. Nel corso della prima epoca, che va da 12.000 a 9.500 anni, si verificarono 37 eruzioni, tutte esplosive, con una media di una eruzione ogni 70 anni. Nella seconda epoca (periodo tra 8.600 e 8.200 anni fa) si sono verificate 6 eruzioni esplosive, con una media di una eruzione ogni 65 anni. La terza epoca (periodo tra 4.800 e 3.800 anni fa) è stata caratterizzata da 16 eruzioni esplosive con una frequenza media di una eruzione ogni 50 anni. Il vulcanismo attivo in questo periodo ha generato numerosi edifici vulcanici, molti dei quali ancora ben conservati ed esposti nei Campi Flegrei.

L'ultima eruzione è stata quella del Monte Nuovo nel 1538 dopo un periodo di quiescenza durata circa 3.000 anni ed è tra le eruzioni di minore intensità avvenute ai Campi Flegrei.

3.1 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI TERRENI

I terreni affioranti nella zona sono costituiti dai materiali piroclastici del vulcanismo Flegreo, i cui termini più significativi sono dal basso verso l'alto:

- Breccie piroclastiche;
- Trachiti alcaline;
- Tufo pipernoide;
- Tufo giallo napoletano con pomici alterate e scorie;
- Prodotti piroclastici sciolti costituiti da ceneri (pozzolane), lapilli e pomici.

Nello specifico nell'area del complesso ex NATO i terreni che si rinvennero sono ascrivibili alle eruzioni del cratere degli Astroni e la successione stratigrafica originaria, dall'alto verso il basso, è la seguente:

- da 0,00 a 1,50 m. - coltre superficiale di riporto e/o agrario (cinerite humificata rimaneggiata);
- da 1,50 a 2,80 m. - Cinerite limoso-sabbiosa grigio chiaro (pozzolane chiare);
- da 2,50 a 3,00 m. - Sabbia vulcanica di colore grigio scuro (pozzolane scure)
- da 3,00 a 9,00 m. - Cinerite sabbioso-limosa grigio chiaro (pozzolane chiare) con lapilli e pomici;
- da 9,00 a 21,00 m. - Cinerite limoso-sabbiosa di colore grigio scuro (pozzolane scure);
- da 21,00 a 27,00 m. - Cinerite sabbiosa grigio chiaro (pozzolane chiare) con lapilli e pomici;
- da 27,00 a 36,00 m. - Cinerite sabbiosa grigio scuro (pozzolane scure);
- da 38,00 a 40,00 m. ed oltre Cinerite sabbiosa grigio chiaro (pozzolane chiare):

Il Tufo giallo napoletano e/o verde con pomici alterate e scorie, con una facies superiore grigia a pomici argentei (Mappamonte) dello spessore di circa 1,00 m. non è presente fino alla profondità massima raggiunta dai sondaggi i quali sono stati spinti fino a – 80,00 m. dal piano campagna.

L'assenza in zona di eventi geologici e idrogeologici potenzialmente in grado di impartire svolte morfologiche-evolutive a rapido decorso, rende l'area investigata in condizioni di buona stabilità fra suolo e sottosuolo e priva di rischio idraulico ciò, alla luce della campagna di indagini geognostiche e delle ricerche effettuate sulla cartografia dell'Autorità di Bacino competente.

3.2 ASPETTI IDROGEOLOGICI

In questo capitolo verrà esaminata l'area sotto un profilo squisitamente idrogeologico, considerando, cioè, i vari "complessi" sotto l'aspetto delle potenzialità che essi offrono ad essere considerati "acquiferi" o "impermeabili".

Si intenderanno, quindi, come "acquifero" le rocce o l'insieme di rocce che possiedono caratteristiche intrinseche ed estrinseche tali da consentire l'assorbimento, l'immagazzinamento, il deflusso, la restituzione (o l'estrazione) di acque sotterranee in quantità apprezzabili. Si definiscono, invece, "impermeabili" quei complessi che non possiedono le caratteristiche sopra citate, sia per intrinseche proprietà (ad esempio le argille), sia perché giustapposti ad altri più permeabili, ne tamponano parzialmente la circolazione idrica. Questi ultimi saranno, quindi, degli impermeabili relativi. Risulta evidente che la suddivisione in complessi idrogeologici che si andrà a fare non può prescindere dalle caratteristiche mineralogiche e petrogenetiche delle rocce costituenti i complessi stessi, ma può, al contempo prescindere dalla storia sedimentaria e tettonica da cui ha preso forma l'attuale assetto morfologico e strutturale dell'area in oggetto.

Il contesto geologico nel quale è inserita l'area in esame permette di definire un complesso idrogeologico: complesso piroclastico, intendendo come "complesso idrogeologico" una successione stratigrafica, o parte di essa, per la quale sono definibili le caratteristiche spaziali e giaciture ed avente delle caratteristiche nei confronti della circolazione naturale delle acque, variabili entro limiti sufficientemente ristretti.

3.3 UNITÀ IDROGEOLOGICA

L'area in esame rientra nell'unità idrogeologica dei Campi Flegrei. Nell'area flegrea la stratigrafia è variabile per giacitura, spessori e granulometria dei litotipi presenti. La circolazione idrica sotterranea, in questi litotipi, avviene per falde sovrapposte.

Dallo schema idrogeologico si può osservare che nel settore occidentale dell'area vulcanica, dove sono presenti numerose sorgenti termominerali, i flussi idrici sotterranei sono orientati in parte verso ovest ed in parte verso sud. Ad ovest i punti preferenziali di recapito delle acque sono rappresentati dal lago Fusaro e dai canali di bonifica ubicati a nord; a sud, la falda defluisce direttamente verso mare, formando un'ampia zona di drenaggio preferenziale lungo l'allineamento Pianura- Astroni-Terne di Agnano. La zona di alto idrogeologico, compresa tra l'abitato di Marano ed il retroterra di Pozzuoli, corrisponde all'area di ricarica principale della falda. Sono, infatti, presenti numerose conche endoreiche, che rendono le aliquote d'acqua di ruscellamento superficiale praticamente nulle. In quest'area è possibile trovare, localmente, falde di acqua fredda (es. il cratere di Astroni) e acque calde (Agnano-Pisciarelli). Queste ultime sono legate alla presenza di un corpo magmatico che per conduzione riscalda la falda marina profonda. I moti convettivi che si generano all'interno dell'acquifero, nonché i vapori che risalgono attraverso le principali fratture, riscaldano poi le falde superficiali. Nella parte orientale dell'area flegrea la falda è alimentata esclusivamente dagli apporti zenitali diretti. Nella tabella seguente vengono riportati i parametri idrodinamici tipici dei depositi vulcanici.

Tabella 1 - Parametri idrodinamici tipici dei depositi vulcanici

Parametri Idrodinamici	Valori medi	Unità di misura
Tramissività	1.4×10^{-2}	m^2/s
Portata specifica	7.5×10^{-3}	m^2/s
Gradiente piezometrico	2.7×10^{-3}	

Tabella 2 - Parametri idrodinamici tipici dei depositi vulcanici

Tipo di sedimento	Diametro medio	Coefficiente di permeabilità k in cm/sec	Velocità media di percolazione dell'acqua per cadente 1 in cm/sec
Pozzolane (limi)	0,01- 0,06	0,0000183	0,000058
sabbie	0,10- 0,50	0,0293	0,0922
pomici (ghiaie)	0,60- 2,00	0,732	0,2307

3.4 IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA

I Campi Flegrei sono una caldera risorgente complessa formatasi attraverso due principali episodi di sprofondamento avvenuti rispettivamente durante l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, circa 37.000 anni fa, e l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, circa 12.000 anni fa.

Il reticolo idrografico dell'area ha un andamento breve e rettilineo ed è distinto in due tipi:

- Il primo reticolo si sviluppa all'interno dell'apparato craterico con andamento a raggiera e con linee di flusso convergenti verso il basso e quindi verso il centro dell'anfiteatro craterico. Questi corsi d'acqua, a carattere torrentizio, prodotti dalle acque di pioggia, sono brevi, privi di affluenti ed originano con la loro confluenza generalmente laghi vulcanici dalla caratteristica sagoma circolare;
- Il secondo, invece, si forma all'esterno del vulcano, lungo le pendici del cono il quale viene segnato con incisioni rettilinee anche profonde, con flussi divergenti verso il basso e quindi verso la pianura.

La circolazione idrica sotterranea dei Campi Flegrei, è da considerarsi unica per l'assenza di strati confinanti realmente continui, pur essendo localizzata nei livelli piroclastici a granulometria più grossolana.

La falda freatica, defluente verso mare, circola principalmente all'interno dei materiali più grossolani, pomice, scoriecei e tufacei, ad una quota coincidente con il livello medio mare.

Studi idrogeologici hanno evidenziato che le acque sotterranee sono organizzate in due diversi sistemi complessi, uno più superficiale contraddistinto da un acquifero alluvionale multifalda interconnesso e alimentato dalle acque meteoriche del bacino idrogeologico con linee di deflusso ortogonali alle curve di livello ed uno più profondo caratterizzato da una intensa attività termale con circolazioni dei fluidi idrotermali ascensionali dalla profondità verso la superficie con linee preferenziali in corrispondenza delle faglie vulcano-tettoniche.

Ruolo fondamentale, sulle circolazioni idrogeologiche nel sottosuolo del complesso ex NATO, riveste il cratere di Agnano - Monte Spina con la sua storia e per la presenza nel suo cratere di un lago che occupava una superficie di circa 8 kmq e che è stato in varie epoche storiche prosciugato.

Le più antiche testimonianze archeologiche, ritrovate ad Agnano, risalgono al IV-III sec. a.C. e sono situate sul versante meridionale dell'antico lago prosciugato, per la prima volta, epoca romana con un'opera idraulica, formata da canali disposti a raggiera che convogliavano le acque in una "galleria emissario". A seguito della caduta dell'Impero Romano e della successiva perdita delle conoscenze di gestione dell'impianto idraulico la galleria perdeva la sua funzionalità riformando il lago intorno al X secolo. Tale lago è stato presente fino al 1870, anno dell'ultima bonifica idraulica a seguito della quale fu ripristinato lo scarico delle acque. Il tracciato dell'antica "galleria emissario" della Bonifica del Lago di Agnano attraversa il sottosuolo dell'ex NATO e sfocia sulla spiaggia di Bagnoli in prossimità della località "Dazio".



Figura 12 - Lago di Agnano. Stampa colorata di Pietro Fabris (1776)

Al fine di non incrementare l'alterazione degli equilibri idrogeologici dell'acquifero alluvionale della falda freatica, già compromessi da un'intensa cementificazione del suolo e del sottosuolo, è indispensabile:

- Evitare di impermeabilizzare ulteriormente il suolo;
- Favorire l'incremento della copertura arborea ed arbustiva;
- Vietare, in presenza di falda freatica e/o idrotermale, di realizzare strutture in sotterraneo che intercettino le circolazioni idriche.

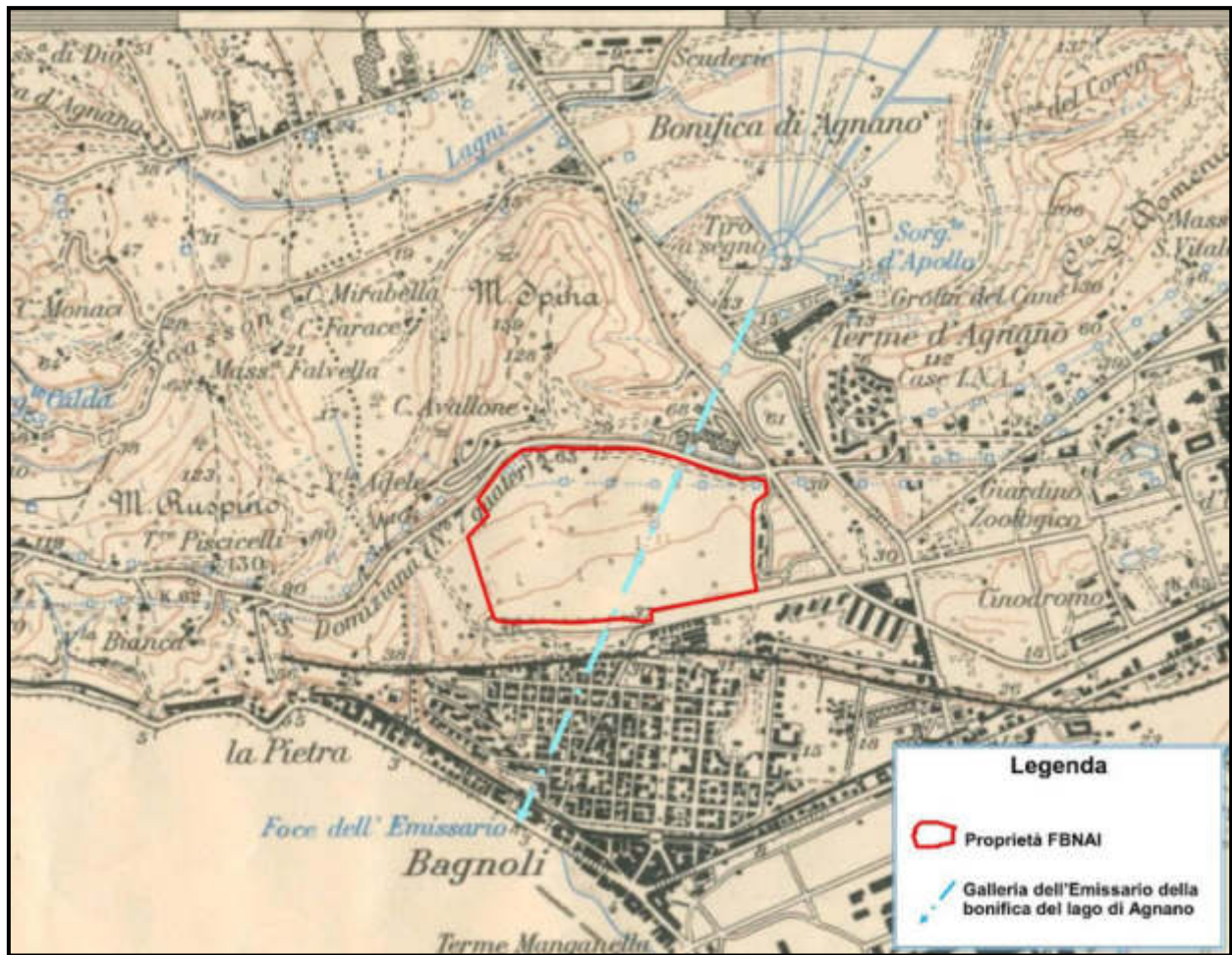


Figura 13 - "Galleria emissario" della Bonifica del Lago di Agnano e perimetrazione della proprietà FBNAI

L'individuazione del percorso della "galleria emissario" è di primaria importanza per l'elaborazione di eventuali opere e/o strutture in ipogeo, oppure solo perforazioni, sondaggi ecc. che possano più o meno interferire con l'opera idraulica di scolo della bonifica idraulica di Agnano.

