

PUC

COMUNE DI QUARTO (NA)

PIANO

URBANISTICO

COMUNALE



STUDIO GEOLOGICO

(artt. 11, 12 e 14 L.R. n.9 del 07/01/1983, O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e D.M. 17/01/2018)

RELAZIONE GEOLOGICA

**ELAB.
D.1**

IL GEOLOGO

DR. CARMINE NEGRI CERCIELLO

DATA: settembre 2021

STUDIO di GEOLOGIA - Dr. Carmine Negri Cerciello

Via G. Galilei n.16 – 80030 – MARIGLIANELLA (NA)

☎/Fax 0818413658 Cell. 3285463455

e-mail carmine.nc@libero.it **PEC** carmine.nc@pec.it

<https://www.carminenegricerciello.it>

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 4 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE | 6 |
| 2.1 ASPETTI GEOLOGICI GENERALI..... | 6 |
| 2.2 I CAMPI FLEGREI..... | 8 |
| 2.2.1 PRODOTTI DEL VULCANISMO ANTECEDENTE L'ERUZIONE DELL'IGNIMBRITE CAMPANA (PIÙ ANTICHI DI 39.000 ANNI)..... | 12 |
| 2.2.2 ERUZIONE DELL'IGNIMBRITE CAMPANA (39,28±0.11 KA, DE VIVO ET ALII,2001)..... | 13 |
| 2.2.3 PRODOTTI DEL VULCANISMO TRA 39.000 E 15.000 ANNI..... | 13 |
| 2.2.4 TUFO GIALLO NAPOLETANO (14.9±0.4 KA, DEINO ET ALII, 2004)..... | 14 |
| 2.2.5 VULCANISMO PIÙ RECENTE DI 15.000 ANNI..... | 16 |
| 3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI GENERALI | 21 |
| 4. ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI | 23 |
| 5. INDAGINI SVOLTE | 25 |
| 6. INDAGINI DISPONIBILI ESEGUITE SUL TERRITORIO COMUNALE NEGLI ULTIMI 25 ANNI | 25 |
| 7. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO COMUNALE | 28 |
| 8. GEOMORFOLOGIA E CONDIZIONI DI STABILITA' | 31 |
| 9. CLIMATOLOGIA | 32 |
| 10. IDROGEOLOGIA..... | 34 |
| 11. STRUTTURA STRATIGRAFICA..... | 37 |
| 12. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI..... | 39 |
| 12.A ZONA DEL CENTRO STORICO E AREE LIMITROFE..... | 39 |
| 12.A.1 ZONA PIANEGGIANTE DEL CENTRO STORICO..... | 39 |
| 12.A.1.A CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE..... | 45 |
| 12.A.1.B RESISTENZA A ROTTURA..... | 45 |
| 12.A.1.C DEFORMABILITÀ..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 12.A.2 PROVE DPSH E DPM. | 48 |
| 12.A.2 ZONA DELL'ANGOLO SUD-ORIENTALE DEL TERRITORIO COMUNALE E POSTE A SUD DI VIA VITICELLA. | 55 |
| 12.B ZONA A NORD DI VIA CROCILLO E AD EST DEL PASSANTE FERROVIARIO DI NAPOLI. | 61 |
| 12.B.1 ZONA COMPRESA TRA VIA CROCILLO E VIA MARMOLITO. | 61 |
| 12.B.2 ZONA POSTA A NORD DI VIA MARMOLITO E A EST DEL PASSANTE FERROVIARIO DI NAPOLI. | 69 |
| 13. PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO COMUNALE | 73 |
| 13.1. PERICOLOSITÀ DA DISSESTO IDROGEOLOGICO..... | 73 |
| 13.2 PERICOLOSITÀ VULCANICA | 76 |
| 13.3 PERICOLOSITÀ SISMICA..... | 78 |
| 13.3.A CENNI SULLA SISMICITÀ STORICA DEL TERRITORIO COMUNALE..... | 79 |
| 14. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE | 84 |
| 15. COMMENTI ALLE CARTE..... | 91 |
| 15.1 CARTA UBICAZIONE INDAGINI (TAV. G.1) | 91 |
| 15.2 CARTA GEOLITOLOGICA (TAV. G.2)..... | 91 |
| 15.3 SEZIONI GEOLITOLOGICHE (TAV. G.3)..... | 92 |
| 15.4 CARTA DELLE PENDENZE, GEOMORFOLOGICA E DELLA STABILITÀ (TAV. G.4-5-7) | 92 |
| 15.5 CARTA IDROGEOLOGICA (TAV. G.6)..... | 93 |
| 15.6 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (TAV. G.8) | 94 |
| 16. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI | 95 |

1. PREMESSA

Con Determinazione n.37 del 22-03-2021 del Responsabile del Settore V del Comune di Quarto è stata affidata allo scrivente la redazione della relazione geologica, idrogeologica e sismica per il Piano Urbanistico Comunale.

Tale studio è stato eseguito alla luce delle disposizioni contenute nella L.R. n.16/2004, nella Del. G. R.C. n. 834 del 11-05-2007, negli artt. 11 e 12 della L.R.C. n.9/83, nel D.M. 17-01-2018 e nei commi 1.7 e 1.8 della Delibera di Giunta Regionale n.118 del 27-05-2013.

Lo studio ha avuto l'obiettivo di:

- verificare l'eventuale esistenza di problemi stratigrafici, tettonici, neotettonici, idrogeologici che in qualche modo potessero essere pregiudizievoli per i manufatti esistenti, per quelli da realizzare nonché per le destinazioni d'uso del territorio comunale;
- ricostruire le formazioni presenti nel territorio comunale, definire il modello geologico-tecnico del sottosuolo e determinare zone omogenee per quanto riguarda il comportamento dei terreni in prospettiva sismica.

Lo scrivente pertanto, ha proceduto ad:

- una accurata ricerca bibliografica e cartografica volta ad inquadrare le caratteristiche geologiche del territorio;
- un numero sufficiente di dettagliati sopralluoghi preliminari su tutto il territorio comunale con lo scopo di descriverne gli aspetti morfologici più significativi e gli eventuali elementi di pericolosità;
- una verifica delle eventuali condizioni di attuale attività di strutture tettoniche locali (neotettoniche) al fine di valutarne l'incidenza sull'utilizzo in sicurezza del territorio;
- uno studio geognostico di tutto il territorio abitato o destinato a nuovi insediamenti al fine di conoscere le caratteristiche litostratigrafiche più significative, le caratteristiche tecniche dei principali orizzonti e le eventuali variazioni di omogeneità di facies litologica;

- uno studio delle caratteristiche idrologiche ed idrogeologiche del territorio anche in funzione dell'eventuale utilizzazione e protezione delle risorse idriche;
- uno studio del comportamento sismico dei terreni.

Tutto ciò al fine di procedere a una classificazione generale di sintesi adatta a valutare l'incidenza dei parametri geologici, geotecnici, idrogeologici e geofisici del terreno in relazione ad un corretto utilizzo di esso.

I risultati dello studio hanno permesso la stesura dei seguenti elaborati:

1. "Relazione geologica" conclusiva ed esplicativa dei risultati delle indagini aventi l'obiettivo di fornire indicazioni utili per l'elaborazione e l'approvazione del P.U.C. (Elab. D.1);
2. "Indagini geognostiche disponibili" eseguite negli ultimi 25 anni sul territorio comunale, fornite dall'U.T.C. e reperite dal sottoscritto. Contenente sondaggi stratigrafici, tabelle e diagrammi delle prove penetrometriche statiche, dinamiche continue e S.P.T., le analisi e prove di laboratorio su alcuni campioni prelevati nel corso dei sondaggi nonché i risultati di prove sismiche M.A.S.W., down-hole e H.V.S.R. eseguite in varie occasioni (Elab. D.1.2);
3. "Indagini geognostiche eseguite" per il presente lavoro, M.A.S.W e H.V.S.R (Elab. D.1.3);
4. "Carta ubicazione indagini" in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.1);
5. "Carta geolitologica" in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.2);
6. "Sezioni geolitologiche" più significative (Elab. Tav. G.3);
7. "Carta delle pendenze" in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.4);
8. "Carta geomorfologica" in scala 1: 5000 (Elab. Tav. G.5);
9. "Carta idrogeologica" in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.6);
10. "Carta della stabilità" in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.7);
11. "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (D.G.R. n.118 del 27-05-2013) dell'intero territorio comunale in scala 1:5000 (Elab. Tav. G.8).

La carta di base utilizzata è stata fornita dall'U.T.C. La direzione dei lavori per l'esecuzione delle indagini è stata svolta dallo scrivente.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

2.1 Aspetti geologici generali

Il territorio del comune di Quarto è localizzato nei Campi Flegrei a nord-ovest della città di Napoli nella parte centrale della Piana Campana (Fig. n.1), un'ampia e profonda depressione strutturale ("graben") colmata da depositi piroclastici e alluvionali intervallati da frequenti episodi marini e palustri.

L'assetto attuale della "Piana Campana" è conseguenza delle fasi tettoniche verificatesi dal Pliocene superiore al Pleistocene inferiore che, in conseguenza di movimenti prevalentemente estensionali, hanno determinato lo smembramento e, durante il Quaternario, il successivo pronunciato sprofondamento di alcune migliaia di metri delle unità meso-cenozoiche dell'Appennino Campano.

Gli elementi tettonici lungo i quali è avvenuto lo sprofondamento, con un rigetto variabile da 3 a 5 Km, sono prevalentemente orientati NO-SE, NE-SO ed E-O. (Fig. n.2)

Il campo vulcanico dei Campi Flegrei è situato nella parte centrale della Piana Campana dove le attività legate alle fasi tettoniche distensive plio-quadernarie hanno innescato prima lo smembramento e, durante il Quaternario, il successivo pronunciato sprofondamento precedentemente ricordato con conseguente innesco delle attività vulcaniche.



Fig. 1 – Immagine satellitare della Piana Campana e dei vulcani napoletani.

I blocchi monoclinali delle strutture carbonatiche, variamente ruotati e dislocati dagli eventi tettonici, degradano a gradinata verso la piana. Perforazioni profonde e indagini geofisiche eseguite nell'ambito di una ricerca geotermica nell'Italia Meridionale hanno mostrato che:

- le faglie dirette hanno fatto sprofondare i calcari e le loro coperture cenozoiche di diverse centinaia di metri già a breve distanza dei rilievi carbonatici;
- il substrato carbonatico nella piana appare dislocato a profondità maggiori di 2.000 metri e nell'area del Sebeto esso risulta dislocato a profondità superiori ai 3.000 metri (La Torre et alii, 1982).

Tutti i terreni che colmano il "graben" sono costituiti, pertanto, nella parte basale da lembi residui della serie cenozoica, quindi dai prodotti del Roccamonfina e della prima attività dei Campi Flegrei nonché dai prodotti coevi dell'attività erosiva delle acque continentali che sfociavano nel braccio di mare che si estendeva tra i monti carbonatici e gli edifici vulcanici.

In seguito furono depositati i terreni più superficiali costituiti dai prodotti vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma - Vesuvio.

Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto l'abbassamento sono ben riconoscibili ai bordi della Piana, dove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE. Le predette linee tettoniche hanno determinato il graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben sotto a notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari, la campano-lucana e l'abruzzese campana.

Le faglie recenti, cui sono connessi anche i fenomeni vulcanici del graben della Piana Campana, sono evidenti, con gli stessi orientamenti e sempre con notevoli rigetti verticali, in tutto l'Appennino Campano-Lucano.

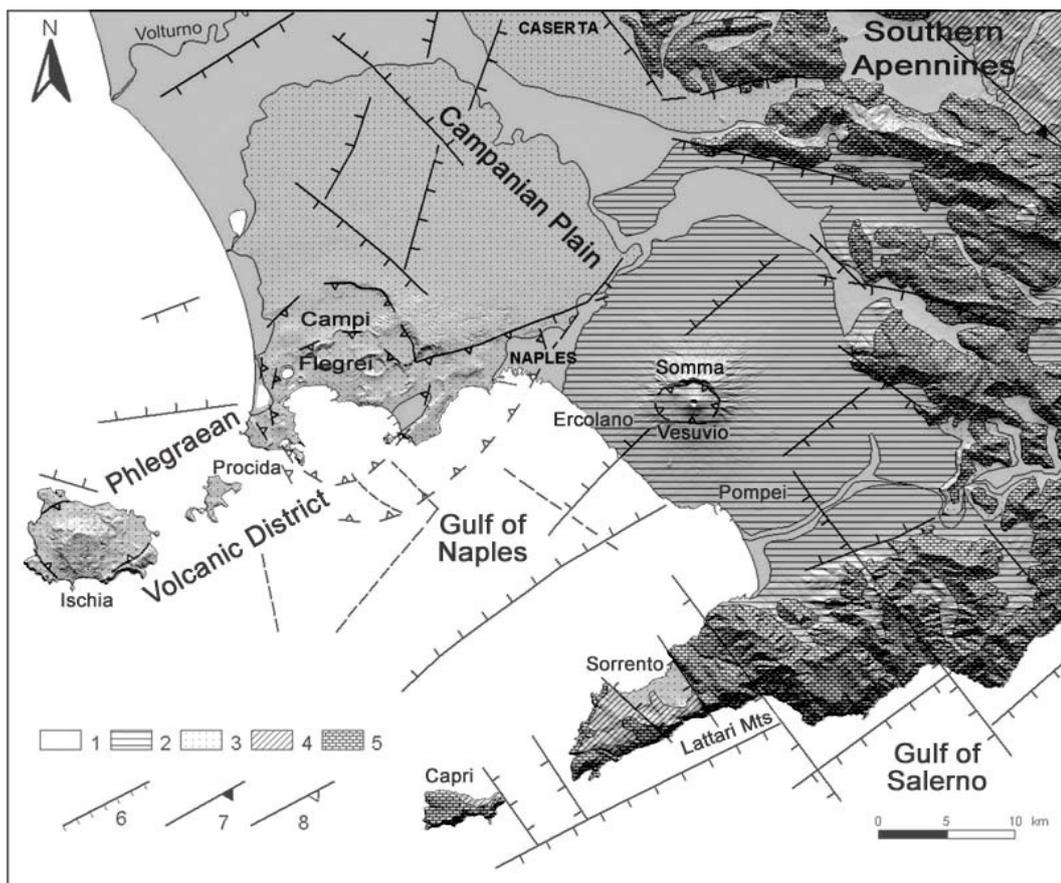


Fig. 2 - Mappa geologica schematica dell'Area Napoletana della Piana Campana. (da M.A. Di Vito, M. Piochi, A. Mormone, A. Tranelli, 2011).

1) Quaternary and active terrigenous sediments; 2) Somma-Vesuvius volcanics; 3) Phlegraean District volcanics; 4) Pliocene and Miocene terrigenous sediments; 5) Mesozoic carbonate units; 6) faults; 7) overthrusts; 8) caldera margins.

I fenomeni vulcanici del Roccamonfina, dell'area Flegrea e del Vesuvio sono connessi a strutture recenti che interessano anche la crosta che, deformatasi probabilmente per fenomeni compressivi fino al Messiniano, sostiene le unità sedimentarie della catena.

2.2 I Campi Flegrei

Il distretto vulcanico dei Campi Flegrei si configura come una struttura calderica all'interno della quale sono stati attivi, negli ultimi 39.000 anni, più di settanta centri eruttivi. L'attuale struttura è stata originata dalla sovrapposizione di due collassi calderici (Orsi et alii, 1996), il primo più ampio legato all'eruzione

dell'Ignimbrite Campana (IC - 39000 anni; De Vivo et al.,2001) ed il secondo manifestatosi nel settore sud-occidentale del primo in occasione dell'eruzione del Tufo Giallo Napoletano(TGN;14.9±0.4 ka, Deino et al., 2003).(Fig. n.3)

Quest'ultima parte è stata poi sede di un'intensa attività vulcanica e vulcanotettonica più recente (Fig. n.4).

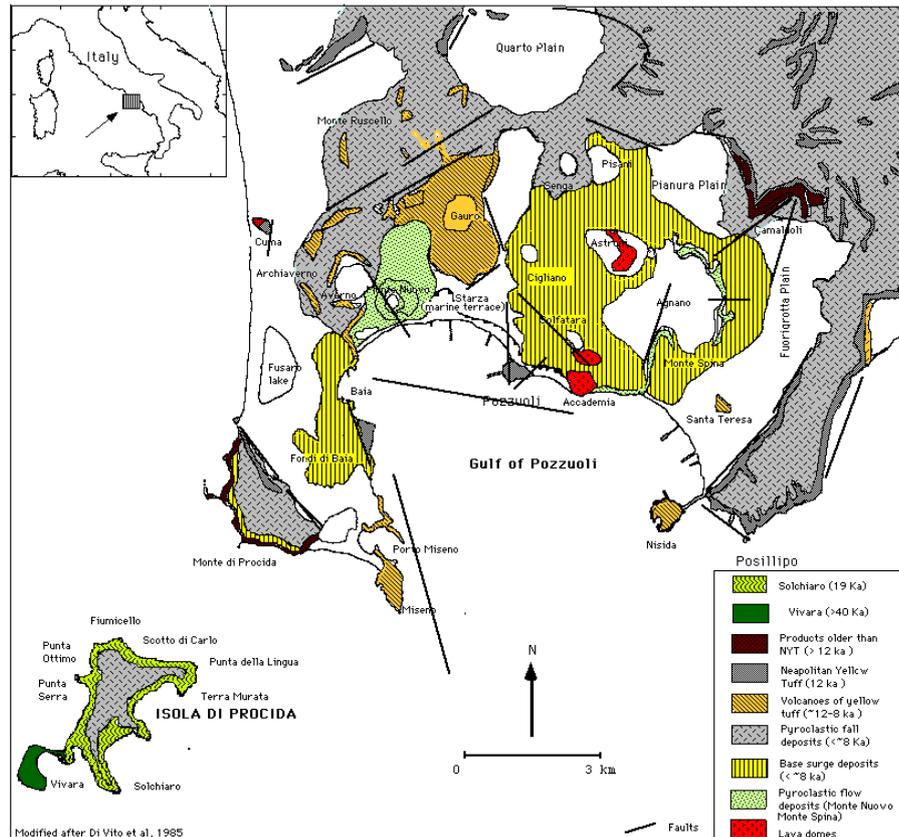


Figura n. 3 - Carta geologica dei Campi Flegrei (da Orsi et alii,1996).

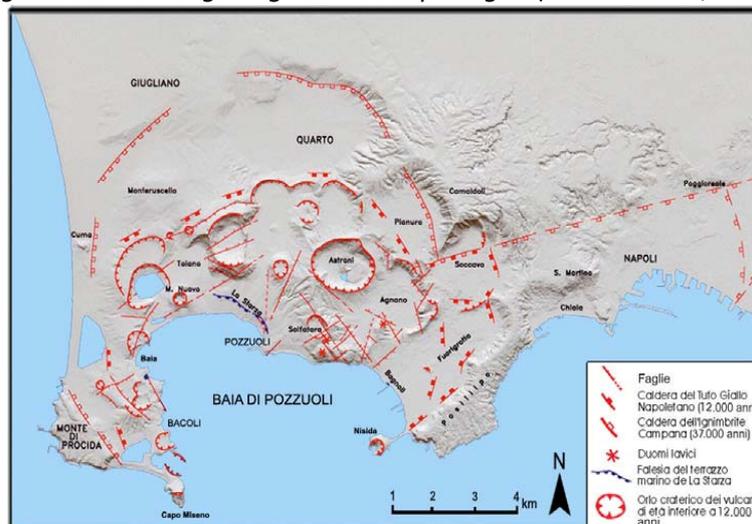


Figura n. 4 – Carta morfo-strutturale dell’area napoletano-flegrea.

Piano Urbanistico Comunale di QUARTO - STUDIO GEOLOGICO
(artt. 11, 12 e 14, L.R. n°9/1983; DM 17.01.2018; O.P.C.M. 3274/2003)

Il margine strutturale della caldera si evidenziò in conseguenza sia della formazione di nuove faglie che di strutture preesistenti e adesso si distingue in una parte emersa e una sommersa (Fig. n.5).

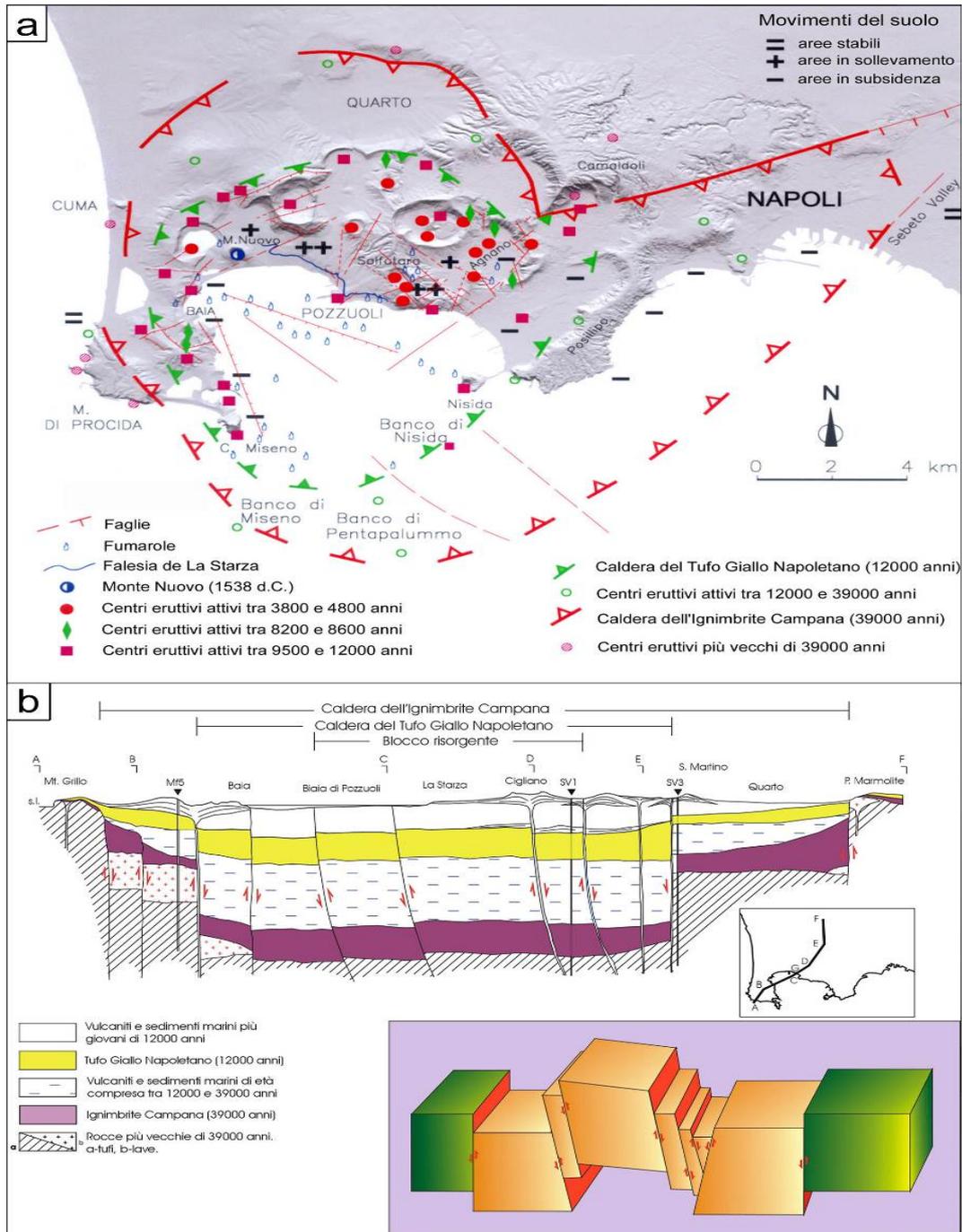


Fig. n.5 - a) Carta strutturale della caldera dei Campi Flegrei; b) sezione geologica orientata SW-NE (la traccia è riportata nell'inserito) e modello di risorgenza a blocchi per taglio semplice (modificato da Orsi et al., 1991, 1996, 1999; Di Vito et al., 1999).

Nella parte emersa i margini sono spesso nascosti dai prodotti vulcanici più recenti dell'Ignimbrite Campana o dall'evoluzione morfologica delle scarpate. Tuttavia i predetti margini affiorano in modo evidente a Monte di Procida, Cuma, San Severino, lungo i confini della piana di Quarto e Pianura nonché lungo l'allineamento Camaldoli - Poggioreale.

Nella parte sommersa il margine della caldera è stato ricostruito sulla base di evidenze geofisiche, morfologiche e strutturali (Orsi et al., 1996) (Fig. n.5).

La ricostruzione degli eventi vulcanici si può sintetizzare come segue (Fig. n.6):

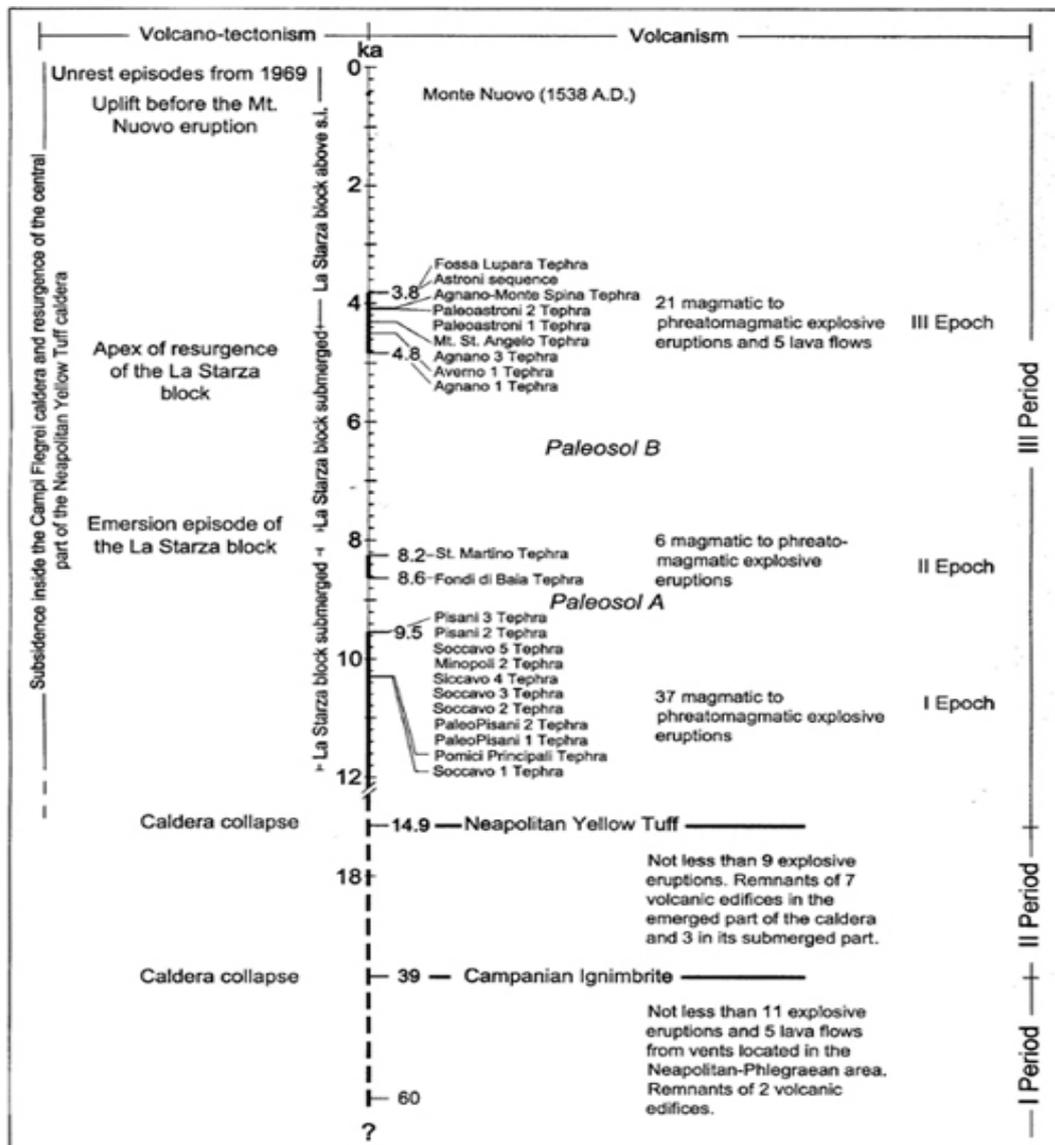


Figura n.6 – Cronogramma dell'attività vulcanica dei campi Flegrei.

- Vulcanismo più antico di 39.000 anni;
- Eruzione dell'Ignimbrite Campana;
- Vulcanismo di età compresa tra i 39.000 e i 15.000;
- Eruzione del Tufo Giallo Napoletano;
- Vulcanismo più recente di 15.000 anni.

I prodotti dell'attività vulcanica che si rinvengono nel territorio che comprende la Piana di Quarto sono i seguenti:

2.2.1 Prodotti del vulcanismo antecedente l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (più antichi di 39.000 anni).