4 CARATTERIZZAZIONE DELLA DENSITÀ TERRENI VULCANICI

I materiali individuati sono tutti di origine vulcanica, costituiti da ceneri e prodotti di lancio più o meno saldati, a granulometria variabile compresa tra i limi e le sabbie fini, mentre i prodotti più grossolani sono rappresentati dalle pomici e dai lapilli.

Le ceneri, i lapilli e le pomici sono costituite essenzialmente da particelle di sostanza vetrosa, più o meno soffiata e vacuolare, la cui superficie esterna è caratterizzata dalla presenza di numerosissimi pori, alcuni dei quali sono inglobati all'interno dei granuli e privi di comunicazione con l'esterno; perciò il volume della singola particella è dato da:

$$V = V_s + V_i + V_e$$

- V_s = Volume della sostanza solida;
- V_i = Volume dei pori interni;
- V_e = Volume dei pori esterni.

Essendo il peso specifico un rapporto tra peso e volume, bisogna distinguere, per la singola particella, due differenti pesi specifici ed in particolare:

- peso specifico della sostanza solida della particella $\gamma_s = P_s / V_s$
- peso specifico della particella $\gamma_p = P_s / V_s + V_i$

Nei minerali di natura non effusiva non esiste una distinzione tra i pesi specifici relativi alla singola particella, in quanto la stessa è priva di pori interni e quindi i due valori sono coincidenti.

E' evidente che il comportamento dei terreni cineritici immersi in acqua o attraversati dall'acqua è differente rispetto ad un normale limo, sabbia o ghiaia di origine sedimentaria, in quanto i vuoti interni delle singole particelle, non essendo occupati dal liquido, conferiscono alla particella una spinta idrostatica aggiuntiva.

Il volume dei pori interni è direttamente proporzionale alla dimensione della particella quindi per particelle di grosse dimensioni i pori saranno di grosse dimensioni, di conseguenza il peso specifico è inversamente proporzionale. Si ha quindi che il γ_p dei limi vulcanici è maggiore al γ_p delle sabbie e delle ghiaie (Pomici).

Tabella 3 - Correlazione dei diversi pesi specifici delle particelle cineritiche

Granulometria	$\gamma_s = P_s / V_s$	$\gamma_p = P_s / V_s + V_i$	$\gamma_t = P_s / V_s + V_i + V_e$
Pozzolane (limi)	2,45 - 2,68	2,25 - 2,55	1,13 - 1,25
sabbie	2,53 - 2,70	2,20 - 2,35	1,03 - 1,15
pomici (ghiaie)	2,52 - 2,58	1,97 - 2,20	0,86 - 1,02

Per γ_t si intende il peso secco di unità di volume delle particelle comprendente anche il volume dei pori esterni.

Per il calcolo invece del peso specifico naturale di un campione, costituito da un ammasso di particelle, bisogna aggiungere al volume delle singole particelle, il volume degli interstizi fra le particelle V_p e quindi il volume è dato da:

$$V = V_s + V_i + V_e + V_p$$

ed il peso di volume γ da:

$$\gamma = P / V = \text{compreso tra } 1,10 \text{ e } 1,90 \text{ g/cm}^3$$

Analogo discorso vale per il calcolo della porosità, del contenuto in acqua e dell'indice dei vuoti.

La distinzione dei diversi pesi specifici in funzione della granulometria è indispensabile per comprendere il comportamento di questi materiali immersi in acqua od in un qualsiasi altro liquido, basti pensare che le uniche rocce in natura che galleggiano in acqua sono le pomici.

Al di sopra del materiale piroclastico descritto, molto sensibile e facilmente mobilizzabile dalle acque, è stato depositato materiale di riporto in parte della medesima natura con inclusi residui di costruzione ed in parte prodotti eterogenei alloctoni.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica delle formazioni geologiche affioranti nel complesso dell'ex NATO di Bagnoli è stata eseguita riportando nella tabella seguente valori minimi e massimi delle prove geotecniche di laboratorio dei terreni, estrapolati dai numerosi studi, indagini geognostiche e prove eseguite in tutta l'area di proprietà FBNAI.

Tabella 4 - Caratteristiche geotecniche dei terreni

		Min	Max
Velocità delle onde di taglio S	V_s	410 m/sec	680 m/s
Peso di volume naturale	γ_n	16,800 kN/m ³	17,40 kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ	32°	36°
Coesione	c	2,00 kN/m ²	14,00 kN/m ²
Modulo di Poisson	ν	0,24	0,35

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Per la caratterizzazione sismica dello specifico sito sono stati calcolati gli Spettri di Risposta con riferimento al D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, mediante l'individuazione della pericolosità sismica del sito in base alle coordinate geografiche.

Da un'analisi di tutti i dati geognostici e sismici eseguiti per lo studio di micro zonazione sismica di livello 1, è stato possibile ricostruire il modello del sottosuolo il quale è risultato omogeneo per l'area relativa ai suoli di posa dei fabbricati presenti nel Complesso immobiliare "Costanzo Ciano".

La situazione litostratigrafica che si rileva dalle indagini è la seguente:

Da 0,00 a – 3,00 dal p. c.

- *Coltre di riporto e di terreno vegetale costituito da una copertura di spessore massimo 3 m di piroclastiti rimaneggiate a granulometria prevalentemente limoso sabbiosa con inclusioni elementi di varia natura e pezzatura;*

Da – 3,00 a – 80 ed oltre dal p. c.

- *Piroclastiti in situ ben stratificate, alternanza di strati sabbie vulcaniche con inclusi clasti lavici intercalate a cineriti limoso -sabbiose con lapilli e pomici. Tali prodotti piroclastici, proprio per la deposizione a caldo presentano una cementazione che conferisce alla formazione vulcanica delle caratteristiche di roccia pseudo litoide.*

Le informazioni sono state acquisite dai numerosi sondaggi geognostici, ambientali e per la perforazione del Pozzo esistente all'interno della corte interna del fabbricato D nonché delle numerose indagini geognostiche eseguite dal 1994 ad oggi in tutto il complesso immobiliare.

Dai sondaggi geognostici è stato possibile ricostruire la stratigrafia dei suoli fino alla profondità di -80 metri dal piano campagna, la cui rappresentazione stratigrafica è riportata nelle stratigrafie allegate, da dove si evince che nella zona **non è presente un substrato compatto nei primi 80 metri di profondità.**

I risultati delle prospezioni sismiche che si riportano in allegato, hanno evidenziato che i suoli in oggetto sono "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina) per uno spessore di circa 80,00 m, contraddistinti da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e con valori di V_{s30} compresi tra 410 m/s ed i 480 m/s. e con $Nspt > 50$.

Il calcolo dei moduli elastici G ed E è avvenuto considerando i pesi di volume naturale, determinati sulla base di informazioni scaturite dalle indagini geognostiche e prove geotecniche di laboratorio eseguite per pregressi studi.

Di seguito si riporta la tabella di riepilogo dei valori di velocità delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

Tabella 5 - Prospezione sismica in foro down-hole – W1

<i>Strato Nr.</i>	<i>Profondità della base dello strato (m da p.c.)</i>	<i>V_p (m/sec)</i>	<i>V_s (m/sec)</i>	<i>$\gamma_{naturale}$ (kN/mc)</i>	<i>Poisson (-)</i>	<i>G (MPa)</i>	<i>E (MPa)</i>
1	6	463	223	15,0	0,35	75	201
2	16	656	366	16,0	0,27	215	547
3	25	952	559	16,0	0,24	500	1237
4	35	1304	684	17,0	0,31	794	2082

Visto che le prospezioni sismiche hanno registrato i seguenti valori:

- a) **prospezione sismica in foro down-hole W1:**
 da 0 a – 30 m dal p.c. **Vs,30 = 410 m/sec**
 da – 5 m dal p.c. a – 35 m dal p.c. **Vs,30 = 480 m/sec**
- b) **prospezione sismica valle fabbricato "E"**
 MASW 1: **Vs,30 = 381 m/sec**
- c) **prospezione sismica monte fabbricato "E"**
 MASW 2: **Vs,30 = 416 m/sec**

sono comprese tra:

Vista la situazione geologica, e visti i risultati delle prove in situ, il suolo interessato dall'intervento è classificabile, a vantaggio della sicurezza, come:

Suolo di tipo = B

In riferimento alla classificazione sismica dei territori del Comune di Napoli, che sono stati inseriti nella classe CS. = 2 tenendo conto anche delle condizioni stratigrafiche e morfologiche per:

- La morfologia;
- La natura dei terreni;
- L'assenza della falda nei primi 50 m. dal p.c.;

La categoria topografica e classificazione sismica del suolo:

Tabella 6 - Categoria topografica e classificazione sismica del terreno

Categoria Topografica T₁	1
Categoria del Terreno	B

Con riferimento al D.M. 14. gennaio 2008 gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto sono stati calcolati per il sito con elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione

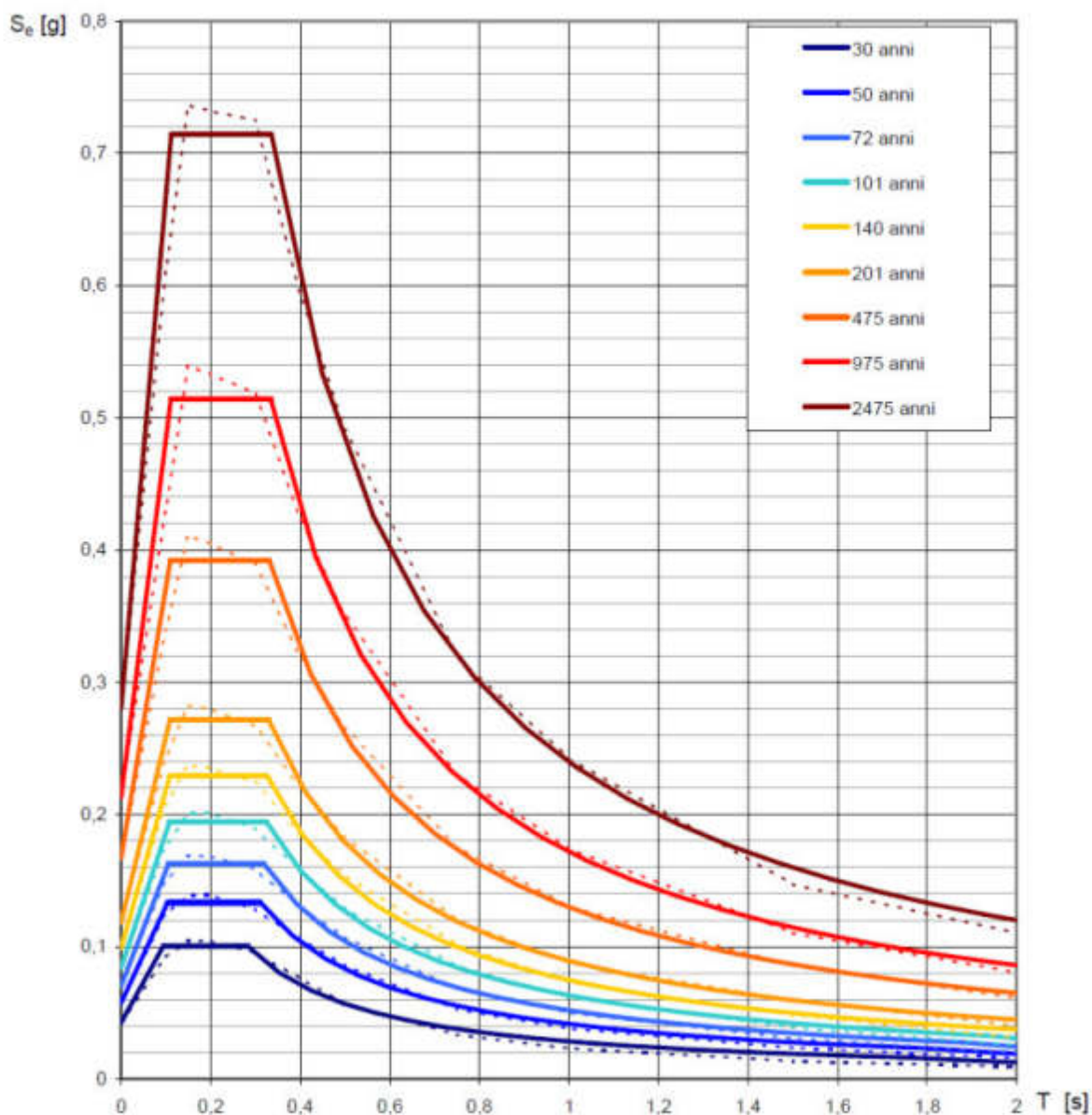
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 14 - COMUNE DI NAPOLI - Coordinate = Long. 14,166269 E ; Lat. 40,822248 N