Le rocce deposte precedentemente all'eruzione dell'Ignimbrite Campana comprendono la cupola lavica trachitica ricoperta da un deposito scoriaceo stratificato dell'isolotto di S. Martino avente l'età di $76,8 \pm 3,9$ ka ed i prodotti più o meno coevi della Formazione di M. Grillo nel comune di Monte di Procida costituita da un deposito trachitico stratificato di ceneri con pomici e litici avente spessore di circa 30 metri e i prodotti sovrapposti del vulcano di Miliscola costituiti da una successione di livelli di ceneri e ceneri e pomici che nella parte alta passa a strati massivi di lapilli pomicei con l'interposizione di livelli decimetrici di ceneri. Seguono i terreni, aventi spessori variabili, provenienti da vulcani localizzabili nell'Isola d'Ischia (Formazione di Pignatiello Auct., membro della baia di Porticello e Gruppo di Punta Serra) e nell'Isola di Procida (Tufo di Fiumicello) nonché i terreni del "Sintema di Quarto" (R. Isaia, E. Iannuzzi, A. Sbrana, P. Marianelli (2016) - Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447), provenienti dall'attività dei "centri eruttivi antichi che costituivano il vasto campo vulcanico flegreo prima dell'eruzione del Tufo Grigio Campano, delimitati a tetto dalla discordanza erosiva e tettonica sulla quale poggia il Tufo Grigio Campano visibili nelle esposizioni di Monte di Procida, Punta Marmolite,....., Torre franco". Alla predetta attività seguì l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano).

2.2.2 Eruzione dell'Ignimbrite Campana (39,28±0.11 ka, De Vivo et alii, 2001).

L'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano) è un deposito da flusso piroclastico a composizione da trachitica a fonolitica caratterizzato da un'elevata viscosità e da una temperatura relativamente bassa (Barberi et al., 1978), con caratteristiche variazioni tessiturali verticali.

Dalla zona basale, non sempre presente, costituita da cinerite non saldata, si passa a una zona intermedia più spessa, scarsamente saldata, con abbondanti pomici e tessitura da eutassitica a caotica verso l'alto; nella parte alta del deposito si arriva a una zona non saldata a tessitura caotica. Le pomici presentano una gradazione inversa, mentre i frammenti litici hanno una gradazione diretta. Nella zona intermedia sono spesso presenti una fessurazione colonnare e pipes structures.

Altra caratteristica macroscopica osservabile in questo deposito è la variazione, spesso graduale, di colore dal grigio al giallo per fenomeni idrotermali.

La tipica facies grigia dell'Ignimbrite consiste di pomici e frammenti litici dalle svariate dimensioni, immerse in una matrice di fondo cineritica, che rappresenta circa il 90% del volume totale. Nella facies gialla, invece, è presente una pronunciata zeolitizzazione secondaria.

Nel territorio di Quarto affiorano lembi di Tufo Grigio Campano nella località di Punta Marmolite.

2.2.3 Prodotti del vulcanismo tra 39.000 e 15.000 anni.

Le rocce riconducibili alle eruzioni prodottesi nel periodo compreso "tra l'eruzione dell'IC e quella del Tufo Giallo Napoletano, sono esposte lungo il bordo della caldera dell'Ignimbrite Campana, all'interno della città di Napoli e lungo i versanti nord occidentale e sud occidentale della collina di Posillipo" (INGV Sezione di Napoli-Osservatorio Vesuviano). Si tratta generalmente di prodotti di eruzioni esplosive a carattere freatomagmatico.

Le caratteristiche di queste rocce in affioramento, indicano che “i centri eruttivi, erano ubicati all'interno della Caldera dell'Ignimbrite Campana, sia nella parte attualmente emersa, sia nella parte che attualmente si trova sotto il livello del mare nel golfo di Napoli. In particolare a Torregaveta, Monticelli, Monte Echia, lungo il versante meridionale delle colline di San Martino e Capodimonte, e lungo i versanti nord-occidentale e sud-occidentale della collina di Posillipo. Anche i vulcani sommersi del Banco di Pentapalumbo e del Banco di Miseno, che si trovano nella Baia di Pozzuoli, appartengono a questo periodo di attività”. (INGV Sezione di Napoli-Osservatorio Vesuviano- Storia eruttiva dei Campi Flegrei). Nel territorio di Quarto I prodotti chiaramente riconducibili al detto periodo sono i Tufi di Chiarano presenti sul bordo settentrionale della Piana di Quarto.

2.2.4 Tufo Giallo Napoletano (14.9±0.4 ka, Deino et alii, 2004).

I depositi di Tufo Giallo Napoletano sono il risultato di un'unica eruzione a cui sarebbe legato il collasso dell'area (Lirer et al., 1987). Scarpati e Cole (1993), in un lavoro basato su dettagliati studi stratigrafici, granulometrici e geochimici, sposano l'ipotesi di una sola eruzione. Questi ultimi collocano il centro di emissione nella parte nord-orientale dei Campi Flegrei e ricostruiscono l'andamento dell'eruzione in base alla sequenza dei prodotti dai depositi basali, costituiti da strati alternati di pomice e ceneri, riconducibili a una fase eruttiva iniziale freato-pliniana, seguita da una violenta fase di surge e flussi piroclastici.

Il Tufo Giallo Napoletano consiste in un vasto deposito da flusso piroclastico, di colore giallastro e grigiastro e struttura da massiva a stratoide, costituito da pomice, frammenti lavici e tufacei immersi in una matrice cineritica, con una composizione variabile da latitica a fonolitica, probabilmente risultato di una camera magmatica zonata (De Gennaro et al., 2000).

I depositi ascrivibili al Tufo Giallo Napoletano sono stati suddivisi in due membri, il membro inferiore e il membro superiore, che si differenziano per caratteristiche tessiturali, sedimentologiche, area di dispersione e composizione chimica (Orsi et al., 1992, 1995).

Il passaggio tra i due membri è evidenziato da una brusca variazione delle caratteristiche tessiturali del deposito e/o da una discordanza angolare. Il Membro Inferiore è stato rinvenuto fino a 35 Km dall'area di emissione ed è costituito da diverse unità da caduta, intercalate da numerosi livelli di cenere a grana fine, con intervalli contenenti lapilli accrezionali e vescicolari.

Il Membro Superiore, rinvenuto fino a circa 14 Km dall'area di emissione, è costituito da una sequenza di depositi da flusso e surges piroclastici, le cui caratteristiche variano in funzione sia della distanza dal centro di emissione che della posizione rispetto al margine della caldera. I depositi del Membro Superiore sono costituiti da alternanze di livelli di ceneri a differente granulometria, da massivi a laminati, con pomici e frammenti litici dispersi, caratterizzati generalmente da un elevato grado di litificazione per zeolitizzazione. All'interno della caldera dei Campi Flegrei (Monte di Procida, S. Severino, Quarto, Collina dei Camaldoli, Vomero, Posillipo e Capodimonte) affiorano prevalentemente depositi da flusso e surges piroclastici del Membro Superiore, mentre nelle aree periferiche (Qualiano, Giugliano, Miano, Ponti Rossi, Poggioreale e comuni a nord di Napoli) depositi costituiti in prevalenza dal Membro Inferiore e composti da ceneri laminate grigio giallastre, da scarsamente a non zeolitizzate.

In conclusione il Tufo Giallo Napoletano è generalmente di colore grigio e scarsamente litificato nelle aree distali, mentre è giallo e litificato per zeolitizzazione (de'Gennaro et al., 1990) nelle aree prossimali.

Le caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e composizionali del Tufo Giallo Napoletano indicano che il collasso calderico iniziò già nel corso dell'eruzione (Orsi e Scarpati, 1989; Orsi et al., 1991, 1992, 1995; Scarpati et al. 1993; Wohletz et al., 1995). Larga parte del margine strutturale della caldera è stato individuato sulla base di studi gravimetrici e magnetici (Barberi et al., 1991), della distribuzione dei centri eruttivi più recenti del Tufo Giallo Napoletano, dell'andamento di superfici di abrasione marina di età nota e di dati di perforazione superficiale e profonda.

Tutti i centri eruttivi più giovani di 15.000 anni sono ubicati all'interno della caldera del Tufo Giallo Napoletano. Il collasso calderico si realizzò attraverso l'attivazione di nuove faglie e la riattivazione di porzioni di faglie persistenti generate dalla tettonica regionale. Il fondo della caldera fu dislocato in una serie di blocchi ribassati in modo differenziale. (Fig. 5).

Nel comune di Quarto il Tufo giallo Napoletano si presenta sia nella facies gialla litoide sia nella facies sciolta costituita da alternanze di livelli di ceneri a differente granulometria, da massivi a laminati, con pomici e frammenti litici dispersi.

2.2.5 Vulcanismo più recente di 15.000 anni.

L'eruzione del TGN e il relativo collasso calderico furono seguiti da un'ingressione marina nell'attuale settore meridionale dei Campi Flegrei. Probabilmente in questa fase gli alti morfologici di Cuma e del Monte di Procida erano delle piccole isole, mentre le piane di Soccavo e Pianura erano emerse.

Il vulcanismo più recente (Fig. n.7) del TGN è stato concentrato in tre epoche di attività, alternate a periodi di quiescenza (Di Vito et al., 1999). Vulcanismo e quiescenza sono strettamente correlati a un'intensa deformazione del fondo della caldera prodotta da un fenomeno di risorgenza. La distribuzione areale dei centri attivi in ciascun'epoca è un ottimo tracciante delle strutture attive che hanno favorito la risalita del magma nel tempo. Quasi tutte le eruzioni definite (65 su 70) sono state esplosive e caratterizzate da alternanza di esplosioni magmatiche e freatomagmatiche. Le esplosioni magmatiche hanno generato prevalentemente depositi piroclastici da caduta e subordinatamente da flusso, mentre quelle freatomagmatiche hanno prodotto depositi da surges piroclastici. Le eruzioni esplosive sono state di bassa e media magnitudo, eccetto due di alta magnitudo, avvenute una nella I e una nella II epoca.

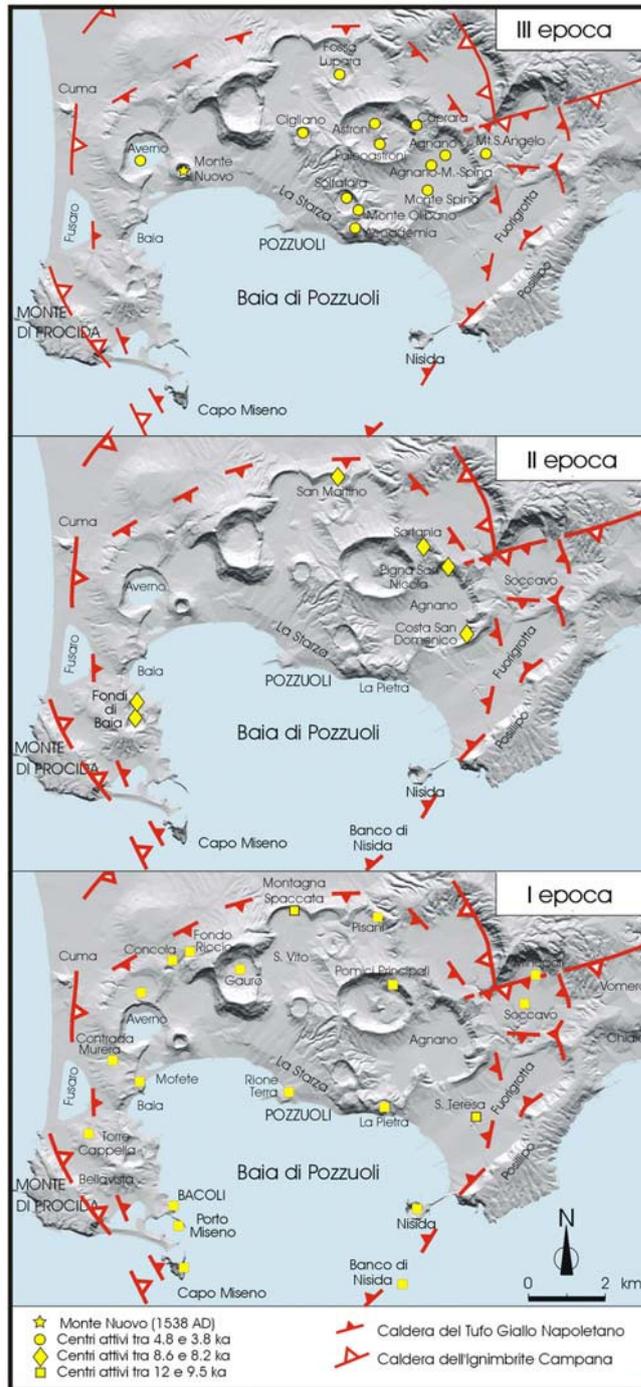


Fig. n.7 – Distribuzione dei centri eruttivi della caldera dei Campi Flegrei durante ciascuna delle epoche di attività negli ultimi 12.000 anni.

Durante la I epoca (12.000 – 9.500 anni), si verificarono 37 eruzioni, tutte esplosive, a una media di una ogni 70 anni. Solamente quella delle Pomici Principali (10.300 anni; Di Vito et al., 1999) fu di alta magnitudo.

Le eruzioni i cui centri erano ubicati lungo la linea di costa furono di tipo freatomagmatico e produssero prevalentemente tuff-rings e tuff-cones e generarono surges piroclastici che si depositarono nelle aree più prossime ai centri. I centri ubicati lontano dalla costa (es. Soccavo 1, Minopoli 2, Pisani 2) produssero vari tipi di depositi piroclastici ampiamente distribuiti al di fuori della caldera e sull'area oggi occupata dalla città di Napoli. Depositi da caduta coprono il settore nord-orientale del fondo della caldera e i versanti settentrionali della collina dei Camaldoli, fino a 15 km dal centro della caldera stessa. I depositi da caduta delle Pomici Principali coprono un'area molto vasta, con uno spessore di 20 cm a circa 50 km a est-nord-est del centro eruttivo. Correnti piroclastiche depositarono il loro contenuto solido sul fondo della caldera, sul versante settentrionale della collina dei Camaldoli e su una parte della Piana Campana a nord di Cuma. La distribuzione areale dei centri attivi in questa epoca (Fig. n.7) suggerisce che il magma riusciva a raggiungere la superficie attraverso tutte le faglie marginali della caldera del TGN e solo attraverso alcune delle faglie all'interno della caldera. Questa distribuzione dei centri implica che il vulcanismo si alimentava essenzialmente attraverso le faglie bordiere.

Dopo una quiescenza durata circa 1.000 anni, durante la quale si formò il paleosuolo A, iniziò la II epoca di attività (8.600 – 8.200 anni) che produsse 6 eruzioni esplosive di bassa magnitudo che si susseguirono a intervalli medi di 65 anni. I depositi piroclastici di questa epoca coprono un'area molto più ristretta di quella coperta dai depositi della I epoca. I depositi da caduta coprono il fondo della caldera e, con spessori modesti, il versante settentrionale della Collina dei Camaldoli. Il magma raggiunse la superficie solamente attraverso porzioni delle faglie marginali della caldera del TGN.

Una quiescenza di circa 3.500 anni, durante la quale si formò il paleosuolo B, separò la II dalla III epoca. In questo tempo all'interno della caldera avvenne una variazione del regime di stress. Fin dal collasso della caldera del TGN, il livello del mare è andato sempre salendo, mentre il blocco de La Starza è stato sollevato con tassi di risorgenza variabili (Di Vito et al., 1999).

Questa variabilità nel tasso di risorgenza ha determinato l'alternanza di periodi di emersione e di sommersione del blocco, e la sua definitiva emersione all'inizio della III epoca. Durante la III epoca (4.800 – 3.800 anni) si ebbero 21 eruzioni esplosive e 5 effusive che si succedettero a intervalli medi di circa 40 anni. Durante questa epoca, l'eruzione di Agnano-Monte Spina fu l'unico evento ad alta magnitudo e fu accompagnato da un collasso vulcano-tettonico. Depositi piroclastici da caduta coprono il fondo della caldera e le aree circostanti. Solamente i depositi di Agnano-Monte Spina furono dispersi su un'area molto vasta, a nord-est del centro eruttivo. Correnti piroclastiche fluirono prevalentemente nel basso morfologico della caldera e subordinatamente lungo il versante settentrionale della Collina dei Camaldoli. Solamente le correnti prodotte dalle eruzioni di Agnano-Monte Spina e Astroni raggiunsero distanze rispettivamente di 18 e 7 km dal centro di emissione. Il magma poté raggiungere la superficie solamente attraverso le faglie del settore nord-orientale del fondo della caldera del TGN. Le faglie marginali della caldera del TGN non si comportarono come strutture di alimentazione delle eruzioni.

L'ultimo periodo di quiescenza, iniziato alla fine della III epoca, fu interrotto nel 1538 AD dall'eruzione che determinò la formazione del tuff-cone del Monte Nuovo. Questa eruzione è una delle meno intense verificatesi nei Campi Flegrei e durò solo una settimana. I suoi prodotti sono essenzialmente depositi piroclastici da flusso e da caduta, dispersi su un'area limitata nei dintorni del centro di emissione. L'eruzione fu preceduta da deformazioni del suolo molto appariscenti e da attività sismica avvertita fino a Napoli (Parascandola, 1947). Essa, così come quella più vecchia di Averno, avvenne all'intersezione di due sistemi di faglie delimitanti la porzione più sollevata del blocco de La Starza.

La risorgenza all'interno della caldera del TGN è cominciata tra 10.500 e 8.000 anni dall'attuale. L'inizio del fenomeno potrebbe essere messo in relazione con l'eruzione trachibasaltica di Minopoli, quando, cioè, nuovo magma, più caldo e meno differenziato rispetto al magma residente, entrò nella camera magmatica superficiale.

L'acme della risorgenza è stato raggiunto circa 5.000 anni dall'attuale ed è immediatamente precedente alla III epoca di attività. La risorgenza della parte centrale della caldera del TGN non è avvenuta in maniera omogenea, ma attraverso la dislocazione verticale differenziale di un numero discreto di blocchi, secondo un meccanismo di taglio semplice (Orsi et al., 1996) (Fig. n.5).

Negli ultimi 2.000 anni, la caldera del TGN è stata interessata da una deformazione, ben documentata al Serapeo di Pozzuoli (Parascandola, 1947). Due maggiori eventi bradisismici hanno avuto luogo nei periodi 1969–1972 e 1982–1984 (Orsi et al. 1999 e bibliografia citata). Durante tutti gli eventi bradisismici il massimo sollevamento del suolo è stato misurato a Pozzuoli. Dopo il 1984 nell'area flegrea è iniziato un processo di lento abbassamento del suolo. Episodi minori di sollevamento si sono avuti nel 1989 e nel 2000, mentre nel 1994 si è avuto un temporaneo arresto dell'abbassamento del suolo. Gli episodi minori di sollevamento sono stati accompagnati da modesta sismicità, rappresentata da sciami di terremoti di piccola Magnitudo. Dall'ottobre 2004 è iniziato un periodo di debole sollevamento che nel maggio 2005 ha raggiunto un valore di circa 11 millimetri. Nel periodo da maggio a ottobre 2005 si è avuta una stasi del fenomeno di risalita del suolo, mentre da novembre 2005 a marzo 2006 si è verificato un nuovo sollevamento di 13 mm. In questo periodo risale.

Le eruzioni vulcaniche e gli eventi vulcano-tettonici verificatisi negli ultimi 40.000 anni hanno anche determinato l'assetto morfo-strutturale dei Campi Flegrei. Le eruzioni hanno prodotto un elevato numero di edifici vulcanici. I più giovani (es. Astroni, Averno, Solfatara, Monte Nuovo) sono facilmente riconoscibili per la tipica forma tronco-conica. In altri casi le originarie forme vulcaniche sono state modellate e talora in parte smantellate per effetto di eventi vulcano-tettonici, intensi processi erosionali, deposizione di prodotti piroclastici successivi (es.: Nisida, Gauro, Montagna Spaccata, Torre Cappella).

Altro elemento morfologico di primaria importanza per l'area flegrea è dato dalle numerose piane interne e costiere risultanti dagli eventi sia vulcanici che vulcano-tettonici.

Alcune depressioni ubicate all'interno della caldera del TGN sono state interessate da ingressione marina, come testimoniato sia dalle caratteristiche dei sedimenti (Orsi et al., 1996) sia dall'occorrenza di tipiche forme deposizionali o erosionali (terrazzi, falesie).

La generale subsidenza dell'area dei Campi Flegrei e la risorgenza della parte centrale della caldera del TGN, hanno contribuito in modo rilevante all'articolazione plano-altimetrica dei luoghi. L'effetto più evidente della risorgenza è il terrazzo marino de La Starza, posto a circa 40-60 m s.l.m. e costituito da più intervalli deposizionali di origine marina, intervallati da depositi piroclastici subaerei. La generale subsidenza della CCF è testimoniata dai numerosi resti archeologici di età imperiale che costellano, a profondità per lo più comprese entro l'isobata dei -10 m, il litorale flegreo-napoletano.

Nel territorio di Quarto sono largamente presenti i prodotti chiaramente attribuibili al periodo (litosoma Montagna Spaccata, Litosoma Masseria D'Angelo, Subsintema Agnano-Soccavo, Piroclastiti di Agnano-Monte Spina, Litosoma di Astroni, Subsintema di Contrada Romano).

3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

Le eruzioni vulcaniche e gli eventi vulcano-tettonici verificatisi negli ultimi 40.000 anni hanno anche determinato l'assetto morfo-strutturale dei Campi Flegrei. Elementi morfologici di rilievo sono i versanti di origine strutturale, generalmente legati ai fenomeni di collasso vulcano-tettonici, che si presentano da moderatamente a molto acclivi e sono impostati sia in rocce litoidi (creste tufacee che bordano la collina dei Camaldoli e la collina di Posillipo) che in terreni piroclastici sciolti.

Altre morfologie strettamente legate all'attività vulcanica flegrea sono rappresentate dai duomi lavici (Monte Olibano, La Caprara) e da un elevato numero di edifici vulcanici. I più giovani (es. Astroni, Averno, Solfatara, Monte Nuovo) sono ancora ben conservati e facilmente riconoscibili per la tipica forma tronco-conica. In altri casi le originarie forme vulcaniche sono state modellate e

talora in parte smantellate per effetto di eventi vulcano-tettonici, d'intensi processi erosionali e di deposizione di prodotti piroclastici successivi (es.: Nisida, Gauro, Montagna Spaccata, Torre Cappella).

Altro elemento morfologico di primaria importanza per l'area flegrea sono le numerose piane interne e costiere risultanti dagli eventi sia vulcanici sia vulcano-tettonici. Alcune depressioni ubicate all'interno della caldera del TGN sono state interessate da ingressione marina, come testimoniato sia dalle caratteristiche dei sedimenti (Orsi et al., 1996) sia delle tipiche forme deposizionali o erosionali (terrazzi e falesie).

La generale subsidenza dell'area dei Campi Flegrei e la risorgenza della parte centrale della caldera del TGN, hanno contribuito in modo rilevante all'articolazione plano-altimetrica dei luoghi. L'effetto più evidente della risorgenza è il terrazzo marino de La Starza, posto a circa 40-60 m s.l.m. e costituito da più intervalli deposizionali di origine marina, intervallati da depositi piroclastici subaerei. La generale subsidenza dell'area dei campi Flegrei è testimoniata anche dai numerosi resti archeologici di età imperiale che costellano, a profondità per lo più comprese entro l'isobata dei -10 m, il litorale flegreo-napoletano.

Nel territorio Flegreo si riconoscono sia le forme legate all'azione delle acque ruscellanti quali "solchi da ruscellamento concentrato, alvei poco incisi, alvei da moderatamente a molto incisi, orli di scarpata, vallecole a conca, vallecole a fondo piatto, gomiti lungo aste fluviali a forte gradiente, soglie di valle sospesa, conoidi alluvionali attivi, poco o non reinciati, fasce di raccordo versante fondovalle di origine alluvio-colluviale o di origine fluvio-denudazionale, e settori di glaciai alluvio-colluviale interessati da diffusi fenomeni di deiezione" che le forme legate ai fenomeni gravitativi quali "scorrimenti traslativi, colate e frane complesse, quest'ultime rappresentate da crolli o scorrimenti traslativi evoluti in colate". Sono presenti, infine, anche forme e depositi di origine marina costituite "dagli orli di falesia.

Di particolare interesse, inoltre, ai fini della ricostruzione delle variazioni del livello del suolo, è l'elemento geomorfologico corrispondente al terrazzo della Starza, limitato verso mare da un versante acclive soggetto a una vivace dinamica morfologica" (Ex Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania. Valutazione del rischio da frana).

4. ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI

Dal punto di vista idrogeologico l'area studiata appartiene all'unità idrogeologica dei Campi Flegrei (Celico P., 1983).

La configurazione litostratigrafica del territorio dei Campi Flegrei, con livelli a varia litologia e granulometria il cui andamento è spesso lenticolare, influenza la circolazione idrica sotterranea; quest'ultima si sviluppa essenzialmente nei livelli piroclastici a granulometria più grossolana.

L'alternanza, spesso complessa, di terreni a permeabilità medio-alta (sabbie, ghiaie, ecc.) con altri a permeabilità bassa (limi, paleosuoli, ecc.), determina una circolazione idrica sotterranea "per falde sovrapposte" che, però, non è possibile distinguere perché esse sono tra loro interconnesse sia attraverso il "flusso di drenanza" che attraverso le soluzioni di continuità dei sedimenti meno permeabili. Questa situazione, accompagnata dall'assenza di livelli di terreni impermeabili estesi realmente continui e spessi, consente di asserire che le acque di infiltrazione meteorica concorrono ad alimentare una falda di base unica estesa a tutta l'area flegrea. Quest'asserzione è confermata dalla sufficiente concordanza dei livelli piezometrici dei pozzi che pescano a diverse profondità.

La falda, in gran parte a pelo libero, presenta un alto nella zona di Marano-Calvizzano, ha un deflusso radiale, trova recapito a mare lungo la linea di costa a Sud e Ovest, verso la Piana Campana a Nord e a Nord-Est e verso il fosso Volla ad Est (Fig.8).

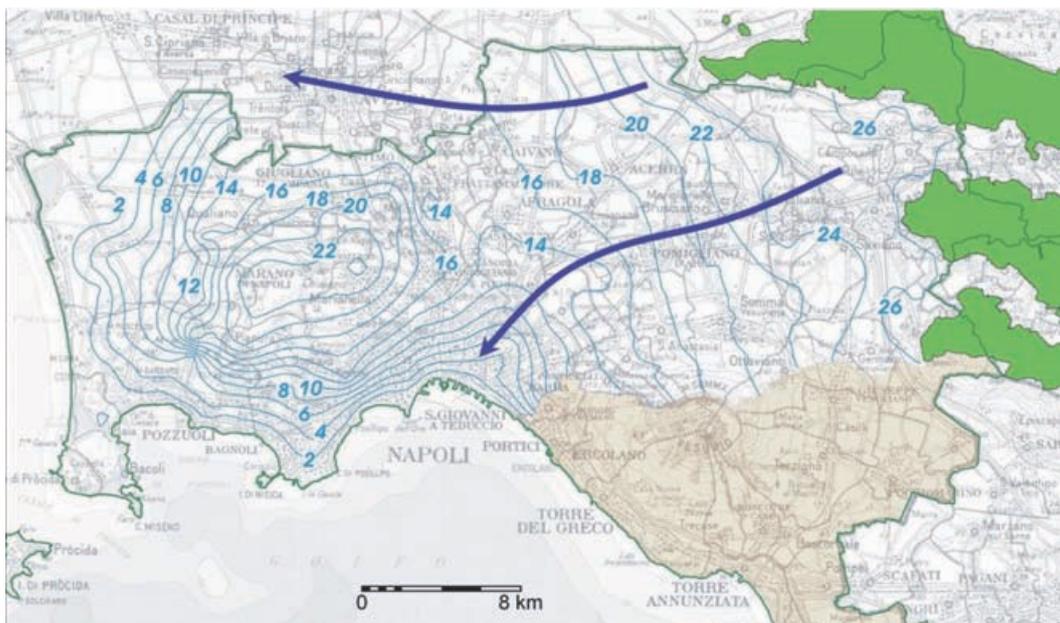


Fig. n.8 – Piezometria del febbraio 2003 (valori in m s.l.m). Amministrazione Provinciale di Napoli – Settore Ambiente, 2003). In verde sono indicati i massicci carbonatici.

In corrispondenza della zona a gradiente piezometrico elevato, s'ipotizza la presenza di un'alimentazione della falda proveniente dal basso che, aumentando localmente la portata, ne determina l'incremento del gradiente piezometrico.

Nella zona sud-occidentale e occidentale la falda, prima di raggiungere il mare, affiora in corrispondenza del lago d'Averno, del lago Lucrino, del lago Fusaro e verosimilmente del lago Miseno. La falda affiora, inoltre, lungo la fascia costiera tra Licola e Varcaturò.

L'assetto piezometrico mostra come l'alto flegreo determina la deviazione del flusso idrico della Piana Campana a nord delle colline flegree (Fig. n.8).

“Le acque sotterranee sono connesse a un circuito idrotermale, testimoniato dagli elevati gradienti geotermici dell'area e dalla presenza di numerose sorgenti termominerali” e “il chimismo di queste acque è quindi influenzato dagli apporti fluidi profondi e, escluso le sorgenti di Agnano, dall'ingressione di acque marine” (ex Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania).

5. INDAGINI SVOLTE

Il programma d'indagini, impostato tenendo conto della limitata disponibilità economica e dell'esistenza di un certo numero di prove eseguite nel passato sul territorio comunale, è stato stabilito dall'U.T.C.

In via preliminare è stato eseguito un attento rilievo geologico e geomorfologico. Nei mesi di maggio, giugno e luglio 2021, sono state eseguite dal dott. Geol. Gerardo De Nisco, incaricato dal sottoscritto, le seguenti prove sismiche previste dall'Ufficio Tecnico:

- n.6 H.V.S.R.;
- n.12 M.A.S.W..

Tutte le predette prove sono state riportate e ampiamente descritte nel fascicolo "Indagini geognostiche eseguite", Elab. D.1.3, allegato alla presente relazione. L'ubicazione delle medesime è riportata nell'elaborato Tav. G.1.

6. INDAGINI DISPONIBILI ESEGUITE SUL TERRITORIO COMUNALE NEGLI ULTIMI 25 ANNI

Com'è stato detto in premessa sono state, altresì, tenute presenti, quali utili elementi di approfondimento e di confronto, le seguenti ulteriori indagini eseguite sul territorio comunale negli ultimi 25 anni e fornite allo scrivente dall'U.T.C. e reperite dallo stesso:

a) le prove eseguite nel 2019 per le opere di contenimento in via Campana consistenti in:

- n.2 sondaggi profondi 30 m. con prelievo di n.2 campioni indisturbati;
- n.8 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- n.2 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 24 m.;
- n.1 prova sismica tipo HVSR;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati consistenti in: n.2 caratteristiche fisiche generali; n.2 analisi granulometriche e n.2 prove di taglio diretto.

b) le prove eseguite nel 2019 per l'ampliamento stradale di via Pirandello consistenti in:

- n.2 sondaggi a c.c. profondi 30 m. con prelievo di n. 4 campioni indisturbati;
- n.15 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- n.2 prove penetr. dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 60 m.;
- n.1 prova sismica HVSR;
- prove geotecniche di laboratorio consistenti in: n.4 caratteristiche fisiche generali; n.4 analisi granulometriche e n.4 prove di taglio diretto.

c) le prove eseguite nel 2015 per il campo sportivo polivalente "lo gioco legale" - via Masullo consistenti in:

- n.1 sondaggio a c.c. profondo 30 m.;
- n.2 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 40 m.;
- n.1 prova sismica tipo MASW.

d) la campagna di indagini eseguita nel 2014 per le fognature e impianto di sollevamento via Seitolla-via Campana costituita da:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo profondi 30 m. con prelievo di n. 9 campioni indisturbati;
- n.30 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo S.P.T.;
- n.3 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH per complessivi 45 metri;
- n.4 prove sismiche tipo MASW;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi consistenti in: n.9 caratteristiche fisiche generali; n.9 analisi granulometriche e n.9 prove di taglio diretto.

e) le prove eseguite nel 2013 per le fognature di via Pantaleo – via Campana – via Marmolito – via Casalanno – via Kennedy consistenti in:

- n.4 sondaggi a c.c. profondi 15 m.;
- n.6 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 66 m.;
- n.2 prove sismiche tipo HVSR;
- n.2 prove sismiche tipo MASW.

f) le prove eseguite in via Dante Alighieri, nello stadio comunale nel 2006 per la realizzazione delle torri faro e nel 2014 per la realizzazione di loculi nel cimitero comunale consistenti in:

- n.6 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 72 m.;
- n.1 prova sismica MASW.

g) le prove eseguite nel 2012 per la villa comunale - via Pietra Bianca consistenti in:

- n.2 sondaggi a c.c. per complessivi 30 m.;
- n.3 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH per complessivi 36 m.

h) le prove eseguite nel 2009 nel cimitero comunale per la "Studio delle caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo ai fini della riduzione dei tempi di esumazione delle salme" consistenti in:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo per complessivi 20 ml con prelievo di n. 3 campioni indisturbati;
- n.5 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- prove geotecniche di laboratorio consistenti in: n.3 caratteristiche fisiche generali; n.3 analisi granulometriche e n.3 prove di permeabilità a carico variabile.

i) le prove eseguite nel 2005 per il plesso scolastico "Azzurra" e nel 2008 presso il plesso scolastico Borsellino consistenti rispettivamente in:

- n.2 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPM per complessivi ml 29.20;
- n.5 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH per complessivi 51 m..

l) le prove eseguite nel 2001 per il Piano di Recupero per le zone Bc1, Bc2 e Bc3, consistenti in:

- n.2 sondaggi a c.c. per complessivi ml.40 e per una profondità massima di 20 m. e con prelievo di n.4 campioni indisturbati;
- n.8 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- n.2 prove penetrometriche statiche per complessivi ml.40;
- prove geotecniche di laboratorio consistenti in: n.4 caratteristiche fisiche generali; n.4 prove di taglio diretto e n.4 prove di consolidazione edometrica.

m) le prove eseguite nel 1999 per il Piano di Recupero Z.T.O. "B" consistenti in:

- n.5 sondaggi a c.c. per complessivi ml.110 e per una profondità massima di 30 m. e con prelievo di n. 6 campioni indisturbati;
- n.19 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- n.6 prove penetrometriche statiche per complessivi ml.120;
- n.4 prove sismiche in foro tipo down-hole;
- prove geotecniche di laboratorio consistenti in: n.6 caratteristiche fisiche generali; n.2 prove di taglio diretto; n.2 prove triassiali e n.3 prove di consolidazione edometrica.

n) le prove eseguite nel 1998 per i lavori di completamento e sistemazione area urbana ex Piazza Municipio consistenti in:

- n.2 sondaggi a c.c. per complessivi 26.40 m.;
- n.8 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT.

Tutte le predette prove sono contenute nel fascicolo "Indagini geognostiche disponibili" (Elab. 1.2) allegato alla presente relazione.

7. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Il territorio del Comune di Quarto si estende per 14,16 Km², è riportato nel Foglio 447 sez. III POZZUOLI e sez. IV MARANO della Carta Topografica d'Italia I.G.M. in scala 1:25000 e nel Foglio 184 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 e corrisponde quasi totalmente alla cosiddetta "Piana di Quarto". Nel progetto CARG l'intero territorio è riportato nel foglio 446-447 NAPOLI in scala 1:50000.

Esso è delimitato dai territori dei comuni di Giugliano in Campania, Marano di Napoli, Napoli, Pozzuoli e Villaricca.

La costituzione geolitologica e le successioni stratigrafiche del territorio di Quarto derivano dall'attività effusiva ed esplosiva dei vulcani dei Campi Flegrei. I terreni più antichi affiorano nella parte settentrionale del Piano di Quarto, nella località denominata Punta Marmolite.

La cupola lavica affiorante nella predetta località ha uno spessore di 10-12 metri, una composizione trachi-fonolitica con evidenti laminazioni da flusso che ne mostrano le fasi di accrescimento. La cupola lavica, appartenente al I ciclo di attività dei Campi Flegrei (circa 47.000 y.b.p.), presenta a tetto una successione di prodotti piroclastici, spesso circa 8-10 metri, costituita da un'alternanza di livelli di pomici da caduta e di ceneri con intercalati, nella parte mediana, da livelli ossidati (paleosuoli) che testimoniano periodi di interruzione dell'attività esplosiva.

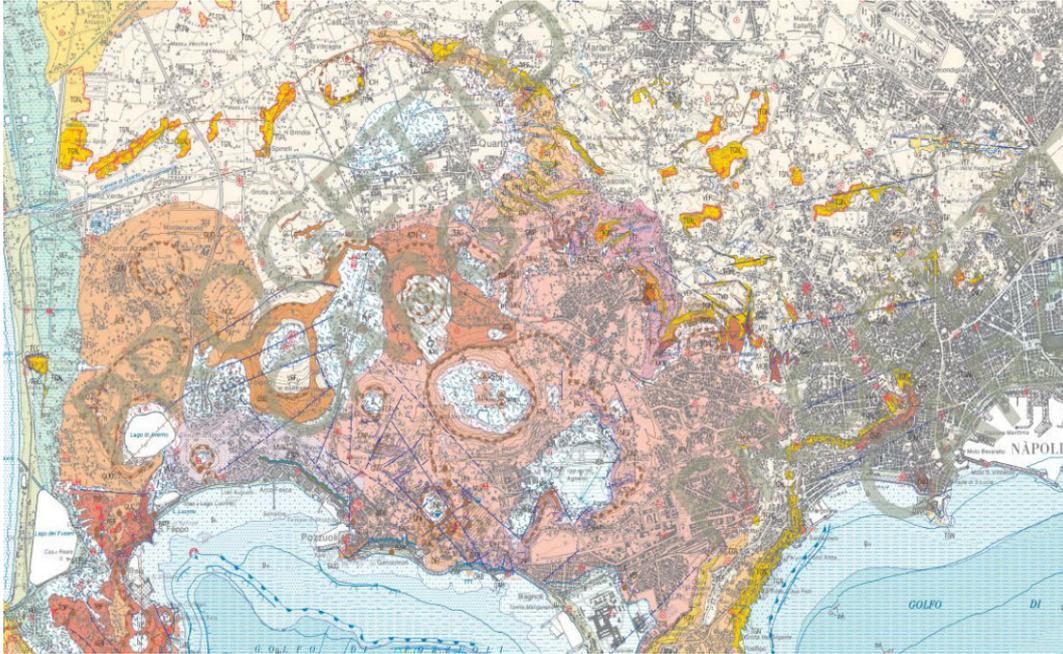


Fig. n.9 - Stralcio fuori scala della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG Foglio 446-447-Napoli).



Coltre eluvio-colluviale

Sabbie e limi argillosi talora pedogenizzati derivanti dall'alterazione di piroclastiti e tufi, talora contenenti lapilli pomicei e scoriacei accumulati in posto o dopo un breve trasporto per ruscellamento.
OLOCENE p.p. (parte recente) - ATTUALE



area dei Campi Flegrei

SUBSINTEMA DI CONTRADA ROMANO (VEF₁₂)

(cfr. - CCU - unità di Casalnuovo - Casoria p.p. del F. 448 "Ercolano")

Successione di depositi prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di lapilli pomicei da caduta. I depositi poggiano su di uno spesso paleosuolo ocraceo ampiamente diffuso sia nei settori interni che esterni alla caldera flegrea, nelle aree di piana circostanti, fino ai contrafforti appenninici o, a luoghi, su depositi marini. Nell'area orientale del foglio tra la città di Napoli e Casoria-Afragola, la parte alta della sequenza comprende depositi piroclastici dell'eruzione vesuviana di Avellino. Tutte le sequenze delle unità litostatiche o litostratigrafiche sono separate da superfici erosive o paleosuoli. Porzioni di duomi di lava sono riconoscibili nel settore centrale della caldera. Tra le sequenze piroclastiche sono talora visibili depositi epiclastici legati a sedimentazione marina o lacustre-palustre.

OLOCENE p.p. (parte media) - ATTUALE

SUBSISTEMA DI AGNANO-SOCCAVO (VEF₁₁)



Successione di depositi confinata a tetto da uno spesso paleosuolo ocraceo ampiamente distribuito sia nei settori interni alla caldera flegrea che nelle aree di piana circostanti. La successione poggia sui depositi di tufo del subsistema di Napoli (VEF 10). I depositi sono composti da alternanze di ceneri grigie e verdastre fini e grossolane con lenti di lapilli pomicei e da cineriti giallastre con livelli e lenti di scorie nere. I depositi delle unità litostatiche o litostratigrafiche sono separate da superfici erosive, paleosuoli o sedimenti continentali non vulcanici, e talora poggiano su depositi marini. L'unità subsistemica comprende inoltre i relitti di duomi di lava e depositi di tuffi giallastri. Il subsistema contiene anche l'unità de "La Starza" che comprende la sequenza dell'omonimo terrazzo marino costituito da alternanze di sedimenti marini e di livelli piroclastici.

TUFO GIALLO NAPOLETANO



Successione di depositi piroclastici giallastri generalmente litificati nelle zone prossimali (TGN_b) che variano in verticale e lateralmente a depositi sciolti di colore grigio chiaro (TGN_a). La sequenza del TGN è suddivisibile in due diversi membri separati da variazioni sedimentologiche e tessiturali dei depositi o dalla presenza di una discordanza angolare, ma in questa sede non cartografati singolarmente. Una breccia grossolana lentiforme ricca in scorie nere, lave e tuffi si intercala tra i due membri. Il membro inferiore di spessore massimo circa 20 m è formato da una fitta alternanza di livelli cineritici ricchi in lapilli accrezionali e sottili livelli pomicei grossolani. Il membro superiore di spessore massimo di 100 m, è formato da spessi livelli cineritici generalmente massivi, con lenti pomicee. Le pomici hanno vescicole molto allungate pochi cristalli di feldspato e composizione da latitica a trachitica. I litici sono tuffi verdi e tuffi epiclastici e lave. I depositi sono stati messi in posto da correnti piroclastiche e subordinatamente per caduta. Età ⁴⁰Ar/³⁹Ar 14,9±0.4 ka (DEINO *et alii*, 2004).
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. (Tardoglaciale)



TUFI DI CHIARANO

Depositi piroclastici del cono di tufo di Monticelli. Sono formati da una alternanza di livelli clasto-sostenuti di scorie e pomici di colore grigio scuro, con intercalati livelli cineritici. I clasti juvenili, trachitici, sono porfirici per feldspato e biotite. I frammenti litici sono composti da lave e tuffi. Spessore massimo circa 5m.
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. (Tardoglaciale)



LAVE DI PUNTA MARMOLITE

Lave grigie massive subafiriche che formano un duomo lavico a composizione fono-trachitica. Le lave mostrano fratturazione per raffreddamento e un carapace scoriaceo nella parte alta. Spessore massimo 15 m.
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. (pre-LGM)



PIROCLASTITI DI TORRE DI FRANCO

Depositi piroclastici formati da strati da decimetrici a metrici ben classati, clasto sostenuti, di pomici fono-trachitiche da bianche a grigie, subafiriche, con intercalati paleosuoli di colore ocra-marrone. I depositi contengono prevalentemente litici lavici e sono stati messi in posto per caduta e subordinatamente da flusso e surge piroclastico. Lo spessore massimo è di circa 35 m. La parte alta della sequenza ricopre le Lave di Punta Marmolite (UNT). Una unità nella parte inferiore della successione ha dato un'età ⁴⁰Ar/³⁹Ar di 59,900±0.16 ka (PAPPALARDO *et alii*, 1999).
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. (pre-LGM)

Fig. n.10 - Legenda dello stralcio estratto dal Foglio 446-447-Napoli-(Progetto CARG, della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

La successione prosegue verso l'alto, per circa 3-5 metri di spessore, con un banco di scorie che si presentano in larga parte saldate nella parte basale mentre passano verso l'alto a scorie di maggiori dimensioni generalmente arrossate. Sui predetti terreni poggia in discordanza il Tufo Giallo Napoletano che nella parte bassa si presenta litoide per poi passare nella parte alta, con l'interclusione di un livello intermedio detto Mappamonte, a materiale incoerente (pozzolana). Sul Tufo Giallo Napoletano poggiano, poi, i terreni riferibili all'attività esplosiva più recente dei Vulcani dei Campi Flegrei, che dal basso, sono riferibili ai vulcani di Agnano, di Solfatara, di Montagna Spaccata, di Pisani, di Cigliano, di Astroni e di Averno.

Tutti i predetti terreni sono ricoperti da consistenti spessori di prodotti eluviali e colluviali in giacitura secondaria.

8. GEOMORFOLOGIA E CONDIZIONI DI STABILITA'.

Il territorio di Quarto è posto a nord-ovest di Napoli, nell'entroterra flegreo, e coincide quasi completamente con la cosiddetta "Piana di Quarto" detto anche "Piano di Quarto", una depressione del sottosuolo di forma ellittica con il fondo posto a circa 30-40 m. sul livello del mare. La Piana è recintata da un bordo calderico, avente quote comprese tra 150 e 200 m. s.l.m, costituito a sud e ad est da resti di edifici vulcanici recenti, a nord e a nord est dai margini della caldera originatasi in seguito all'eruzione dell'Ignimbrite Campana e ad ovest da estesi depositi di Tufo Giallo Napoletano. Il Tufo Giallo Napoletano si rinviene anche al di sotto del Piano di Quarto alla profondità di circa 40 metri.

Le colline che bordano il Piano sono ricoperte da spessori variabili di depositi piroclastici, sciolti o debolmente addensati, formati da sabbie e limi, delle eruzioni più recenti dei Campi Flegrei. Detti terreni si adattano alla morfologia del sottostante substrato e si presentano, allentati e alterati nella parte alta, con versanti che raggiungono inclinazioni prossime ai 30°. La predetta inclinazione essendo prossima all'angolo di riposo delle piroclastiti determina, nelle aree non antropizzate e in quelle antropizzate non adeguatamente sistemate, smottamenti modesti che, però, in occasione di piogge intense possono evolvere a colate. Nella parte alta dei pendii, infatti, specie nella coltre allentata e alterata, si determinano le condizioni per l'innesco di movimenti franosi tipo colata di fango o scorrimento rototraslativo-colata rapida che generalmente non coinvolgono il substrato.

L'innesco si determina sia a causa del naturale decadimento delle proprietà geotecniche dei terreni superficiali che per il ruscellamento selvaggio delle acque di scolo e più in generale per la cattiva gestione del territorio da parte dell'uomo.

9. CLIMATOLOGIA

L'area d'indagine presenta una discreta piovosità, con precipitazioni medie annue che nel decennio 2003-2012 si attestano mediamente intorno ai 900 mm (ad es. a Pozzuoli nel decennio 2003-2012 si passa da un minimo di 648 (Anno 2007) a un massimo di 1440 (anno 2009) mm/anno con una media decennale di 983 mm/anno – Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania). Il regime pluviometrico è caratterizzato da un massimo nei mesi di febbraio e novembre, un periodo primaverile a piovosità intermedia ed un minimo estivo in giugno-luglio-agosto. In considerazione della rarità delle precipitazioni solide, queste ultime non sono significative rispetto al regime idrologico.

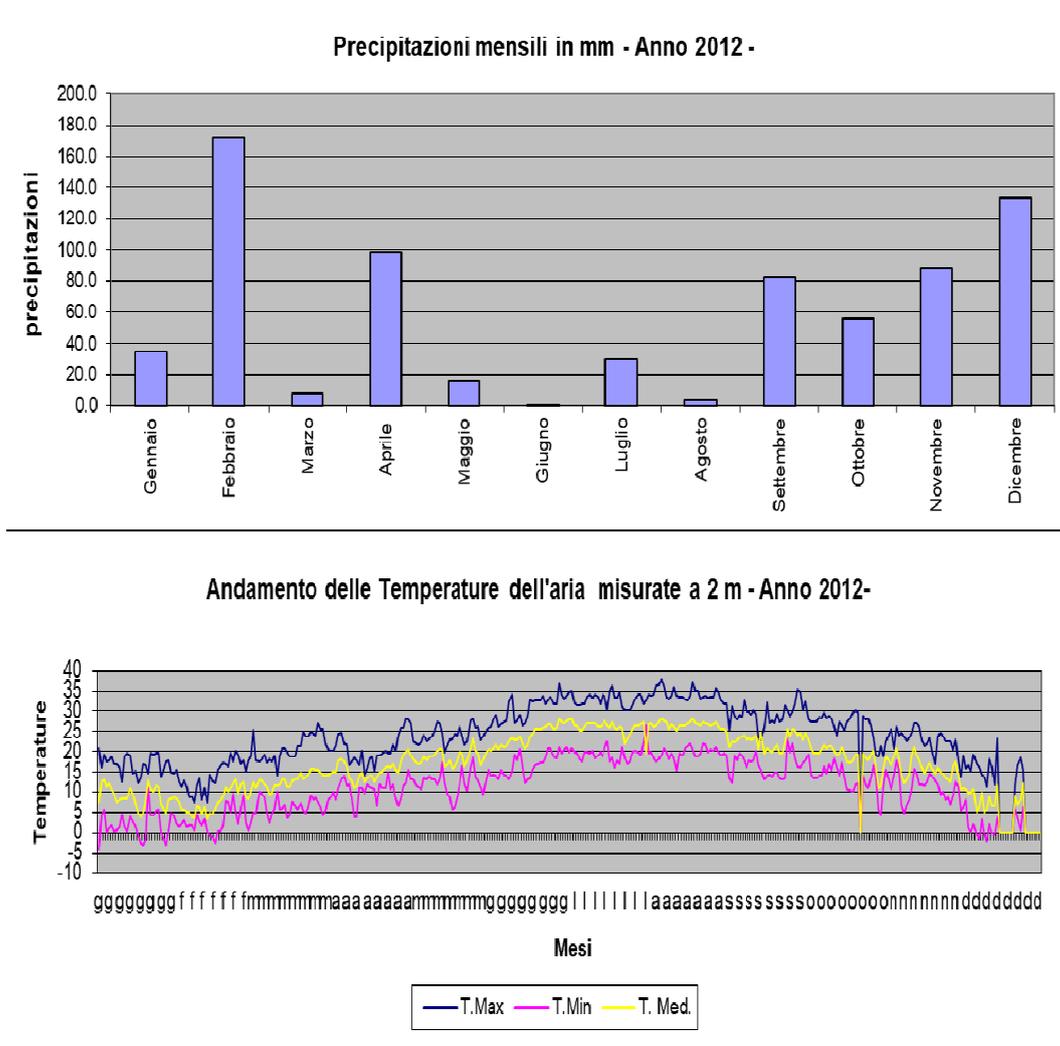


Fig. n.11 - Andamento delle temperature e delle precipitazioni nell'anno 2012 per la stazione di Pozzuoli (Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania).

Il regime termometrico medio, valutato dai dati dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania, è regolare, con un periodo di crescita da gennaio a luglio e una decrescita da agosto a gennaio, con valori medi annui di 15°-18°.

Nell'insieme il clima dell'area d'indagine può essere descritto come marittimo per quanto riguarda il regime pluviometrico e come temperato rispetto al regime termometrico. Si riporta l'andamento delle temperature dell'anno 2012, espresse in °C, per la stazione di Pozzuoli ritenuta più significativa.

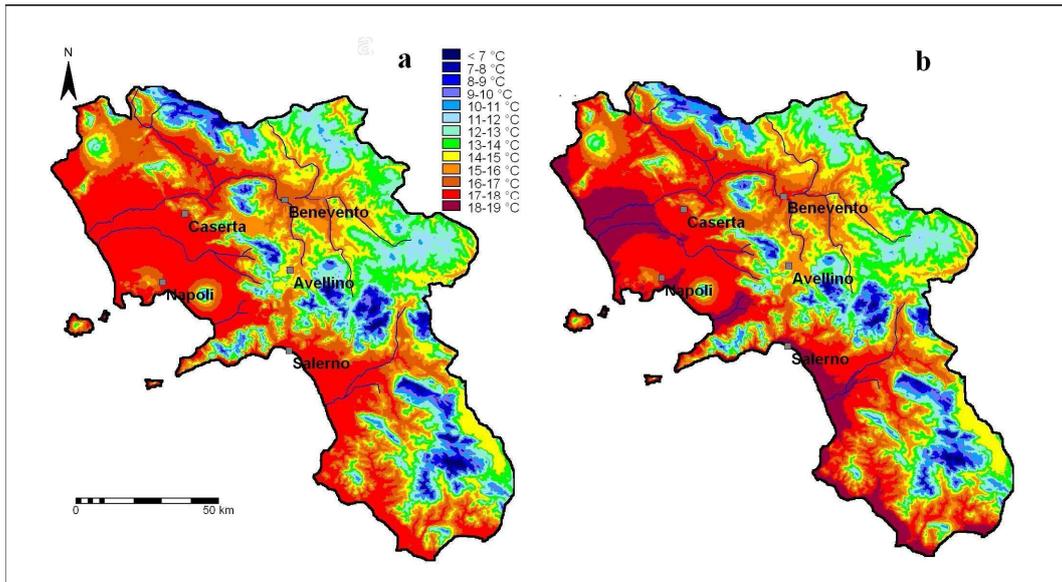


Fig. n.12 - Temperatura media annua in °C relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia, 2006).

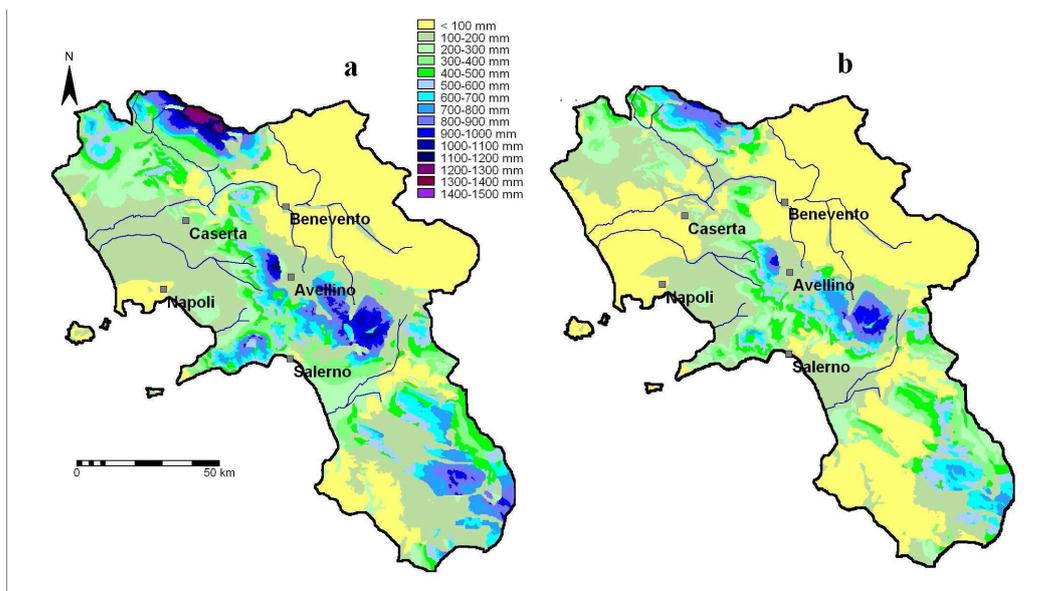


Fig. n.13 - Infiltrazione efficace media annua (mm/anno) relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia, 2006).

Si ricorda che alcuni Autori hanno verificato dei cambiamenti in atto confrontando le temperatura media annua in °C relative ai periodi 1951-1980 e 1981-1999 (Fig. 12) ed anche per quanto riguarda l'infiltrazione efficace (Fig. 13). Le stesse considerazioni si possono fare riguardo la pluviometria (Fig. 14).

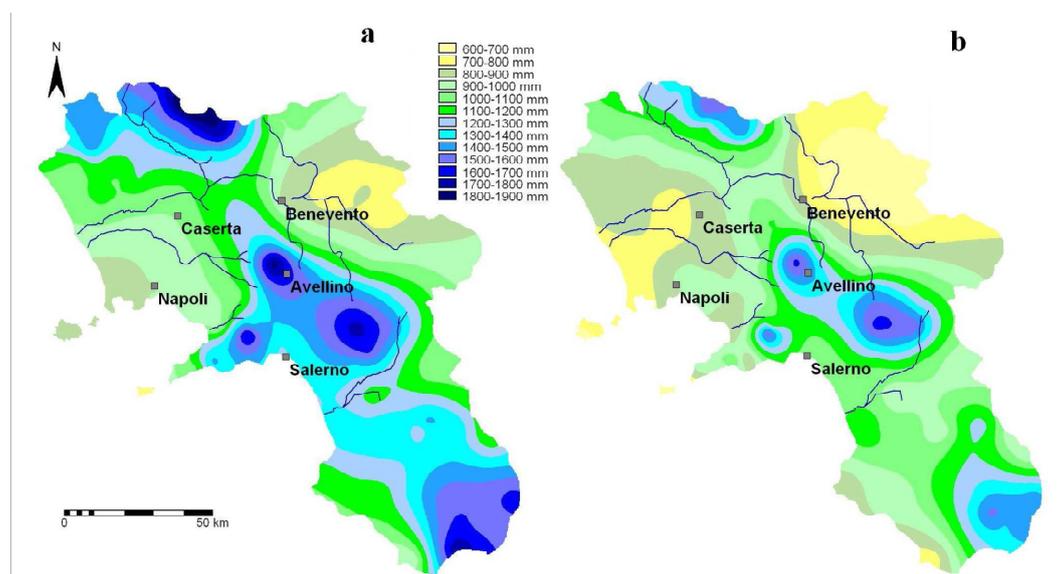


Fig. n.14 - Precipitazioni medie annue (mm/anno) relative al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006).

10. IDROGEOLOGIA

L'area oggetto di studio si trova all'interno di un'unità idrogeologica denominata in letteratura "Occidentale Flegrea" (F.Celico - L.Esposito - Mancuso - Complessità idrodinamica e idrochimica dell'area urbana di Napoli - 2001).