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 15 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento

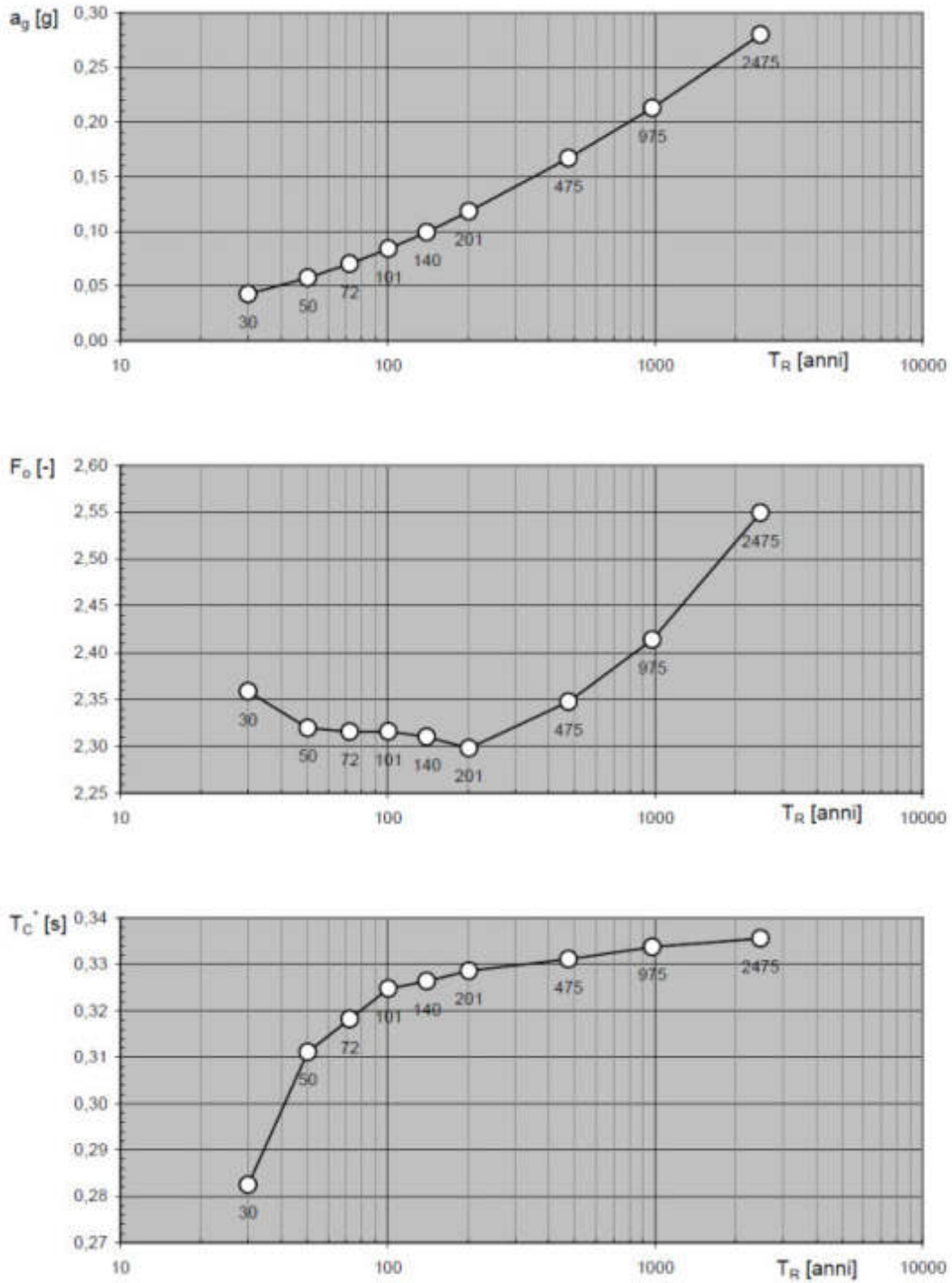


Figura 16 - Valori dei parametri a_g , F_o , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_R

Tabella 7 - Valori dei parametri a_g , F_o , T_c , per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c' [s]
30	0,043	2,359	0,282
50	0,057	2,320	0,311
72	0,070	2,316	0,318
101	0,084	2,316	0,325
140	0,099	2,310	0,326
201	0,118	2,298	0,329
475	0,167	2,348	0,331
975	0,213	2,414	0,334
2475	0,280	2,549	0,336

7 CARATTERIZZAZIONE CLIMATOLOGICA

La caratterizzazione climatologica di un'area geografica è il presupposto indispensabile per una corretta gestione delle risorse naturali e per una pianificazione del territorio in armonia con l'ambiente.

La conoscenza dei parametri fisico-climatologici e la loro evoluzione nella dimensione spazio-tempo rende il procedimento di pianificazione delle funzioni piovosità della zona rispecchia quella delle località italiane comprese nella fascia centro-meridionale tirrenica, con un andamento che presenta un massimo annuale tra il tardo autunno e l'inizio dell'inverno ed un minimo assoluto in estate, quasi sempre il mese di luglio.

La quantità media di precipitazione annua è superiore alla media nazionale ed alla media regionale ma non è da considerarsi eccezionale, anche se eventi meteorici notevoli sono stati saltuariamente registrati, di seguito si riportano i dati caratteristici degli eventi di pioggia massimi.

La stabilità atmosferica è più frequente in inverno, mentre in primavera il fenomeno è limitato generalmente alle sole ore notturne.

Tabella 8 - Valori massimi delle precipitazioni registrate nel sito di Bagnoli

Precipitazioni - BAGNOLI					
<i>Max annua</i>	<i>Max mensile</i>	<i>Max giornaliera</i>	<i>Max 3^h</i>	<i>Max 1^h</i>	<i>Max 10'</i>
1621 mm	178 mm	121 mm	42 mm	33 mm	22 mm

L'impermeabilizzazione di un solo metro quadrato di suolo quindi produce un incremento idrico nel bacino idrografico pari a 22 litri in soli dieci minuti, a 33 litri in una sola ora a 42 litri in 3 ore ed a 121 litri in un giorno.

L'analisi della serie ultracentenaria dei dati meteorologici misurati all'interno della città di Napoli e di serie temporali più brevi, registrate lungo la fascia costiera della provincia ha consentito di identificare significative variazioni nel regime termo-pluviometrico, In particolare è stato verificato la quasi scomparsa delle stagioni intermedie e una distribuzione delle piogge irregolare durante l'anno, con rovesci sempre più grossi e localizzati e con un numero progressivamente minore di giorni sereni.

Lo studio delle variazioni termo-pluviometriche ha messo in luce la tendenza dell'aumento delle temperature nell'area urbana. Si visto che nell'arco di soli 30 anni si è registrato un aumento medio di oltre un grado centigrado. La spiegazione a questo fenomeno è da ricercare nel disordinato sviluppo urbanistico, nella scomparsa del verde, nell'aridità del cemento e dell'asfalto, nell'aumento dei consumi energetici in termini di ore di funzionamento di pompe di calore, condizionatori, macchine termiche, traffico veicolare, illuminazione ed al sovraffollamento demografico con la conseguente congestione di attività antropiche. L'isola di calore urbana produce un'area depressionaria responsabile dell'aumento delle precipitazioni e dell'intensità del vento al contorno della Città.

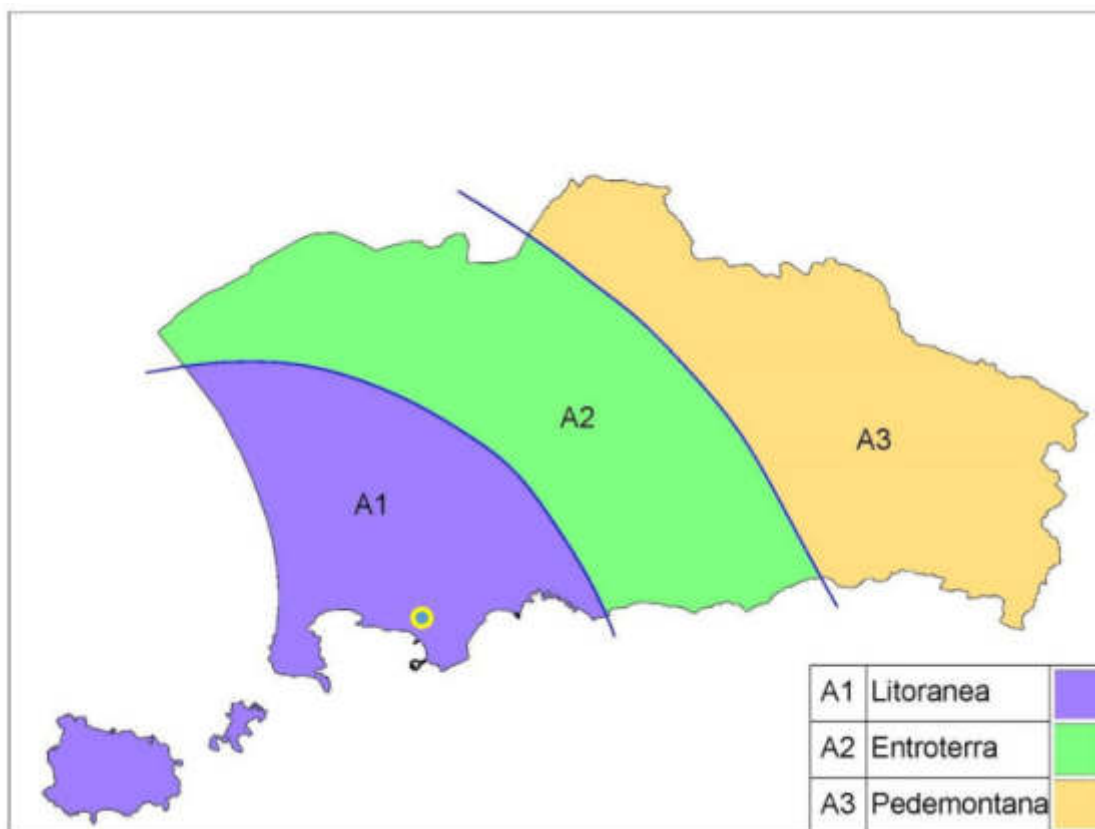


Figura 17 - Sottozone pluviometriche omogenee (Ubicazione ex NATO con il cerchio in giallo)

Le piogge giornaliere si distribuiscono nell'arco dell'anno in maniera sempre più irregolare, con rovesci sempre più grossi e localizzati, come quello che si abbatté sulla città di Napoli il 15 settembre 2001 nelle prime ore del mattino. Il nubifragio, in circa 3 ore, scaricò sulla città circa la sesta parte della quantità di pioggia che cade normalmente in un anno, provocando due vittime, diffusi dissesti ed ingenti danni. L'incremento delle precipitazioni e le condizioni morfologiche del bacino idrografico hanno reso vulnerabile tutto il territorio a causa:

- Dell'aumento dell'isola di calore urbano;
- Dell'intensa e disordinata urbanizzazione;
- Di scelte progettuali non compatibili con l'ambiente;
- Dell'aumento delle impermeabilizzazioni superficiali e sotterranee;
- Della riduzione della vegetazione.

Le cause descritte producono come effetti sull'ambiente un incremento idrico delle acque di scolo delle piogge così che, opere progettate per recepire una determinata quantità di acqua di pioggia, si rivelano insufficienti ed inadatte perché rigide e non auto adattabili alle mutazioni dei fattori ambientali.

8 CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

L'area ex-NATO fu inserita con la Legge 388/00 e perimetrato con D.M. 31 agosto 2001 (figura 18) all'interno del S.I.N. (Sito di Interesse Nazionale) di Bagnoli-Coroglio. Successivamente il SIN Bagnoli-Coroglio è stato oggetto di ripermetrazione con il D.M. 8 agosto 2014 (figura 19) e passato a competenza della Regione Campania (figura 19).

In virtù della presenza dell'area ex-NATO all'intero dei limiti del perimetro del Sito di Interesse Nazionale è stato necessario definire un piano di caratterizzazione ambientale per valutare lo stato qualitativo delle matrici ambientali suolo e sottosuolo ed acque sotterranee.

Considerato, inoltre, che il sito per oltre 50 anni è stato destinato ad usi civili e militari vari e secondo la convenzione tra il Comando NATO (Allied Joint Force Command Naples /JFCNP) e la proprietà FBNAI (Fondazione Banco Napoli Assistenza all'Infanzia), dovrà essere restituito agli usi originari, oggi classificabili in parte come verdi-residenziali e in parte commerciali-artigianali, è stato necessario definire un Piano di Caratterizzazione Ambientale dell'area per valutare lo stato qualitativo delle matrici ambientali.

Ai sensi della normativa ambientale vigente, il piano di caratterizzazione è stato approvato dagli enti preposti con Decreto della Giunta Regionale della Campania n°13 del 28/01/2016 ed avviata la caratterizzazione ambientale che è in fase di conclusione



Figura 18 - Perimetrazione Sito di Interesse Nazionale - Bagnoli Coroglio (in verde area ex-NATO)



Figura 19 - Perimetrazione Sito di Interesse Regionale di Bagnoli Coroglio (in verde area ex-NATO)

La NATO, prima di consegnare il complesso immobiliare, in base agli accordi con la proprietà avviò una campagna di indagine di caratterizzazione ambientale preliminare dalla quale emerse la non conformità della matrice ambientale suolo e sottosuolo per la presenza di idrocarburi, limitatamente all'area al di sotto dell'edificio D.