L'unità occidentale flegrea è caratterizzata da un assetto stratigrafico complesso derivante sia dalla giacitura, spessore, granulometria ed estensione laterale dei terreni piroclastici sciolti che dal grado di fessurazione dei terreni lapidei.

Il predetto assetto stratigrafico, contraddistinto da successioni variabili di litotipi a diversa permeabilità relativa, determina una circolazione idrica sotterranea per "falde sovrapposte" ma tra loro interconnesse, sia per l'interdigitalizzazione di depositi a vario grado di permeabilità, sia tramite flussi di drenanza.

Ciò nonostante, a grande scala, si riconosce uno schema idrico a falda unica, costituita da vari orizzonti, idraulicamente interconnessi per la mancanza di veri e propri impermeabili sufficientemente estesi e spessi.

La morfologia piezometrica permette di considerare l'area come una struttura autonoma e indipendente dalle falde della Piana Campana. L'area di ricarica principale è stata individuata nelle conche endoreiche presenti nella zona di alto piezometrico compreso tra l'abitato di Marano e il retroterra di Pozzuoli.

Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei, porta all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti (Fig.15).

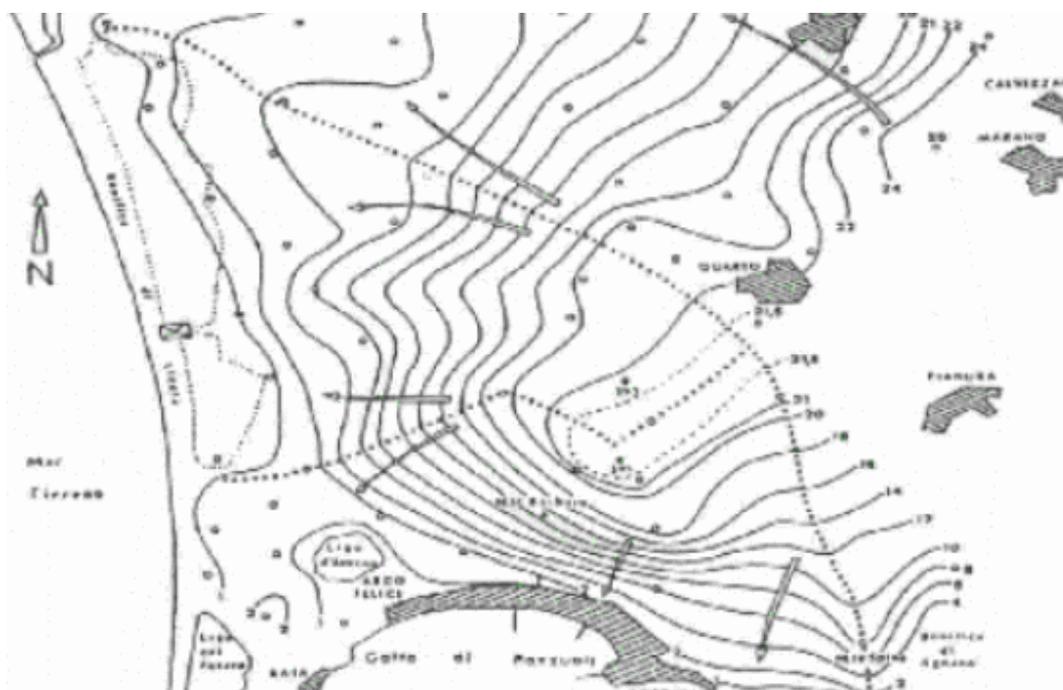


Figura n.15 – Carta a curve isopiezometriche dei Campi Flegrei.

Dal punto di vista dei complessi idrogeologici nell'ambito del territorio comunale s'individuano:

Complesso piroclastico sciolto. E' il complesso che caratterizza tutto il territorio comunale di Quarto. E' costituito da piroclastiti, di granulometria da media a fine (piccole pomice, ceneri, lapilli etc.), di solito sciolte o debolmente cementate.

I diversi materiali sono spesso fra loro frammisti, anche se talora possono individuarsi livelli prevalentemente cineritici o pomicei. Nel caso di specie trattasi, granulometricamente, di limo sabbioso, sabbia limosa, sabbia o sabbia-ghiaiosa con subordinata frazione limosa. I sondaggi che hanno attraversato il complesso indicano una notevole variabilità granulometrica sia in senso areale sia lungo le verticali investigate. Il complesso è estesamente affiorante in tutta la conca e in generale in tutto il comprensorio dei Campi Flegrei.

In termini di area vasta gli acquiferi che si evidenziano costituiscono a grande scala una falda unica (sovente pozzi attestati nei differenti acquiferi hanno fatto registrare le stesse quote piezometriche) con una circolazione idrica talora a pelo libero, talora in pressione laddove la porzione a granulometria più fine dei terreni limo-sabbiosi oppure i livelli continui di tufo lapideo non fratturato, tamponano superiormente la falda. I terreni del complesso presentano una permeabilità per porosità variabile da media a bassa in funzione della granulometria dei terreni.

Complesso piroclastico litoide (Tufo Giallo Napoletano e lave)

Tale complesso caratterizza parte del sottosuolo del territorio di Quarto. Esso si trova al di sotto delle piroclastiti sciolte o è incluso in esse. Dal punto di vista strutturale, tale complesso si presenta quasi cementato e fessurato. Le fessure sono di origine singenetica e legate a fenomeni di decompressione dell'ammasso all'atto del raffreddamento.

In funzione dello spessore e delle caratteristiche strutturali e tessiturali (grado di litificazione, e principalmente grado di fessurazione) il complesso presenta una permeabilità per porosità e fessurazione variabile da media a bassa.

Le curve isopiezometriche della carta idrogeologica, che sarà commentata in seguito, mostrano che il pelo libero della falda idrica è profondo più di 50 m. nelle periferie occidentali, settentrionali e sud-orientali del territorio e meno in quelle sud-occidentali e orientali, nella zona centrale della Piana di Quarto si attesta tra i 20 e 40 m. Il corpo idrico più superficiale si rinviene con livello piezometrico posto a quote comprese tra 14 e 16 metri slm. e la direzione dell'asse di drenaggio preferenziale ha direzione E-W.

La predetta direzione è probabilmente influenzata da copiosi emungimenti effettuati nella parte occidentale del territorio comunale.

Per quanto riguarda il chimismo la falda ha caratteristiche simili a quella di base degli acquiferi calcarei adiacenti e subisce modificazioni chimiche e mescolamenti durante il percorso nei sedimenti di pianura.

Per quanto riguarda i fattori che rendono la falda vulnerabile all'inquinamento, è necessario ricordare che la maggior parte dei pozzi presenti sul territorio comunale sono privi di un'adeguata cementazione dell'intercapedine tra tubo di rivestimento e terreno circostante. Tale situazione unita al fatto che alcuni pozzi mettono in comunicazione la falda freatica posta sopra il banco di tufo e la falda semiconfinata posta al di sotto si traduce in un potenziale rischio di inquinamento.

Le acque superficiali non assorbite, infine, trovano recapito in alcuni fossi che attraversano l'intero territorio e nelle fogne cittadine.

11. STRUTTURA STRATIGRAFICA

Lo studio delle colonne stratigrafiche dei sondaggi esistenti sul territorio comunale ha fornito indicazioni abbastanza attendibili sulle caratteristiche dei terreni e sulle loro variazioni verticali e orizzontali.

Il sottosuolo del territorio studiato è caratterizzato, oltre le profondità investigate, dalla presenza continua di un banco di Tufo Giallo Napoletano. A Nord e a Nord-Est si trova a circa 5-10 m. di profondità fino ad affiorare in alcune cave dismesse (località Spinelli, Monteleone), per poi approfondirsi oltre i 40-50 m. verso il centro e le zone meridionali ed orientali della piana.

Il tufo si presenta a luoghi incoerente, con variazioni latero-verticali a tufo litificato e zeolitizzato, ed è di colore giallo passante in profondità a grigio.

A tetto del tufo e separato da esso da un modesto paleosuolo, non sempre evidente e/o a luoghi eroso, si rinviene una coltre di piroclastiti sciolte limose sabbiose e/o sabbioso limose, con pomice grigiastre, di colore grigio giallastre.

La distribuzione dei terreni messa in evidenza dai sondaggi meccanici disponibili per il presente studio, per quanto evidenzia variazioni verticali ed orizzontali, mostra una cospicua uniformità. La successione stratigrafica può essere sintetizzata e riassunta, a partire dal piano di campagna, come segue:

- Terreno vegetale limoso e/o sabbioso grigio passante lateralmente a marrone e/o terreno di riporto limoso sabbioso grigio e/o rossastro con pomice sparse;
- Livello di limo ossidato (paleosuolo) discontinuo in quanto probabilmente soggetto ad intensa erosione;
- Sabbia limosa con pomice sparse passante, a luoghi, a sabbia ghiaiosa. Colore da grigio a marrone;
- Limo sabbioso ossidato (paleosuolo) di colore nerastro con, a luoghi, pomice e scorie a luoghi assente in quanto eroso;
- Sabbia, sabbia limosa e/o limo sabbioso con pomice e scorie sparse e/o in livelli e lenti di colore grigio e/o grigio scuro passante lateralmente a marrone;
- Sabbia limosa e/o limo sabbioso con pomice e scorie nerastre sparse, a luoghi in livelli e lenti, di colore da grigio a marrone chiaro con a letto un modesto livello ossidato a luoghi assente in quanto eroso;
- Tufo giallo napoletano, esso si presenta a luoghi incoerente, con variazioni latero-verticali a tufo litificato e zeolitizzato, ed è di colore giallo passante in profondità a grigio;
- Tufo grigio campano in facies gialla a luoghi non litificato. Colore da giallo a grigio giallastro;
- Tufo grigio campano in facies grigia con pomice grossolane nere e scorie minute;
- Sabbia a luoghi limosa con pomice e scorie di colore che varia dal grigiastro al grigio marrone.

Le stratigrafie dei sondaggi concernenti le "prove disponibili" confermano la predetta successione stratigrafica, esse sono sintetizzate nelle sezioni geologiche (Tav. G.3) fino alle profondità raggiunte.

12. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Com'è stato ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, il territorio comunale è localizzato nel Piano di Quarto. I terreni che si rinvengono, nell'ambito delle profondità tecnicamente significative, sono da attribuire all'attività eruttiva degli apparati vulcanici dei Campi Flegrei; essi sono intervallati da modesti livelli di materiali chiaramente ossidati (paleosuoli).

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni, il territorio comunale è stato diviso in due aree:

- Area del centro storico e aree limitrofe;
- Area posta a nord di via Crocillo e ad est di via Campana.

12.A Zona del centro storico e aree limitrofe

La zona è compresa tra via Crocillo, il suo prolungamento fino all'incrocio tra via Campana e il viadotto del Passante Ferroviario di Napoli, via Campana e i confini comunali meridionali con Pozzuoli e Napoli e orientali con Marano.

Ai fini della caratterizzazione dei terreni quest'area può essere ulteriormente divisa nella parte più pianeggiante, corrispondente alla parte più antica dell'abitato, e nella parte che dolcemente s'inerpica, a sud di via Viticella, verso i confini comunali con Marano, Napoli e Pozzuoli.

12.A.1 Zona pianeggiante del centro storico.

Per la caratterizzazione di detta area sono state prese in considerazione sondaggi e prove eseguite negli ultimi due decenni. In particolare sono state considerate in primo luogo le seguenti prove:

- n.2 sondaggi a c.c. comprensivi di n.8 prove penetrometriche dinamiche in foro SPT eseguite nel 1998 per i lavori di completamento e sistemazione area urbana ex Piazza Municipio;

- n.5 sondaggi a c.c., n.19 prove penetrometriche dinamiche in foro SPT, n.6 prove penetrometriche statiche e prove geotecniche di laboratorio su n.6 campioni prelevati nel corso dei sondaggi eseguiti nel 1999 per il Piano di Recupero Z.T.O. "B";
- n.2 sondaggi eseguiti nel 2001 per il Piano di Recupero comprensivi di n.8 prove SPT e prelievo di n. 4 campioni indisturbati;
- n.2 sondaggi a c.c. e n. 5 prove SPT eseguiti nel 2009 nel cimitero comunale;
- n.2 prove penetrometriche dinamiche DPSH eseguite nel 2010 nel cimitero comunale.

Tutte le predette prove sono state confrontate con le prove DPM eseguite nell'area e cioè le n.2 prove eseguite nel 2002 presso la scuola Azzurra, le n.3 prove eseguite nel 2008 presso la scuola Borsellino e le n.4 prove DPM eseguite per la realizzazione delle torri faro presso il campo sportivo comunale.

I cinque sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per il Piano di Recupero Z.T.O. "B" ed i 2 sondaggi eseguiti per il Piano di recupero del 2001 hanno evidenziato la presenza di limi debolmente sabbiosi e/o sabbiosi con rade pomici e sabbie più o meno limose spesso con pomici; sono presenti, inoltre, livelli ossidati (paleosuoli).

Come si può osservare dai profili delle prove CPT, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento alquanto omogeneo. L'andamento della resistenza alla punta q_c delle n.6 prove penetrometriche statiche (CPT) mostra che la struttura del sottosuolo è abbastanza uniforme nei primi 5 metri di profondità. I terreni presenti in quest'ambito, infatti, hanno la resistenza alla punta media di 28 Kg/cm² con valori compresi tra 20 e 40 Kg/cm². Tali valori confermano quanto rilevato dai sondaggi a c.c. e cioè che si tratta di limi debolmente sabbiosi e/o sabbiosi con pomici arrotondate aventi mediocri proprietà meccaniche.

A profondità maggiori, tra 5 e 20 metri, i valori della resistenza alla punta mostrano che la struttura del sottosuolo è più articolata, si rinvencono, infatti, frequenti livelli di materiale a granulometria più grossolana intervallati da modesti livelli più teneri e il valore della resistenza alla punta mediamente aumenta.

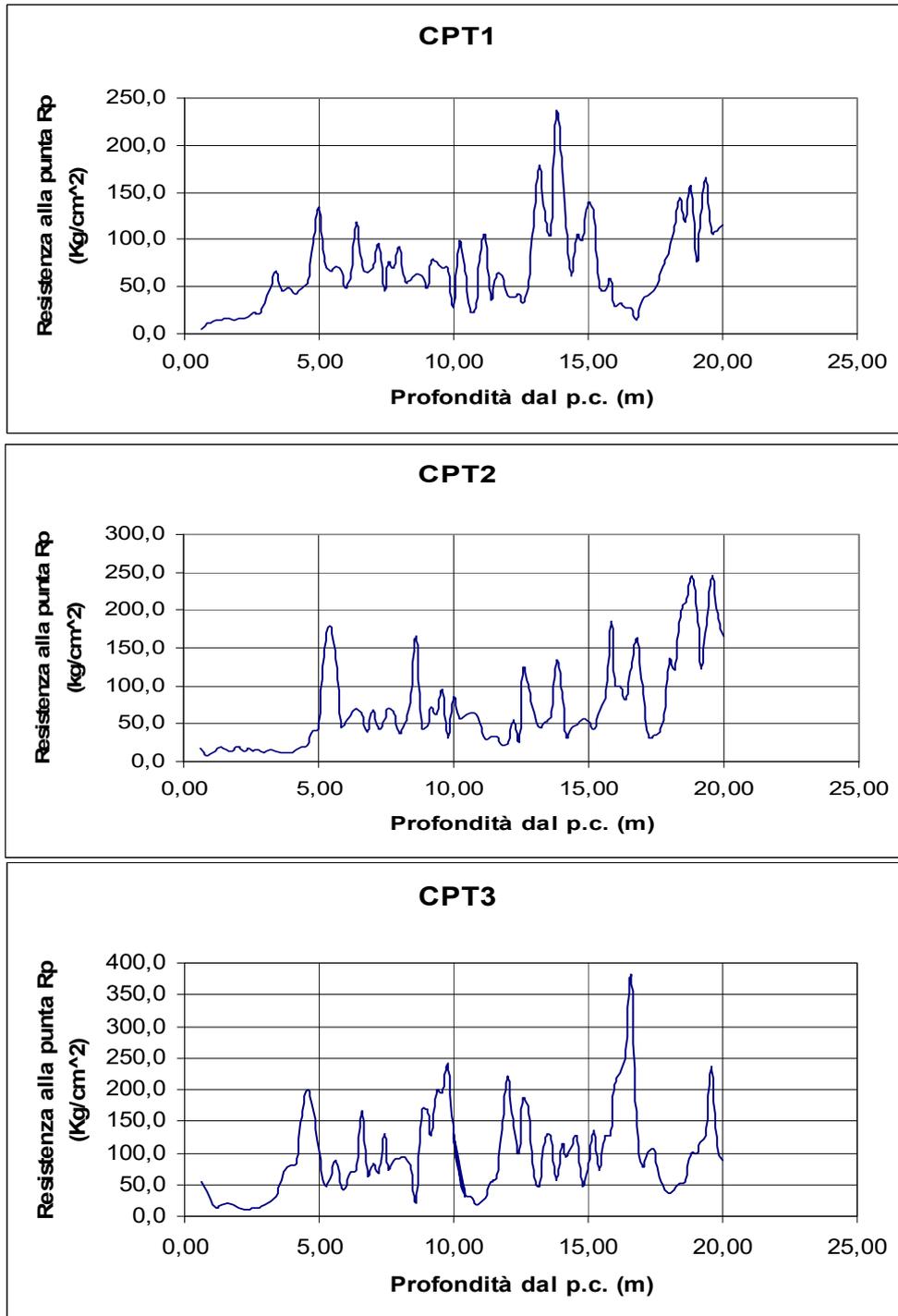
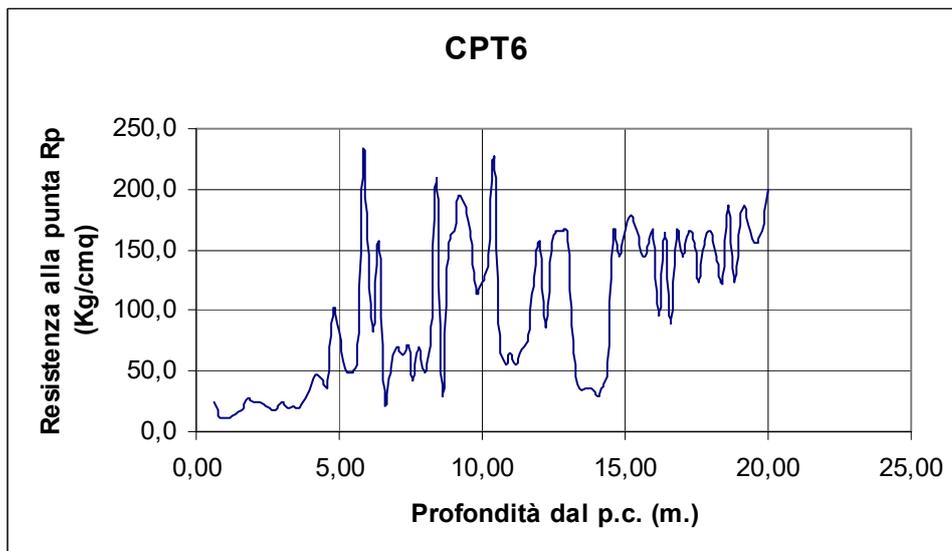
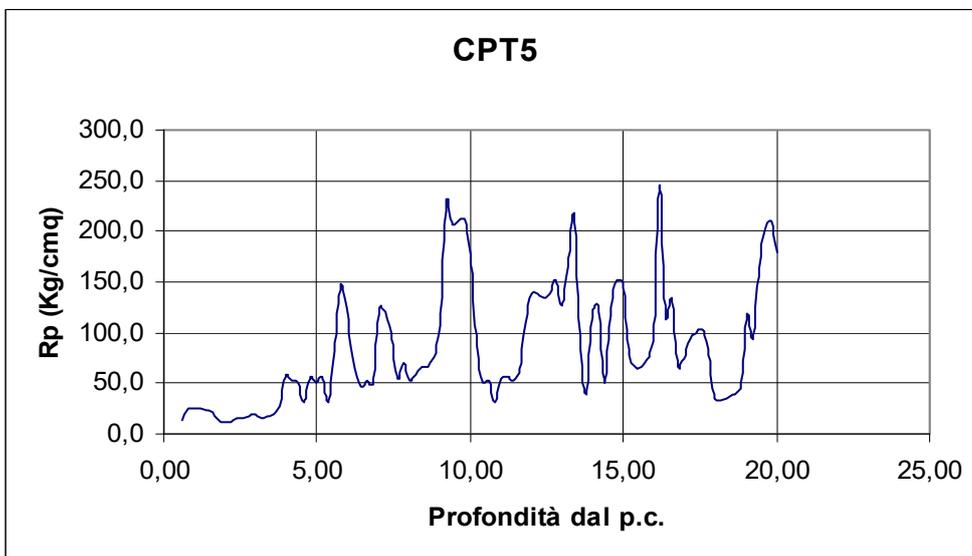
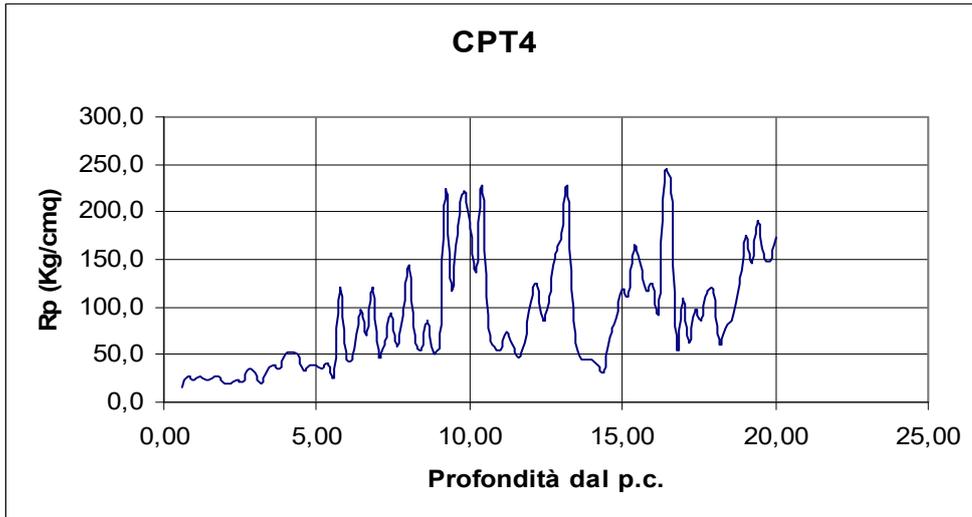


Fig. n.16 - Prove penetrometriche statiche (Sulla carta ubicazione indagini Tav. G.1 sono indicate con la sigla PS ... PS1, PS2, ..., etc) - Confronto resistenza alla punta.



La distribuzione areale di tali livelli è, in genere, di tipo lenticolare per cui solo sporadicamente è possibile una loro correlazione. In particolare i profili CPT 2, CPT 3, CPT 5 e CPT 6 evidenziano un picco pronunciato a una profondità compresa tra i 4,50 e i 6 m., i profili CPT 3, CPT 4, CPT 5 e CPT 6 tra le profondità di 8.50 e 11 m., i profili CPT 1, CPT 3, CPT 4, CPT 5 e CPT 6 tra le profondità di 11.50 e 14 m. e i profili CPT 2, CPT 3, CPT 4, CPT 5 tra le profondità di 15.50 e 17.00 m. Il profilo CPT 2 è molto regolare per i primi 12 m., in seguito si leggono n.2 cuspidi pronunciate.

Quanto detto è fatto ben notare nella figura n.17 dall'ampiezza del campo definito dalla media \pm lo scarto quadratico medio della resistenza alla punta calcolata per ogni metro sui risultati di tutte le sei prove CPT.

Oltre alle prove penetrometriche statiche, furono eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, 19 prove SPT durante la perforazione dei cinque sondaggi. Com'è noto tali prove possono essere correlate con le prove CPT attraverso la relazione:

$$q_c = \alpha \times N_{SPT}$$

dove α è un coefficiente dipendente dalla granulometria del terreno (nel caso di terreni piroclastici si pone in genere $\alpha=4$).

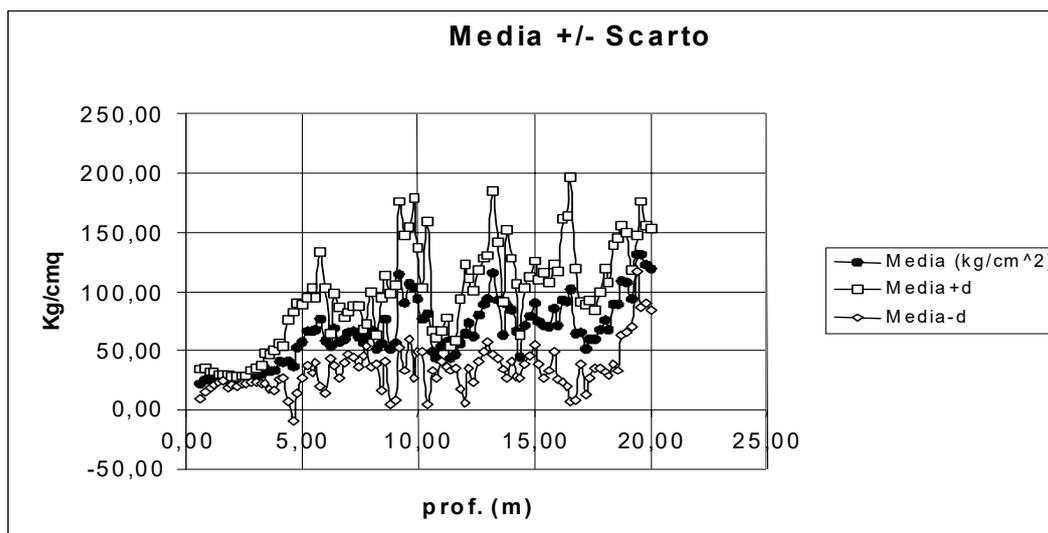


Fig. n.17 - Media, media -scarto, media + scarto della resistenza alla punta calcolate per metro e per le cinque prove.

Nella figura n.18 sono stati messi a confronto i risultati delle prove CPT e quelli delle prove SPT eseguite nei sondaggi attraverso la relazione poco sopra richiamata; in particolare la resistenza alla punta misurata con il penetrometro statico è riportata in termini di media dei valori misurati nelle sei prove alla stessa profondità dal p.c. L'accordo tra le due sperimentazioni, è sicuramente accettabile.

Su sei dei campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni, furono eseguite, tra l'altro, le determinazioni del peso dell'unità di volume (γ) e del peso dell'unità di volume secco (γ_d).

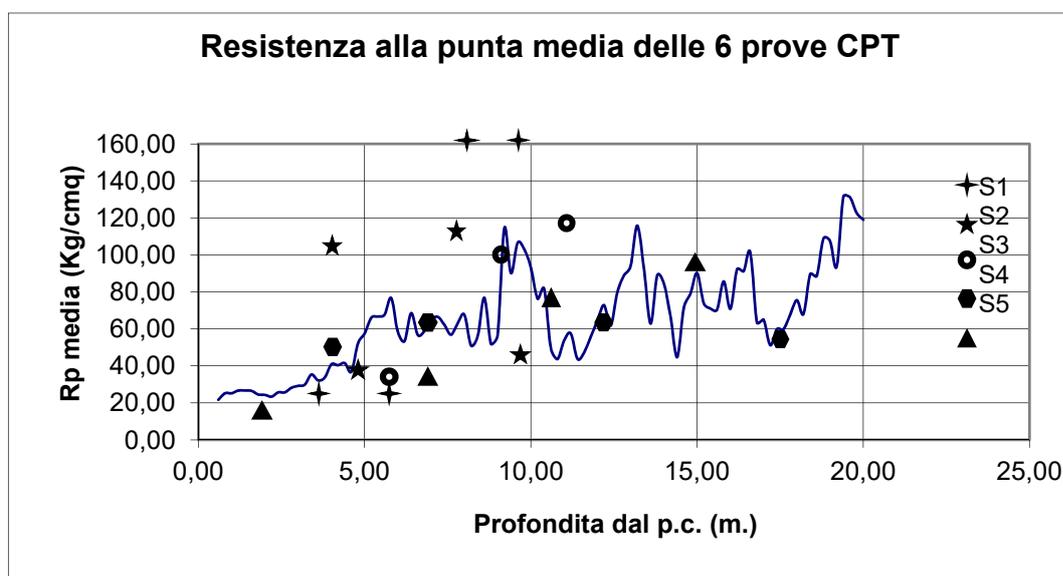


Fig. n.18 – Confronto tra la resistenza alla punta q_c e le prove SPT eseguite nei sondaggi.

Nella fig. n.19 sono riportati gli andamenti di dette quantità con la profondità.

Dalla fig. n.19 risulta ancora che i valori più alti del peso dell'unità di volume si rinvengono a profondità comprese tra 8.00 e 12.00 m.

L'estrema variabilità della successione stratigrafica dei terreni implica una notevole difficoltà nella definizione di un modello geotecnico di sottosuolo, soprattutto in considerazione del numero modesto di prove riguardo alla vastità dell'area.

Una possibile scelta è di definire, nell'ambito delle profondità esplorate, livelli di terreno mediamente rappresentativi caratterizzati da proprietà medie. Nel seguito si procederà secondo questa scelta.