Ai sensi della normativa vigente, sulla base dei risultati ottenuti, è stato condotto uno studio di "Analisi di Rischio Sito Specifica" per definire la destinazione d'uso dell'edificio D ammissibile alle caratteristiche del sito.

L'analisi di rischio sito specifica, condotta sull'area limitrofa all'edificio D ha rilevato che non sussiste rischio ambientale e sanitario per una destinazione d'uso commerciale/artigianale/industriale.

Napoli li, Aprile 2018

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
N° Isc. 1204 dal 09/03/1976
Riccardo Caniparoli

Firmato digitalmente da

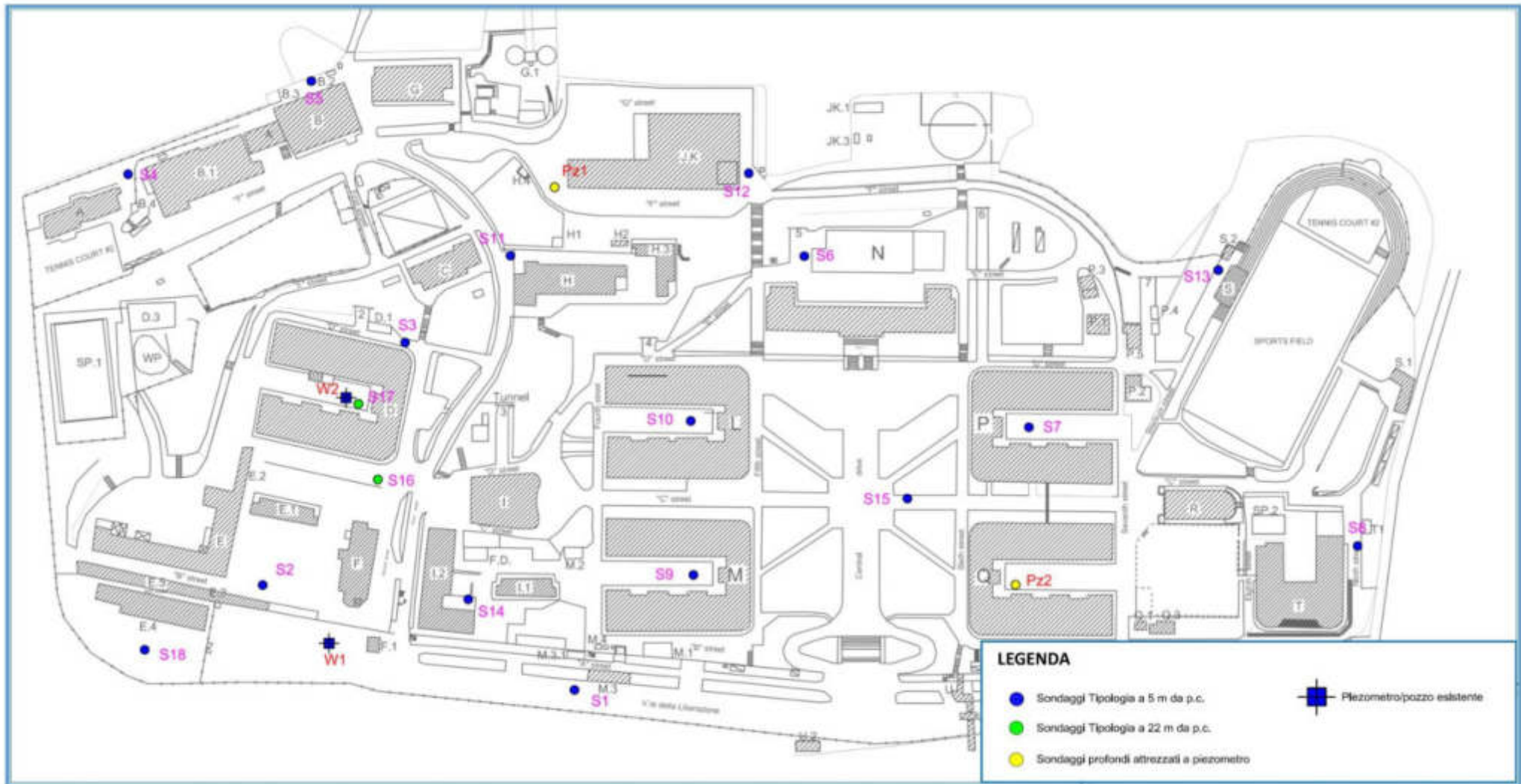
Riccardo Caniparoli

CN = Caniparoli Riccardo

O = non presente

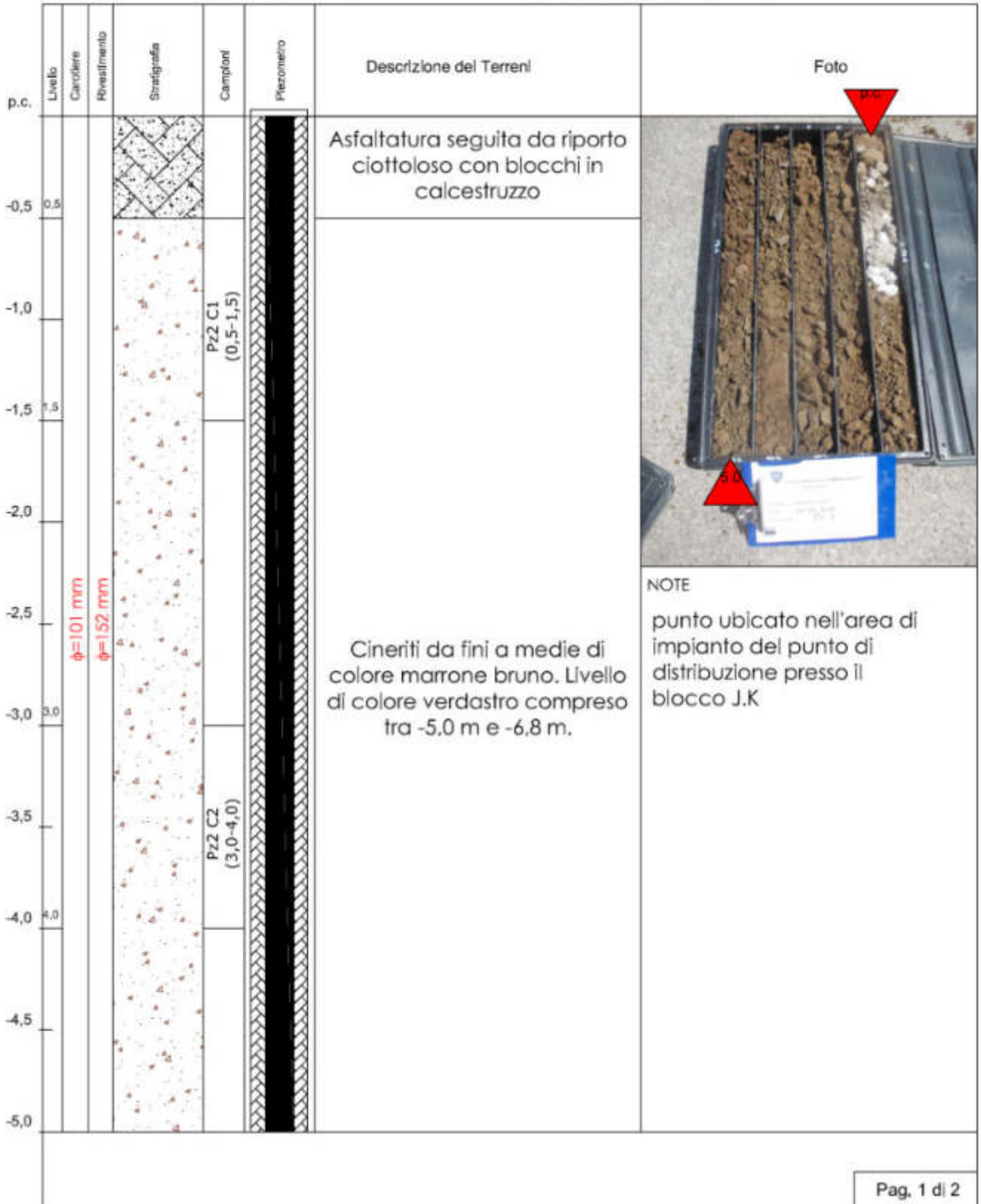
C = IT

9 UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

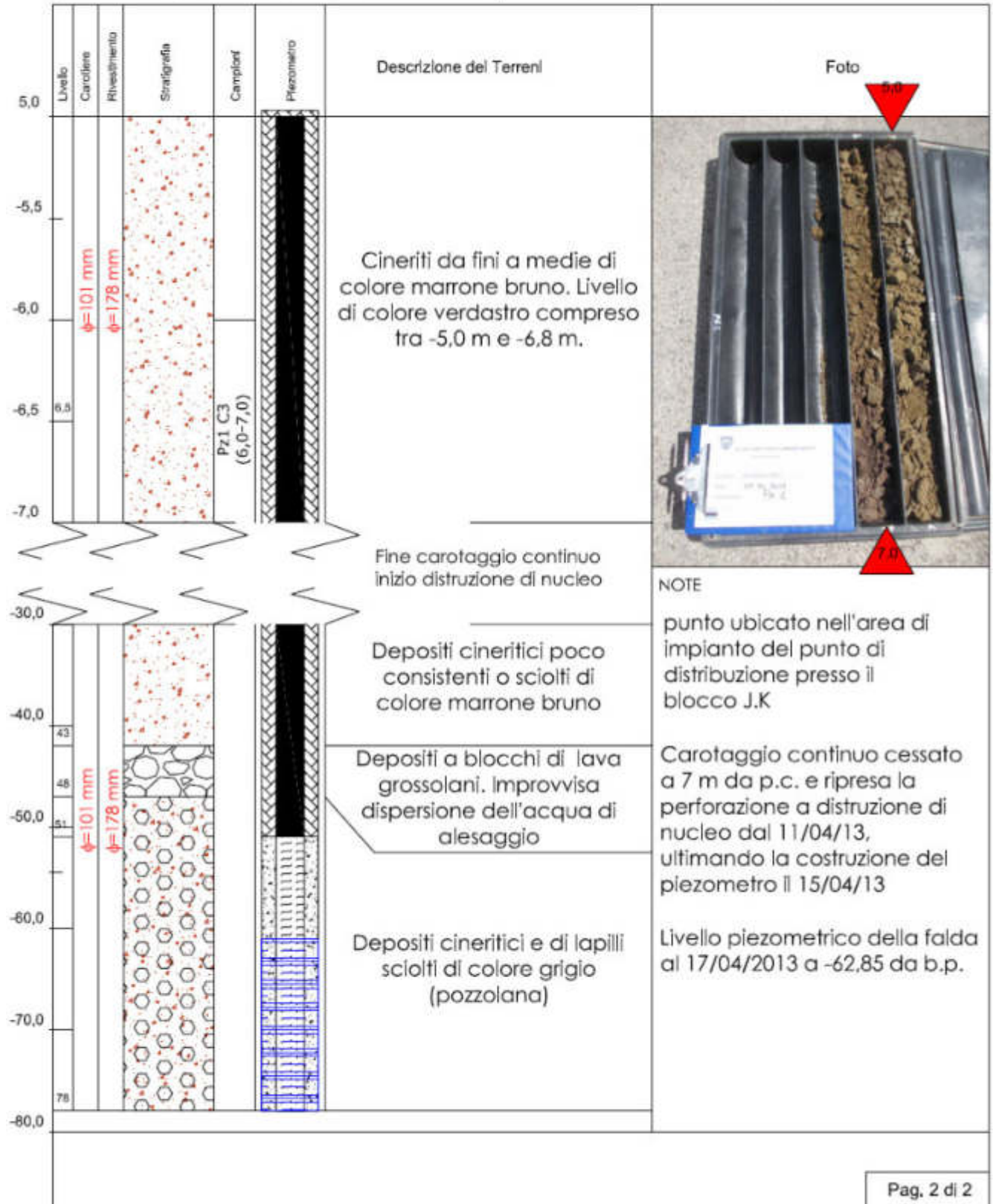


10 STRATIGRAFIA SONDAGGIO RAPPRESENTATIVO

	AMBIENTE S.C. Ingegneria ambientale e laboratori Via Frassina, 21 - 54031 Carrara (MS) tel. 0585-856624 e-mail: home@ambientesc.it - P.I. 00262540453		SONDAGGIO Pz1
	Committente: Joint Force Command	Quota p.c. (m s.l.m.)	
	Stabilimento: Headquarters NATO	Coord. (Roma 1940-GB)N E	Ditta di perforazione: Tecno IN S.p.A.
	Località: Bagnoli (NA)	Data di esecuzione: 09.04.2013	



	AMBIENTE S.C. Ingegneria ambientale e laboratori Via Frassinia, 21 - 54031 Carrara (MS) tel. 0585-855624 e-mail: home@ambientesc.it - P.I. 00262540453		SONDAGGIO Pz1
	Committente: Joint Force Command		Quota p.c. (m s.l.m.) Resp Cantiere: Dott. Geol. Giuseppe Palla
	Stabilimento: Headquarters NATO		Coord E (Roma 1940-GB)N Ditta di perforazione: Tecno IN S.p.A.
	Località: Bagnoli (NA)		Data di esecuzione: 09.04.2013



COMMITTENTE: **Fondazione Banco di Napoli per l'Assistenza all'Infanzia**

OGGETTO: **Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli
Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni
nell'intorno del fabbricato "E"**