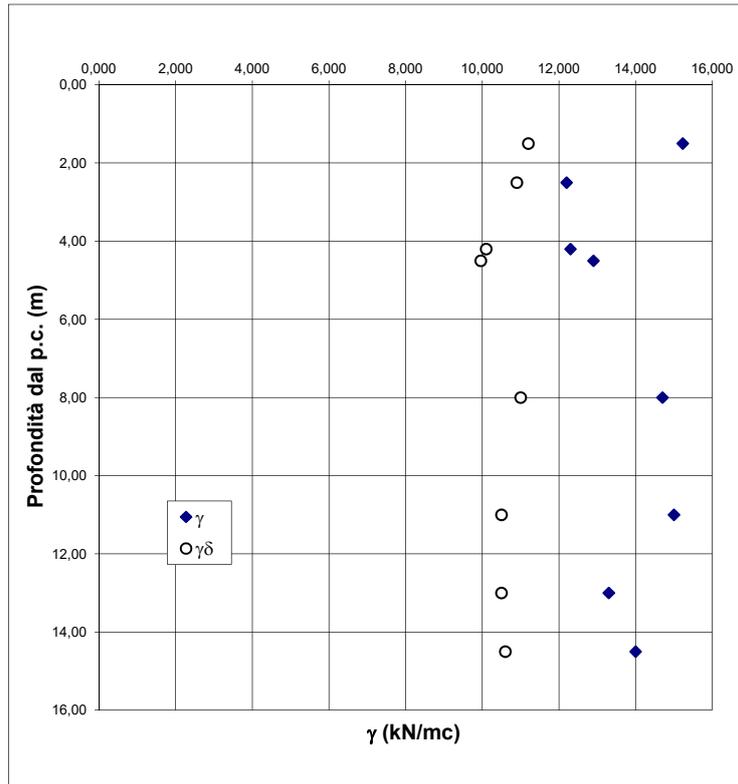


Fig. n.19 - Andamento del peso dell'unità di volume e dell'unità di volume secco con la profondità.

12.A.1.a Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Per la valutazione delle proprietà geotecniche di un sottosuolo si possono utilizzare i risultati delle prove in sito (SPT e CPT) elaborandoli con note correlazioni empiriche e attraverso i risultati forniti dalla sperimentazione di laboratorio. Alcuni risultati delle due sperimentazioni sono stati già presentati nel paragrafo precedente.

12.A.1.b Resistenza a rottura.

I risultati delle prove SPT possono fornire una valutazione dell'angolo di attrito φ' attraverso correlazioni empiriche; una tra le più usate è quella proposta da DE MELLO (1977), in cui l'angolo di attrito è correlato ai risultati delle prove SPT

attraverso lo stato tensionale effettivo agente alla profondità alla quale è stata eseguita la prova.

Nella figura n.20 sono stati riportati i risultati delle prove SPT nel citato abaco; la maggior parte dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\varphi' = 30^\circ$ e $\varphi' = 40^\circ$, solo un punto riguardante le prove eseguite nel sondaggio S5 si dispone sulla curva $\varphi' = 25^\circ$ mentre quattro punti di cui due relativi alla prova S2 e due relativi alla prova S1 si dispongono sopra la curva $\varphi' = 40^\circ$.

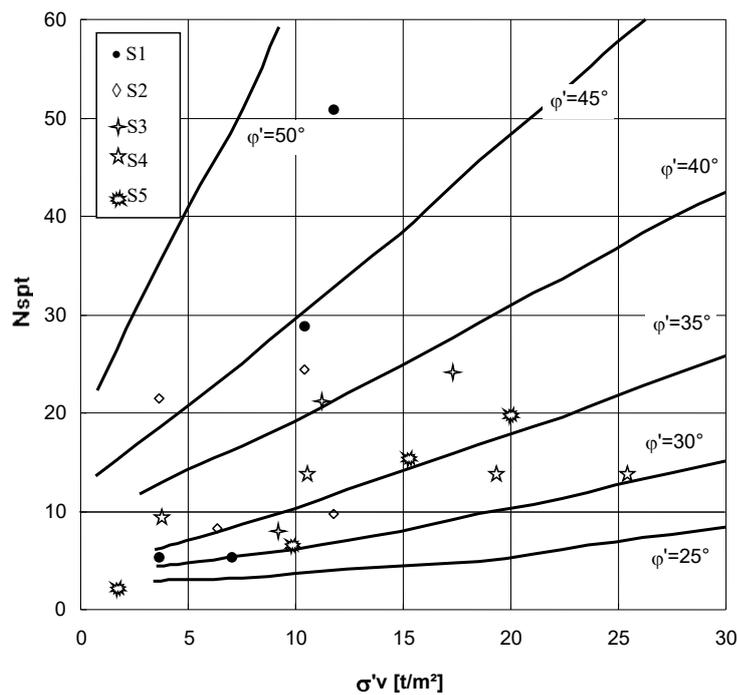


Fig. n.20 - Abaco di DE MELLO (1977).

Utilizzando i dati delle prove CPT e le usuali correlazioni tra la resistenza alla punta, la tensione effettiva e l'angolo di attrito φ' , poi, è ancora possibile avere una stima di quest'ultimo lungo le verticali indagate.

Facendo riferimento, inoltre, alla media dei valori della resistenza alla punta alla stessa profondità nelle sei prove è possibile attribuire ai terreni le proprietà medie riportate nella tabella I che segue:

Tabella I - Caratteristiche geotecniche da prove CPT.

| Profondità terreni in m. | Peso di volume g/cmc | Rp medio Kg/cm ^q | Angolo di Attrito ° | Densità relativa % |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| 0.00 – 4.00 | 1.2 | 28 | 30° | 55 |
| 4.00 – 9.00 | 1.3 | 59 | 31° | 60 |
| 9.00 – 10.40 | 1.5 | 95 | 32° | 70 |
| 10.40 – 12.40 | 1.4 | 55 | 30° | 45 |
| 12.40 – 16.60 | 1.4 | 81 | 31° | 55 |
| 16.60 – 18.20 | 1.4 | 56 | 28° | 38 |
| 18.20 – 20.00 | 1.4 | 110 | 32° | 60 |

Su due degli otto campioni indisturbati furono eseguite due prove di compressione triassiale del tipo consolidata drenata (CID).

I punti sperimentali appaiono ben correlati e danno per una coesione di 0.25 kg/cm² un angolo di attrito $\phi' = 31.5^\circ$ alla profondità di 4.20 m. e di 32.1° alla profondità di 14.50 m.

I risultati delle prove di compressione triassiale appaiono dunque in buon accordo con le interpretazioni delle prove in sito (SPT e CPT) in precedenza presentate.

12.A.1.c Deformabilità.

Su tre dei campioni furono eseguite prove di compressione edometrica le cui curve carichi-cedimenti sono riportate nel fascicolo prove allegato alla presente relazione.

Le figure evidenziano che i materiali in esame sono preconsolidati in superficie e normalmente consolidati dai 10 m. dal p.c..

Si tratta comunque di materiali molto deformabili, caratterizzati da porosità elevate.

Per quanto riguarda il decorso dei cedimenti nel tempo si osserva che le curve di consolidazione (v. fascicolo dei risultati delle prove) mostrano che il processo di consolidazione avviene in tempi talmente rapidi da non essere rilevabile, le curve presentano, infatti, andamenti rettilinei.

Da ciò deriva che il decorso dei cedimenti nel tempo dovrebbe svilupparsi in tempi brevi e dell'ordine di quelli necessari all'eventuale realizzazione delle opere.

12.A.2 Prove DPSH e DPM.

Nell'area considerata, infine, furono eseguite, com'è stato in precedenza ricordato, n.2 prove penetrometriche dinamiche continue tipo SCPT e n.9 prove penetrometriche dinamiche continue DPM.

L'andamento del numero di colpi nelle due prove SCPT eseguite nel cimitero comunale mostra che la struttura del sottosuolo è abbastanza uniforme nei primi 4 metri di profondità. I terreni presenti in quest'ambito, infatti, presentano un numero di colpi con valori generalmente compresi tra 1 e 3 salvo rare eccezioni. Tali valori confermano quanto rilevato dai sondaggi a c.c. e dalle prove CPT e cioè che si tratta di limi debolmente sabbiosi e/o sabbiosi con pomici arrotondate aventi mediocri proprietà meccaniche.

Dalla profondità di 4 metri i valori del numero di colpi mostrano che la struttura del sottosuolo è molto articolata, si rinvengono, infatti, frequenti livelli di materiale a granulometria più grossa (rappresentati da un alto numero di colpi) alternati a materiali a minor resistenza (Fig. n.21).

Quanto detto è fatto ben notare nella figura n.22 dall'ampiezza del campo definito dalla media \pm lo scarto quadratico medio del numero di colpi calcolato per ogni metro sui risultati delle due prove.

Di seguito si riportano i profili di dette prove.

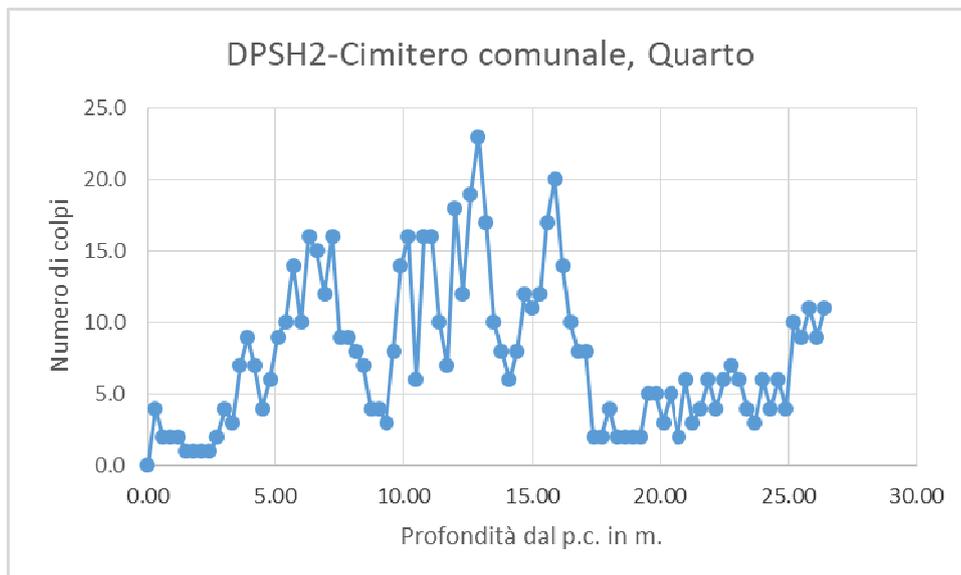
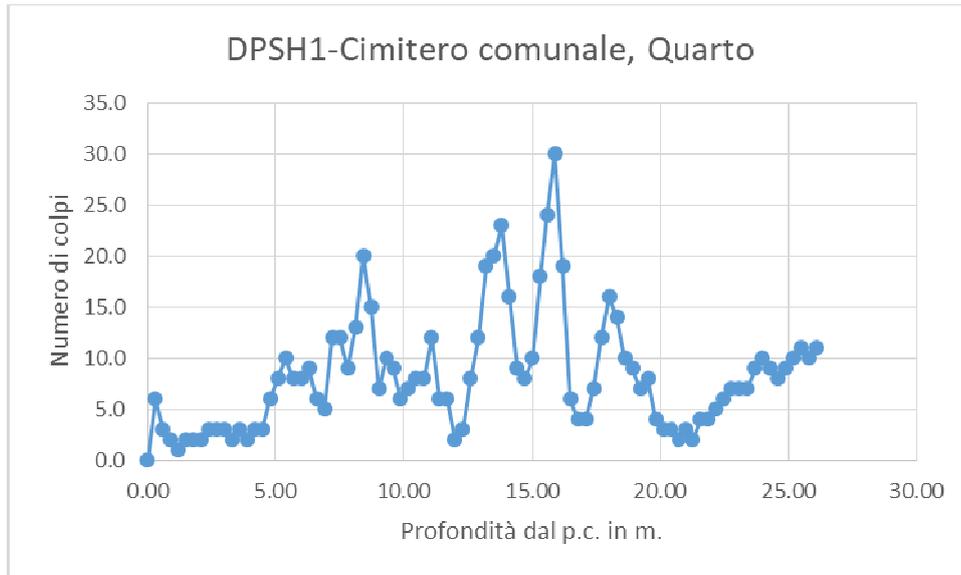


Fig. n.21 – Prove SCPT eseguite nel cimitero comunale (Sulla carta ubicazione indagini Tav. G.1 sono indicate con la sigla DP14 e DP15). Confronto numero di colpi.

Utilizzando i dati delle predette prove è possibile avere una stima dei parametri geomeccanici (φ' , D_r) lungo le verticali indagate.

I predetti dati, infatti, facendo riferimento alla media dei valori del numero di colpi alla stessa profondità nelle due prove consentono di valutare i valori di N_{spt} e di individuare n.6 livelli di terreno aventi le caratteristiche geotecniche riportate nella tabella II.

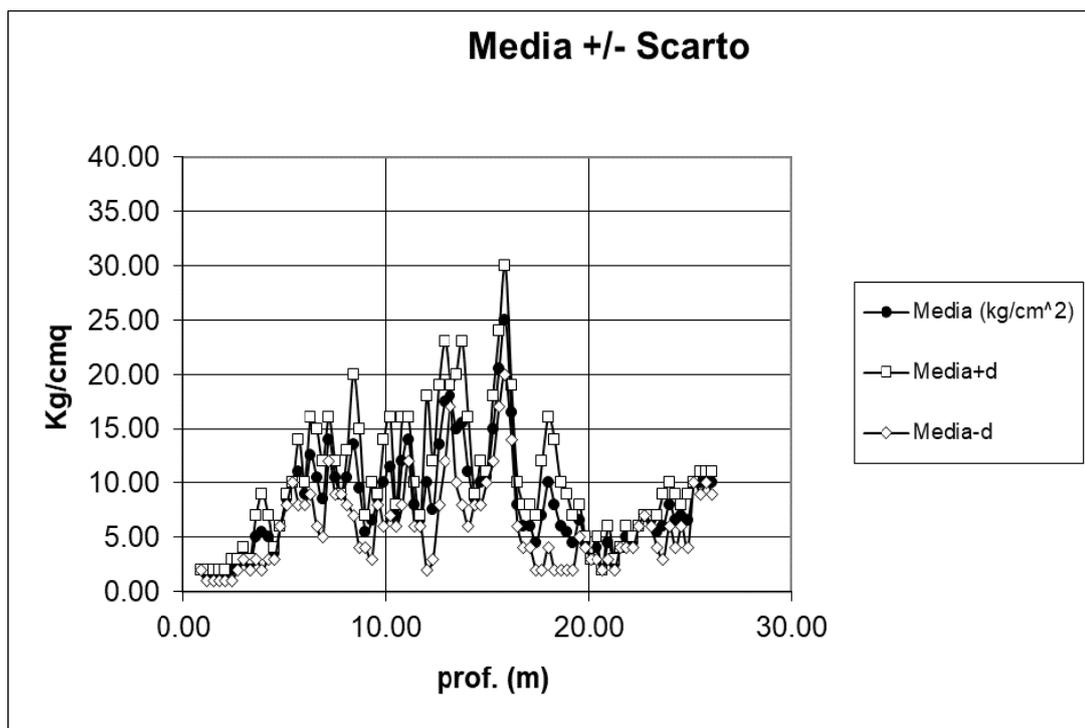


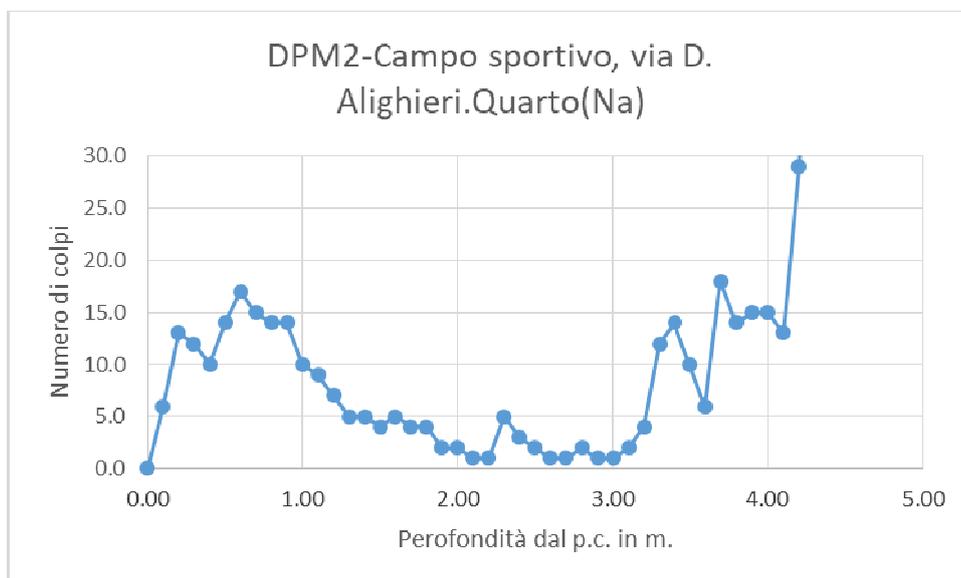
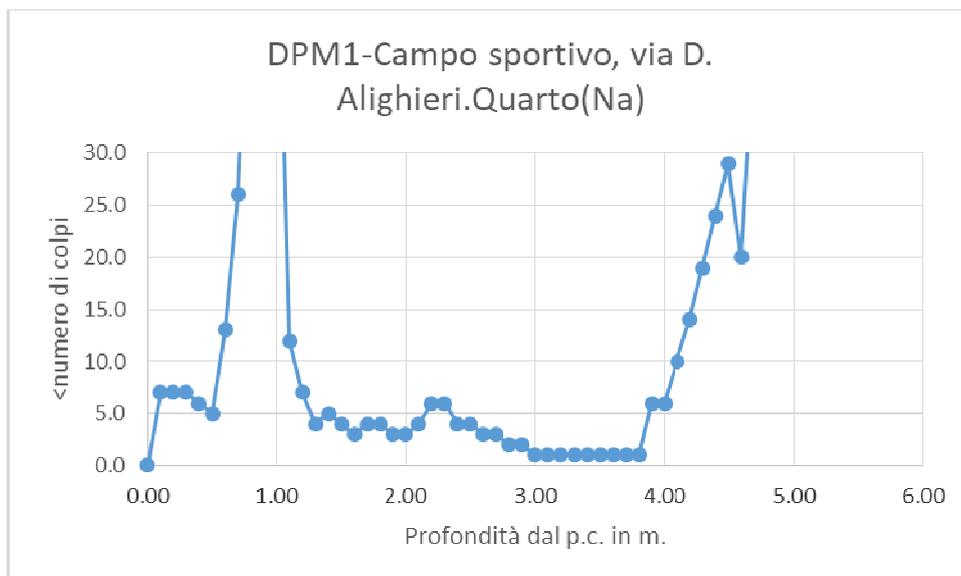
Fig. n.22 – Media, media -scarto, media + scarto del numero di colpi calcolate per metro e per le due prove del Cimitero.

Tabella II - Caratteristiche geotecniche da prove SCPT.

| Profondità terreni in m. | Numero di colpi medio | Nspt medio | Angolo di Attrito ° | Densità relativa % | Peso di volume g/cm ³ |
|--------------------------|-----------------------|------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|
| 0.00 – 4.50 | 3.07 | 5.53 | 28° | 45 | 1.4 |
| 4.00 – 8.70 | 10.29 | 18.52 | 31° | 65 | 1.6 |
| 8.70 – 9.30 | 6 | 10.8 | 30° | 40 | 1.5 |
| 9.30 – 16.20 | 12.78 | 23 | 32° | 55 | 1.6 |
| 16.20 – 18.60 | 6.88 | 12.38 | 30° | 35 | 1.5 |
| 18.60 – 26.10 | 6.08 | 10.94 | 29° | 30 | 1.4 |

Come si può osservare, a conferma della buona omogeneità delle caratteristiche dei terreni di questa parte del territorio comunale, i dati della tabella II ricavati dall'elaborazione delle prove SCPT sono sufficientemente coerenti con i dati della tabella I ricavati dall'elaborazione delle prove CPT.

Le prove DPM, i cui profili si riportano di seguito (Fig.23), confermano infine la buona omogeneità delle caratteristiche dei terreni.



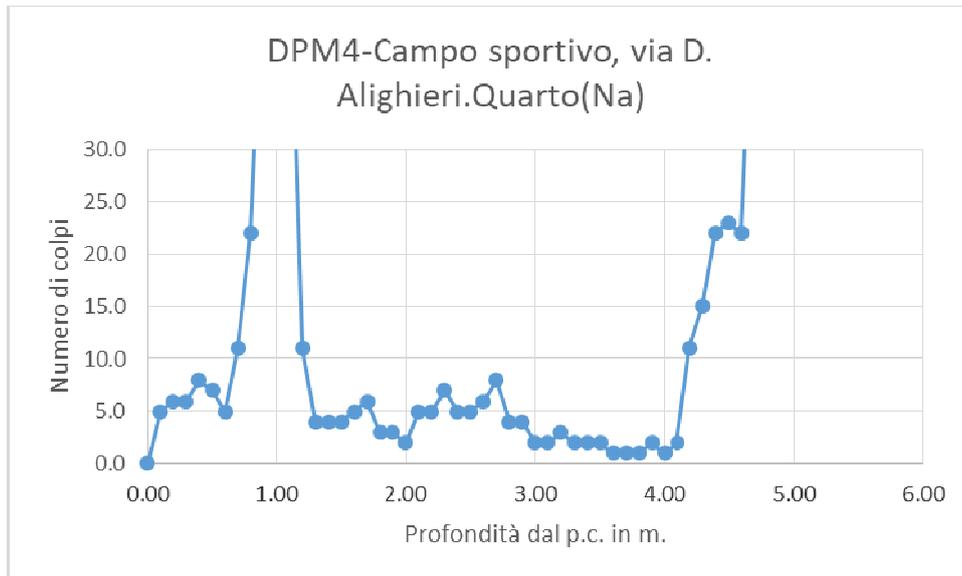
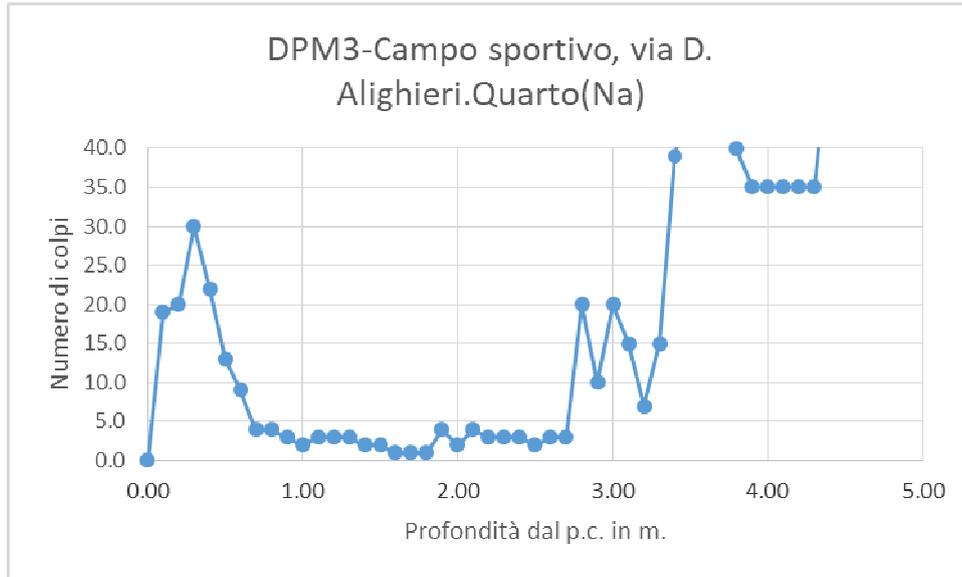
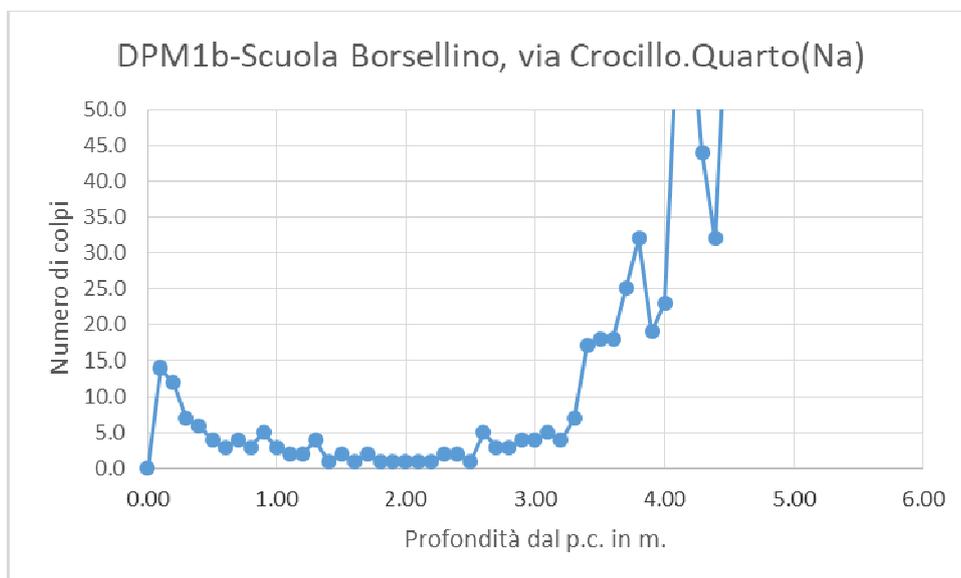
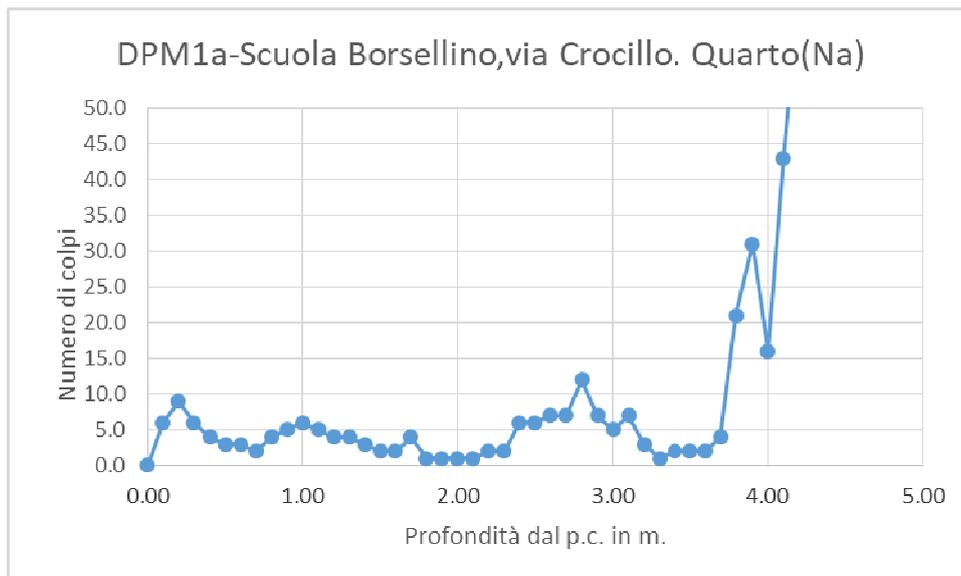


Fig. n.23 - Prove DPM eseguite presso il campo sportivo. Confronto numero colpi.



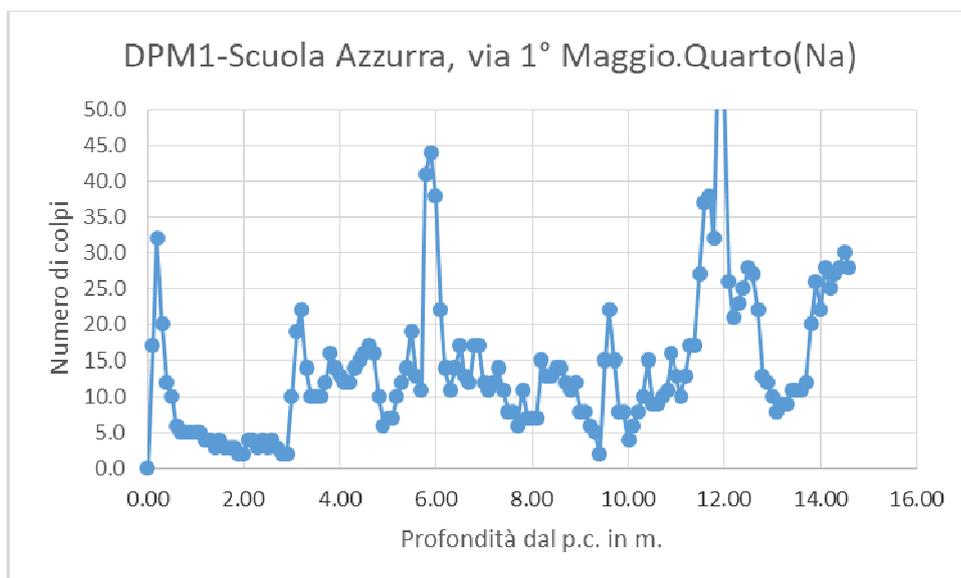
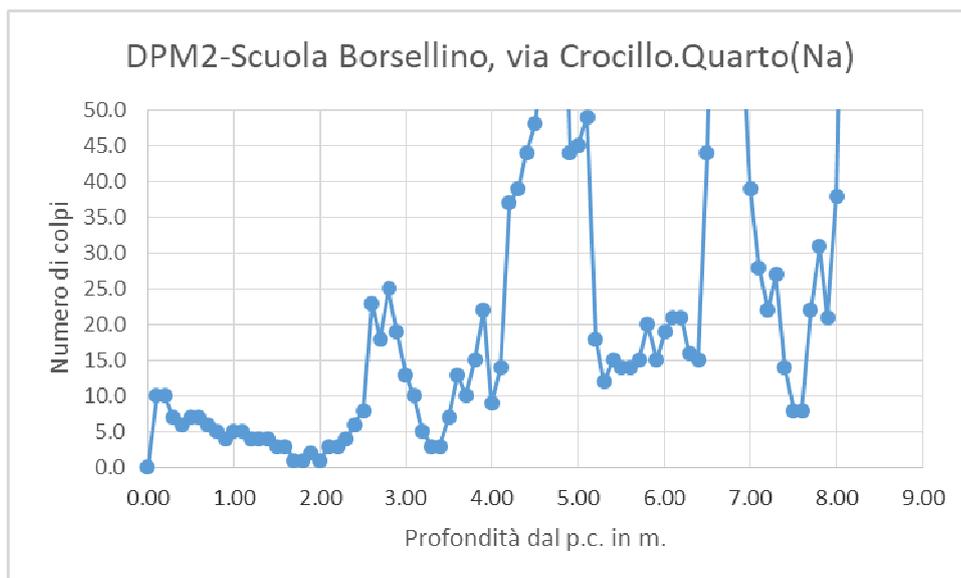


Fig. n.24 - Prove DPM eseguite presso la scuola Borsellino di via Crocillo (non presenti sulla carta ubicazione indagini Tav. G.1). Confronto numero colpi.

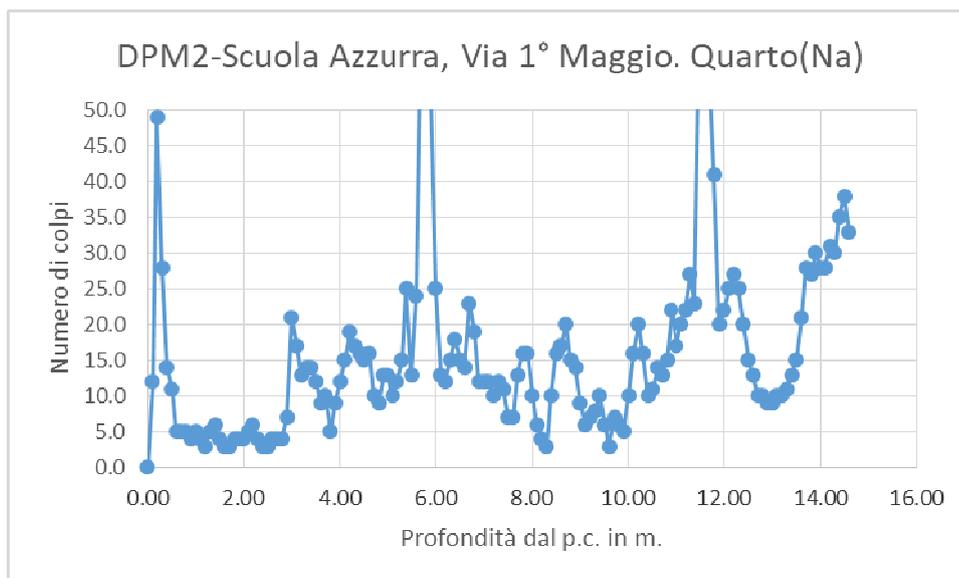


Fig. n.25 - Prove DPM eseguite presso la scuola Azzurra. Confronto numero colpi.

12.A.2 Zona dell'angolo sud-orientale del territorio comunale e poste a sud di via Viticella.

Quest'area comprende i terreni dell'angolo sud-orientale del territorio comunale, in prossimità dei confini con Marano e i terreni posti a sud di via Viticella.

Per la caratterizzazione di detta area possono essere prese a riferimento le prove eseguite per i lavori di sistemazione e messa in sicurezza di via Pirandello

In particolare nel sito predetto furono eseguite le seguenti prove:

- n.2 sondaggi a c.c. nel corso dei quali furono eseguite n. 15 prove SPT;
- n.2 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
- n.4 prove penetrometriche dinamiche continue DPM.
- prove geotecniche di laboratorio su n. 4 campioni prelevati nel corso dei

sondaggi consistenti in:

- * n.4 caratteristiche fisiche generali;
- * n.4 analisi granulometriche;
- * n.4 prove di taglio diretto.

I due sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in via Pirandello hanno evidenziato, al di sotto del terreno vegetale e/o di riporto, la presenza di sabbia limosa passante lateralmente e/o in profondità a sabbia ghiaiosa mediamente addensata con intercalato un livello di sabbia limosa grigiastria con rade pomici.

Segue a letto sabbia grossolana verdastra addensata e/o molto addensata seguita da sabbia debolmente ghiaiosa molto addensata.

L'andamento del numero di colpi delle n.2 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH mostra, se si tengono, presenti le differenze di quota dei due sondaggi, che i valori delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni aumentano gradualmente con la profondità.

I valori del numero di colpi mostrano, inoltre, che la struttura del sottosuolo è molto articolata, si rinvengono, infatti, frequenti livelli di materiale a granulometria più grossa (rappresentati dai picchi del numero di colpi) alternati a materiali a minor resistenza. Tutto questo conferma quanto rilevato dai sondaggi a c.c. e cioè che si tratta di sabbia a luoghi limosa e/o sabbia con pomici e scorie da mediamente addensata a molto addensate.

Utilizzando i dati delle prove è possibile avere una stima dei parametri geomeccanici (φ' , Dr) lungo le verticali indagate.

I predetti dati, infatti, facendo riferimento alla media dei valori del numero di colpi alla stessa profondità nelle due prove consentono di valutare i valori di N_{spt} e di individuare n.6 livelli di terreno aventi le caratteristiche geotecniche riportate nella tabella III. Le prove DPM eseguite nell'area, infine, confermano quanto rilevato con le prove DPSH.

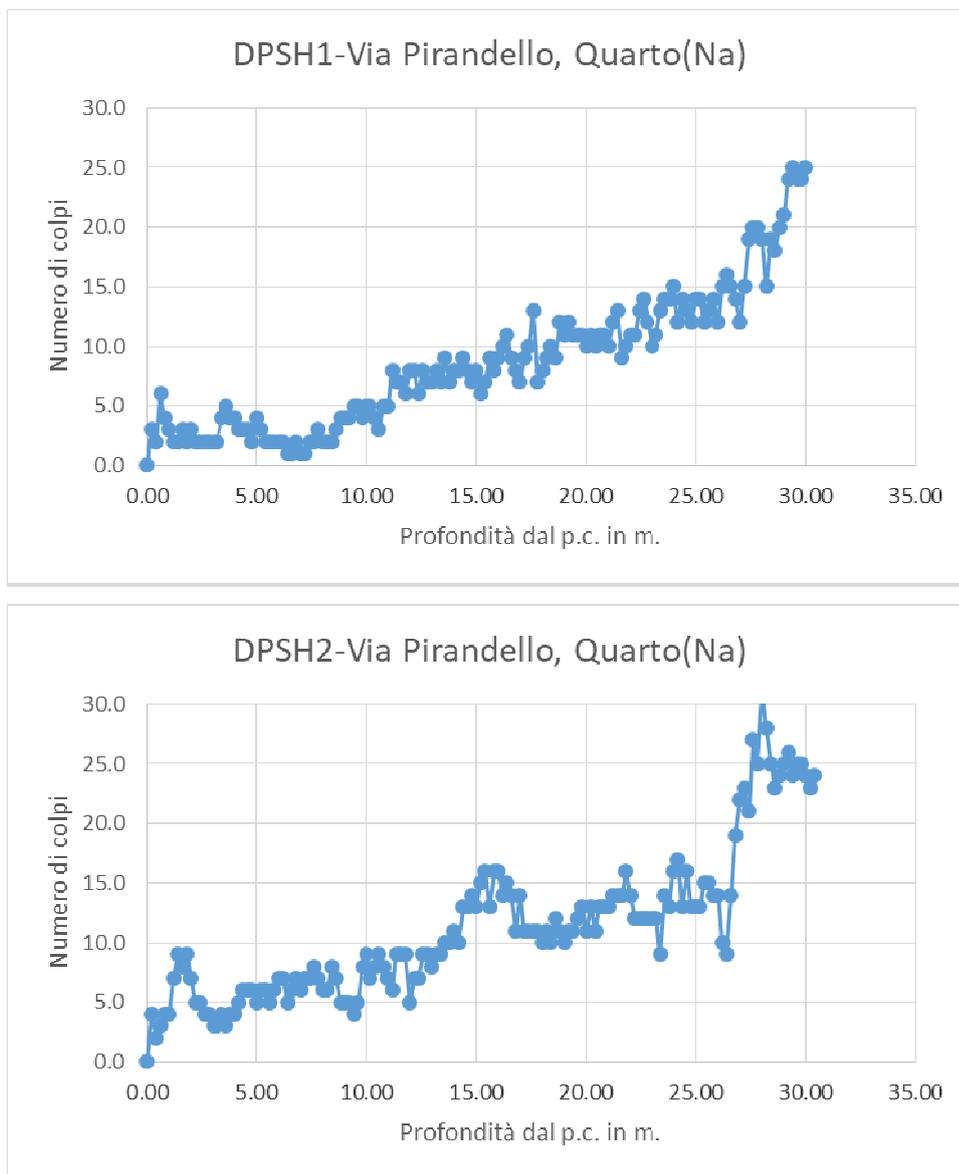
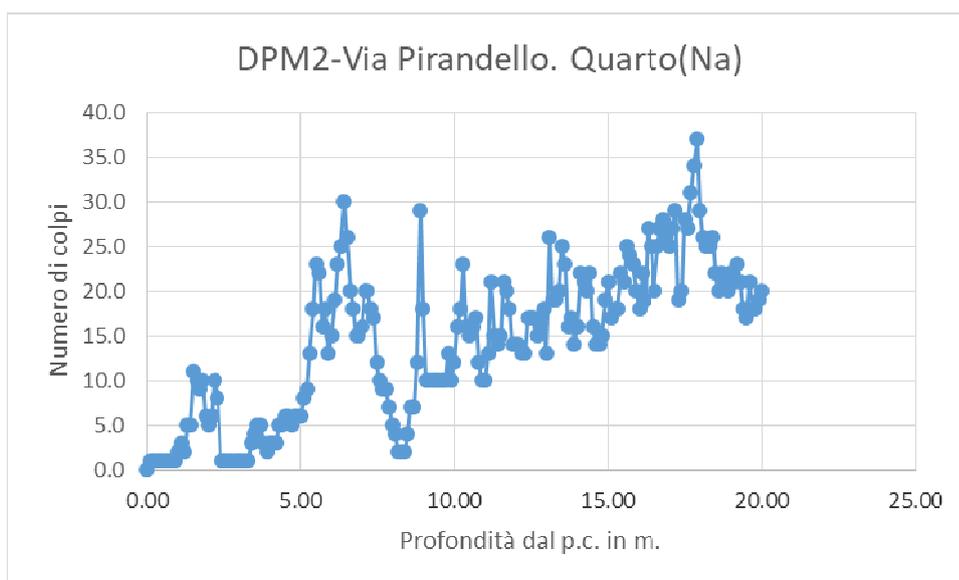
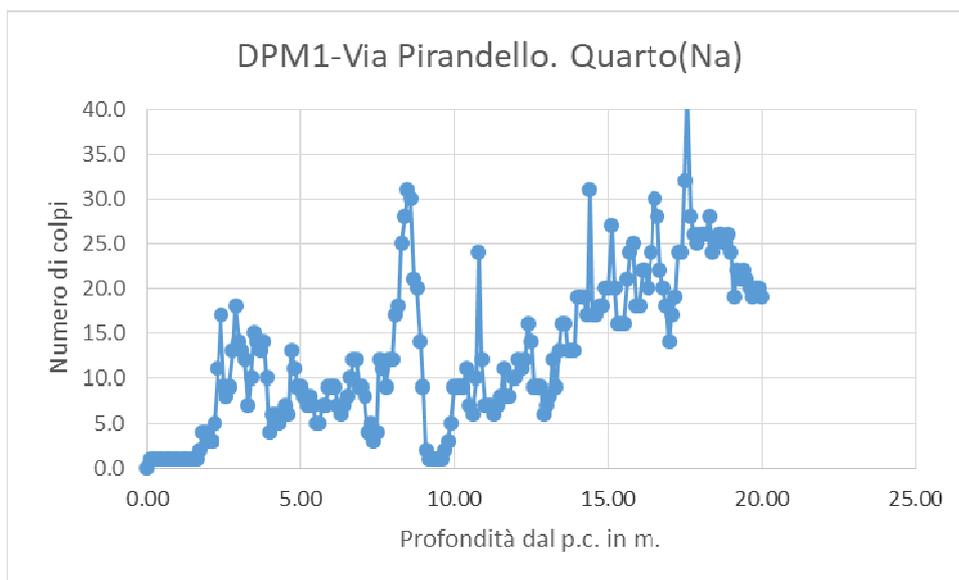


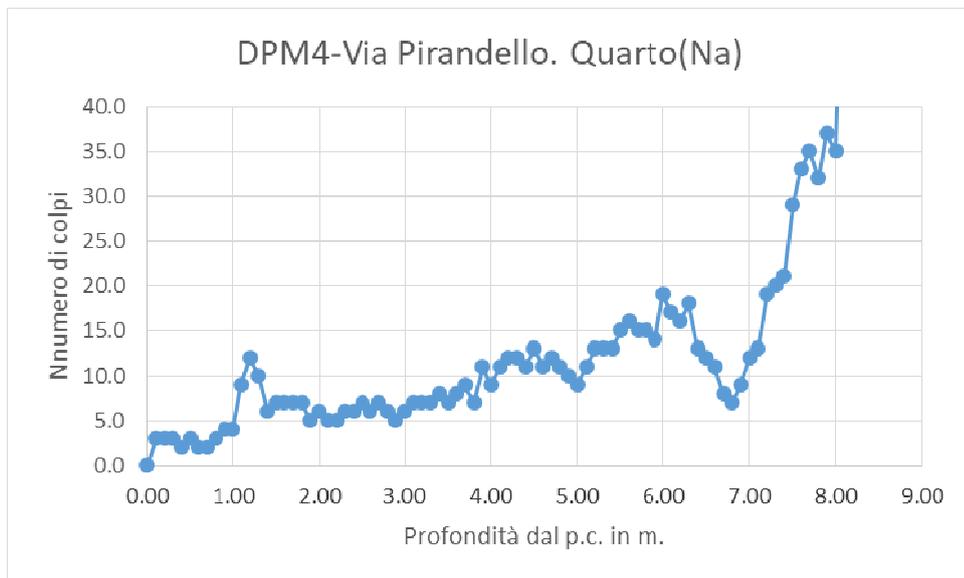
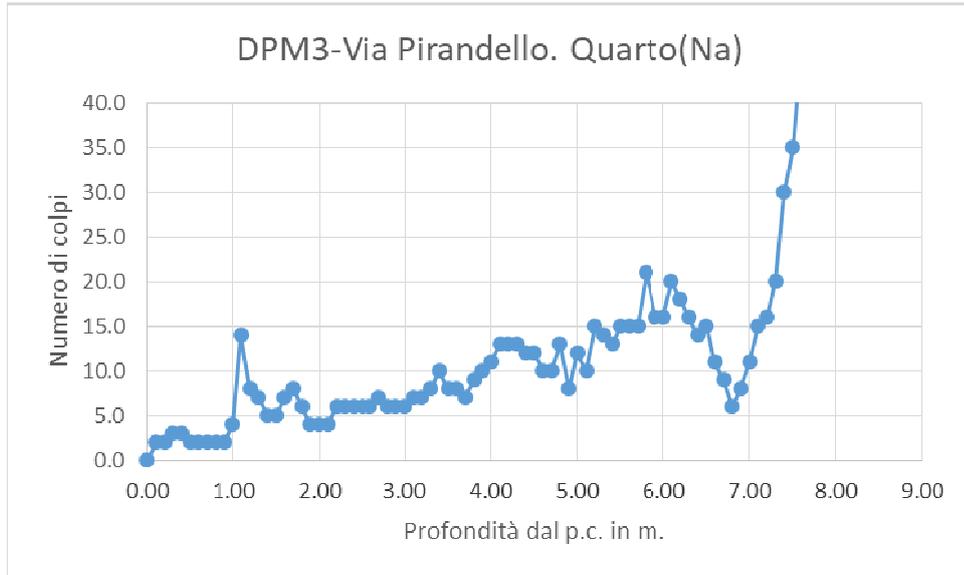
Fig. n.26 - Prove DPSH eseguite in via Pirandello. (Sulla carta ubicazione indagini Tav. G.1 sono indicate con la sigla DP28 e DP29). Confronto numero colpi.

Tabella III - Caratteristiche geotecniche da prove DPSH.

| Profondità terreni in m. | Numero di colpi medio | Nspt medio | Angolo di Attrito ° | Densità relativa % | Peso di volume g/cm ³ |
|--------------------------|-----------------------|------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|
| 0.00 – 1.00 | 3.5 | 5.29 | 27° | 50 | 1.4 |
| 1.00 – 9.60 | 4 | 6.06 | 28° | 40 | 1.5 |
| 9.60 – 13.40 | 7 | 10.36 | 30° | 40 | 1.6 |
| 13.40 – 18.00 | 10.7 | 15.46 | 31° | 45 | 1.6 |
| 18.00 – 26.60 | 12 | 18.23 | 32° | 40 | 1.6 |
| 26.60 – 30.00 | 23.5 | 32.25 | 35° | 49 | 1.6 |

Le prove DPM, i cui profili si riportano di seguito, confermano i predetti dati.





*Fig. n.27 - Prove DPM eseguite in via Pirandello (non presenti sulla carta ubicazione indagini Tav. G.1).
Confronto numero colpi.*

Nel corso dei due sondaggi eseguiti in via Pirandello furono eseguite n.15 prove penetrometriche in foro SPT e prelevati n.4 campioni indisturbati. I risultati delle prove SPT possono fornire una valutazione dell'angolo di attrito φ' attraverso correlazioni empiriche; una tra le più usate è quella proposta da DE MELLO (1977), in cui l'angolo di attrito è correlato ai risultati delle prove SPT attraverso lo stato tensionale effettivo agente alla profondità alla quale è stata eseguita la prova.

Nella figura n.28 sono stati riportati i risultati delle prove SPT nel citato abaco; la maggior parte dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\varphi' = 30^\circ$ e $\varphi' = 40^\circ$, solo un punto che si riferisce alle prove eseguite nel sondaggio S2 si dispone sulla curva $\varphi' = 25^\circ$.

Nella tabella IV, infine, sono riportati i dati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui n.4 campioni in precedenza menzionati.

Tabella IV- Caratteristiche geotecniche da prove di laboratorio.

| Denominazione campioni | | | Caratteristiche fisiche generali | | | | | | Granulometria | | | |
|------------------------|----------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|------------|------------------------|---------------|----------|--------|-----------|
| Sondaggio | Campione | Profondità | Peso di volume kN/m^3 | Peso dei grani g/cm^3 | Peso secco g/cm^3 | Indice dei vuoti | Porosità % | Grado di Saturazione % | Ghiaia % | Sabbia % | Limo % | Argilla % |
| S1 | C1 | 5.00-5.50 | 12.78 | 26.00 | 10.49 | 1,479 | 59,7 | 38.4 | 0 | 42.01 | 57.64 | 0.35 |
| S1 | C2 | 15,00-15,50 | 12.50 | 25.81 | 9.75 | 1,648 | 52,2 | 44.2 | 29.24 | 53.33 | 17.36 | 0.13 |
| S2 | C1 | 2,50-3,00 | 10.82 | 25.82 | 6,84 | 2,773 | 54,1 | 78 | 23.26 | 49.35 | 27.15 | 0.24 |
| S2 | C2 | 10,00-10,50 | 13.52 | 26.10 | 10.77 | 1,424 | 58,7 | 46.9 | 0 | 43.15 | 56.64 | 0.2 |

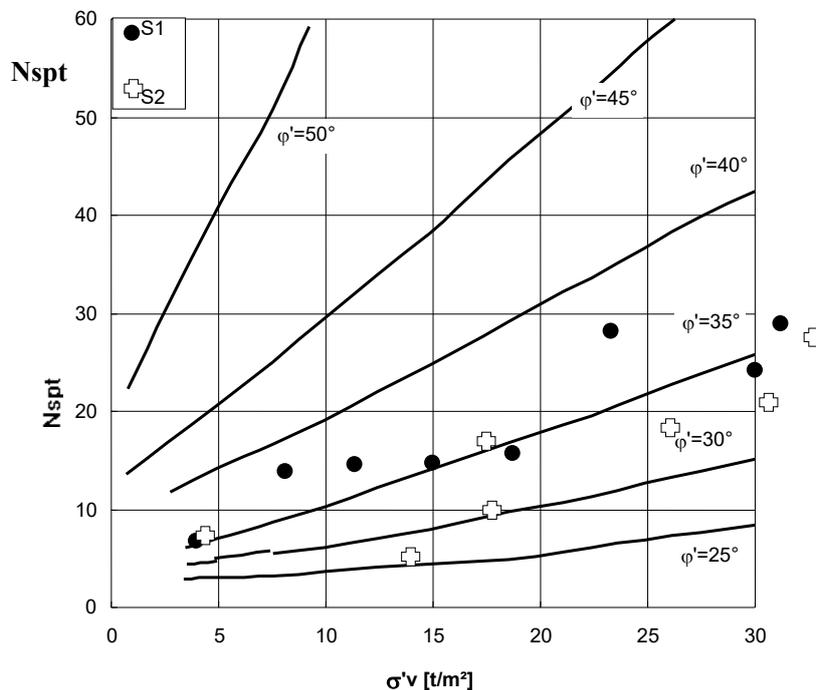


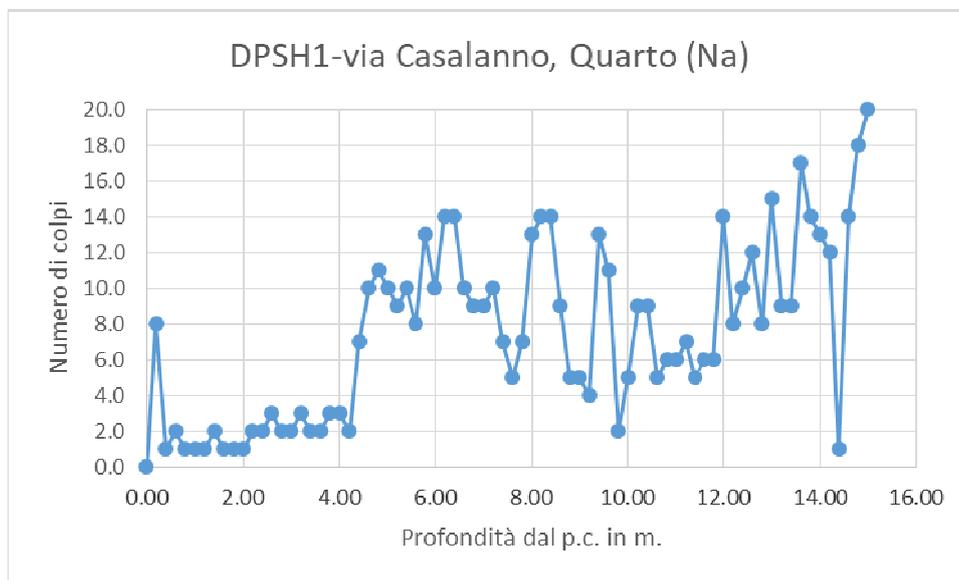
Fig. n.28 - Abaco di DE MELLO (1977).

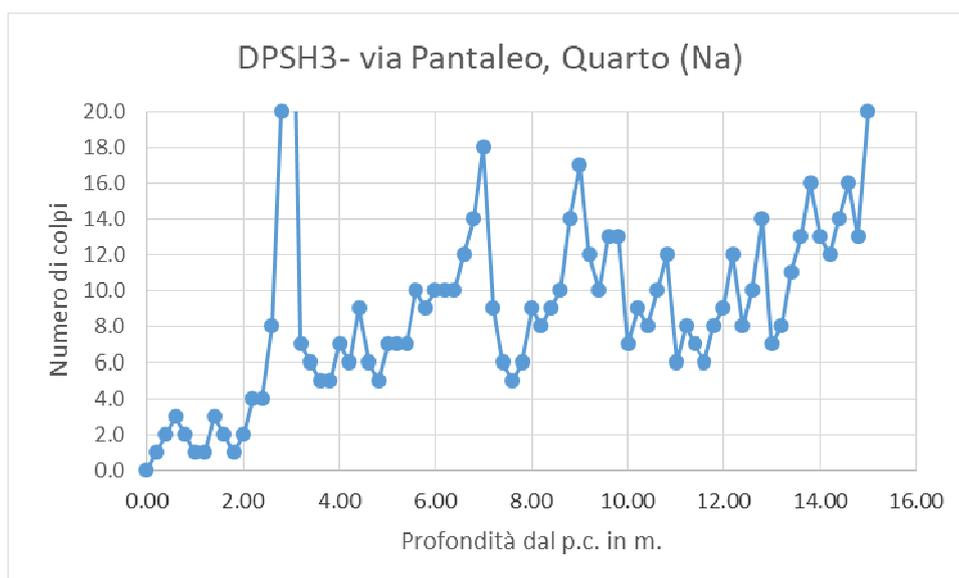
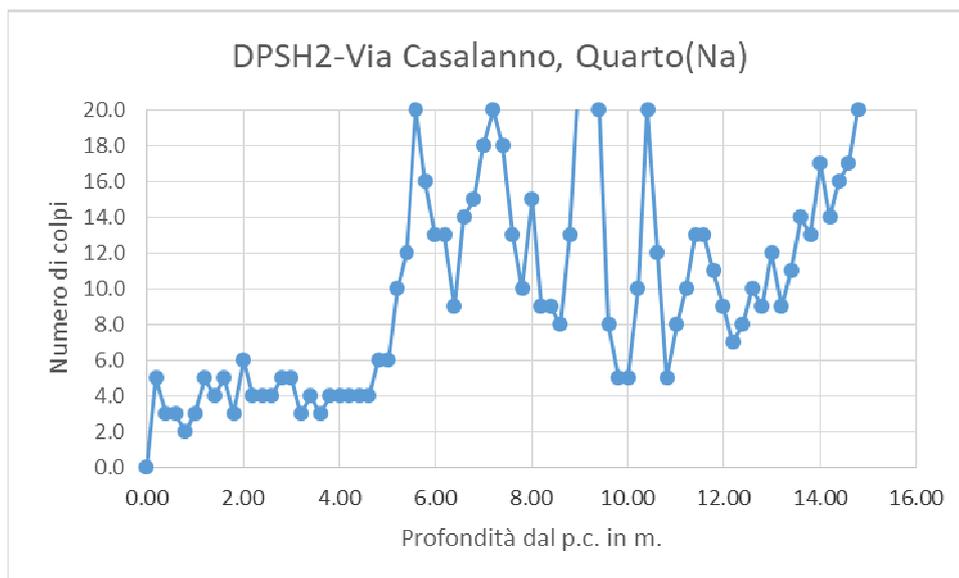
12.B Zona a nord di via Crocillo e ad Est del Passante Ferroviario di Napoli.