LOCALITA': **Napoli – Bagnoli**

TIPO DI INDAGINE: **Prospezioni geofisiche
*Down-hole - MASW***

ELABORATO: **Note esplicative delle indagini**

Reg. Com	082/14
Nome file	082-14_Fondazione Banco di Napoli_Ass. Infanzia.docx
Impresa esecutrice delle indagini	
Tecno In S.p.A.	
Servizi di Ingegneria	
Data	Rev. 1
Aprile 2014	1° emissione



Tecno In S.p.A.
Laboratorio Geotecnico su Terre e Prove in Situ
Conc. N° 53363 del 06.05.05 Ministero Infrastrutture e Trasporti

Laboratorio Prove su Materiali da Costruzione
Conc. N° 40228 del 27.04.95 Ministero Infrastrutture e Trasporti



20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52
Tel. 02.496.80.501 - 346.5025325 Fax 02.496.80.502
80142 **Napoli** – II Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11
Tel. 081.563.45.20 - 348.0054498 Fax 081 563.39.70
e-mail: tecnoin@tecnoin.it - www.tecnoin.it

P.Iva 05016170630 – CCIAA Na 411847 – Reg. Imprese 05016170630

Tecno In S.p.A.	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 2 di 27</p>
------------------------	--	--

SOMMARIO

1 - Premessa		3
2 - Prospezioni geofisiche		4
2.1 – Prospezione sismica con metodologia down-hole		4
2.1.1 – <i>Descrizione del metodo down-hole, acquisizione ed elaborazione dati</i>		4
2.1.2 – <i>Descrizione dell'attività di cantiere</i>		11
2.2 – Prospezione sismica con metodologia M.A.S.W.		12
2.2.1 – <i>Descrizione del metodo M.A.S.W. acquisizione ed elaborazione dati</i>		12
2.2.2 – <i>Descrizione dell'attività di cantiere</i>		13
3 - Risultati delle indagini geofisiche		15
3.1 – Prospezione sismica con metodologia down-hole		15
3.2 – Prospezione sismica con metodologia M.A.S.W.		19
3.3 – Identificazione della categoria di sottosuolo		25

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 3 di 27
-----------------	---	---

1 - Premessa

La Tecno In S.p.A. è stata incaricata¹ dalla **Fondazione Banco di Napoli per l'assistenza all'infanzia** di eseguire una campagna d'indagini indirette, consistenti in prove per la caratterizzazione sismica in sito dei terreni, nell'intorno del fabbricato "E" afferente al *Complesso Immobiliare di Bagnoli* (ex Comando NATO Sud Europa), di cui la Fondazione è proprietaria.

Le indagini hanno previsto l'esecuzione di prospezioni geofisiche comprendenti le seguenti attività:

- a) n.1 prospezione sismica in foro *down-hole* all'interno del perforo denominato W1;
- b) n.2 prospezioni sismiche *MASW*.



Figura 1 – Ubicazione delle prospezioni sismiche per la caratterizzazione dei terreni intorno al fabbricato E.

La prospezione *down-hole* e l'indagine *M.A.S.W.* sono state eseguite avvalendosi di un sismografo M.A.E. modello A6000S corredato, rispettivamente, da un geofono da pozzo e da ventiquattro geofoni a componente verticale da 4.5 Hz.

Le attività si sono svolte in data 4 aprile 2014.

¹ Lettera di incarico Vs. Prot. 2014/1125 del 03-04-2014.

<p>Tecno In S.p.A.</p>	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 4 di 27</p>
-------------------------------	--	--

2 - Prospezioni geofisiche

2.1 – Prospezione sismica con metodologia down-hole

2.1.1 – Descrizione del metodo down-hole, acquisizione ed elaborazione dati

Il metodo sismico in foro “*down-hole*” consente di determinare il tempo di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, *P* ed *S*, generate in superficie mediante l’uso di una massa battente, all’interno delle varie unità litologiche che si incontrano lungo una perforazione.

In fase esecutiva, per il rilievo delle onde elastiche, si utilizza un sistema di ricezione costituito da geofoni opportunamente assemblati (geofono da pozzo), che viene fissato a profondità man mano crescenti contro le pareti di un perforo, opportunamente condizionato, mediante un sistema pneumatico (vedi *Figura 2* a lato).

La rilevazione delle onde *P* e delle onde *S*, nota la profondità dell’apparato di misurazione, permette di determinare le relative velocità di propagazione e di calcolare i moduli elastici dinamici dei litotipi, assunti i valori dei pesi di volume che li caratterizzano.

A differenza della sismica a rifrazione, che misura i tempi di arrivo delle onde sismiche dopo che queste hanno subito fenomeni di rifrazione e/o di riflessione, il metodo “*down-hole*”, misurando il tempo di arrivo delle onde elastiche man mano che queste penetrano negli strati più profondi, ha il vantaggio di non avere come condizione necessaria l’aumento della velocità con la profondità; pertanto è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nel pacco di litotipi attraversati dall’indagine.

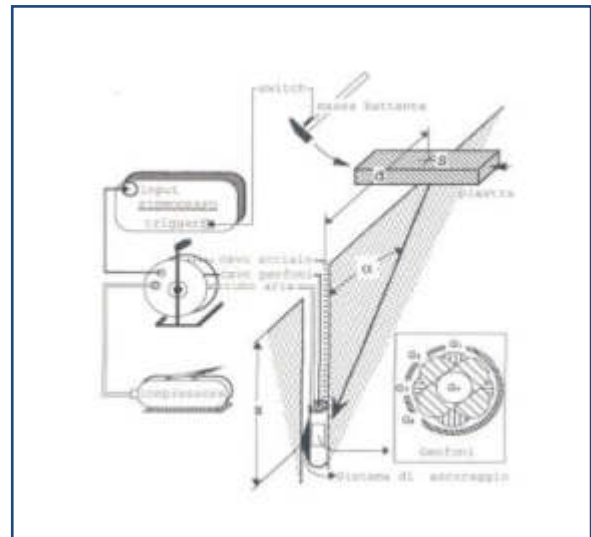


Figura 2 – Schema di sistema di acquisizione down-hole.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 5 di 27
-----------------	---	---

Se la sorgente energizzante è molto prossima all'asse del perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari a tale asse, il raggio sismico che dalla sorgente si muove verso i geofoni, non subirà alcuna deviazione nell'attraversare le suddette discontinuità.

Se, invece, sia per motivi logistici sia per evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, la sorgente energizzante viene a trovarsi ad una certa distanza dall'asse del perforo, i tempi di arrivo delle onde devono essere corretti in modo da riportarli ai valori che si sarebbero riscontrati qualora il raggio avesse viaggiato secondo un tragitto verticale.

In fase di elaborazione, per una prima valutazione del grado di disomogeneità delle litologie lungo il profilo verticale, si usa determinare la "*velocità intervallo*", ovvero la velocità con cui viaggerebbe il fronte d'onda lungo l'asse verticale tra due posizioni consecutive del ricevitore, intervallate da un determinato spessore, rappresentate mediante un diagramma del tipo *step plot*.

Successivamente, si determina il profilo di velocità reale lungo la verticale per il pozzo, sia per le onde *P* che per le onde *S*, nell'ipotesi che il sottosuolo sia localmente stratificato.

In tal modo, sono costruiti diagrammi "*tempi di arrivo corretti - profondità*" per procedere all'individuazione di *dromocrone*, laddove ciascuno dei segmenti individua un intervallo di profondità entro cui la velocità dell'onda sismica è costante.

Infine, dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde *P* ed *S*, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il **modulo di Poisson** (ν), **modulo di Taglio** *G* ed il **modulo di Elasticità** o **modulo di Young** (*E*)².

<i>modulo di Poisson</i>	$\nu = \frac{0.5 * (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (1)$
<i>modulo di Taglio</i>	$G = \gamma \cdot V_s^2 \quad (2)$
<i>modulo di Elasticità</i>	$E = V_s^2 \cdot \gamma \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (3)$

² Al fine di riferire le grandezze di cui alle relazioni (2) e (3) nel Sistema Internazionale, la massa viene espressa con la formula *densità/g* dove *g* è la forza di gravità pari 9,80665.

<p>Tecno In S.p.A.</p>	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 6 di 27</p>
-------------------------------	--	--

Le prospezioni in oggetto sono state compiute acquisendo i segnali relativi ad onde elastiche, mediante un sistema di rilevamento composto da 5 geofoni, di cui 1 verticale (per la rilevazione delle onde *P*) e 4 orizzontali (per la rilevazione delle onde *S*).

Questi ultimi risultano disposti, all'interno del dispositivo, secondo un array tipicamente a "raggiera" ovvero in maniera da formare un angolo di 45° l'uno con l'altro. Tale disposizione, consente l'acquisizione e, successivamente, la corretta determinazione delle onde *S*, a prescindere dall'orientamento nel foro del sistema di rilevamento rispetto al punto di battuta.



I segnali sismici, in onde *P*, sono stati generati mediante l'impatto della testa di un martello contro una spessa lamina posta orizzontalmente mentre, per la generazione delle onde *S*, l'impatto è avvenuto contro le estremità di un asse contrastato dall'assale di un autoveicolo (furgone).

I segnali in oggetto, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE A 6000S** a 24 bits di cui sono riportate le caratteristiche salienti.

- CPU chipset VIA 500 Mhz;
- Risoluzione scheda di acquisizione: 24 bit;
- Numero canali: 24;
- Campionamento sino a 30.000 c/s;
- Larghezza di banda: da 0 a 8 KHz - Max segnale IN: 10V;
- Visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale;
- Funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione;
- Funzione test geofoni automatico;
- Funzioni grafiche limita ed evidenza onda;
- Funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale;
- Funzioni Trigger e Pre-Trigger;
- Filtri settabili e parzializzabili da software;
- Monitor colori LCD tranflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.



Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 7 di 27
------------------------	---	---

Al termine della prova si è proceduto all'elaborazione dei dati avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- **IXSeg2Segy** per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- suite **Sesarray** composto dal software **Geopsy** (Geophysical Signal Database For Noise Array Processing) per il processing dei dati;
- **GEOSTRU – downhole** per la lettura dei tempi di arrivo ed il calcolo delle velocità intervallo.

L'interpretazione della prospezione *down-hole* è avvenuta seguendo l'iter descritto:

- ◇ analisi dei segnali nel dominio delle frequenze e filtraggio del segnale stesso (se necessario);
- ◇ lettura dei tempi di arrivo delle onde *P* ed *S* per le singole registrazioni.

Per quanto concerne le registrazioni ottenute da energizzazione applicata in verticale, è stato determinato il primo arrivo in onde *P* come mostrato nella figura seguente (*Figura 3*), in cui si osserva distintamente il primo arrivo dell'onda di compressione.

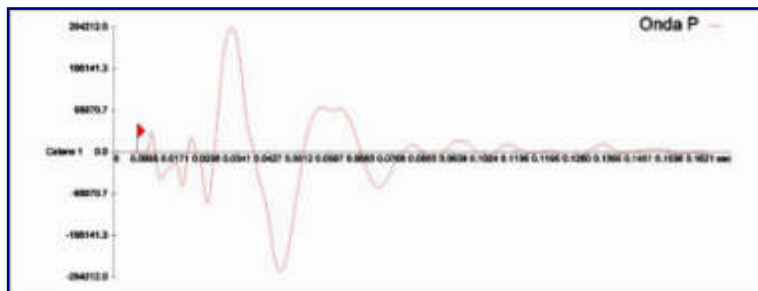


Figura 3 – Esempio di onda *P* e di lettura del primo tempo di arrivo.

Nelle registrazioni energizzate con percussione orizzontale, per ciascuna profondità d'indagine, sono state sovrapposte le registrazioni “*battuta destra (SH-A)-battuta sinistra (SH-B)*”.

<p>Tecno In S.p.A.</p>	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 8 di 27</p>
-------------------------------	--	--

Tale metodica ha consentito, tramite l'inversione di fase dell'onda *SH*, di identificare con maggiore facilità l'onda di taglio e di determinare, con maggior esattezza, il tempo di arrivo (*Figura 4*).

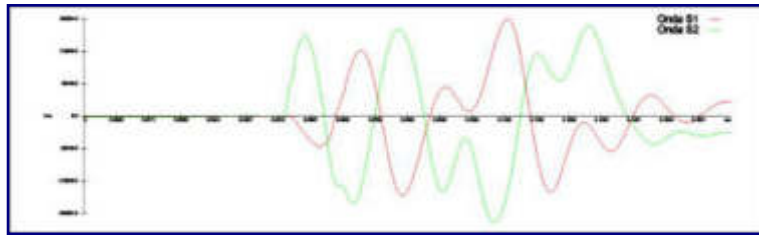


Figura 4 – Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

Inoltre le suddette battute sono state tra loro sottratte in modo da esaltare l'onda di taglio. Con tale metodica le onde di compressione, provocate durante l'energizzazione, con la differenza "battuta destra-battuta sinistra", si riducono in ampiezza laddove le onde *SH* (che invertono in polarità a seconda della direzione di battuta) tenderanno, invece, a sommarsi aumentando così d'ampiezza. In definitiva, le metodologie descritte, hanno consentito di individuare più agevolmente il tempo di arrivo delle onde *S*.