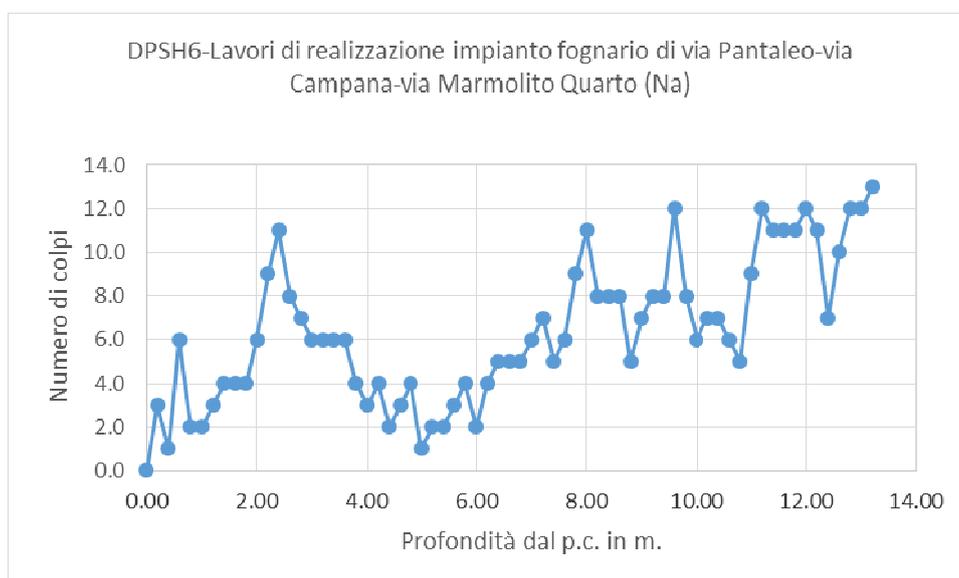
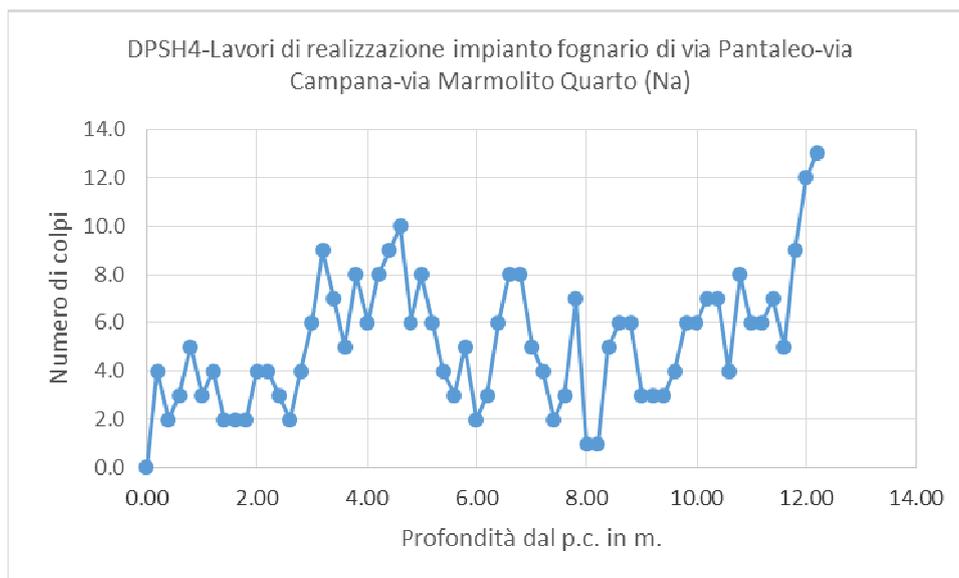
Ai fini della caratterizzazione dei terreni quest'area può essere ulteriormente divisa in due parti, la prima compresa tra via Crocillo e via Marmolito e la seconda tra via Marmolito e i confini settentrionali del territorio comunale.

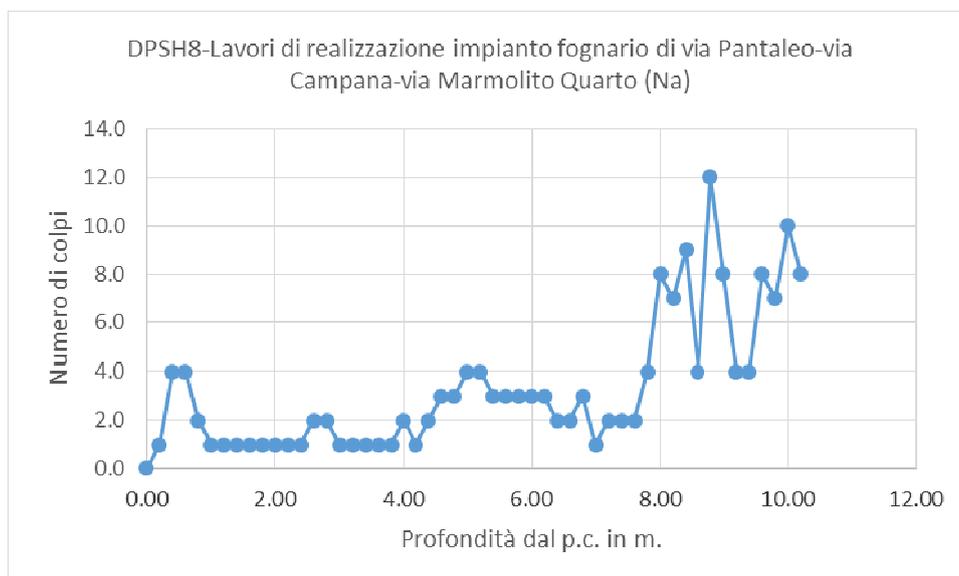
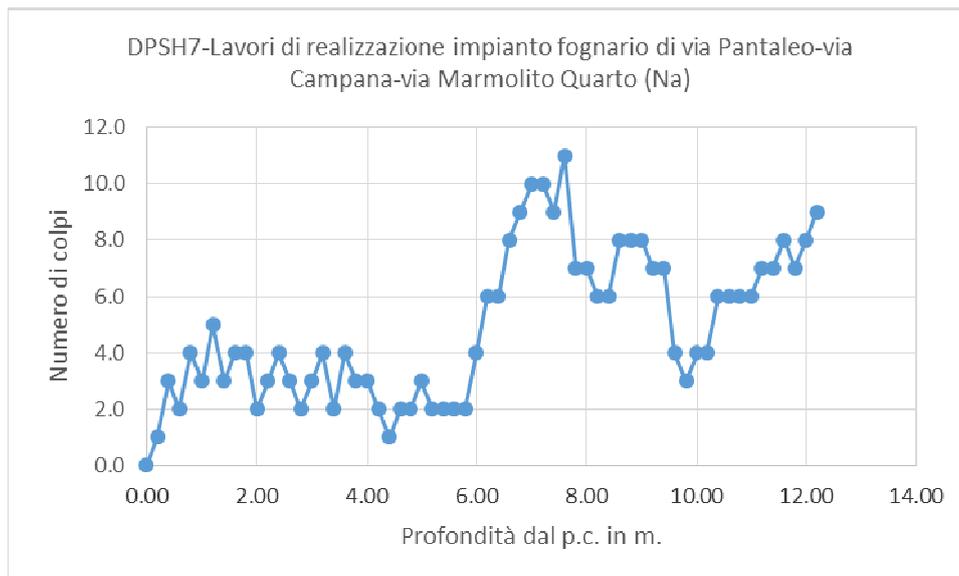
12.B.1 Zona compresa tra via Crocillo e via Marmolito.

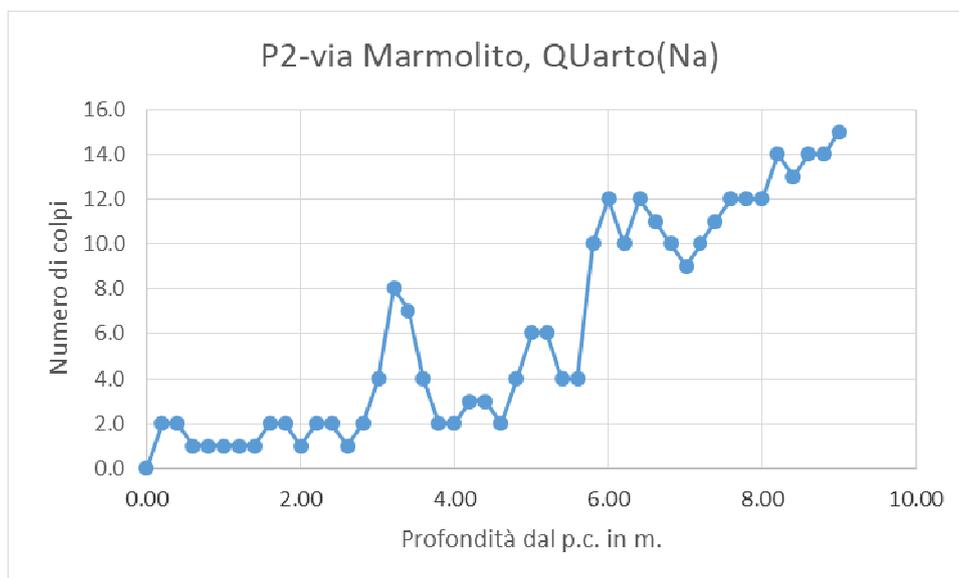
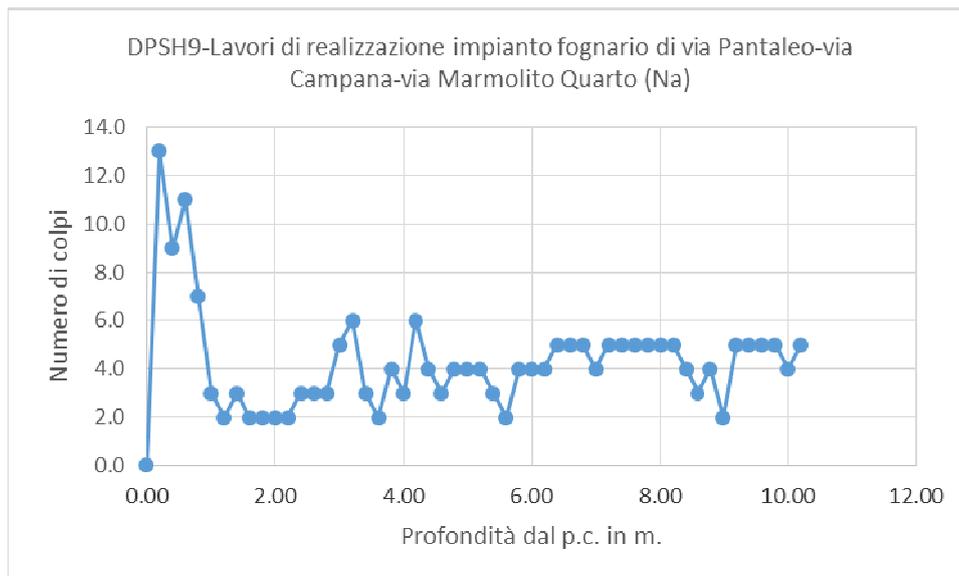
Per la caratterizzazione dei terreni di detta area sono state prese in considerazione il sondaggio S3, comprensivo di n.10 prove penetrometriche tipo SPT e prelievo di n.3 campioni indisturbati, e n.11 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH eseguite in varie occasioni nell'area. In particolare sono state prese in considerazione le prove DPSH1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, P2 e P3 (vedi carta ubicazione delle prove). L'andamento del numero di colpi con la profondità nelle prove penetrometriche DPSH mostra che i terreni del sottosuolo dell'area possono essere divisi in base alla profondità in due parti.











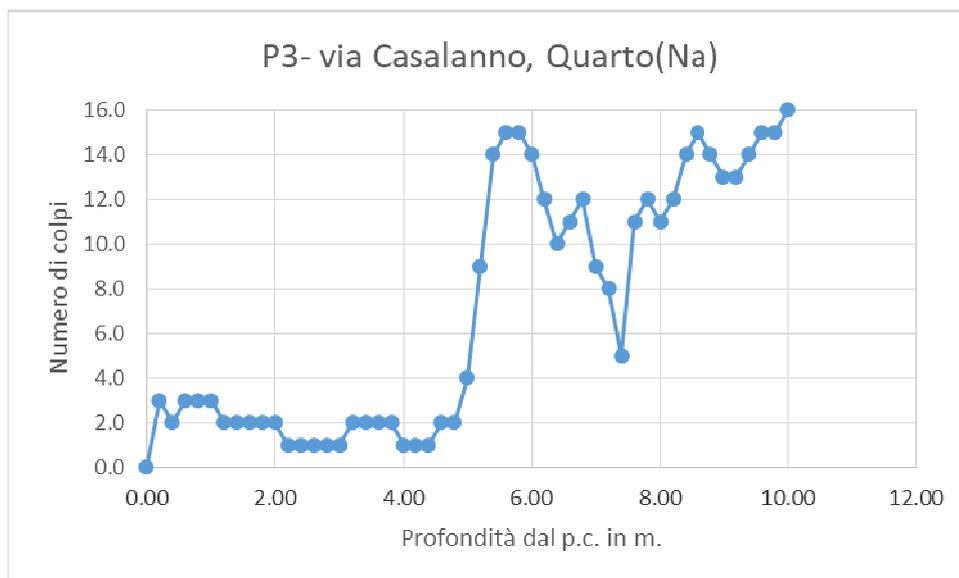


Fig. n.29 - Prove DPSH eseguite tra via Crocillo e via Marmolito (sulla carta ubicazione indagini sono indicate con la sigla DP ... DP1, DP2, ..., etc.). Confronto numero colpi.

I terreni presenti nei primi 4.50 - 5.50 metri di profondità, tranne modesti livelli più addensati, si presentano mediamente teneri. Le prove DPSH eseguite in quest'ambito hanno rilevato un numero di colpi medio di 3.7 con valori compresi tra 1 e 20. Tali valori confermano quanto rilevato dai sondaggi a c.c. e cioè che si tratta di limi debolmente sabbiosi e/o sabbiosi con pomici arrotondate aventi mediocri proprietà meccaniche.

A profondità maggiori, tra 5.50 e 15 metri, i valori del numero di colpi mediamente aumentano e mostrano che la struttura del sottosuolo è più articolata, si rinvencono, infatti, frequenti livelli di materiale a granulometria più grossolana e il numero di colpi medio aumenta ed è pari a 9.6 con valori compresi tra 1 e 30.

La distribuzione areale dei predetti livelli è, in genere, di tipo lenticolare per cui solo sporadicamente è possibile una loro correlazione. In ogni caso pur essendo presenti picchi pronunciati a varie profondità, le dieci prove mostrano un andamento sufficientemente omogeneo. Quanto detto è fatto ben notare nella figura n.30 dall'ampiezza del campo definito dalla media \pm lo scarto quadratico medio del numero di colpi calcolata per ogni metro sui risultati di tutte le dieci prove DPSH.

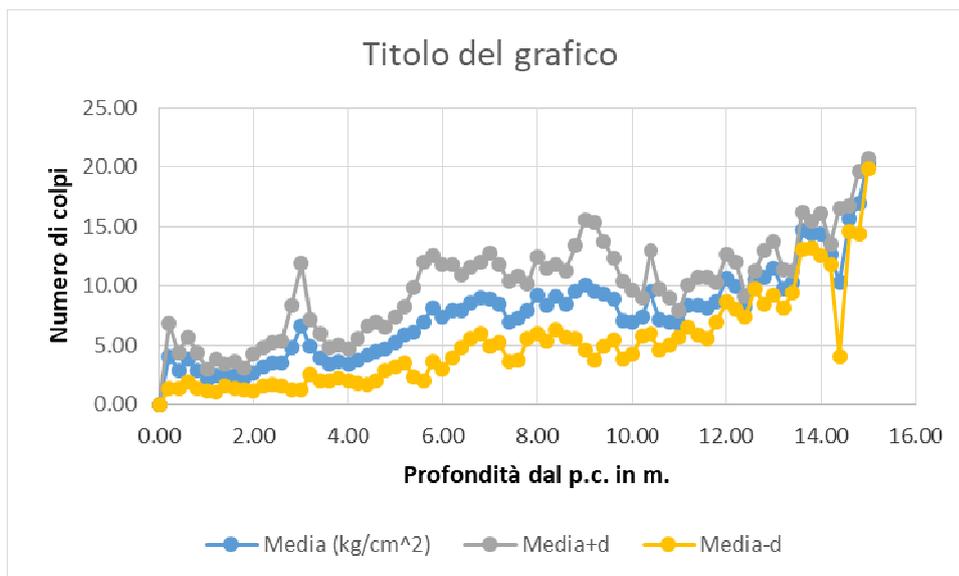


Fig. n.30 – Media, media -scarto, media + scarto del numero di colpi calcolati per metro e per le dieci prove.

Utilizzando i dati delle dieci prove è possibile avere una stima media dei parametri geomeccanici (ϕ' , D_r). I predetti dati, infatti, facendo riferimento alla media dei valori del numero di colpi alla stessa profondità nelle dieci prove consentono una valutazione di massima dei valori di N_{spt} medio e l'individuazione di n.4 livelli di terreno aventi le caratteristiche geotecniche riportate nella tabella V.

Tabella V - Caratteristiche geotecniche da prove DPSH.

| Profondità terreni in m. | Numero di colpi medio | N_{spt} medio | Angolo di Attrito ϕ' | Densità relativa % | Peso di volume g/cm^3 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| 0.00 – 2.60 | 2.9 | 4.29 | 27° | 45 | 1.4 |
| 2.60 – 5.40 | 4.65 | 6.82 | 29° | 48 | 1.5 |
| 5.40 – 11.80 | 8.23 | 12.04 | 30° | 50 | 1.5 |
| 11.80 – 15.00 | 12.57 | 17.92 | 32° | 51 | 1.6 |

Nel corso del sondaggio S3 eseguito in via Casalanno furono eseguite n.10 prove penetrometriche in foro SPT e prelevati n.3 campioni indisturbati. I risultati delle prove SPT possono fornire una valutazione dell'angolo di attrito ϕ' attraverso correlazioni empiriche; una tra le più usate è quella proposta da DE MELLO (1977), in cui l'angolo di attrito è correlato ai risultati delle prove SPT attraverso lo stato tensionale effettivo agente alla profondità alla quale è stata eseguita la prova.

Nella figura n.31 sono stati riportati i risultati delle prove SPT nel citato abaco; cinque dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\varphi' = 30^\circ$ e $\varphi' = 40^\circ$, solo un punto concernente, le prove eseguite alla profondità di 6.00 metri si colloca al di sopra della curva $\varphi' = 40^\circ$ mentre tre punti riguardanti le prove eseguite alle profondità di 3.00, 14.00 e 22.00 metri si dispongono al di sotto della curva $\varphi' = 25^\circ$. Nella tabella VI, infine, sono riportati i dati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui n.3 campioni in precedenza menzionati.

Tabella VI - Caratteristiche geotecniche da prove di laboratorio.

| Denominazione campioni | | | Caratteristiche fisiche generali | | | | | | Granulometria | Caratt. meccaniche | |
|------------------------|----------|------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Sondaggio | Campione | Profondità | Peso di volume kN/m^3 | Peso dei grani kN/m^3 | Peso secco kN/m^3 | Indice dei vuoti | Porosità % | Grado di Saturazione % | Definizione granulometrica | Angolo di attrito int. ° | Coesione kPa |
| S3 | C1 | 2.50-3.00 | 13.81 | 24.16 | 10.38 | 1,33 | 57,5 | 60.21 | Limo con sabbia debolmente ghiaioso | 29.5 | 0 |
| S3 | C2 | 5,50-6,00 | 15.28 | 23.62 | 10.89 | 1,17 | 53,89 | 81.31 | Limo con sabbia | 30 | 0 |
| S3 | C3 | 9,50-10,00 | 12.85 | 23.54 | 10,14 | 1.32 | 56,91 | 47.61 | Limo con sabbia | 29.5 | 0 |

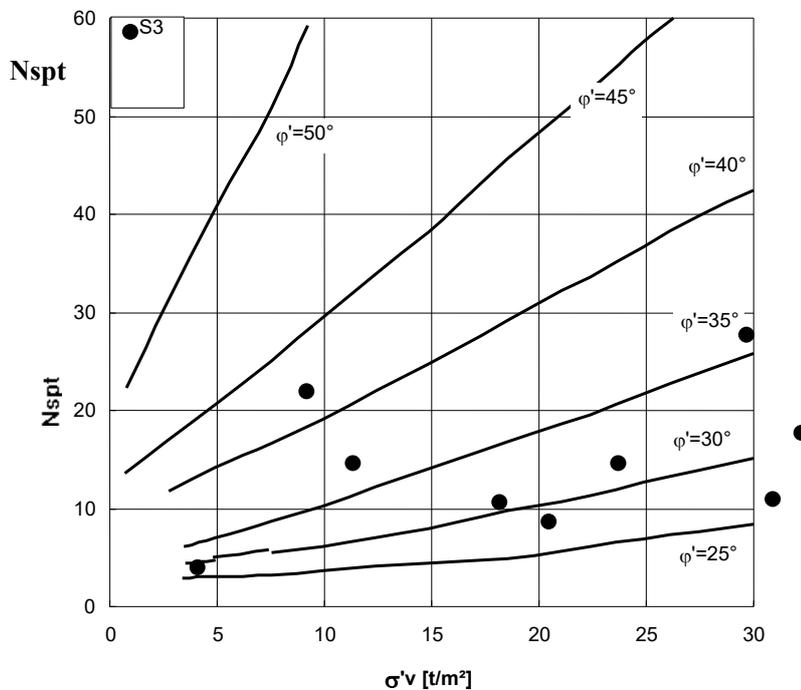
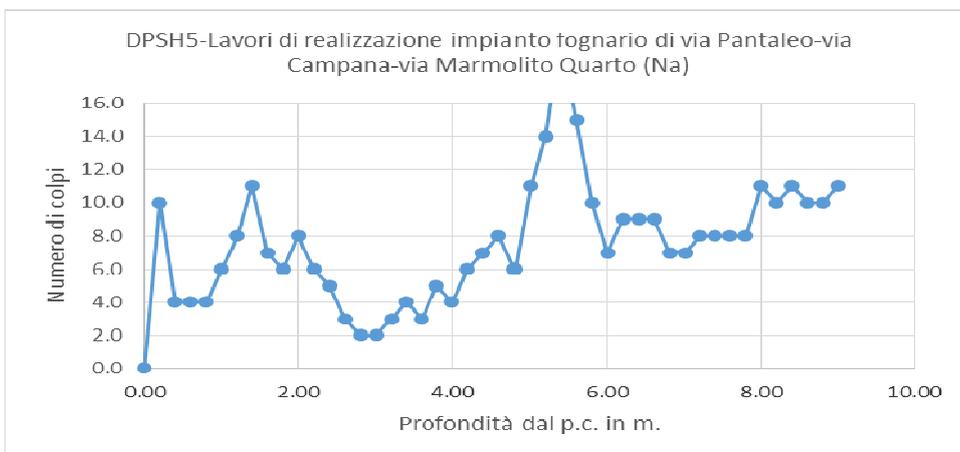
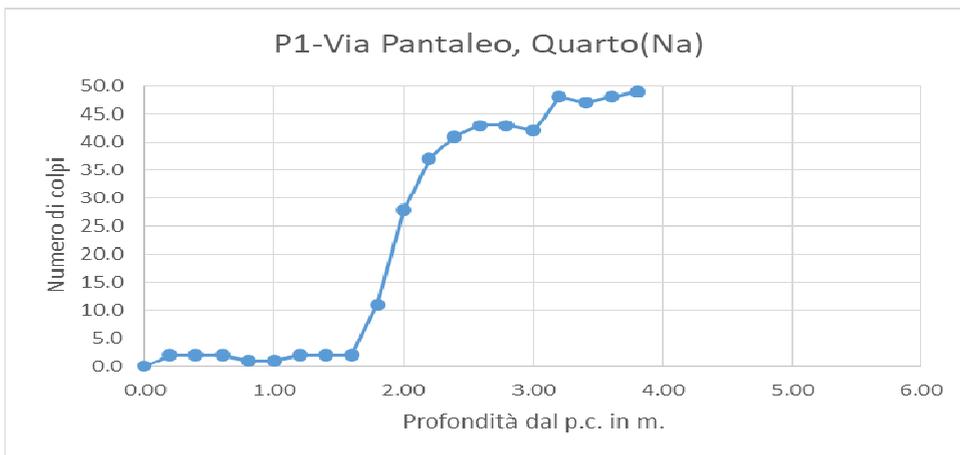


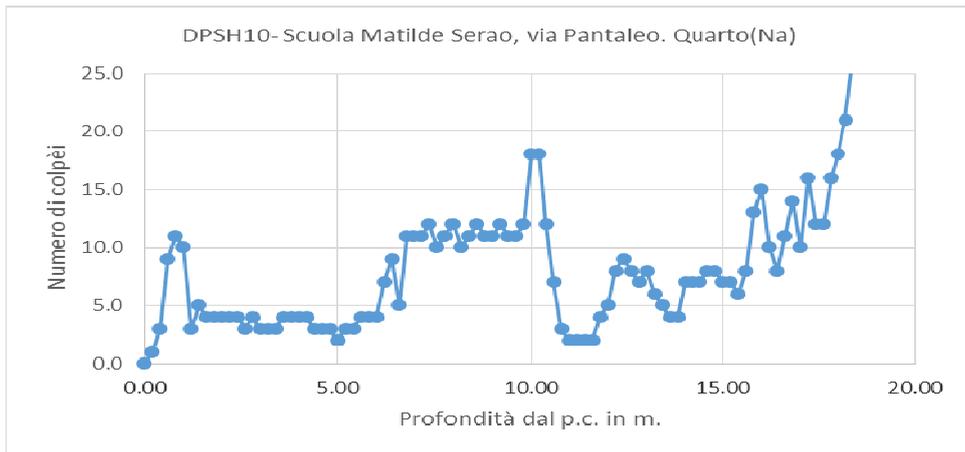
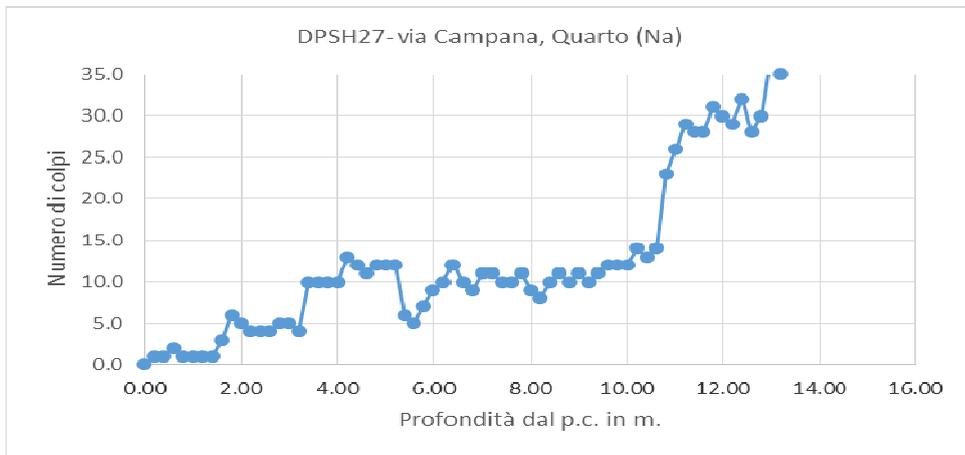
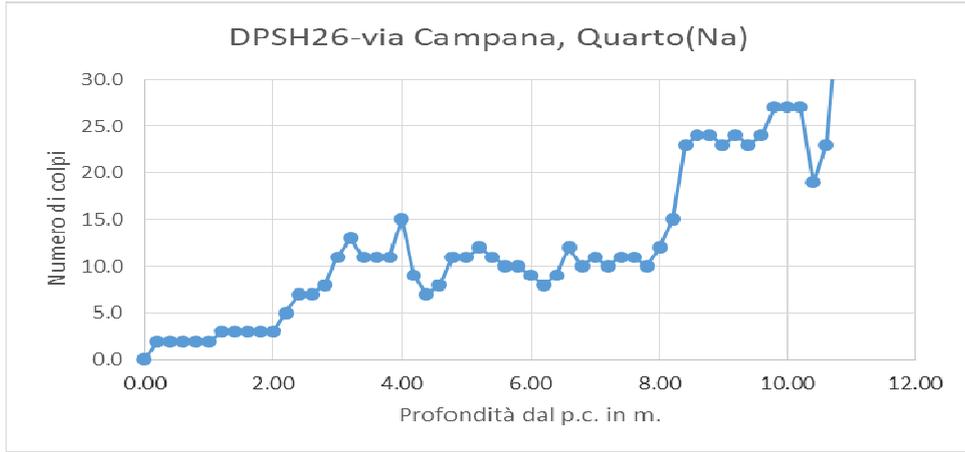
Fig. n.31 - Abaco di DE MELLO (1977)

12.B.2 Zona posta a nord di via Marmolito e a est del passante ferroviario di Napoli.

Per la caratterizzazione dei terreni di detta area, più prossima all'orlo della caldera, sono stati presi in considerazione i sondaggi S4, S1 e S12 comprensivi di n.5 prove penetrometriche tipo SPT e prelievo di n.3 campioni indisturbati nonché le n.6 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH eseguite in varie occasioni nell'area. In particolare sono state prese in considerazione le prove P1, DPSH5, 10, 11, 26 e 27 (vedi carta ubicazione delle prove).

L'andamento del numero di colpi con la profondità nelle prove penetrometriche DPSH mostra che i terreni del sottosuolo dell'area sono costituiti da un livello di spessore variabile di piroclastiti sciolte posto generalmente a tetto di un banco di Tufo Giallo.