<p>Tecno In S.p.A.</p>	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 9 di 27</p>
------------------------	---	---

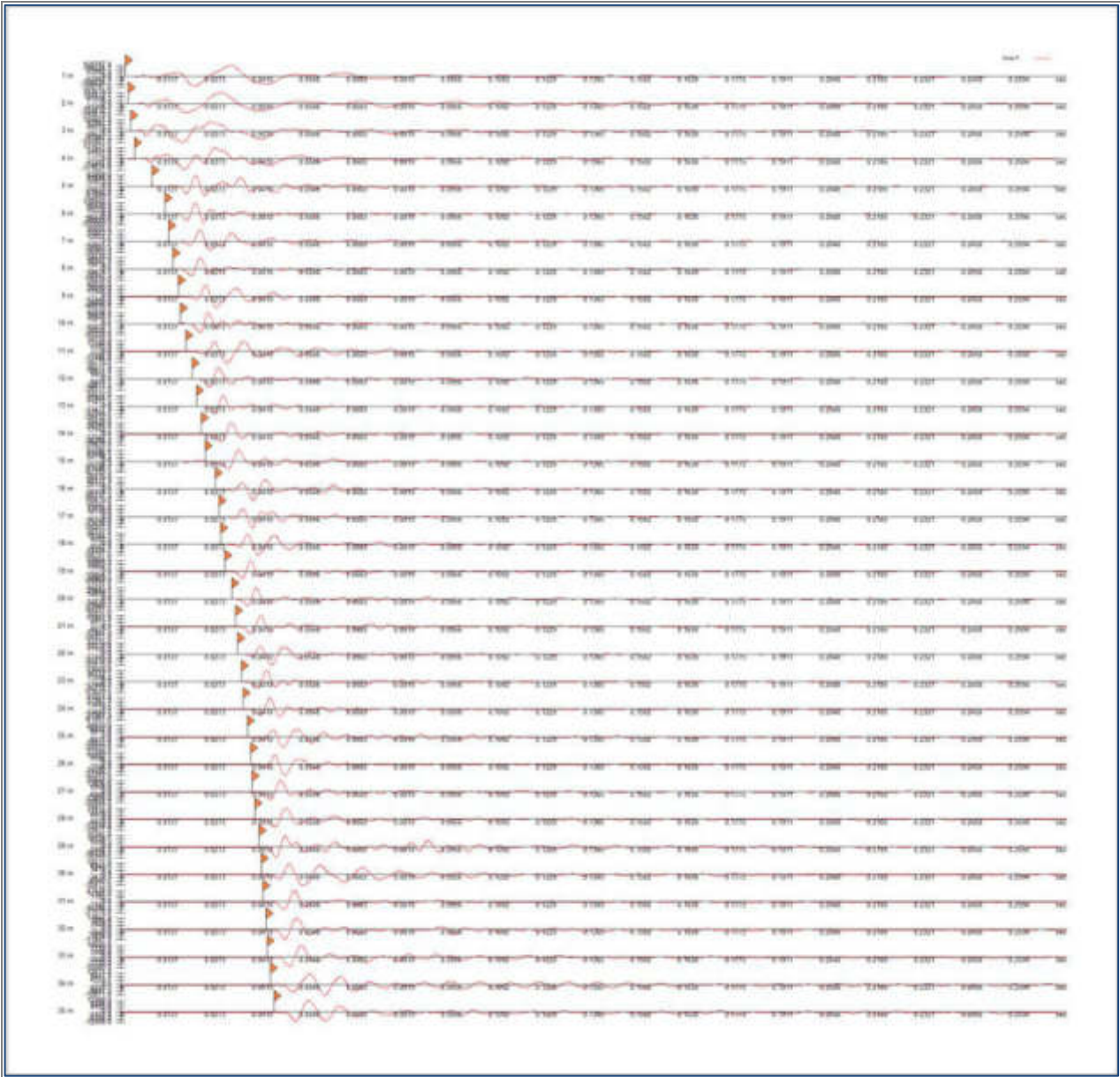


Figura 5 – Sismogramma relativo alle onde P con indicazione del picking.

Tecno In S.p.A.

Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli
 Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni
 nell'intorno del fabbricato "E"
 Prospezioni geofisiche

Reg. Com.: 082-14
 ediz. 11.04.14
 Rev. 1
 Pag. 10 di 27

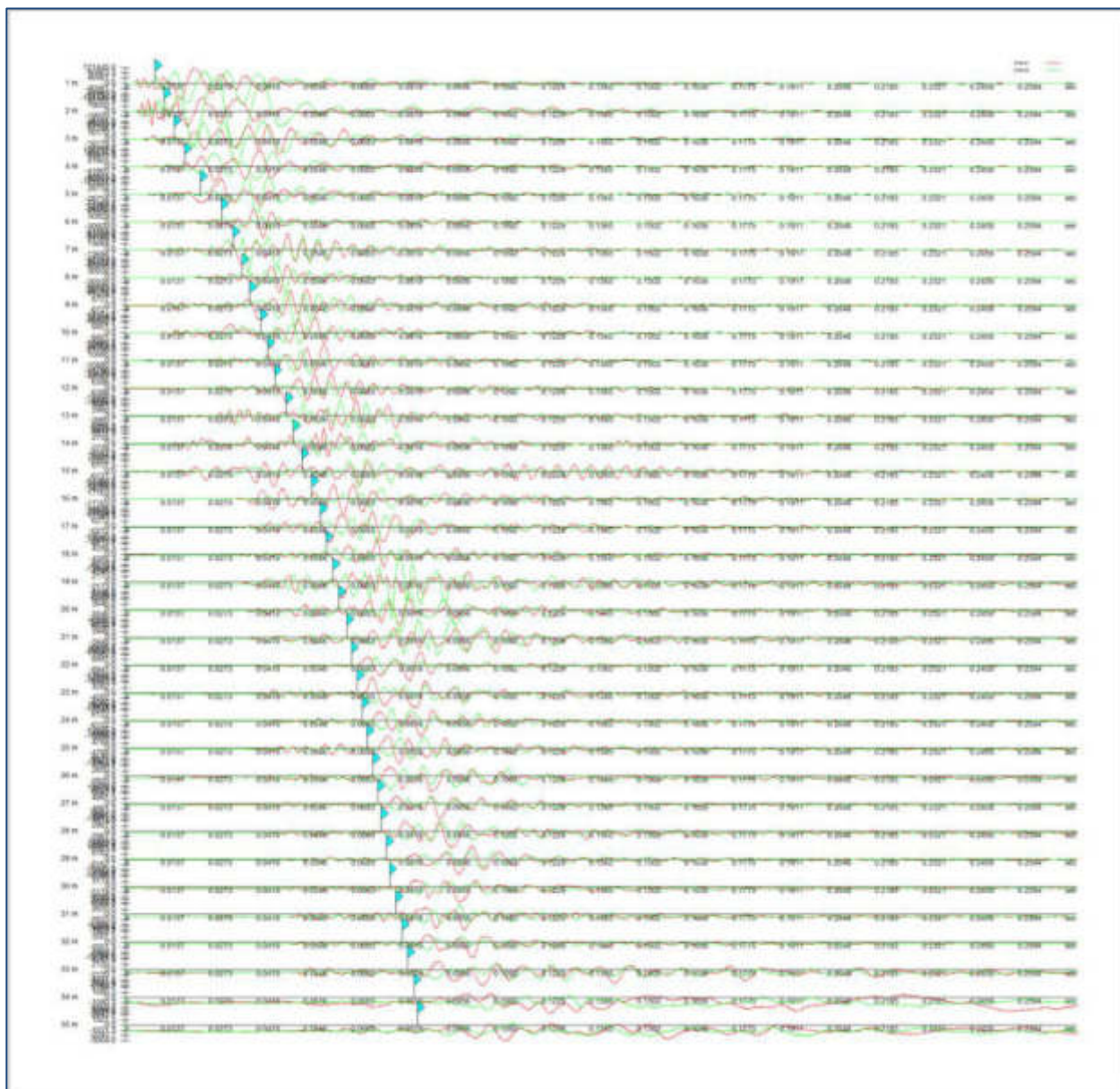


Figura 6 – Sismogramma relativo alle onde S con indicazione del picking.

Al termine del processo descritto è stata calcolata la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ per definire la *categoria sismica del suolo*.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 11 di 27
------------------------	---	--

2.1.2 – Descrizione dell'attività di cantiere

La prova sismica in foro, è stata eseguita all'interno del perforo denominato W1.

I siti di energizzazione sono stati posizionati a 2,5 metri dal perforo, come riportato nella foto seguente, dove si può osservare l'asse di legno, contrastata dall'autoveicolo, adoperata per la generazione delle onde *SH*.



Foto 1 – Prospezione sismica in foro down-hole presso sondaggio W1.

I segnali sismici sono stati acquisiti posizionando il geofono da pozzo, a passi di un metro, da -35 m dal p.c. a -1 m dal p.c. e vincolando lo stesso alle pareti del perforo mediante espansione di un camera d'aria.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 12 di 27
-----------------	---	--

2.2 – Prospezione sismica con metodologia M.A.S.W.

2.2.1 – Descrizione del metodo M.A.S.W. acquisizione ed elaborazione dati

La tecnica M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il *profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s* , basandosi sulla misura delle *onde superficiali*, fatta in corrispondenza di uno stendimento di sensori multipli (*geofoni*) disposti sulla superficie libera del terreno. Quando si energizza in un punto della sua superficie libera del terreno, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie, hanno origine onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde *Rayleigh*, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera, si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di *Love*.

Nel metodo MASW di seguito descritto, si usano le sole onde superficiali di *Rayleigh* e si trascurano gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflesse o alle rifratte. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di dette onde prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo aspetto è che le onde di *Rayleigh* trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di *Rayleigh* subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

In sintesi, il contributo predominante alle *onde superficiali* è dato dalle onde di *Rayleigh*, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di *Rayleigh* sono *dispersive*, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse *velocità di fase* e *velocità di gruppo* ovvero la *velocità di fase* (o di *gruppo*) apparente delle onde di *Rayleigh* dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle *onde superficiali* è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo d'indagine MASW, descritto nella presente nota, è del tipo attivo ovvero le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di sensori.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 13 di 27
-----------------	---	--

Questo consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase (ovvero una curva di dispersione) sperimentale apparente, generalmente nel range di frequenze compreso tra 4.5÷80 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni *indirette* sulla parte del sottosuolo compresa entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidezza sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo e della lunghezza dell'allineamento di sensori.

2.2.2 – Descrizione dell'attività di cantiere

Per le indagini in oggetto, sono stati materializzati due stendi menti, *uno a monte e l'altro a valle del Fabbricato "E"*, lunghi ciascuno 46 metri e caratterizzati da n. 24 geofoni, equispaziati ogni 2 metri. L'energizzazione è stata effettuata ad entrambi gli estremi del profilo a una distanza pari a 10 metri. Per l'acquisizione dei dati è stato adoperato un sismografo multicanale, modello **MAE A6000-S**, con risoluzione a 24 bit e in grado di rilevare i segnali in tempo reale su 24 tracce.



Foto 2 – Prospezione sismica MASW 1.
A valle del fabbricato E.



Foto 3 – Prospezione sismica MASW 2.
A monte del fabbricato E.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 14 di 27
------------------------	---	--

La fase di elaborazione è stata effettuata avvalendosi di software scientifici di post-processing che hanno consentito l'esecuzione del seguente processo:

1. dopo aver visionato i dati acquisiti ed impostate le caratteristiche del profilo, è stata calcolata la *velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale*, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza–numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo;
2. successivamente, è stata calcolata la *velocità di fase apparente numerica* mediante la modellizzazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde *P* ed *S*, intervallo dei valori del coefficiente di Poisson, la densità dei terreni;
3. la terza fase è consistita nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali *V_s*, modificando lo spessore degli orizzonti litologici e la densità fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la *velocità di fase sperimentale* e la *velocità di fase numerica* corrispondente al modello di suolo assegnato.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali *V_s*, si è proceduto al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità (*V_{s30}*) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo, confrontata con quanto già eseguito per la prospezione *down-hole*.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 15 di 27
-----------------	---	--

3 - Risultati delle indagini geofisiche

3.1 – Prospezione sismica con metodologia down-hole

Come riportato in precedenza, l'analisi dei singoli sismogrammi ha consentito di determinare i tempi di arrivo delle onde *P* ed *S* (Figura 7).

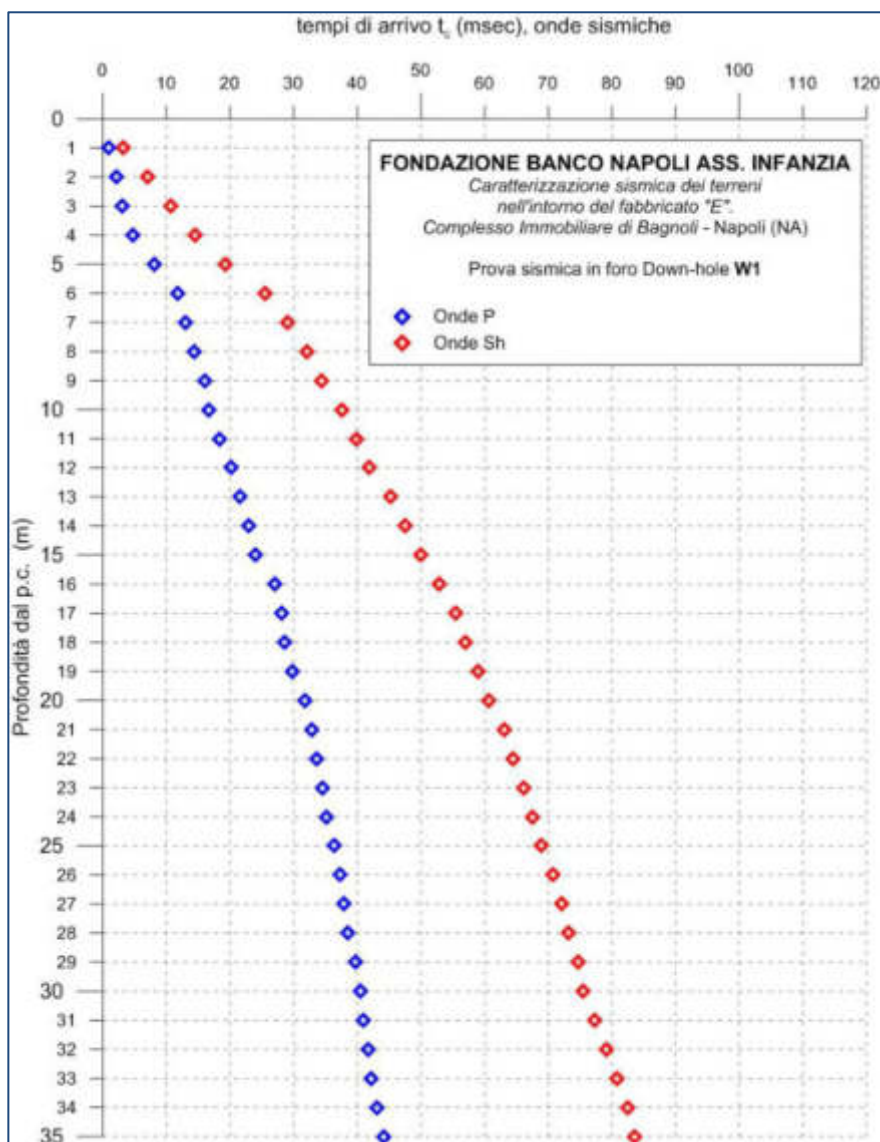


Figura 7 – Diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P" ed "Sh" in funzione della profondità dal p.c.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 16 di 27
-----------------	---	--

Al termine del processo di elaborazione, sulla base dei diagrammi tempi-profondità sono stati individuati i principali sismostrati costituenti il sottosuolo dell'area indagata; noti i tempi di arrivo delle onde elastiche e la posizione (profondità in metri dal p.c.) del geofono da pozzo, sono state calcolate le velocità di propagazione delle onde P ed S , per ciascun sismostrato come riportato nel diagramma seguente (Figura 8).

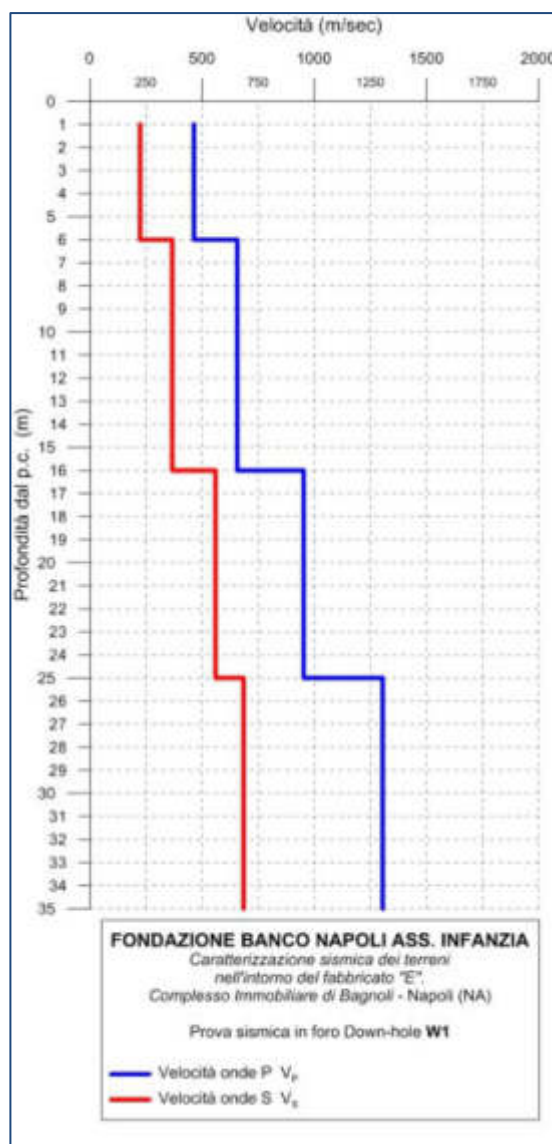


Figura 8 – Diagramma relativo all'andamento delle velocità delle onde "P" ed "S" in funzione della profondità dal p.c.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 17 di 27
------------------------	---	--

Infine, inserendo i valori di velocità di propagazione delle onde elastiche nelle formule (1) (2), (3) e (4), sono stati determinati i valori dei moduli elastici ovvero del coefficiente di Poisson (ν) e dei moduli elastici G ed E , come riportato nella *Tabella 1* e nella *Figura 9*.

Il calcolo dei moduli elastici G ed E è avvenuto considerando i pesi di volume naturale, determinati sulla base di informazioni bibliografiche, relative a terreni afferenti a litologie simili.

<i>Strato Nr.</i>	<i>Profondità della base dello strato (m da p.c.)</i>	V_P (m/sec)	V_S (m/sec)	γ naturale (kN/mc)	Poisson (-)	G (MPa)	E (MPa)
1	6	463	223	15,0	0.35	75	201
2	16	656	366	16,0	0.27	215	547
3	25	952	559	16,0	0.24	500	1237
4	35	1304	684	17,0	0.31	794	2082

Tabella 1 – Prospezione sismica in foro down-hole – W1

Tabella di riepilogo dei valori di velocità delle onde P ed S e dei moduli dinamici

Tecno In S.p.A.

Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli
 Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni
 nell'intorno del fabbricato "E"
 Prospezioni geofisiche

Reg. Com.: 082-14
 ediz. 11.04.14
 Rev. 1
 Pag. 18 di 27

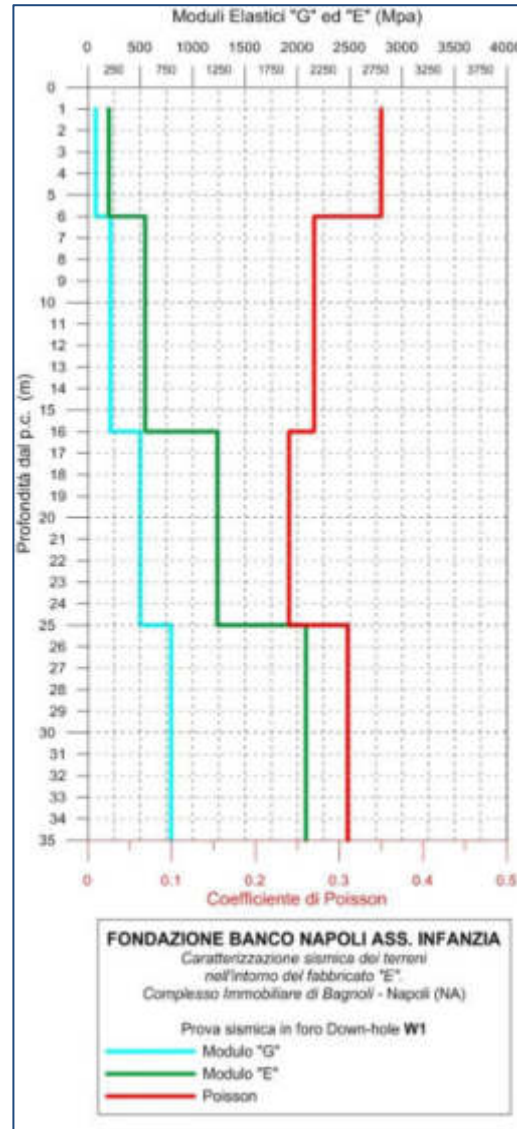


Figura 9 – Diagramma relativo all'andamento dei **moduli dinamici** in funzione della profondità dal p.c.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 19 di 27
-----------------	---	--

3.2 – Prospezione sismica con metodologia M.A.S.W.

Le prove sismiche M.A.S.W., denominate **MASW 1** (*lato valle*) e **MASW 2** (*lato monte*, rispetto al fabbricato E), sono state eseguite per la determinazione dei profili verticali delle velocità sismiche delle onde di taglio nel terreno.

Sono consistite nell'esecuzione di n. 2 stendimenti sismici lineari, di lunghezza ciascuno pari a 46 metri, costituiti da 24 sensori, disposti sul terreno con una spaziatura di 2 metri.

L'offset tra la sorgente energizzante ed il primo geofono è stato fissato in 10 metri; la sorgente è stata posta in linea col profilo su entrambi i lati dello stendimento.

Come tipologia di sorgente, è stata utilizzata una massa battente (martello) del peso di 8 kg; l'energia è stata prodotta mediante l'impatto su una piastra di metallo, posta al suolo.

I segnali generati sono stati acquisiti mediante un sismografo digitale multicanale a 24 bit, configurato per rilevare ad una frequenza di campionamento di 2.000 cps, al fine di evitare l'effetto *aliasing*.

La durata totale dell'acquisizione è stata pari a 2 secondi.

L'elaborazione dei dati è avvenuta avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- **IXSeg2Segy** software per la visualizzazione ed il picking dei segnali acquisiti;
- suite **SurfSeis** del Kansas Geological Survey e software **Geopsy** e **Dinver** (Geophysical Signal Database For Noise Array Processing), per l'estrazione della curva di dispersione e per l'inversione dei dati.

La fase di elaborazione dei segnali acquisiti in campo, effettuata avvalendosi dei software indicati, prevede la sequenza di step elaborativi riportati a seguire.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 20 di 27
-----------------	---	--

In primo luogo, per ciascuna indagine, è stata operata una conversione dal formato di acquisizione (SEG-2) al formato di elaborazione (KGS o altri) del set di dati, compreso filtraggio ed equalizzazione del segnale. Si riportano, a seguire i sismogrammi scelti per l'elaborazione (*Figura 10 e Figura 11*).

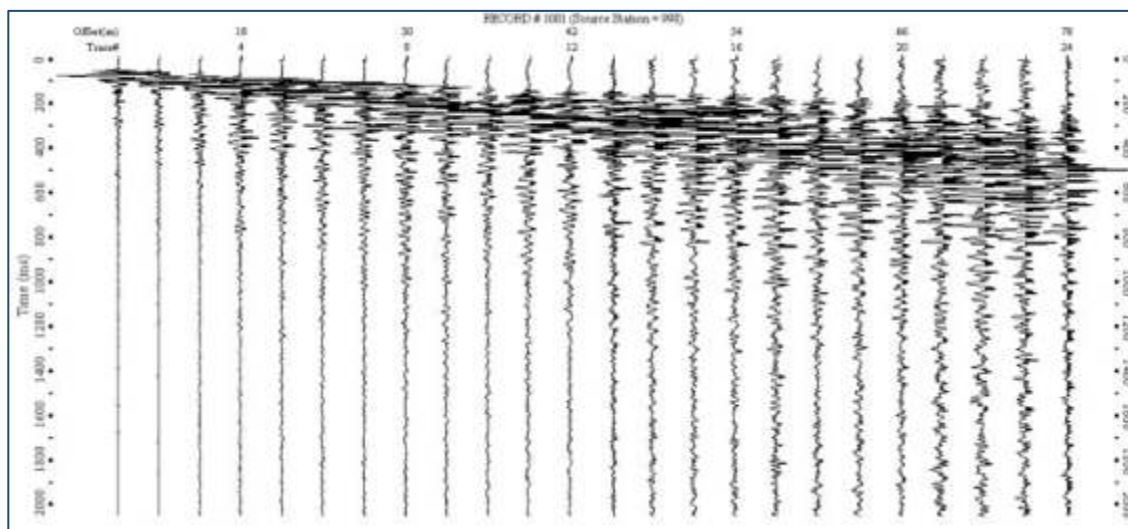


Figura 10 – Tracce registrate durante l'acquisizione del profilo MASW 1.

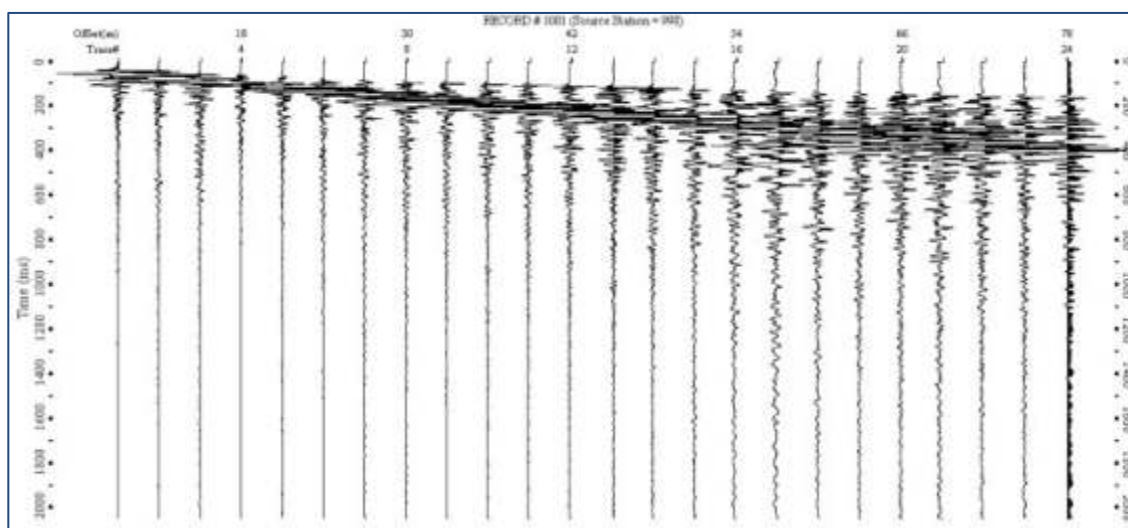


Figura 11 – Tracce registrate durante l'acquisizione del profilo MASW 2.

Tecno In S.p.A.	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 21 di 27</p>
-----------------	--	---

Successivamente, sono state definite le geometrie di acquisizione ed elaborate le curve di dispersione sperimentali, attraverso trasformata bidimensionale “*lentezza-frequenza*” (p-f); da queste curve, è stato possibile riconoscere il contributo dovuto alle onde di Rayleigh che presentano carattere dispersivo, rispetto agli altri tipi di onde (volume, onda d’aria, rumore non coerente).

Sulle curve di dispersione sperimentale è stato eseguito il picking di un certo numero di punti; tali punti sono stati in seguito importati in un altro diagramma periodo – velocità di fase.

Elaborati i diagrammi velocità di fase – frequenza, sono state estrapolate le **curve di dispersione sperimentale**, di seguito riportate per entrambe le indagini MASW (*Figura 12 e Figura 13*).

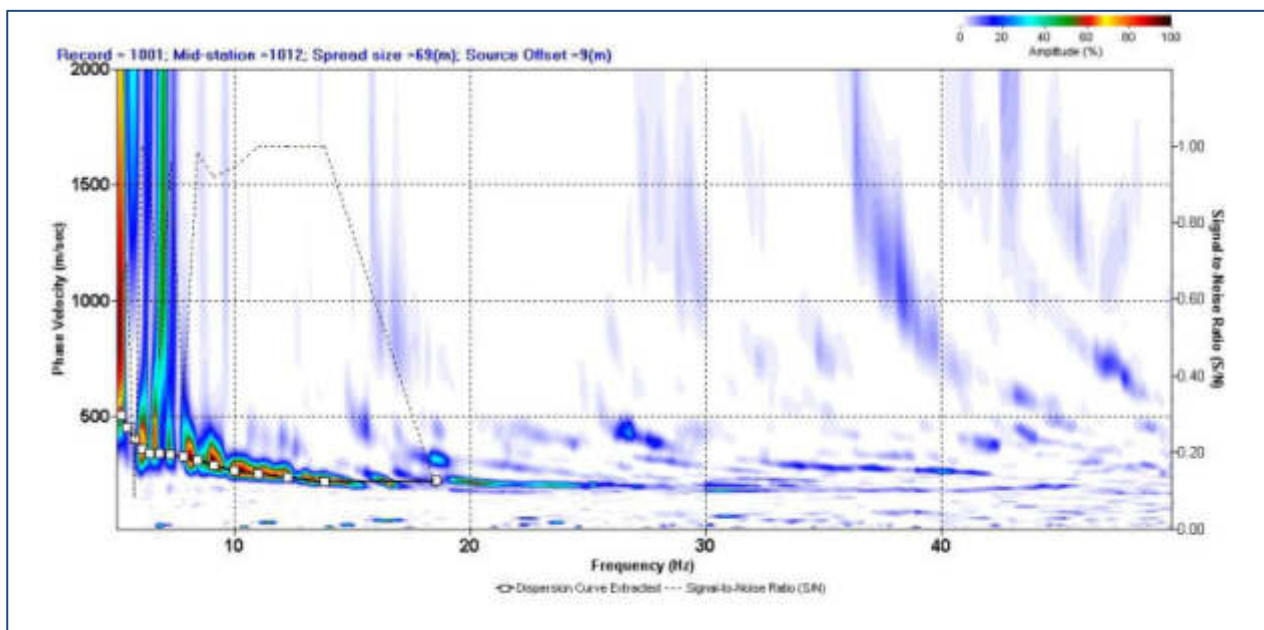


Figura 12 – Curva di dispersione risultante dal processo di elaborazione del profilo MASW 1.

Tecno In S.p.A.	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 22 di 27</p>
-----------------	--	---

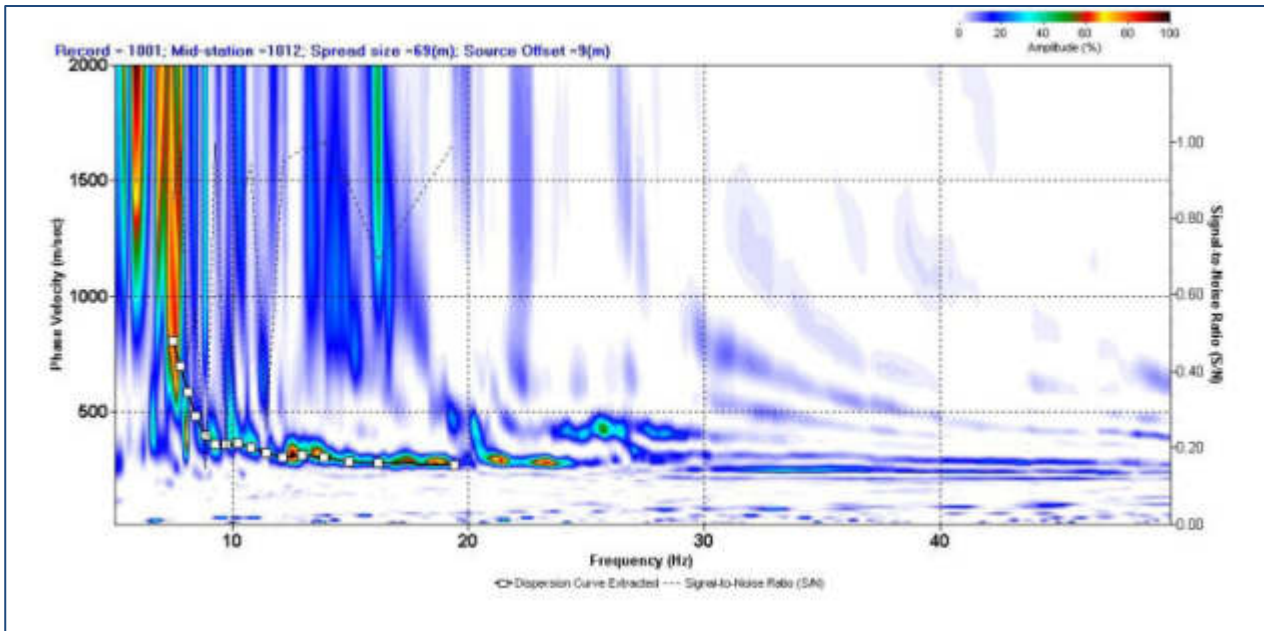


Figura 13 – Curva di dispersione risultante dal processo di elaborazione del profilo MASW 2.

Successivamente, si è proceduto all'inversione dei dati sperimentali sino alla giustapposizione con una curva *teorica* ottenuta modificando, per via iterativa, il numero di strati, gli spessori e la loro velocità, sino a quando i punti identificati durante il picking non si sovrappongono all'andamento della linea di dispersione teorica.

L'elaborazione in oggetto ha permesso di ricostruire i “*Profili di velocità*” delle onde di taglio (V_S), espresse in m/sec, in funzione della profondità, per le due indagini MASW, riportati nelle figure che seguono (*Figura 14 e Figura 15*).

<p>Tecno In S.p.A.</p>	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 23 di 27</p>
-------------------------------	--	---

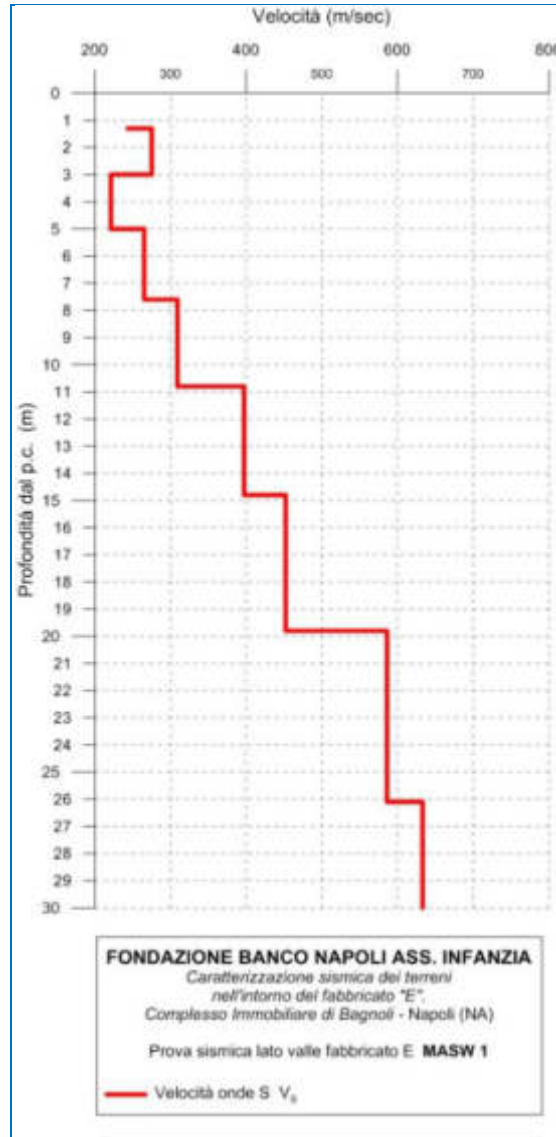


Figura 14 – Diagramma relativo all'andamento delle velocità delle onde di taglio in funzione della profondità dal p.c.

Profilo MASW 1 lato valle rispetto al Fabbricato "E"

Tecno In S.p.A.	<p>Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i></p>	<p>Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 24 di 27</p>
-----------------	--	---

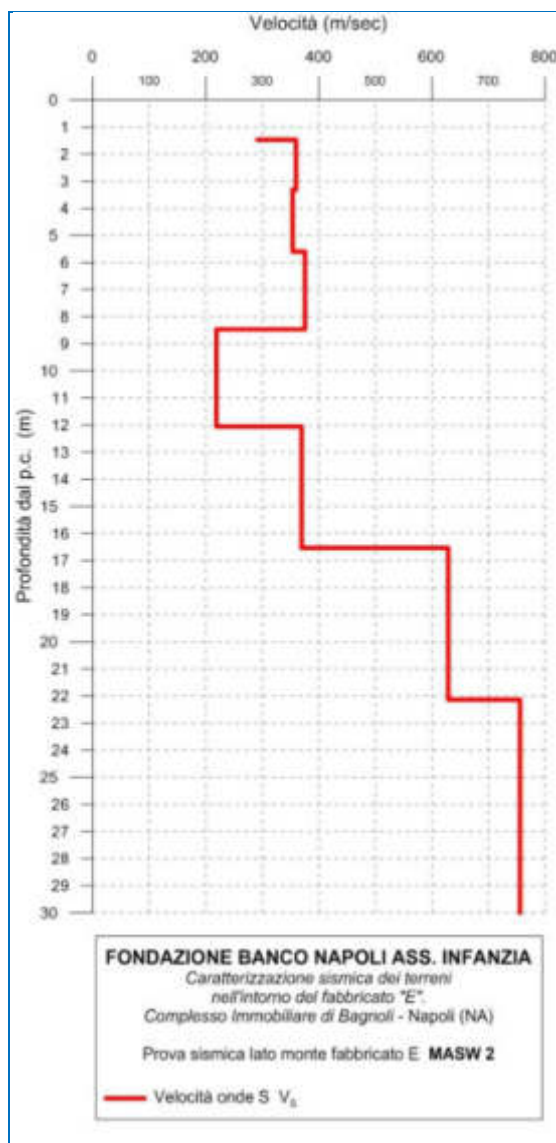


Figura 15 – Diagramma relativo all'andamento delle velocità delle onde di taglio in funzione della profondità dal p.c.

Profilo MASW 2 lato monte rispetto al Fabbricato "E"

Infine, si è proceduto al calcolo del valore di V_{s30} e, quindi, alla determinazione della categoria sismica del sottosuolo ai sensi del Decreto del Ministero per le Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 25 di 27
-----------------	---	--

3.3 – Identificazione della categoria di sottosuolo

La problematica inerente la classificazione del terreno da un punto di vista sismico è stata oggetto di numerose ordinanze e normative (OPCM 3274; DM 14/09/2005); in ultimo, il Decreto del Ministero per le Infrastrutture 14 gennaio 2008, costituisce *l'approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*.

Nel suddetto Decreto al par. 3.2.2. "*Categorie di Sottosuolo e Condizioni Topografiche*", facente parte del più ampio capitolo riguardante l'**Azione Sismica**, si riporta che "... *per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento*".

Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata:

Categoria di sottosuolo	
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Tabella 2 – Tabella di suddivisione delle categorie di suolo

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 26 di 27
------------------------	---	--

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel “volume significativo” (per *volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Sono, inoltre, definite ulteriori due categorie che prevedono specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s,30} < 100$ m/s ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

V_{s_i} velocità (in m/s) delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

Tecno In S.p.A.	Complesso immobiliare di Bagnoli – Napoli Prove in sito per la caratterizzazione sismica dei terreni nell'intorno del fabbricato "E" <i>Prospezioni geofisiche</i>	Reg. Com.: 082-14 ediz. 11.04.14 Rev. 1 Pag. 27 di 27
------------------------	---	--

Per quanto concerne le prospezioni in oggetto, se si considerano i valori della velocità di propagazione delle onde "S", attraverso i materiali rinvenuti nell'ambito dei primi 30 metri dal piano campagna, la determinazione del valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è risultata pari a:

- a) **prospezione sismica in foro *down-hole* W1:**
 - da 0 a – 30 m dal p.c. $V_{s,30} = 410$ m/sec
 - da – 5 m dal p.c. a – 35 m dal p.c. $V_{s,30} = 480$ m/sec
- b) **prospezione sismica valle fabbricato "E" *MASW 1*: $V_{s,30} = 381$ m/sec**
- c) **prospezione sismica monte fabbricato "E" *MASW 2*: $V_{s,30} = 416$ m/sec**

Ne consegue che, sulla scorta di quanto riportato nel citato Decreto del Ministero per le Infrastrutture 14 gennaio 2008 "*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*", i terreni investigati dalle prospezioni geofisiche ricadono nella categoria di **suolo sismico tipo "B"** ($360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$).

Tecno In S.p.A.