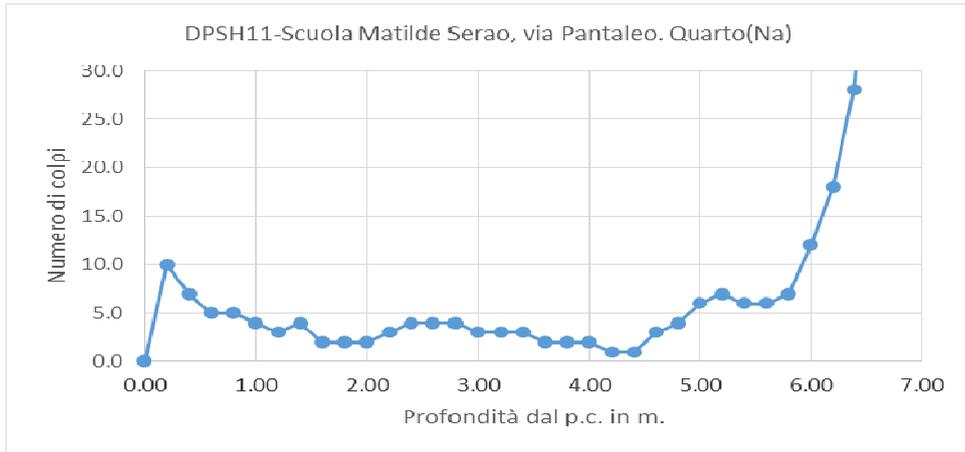


Fig. n.32 - Prove DPSH eseguite a nord di via Marmolito e a est del passante ferroviario di Napoli (Sulla carta ubicazione indagini sono indicate con la sigla DP. Quelle della scuola sono di colore arancio). Confronto numero colpi.

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento alquanto disomogeneo nei primi 4 metri di profondità e a profondità maggiori di 10 metri. Quanto detto è fatto ben notare nella fig.33 dall'ampiezza del campo definito dalla media \pm lo scarto il numero dei colpi calcolato per ogni metro sui risultati delle sei prove DPSH.

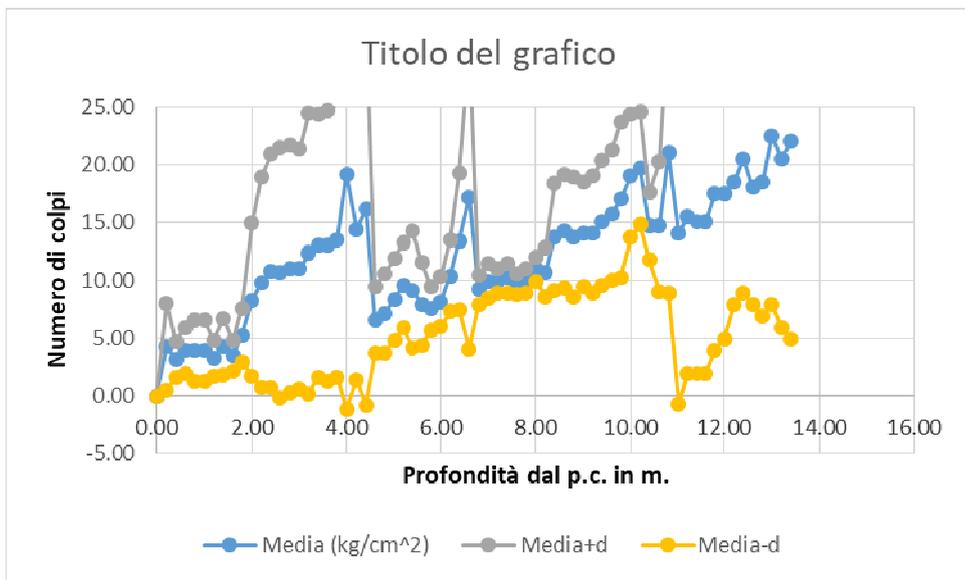


Fig. 33 - Media, media-scarto, media + scarto del numero di colpi calcolati per metro e per le sei prove.

Oltre alle prove penetrometriche dinamiche DPSH, sono state eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, otto prove SPT durante la perforazione dei sondaggi.

I risultati delle prove SPT, inoltre, possono fornire una valutazione dell'angolo di attrito φ' attraverso correlazioni empiriche; una tra le più usate è quella proposta da DE MELLO (1977), in cui l'angolo di attrito è correlato ai risultati delle prove SPT attraverso lo stato tensionale effettivo agente alla profondità alla quale è stata eseguita la prova.

Nella Fig. n.34 sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle otto prove SPT. Tutti i punti sperimentali si dispongono al di sopra della curva $\varphi' = 30^\circ$.

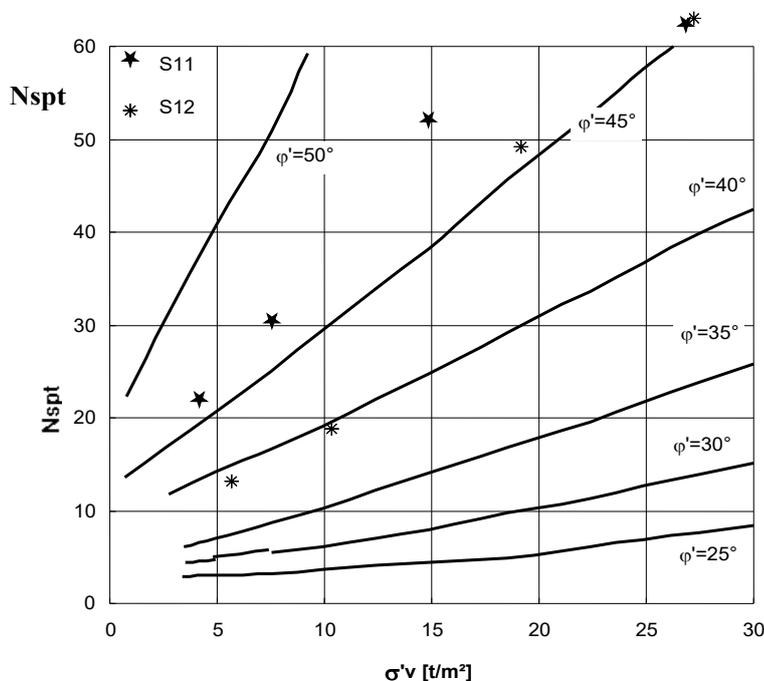


Fig. 34- Abaco di DE MELLO (1977)- Prove eseguite

Nella tabella VII, infine, sono riportati i dati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui n. 2 campioni prima menzionati.

Tabella VII - Caratteristiche geotecniche da prove di laboratorio.

| Denominazione campioni | | | Caratteristiche fisiche generali | | | | | | Granulometria | Caratteristiche meccaniche | |
|------------------------|----------|------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------|------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| Sondaggio | Campione | Profondità | Peso di volume kN/m ³ | Peso dei grani kN/m ³ | Peso secco kN/m ³ | Indice dei vuoti | Porosità % | Grado di Saturazione % | Definizione granulometrica | Angolo di attrito int. ° | Coesione kPa |
| S11 | C1 | 2.50-3.00 | 12.56 | 26.11 | 11.01 | 1,372 | 57,8 | 26.8 | Sabbia e limo | 41 | 3 |
| S11 | C2 | 4,50-5,00 | 14.60 | 26.09 | 11.86 | 1,2 | 54,50 | 50.3 | Sabbia con limo | 41 | 5 |

13. PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO COMUNALE

Il territorio comunale di Quarto, per posizione geografica, per propria conformazione geolitologica-morfologica-idrogeologica e per vicissitudini storiche, presenta peculiari caratteristiche che determinano situazioni ambientali che rappresentano elementi di "Pericolosità" intrinseca e che quindi possono tramutarsi in "Rischio" per le strutture presenti sul territorio e ovviamente per le persone che usufruiscono o vivono in dette strutture.

13.1. Pericolosità da dissesto idrogeologico

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.), elaborato dall'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale, adottato con Delibera del Comitato Istituzionale n.1 del 23-02-2015 (ora Autorità di Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale), ha perimetrato le aree di pericolosità idraulica e da frana e conseguentemente quelle a rischio idraulico e a rischio frana. Per quanto riguarda il rischio idraulico, la sovrapposizione della Carta di Pericolosità Idraulica, ricavata dalla valutazione delle aree inondabili, sulla carta degli insediamenti, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale, ha consentito di perimetrare le aree a diverso grado di rischio e, pertanto, sono state individuate sul territorio comunale zone con differenti livelli di rischio e cioè R1 (Rischio moderato), R2 (Rischio medio), R3 (Rischio elevato) e R4 (Rischio molto elevato).

Tenendo, poi, presenti le aree d'innescio di fenomeni franosi, le aree di transito e le aree di accumulo di materiali provenienti da dissesti e associando ad ogni categoria un grado di pericolosità, commisurato alla presunta intensità del fenomeno, è stata elaborata la Carta della Pericolosità da frana.

Sovrapponendo, poi, la detta Carta della Pericolosità, con la carta degli insediamenti, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale, sono state ricavate anche per il rischio frana le stesse quattro classi di rischio in precedenza elencate (Figg.35-36-37 e 38).

Dal punto di vista idrogeologico-idraulico, constatata la bassa densità e le caratteristiche granulometriche nei terreni superficiali quasi completamente sciolti, le acque di origine meteorica s'infiltrano facilmente nei terreni sottostanti; e in genere vanno ad alimentare la falda freatica, ma se incontrano strati di materiale limoso, molto addensato, o terreni con funzione di "impermeabile relativo", tendono a formare microfalde superficiali con fenomeni di ristagno.

Si determina pertanto in fase esecutiva del Piano Urbanistico la necessità di impedire ed eliminare la penetrazione delle acque da infiltrazioni (tra cui eventuali perdite della rete fognaria) nei terreni sottostanti.

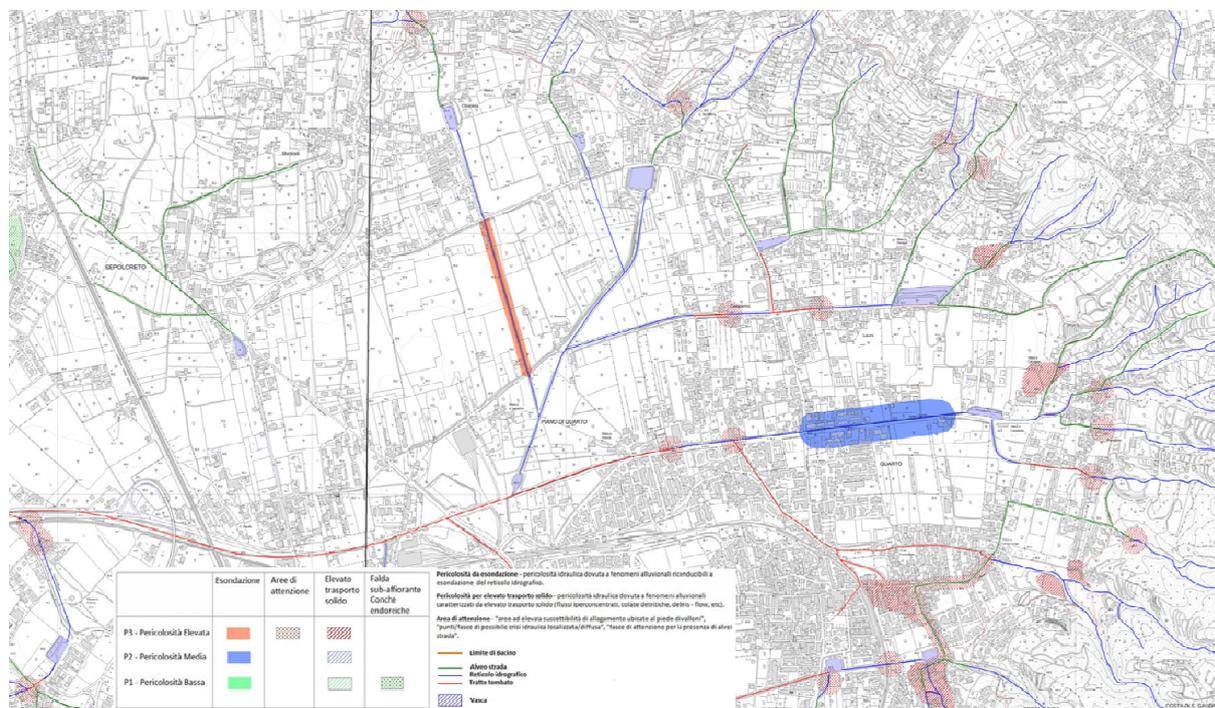


Fig. n.35 - Stralcio della Carta della Pericolosità Idraulica del PSAI in cui ricade il comune di Quarto (Tav. n°447104 e n°447101).

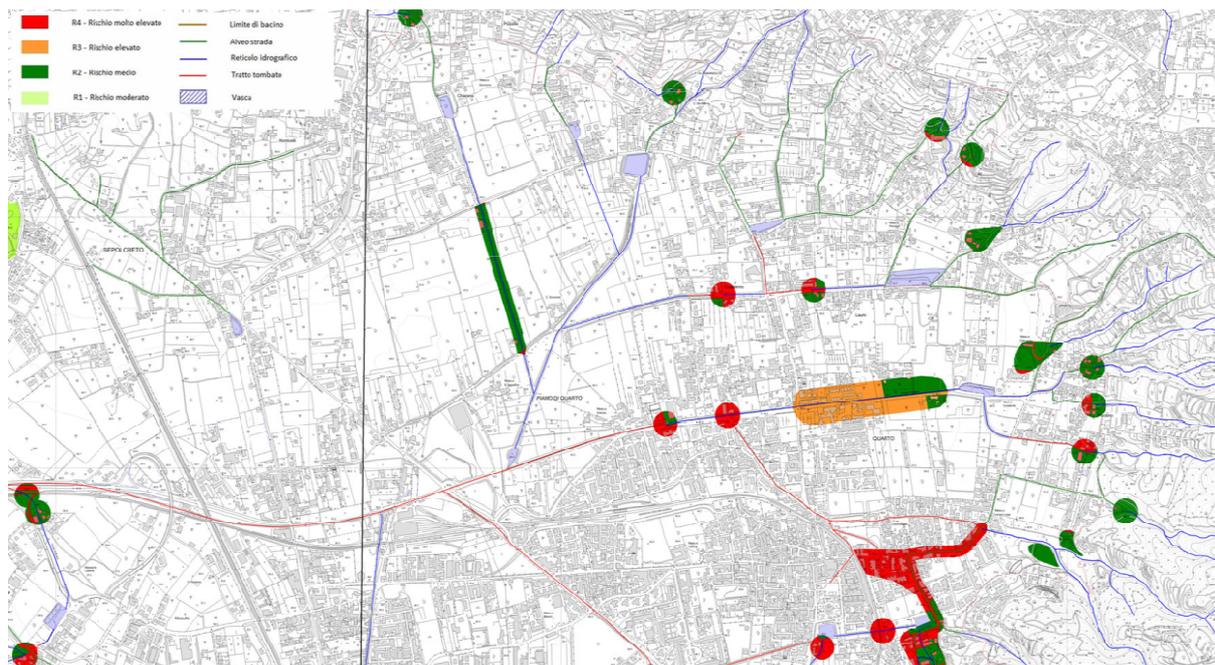


Fig. n.36 - Stralcio della Carta del Rischio Idraulico del PSAI in cui ricade il comune di Quarto (Tav. n°447104 e n°447101).

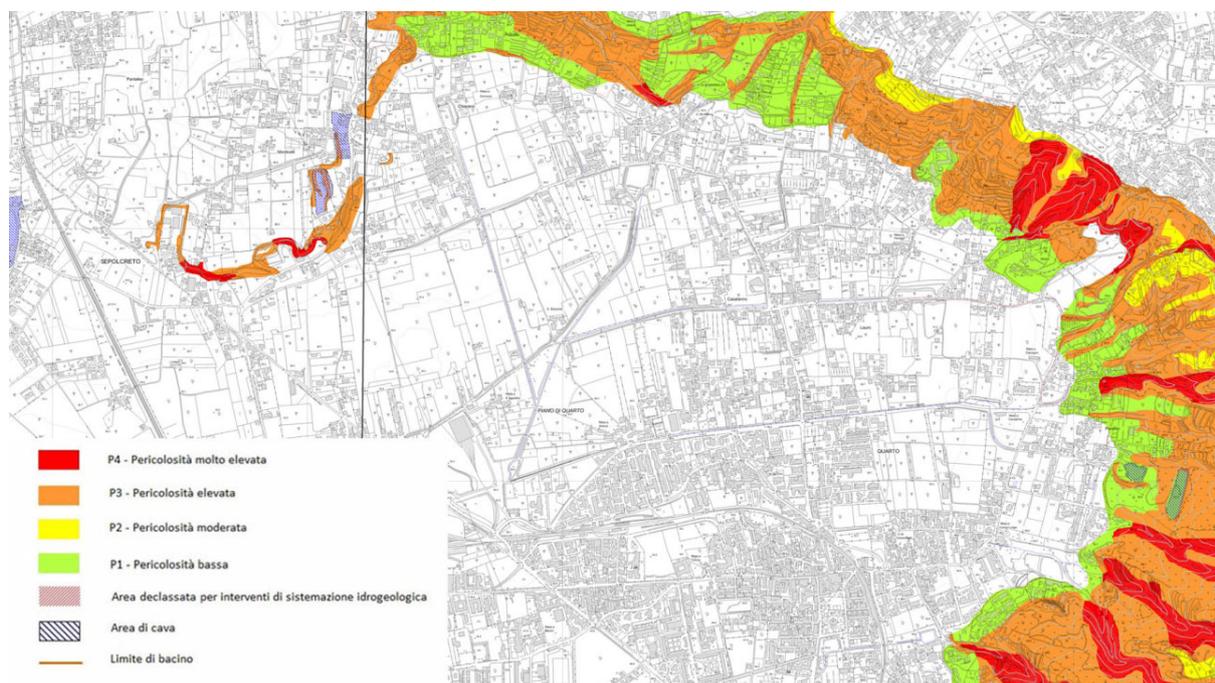


Fig. n.37 - Stralcio della Carta della Pericolosità da frana del PSAI in cui ricade il comune di Quarto (Tav. n°447104 e n°447101).

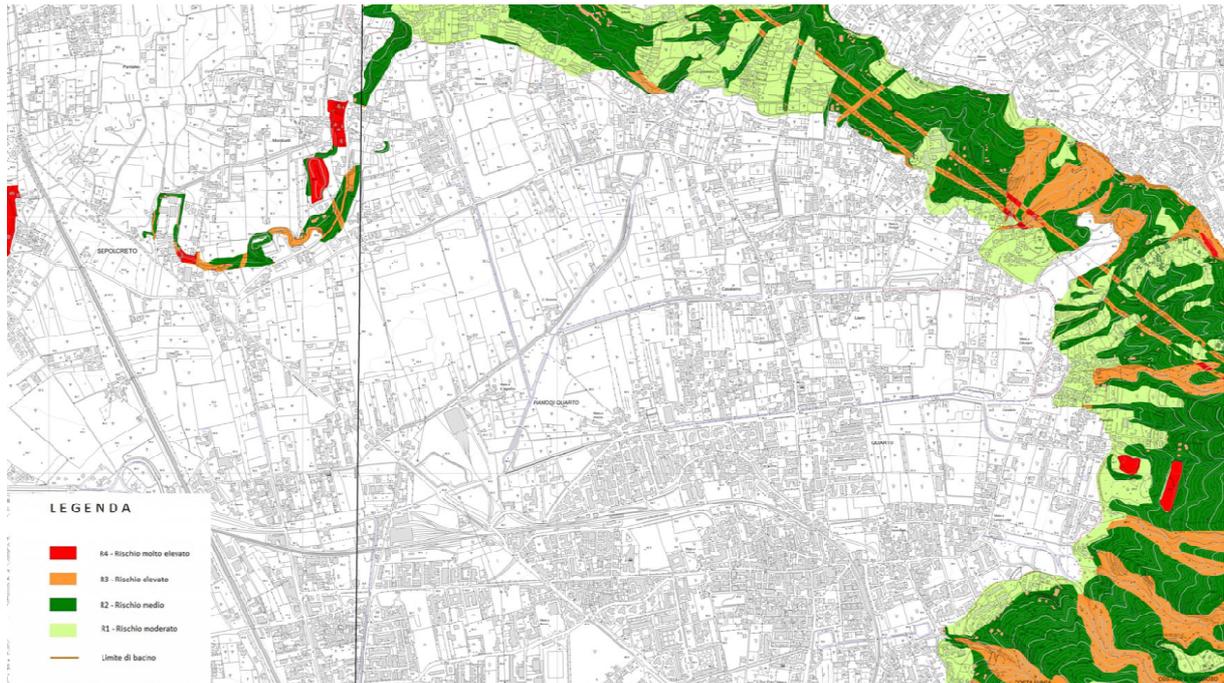


Fig. n.38 - Stralcio della Carta del Rischio Frana del PSAI in cui ricade il comune di Quarto (Tav. n°447104 e n°447101).

13.2 Pericolosità vulcanica

L'intero territorio comunale di Quarto si colloca all'interno del distretto vulcanico dei Campi Flegrei e, pertanto, esso è da considerarsi a rischio vulcanico.

La valutazione del rischio vulcanico è stata eseguita partendo dalla considerazione che il distretto flegreo, mancando un apparato centrale, è stato interessato, nel corso dei millenni, da episodi eruttivi provenienti da punti diversi. Ciò traccia la possibilità di formazione di nuovi eventi eruttivi all'interno dell'area e su questa base il territorio di Quarto è stato classificato a rischio vulcanico "alto".

Il rischio vulcanico può essere definito come il prodotto fra la probabilità che avvenga un determinato fenomeno vulcanico e i danni che esso provoca.

$$\text{“R} = \text{P} \times \text{E} \times \text{V} \text{ (Rischio = Pericolosità x Elementi a rischio x Vulnerabilità)”}$$

Piano Urbanistico Comunale di QUARTO - STUDIO GEOLOGICO
(artt. 11, 12 e 14, L.R. n°9/1983; DM 17.01.2018; O.P.C.M. 3274/2003)

In conformità a questa definizione la densità e il numero degli insediamenti urbani nella zona flegrea fanno dei Campi Flegrei vulcani a rischio altissimo (Figg.39-40).

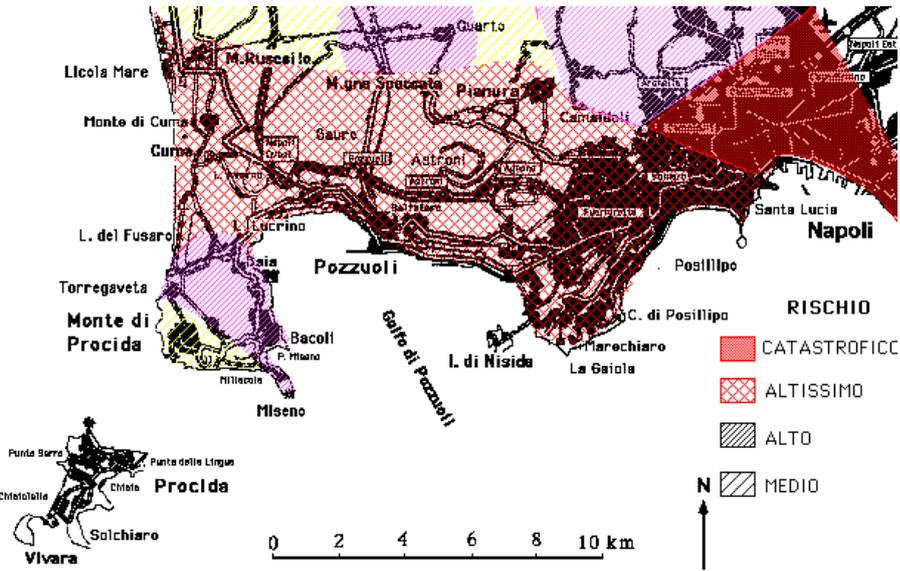


Fig. n.39 – Estratto dalla mappa del Rischio Vulcanico dell'Area Flegrea.

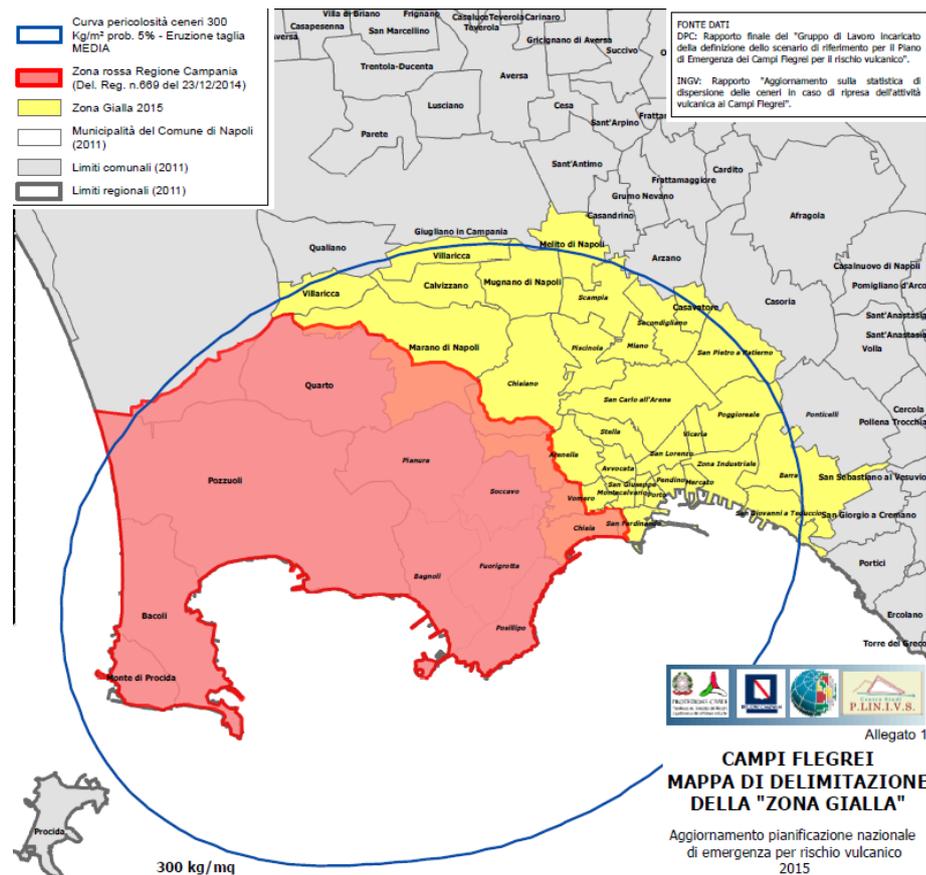


Fig. n.40 – Estratto dalla mappa di zona rossa e gialla per il vulcano Campi Flegrei (aggiornamento della pianificazione nazionale di emergenza del rischio vulcanico, 2015).

Di quanto sopra tiene conto la Carta elaborata nel 2015 dalla Protezione Civile in sede di aggiornamento della pianificazione nazionale di emergenza del rischio vulcanico per l'area Flegrea. Nella predetta mappa l'area flegrea è stata divisa in una zona gialla e una rossa. La zona rossa, in cui è compreso il territorio di Quarto, è "esposta al pericolo d'invasione di flussi piroclastici che, per le loro elevate temperatura e velocità, rappresentano il fenomeno più pericoloso per le persone". Nella detta zona "l'evacuazione preventiva è, in caso di allarme, l'unica misura di salvaguardia per la popolazione".

La zona gialla, invece, "è l'area esterna alla zona rossa, che in caso di eruzione è esposta alla significativa ricaduta di ceneri vulcaniche" per cui "potrebbero essere necessari allontanamenti temporanei della popolazione" a causa della vulnerabilità e/o difficile accessibilità degli edifici.

13.3 Pericolosità sismica

Il territorio di Quarto non presenta, nei suoi confini amministrativi, strutture sismogenetiche note; esso risente dei fenomeni sismici che si originano nelle aree vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio nonché nella catena appenninica (Fig.41).

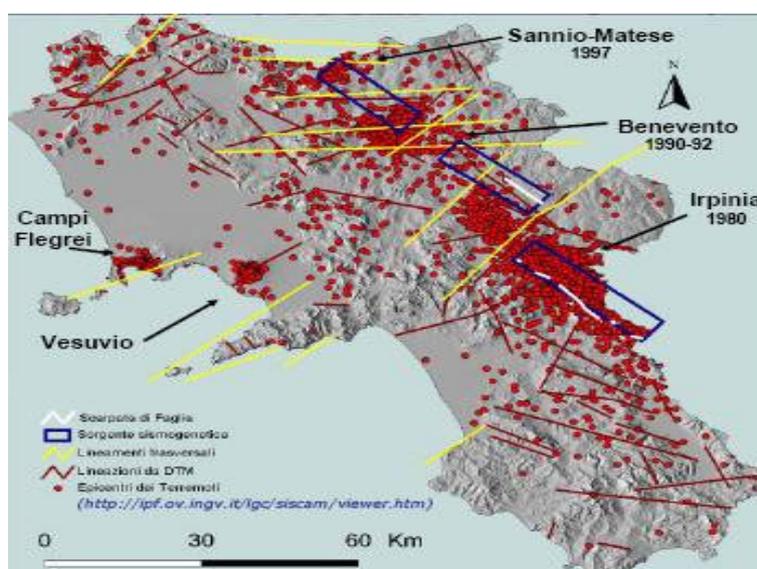


Fig. n.41 – Epicentri dei terremoti storici nella Regione Campania.

La distribuzione della sismicità storica e recente nella Regione Campania, infatti, consente di affermare che la maggior parte dell'attività sismica si è sviluppata nella catena appenninica con un'estensione nella fascia costiera vesuviano-flegrea.

13.3.a Cenni sulla sismicità storica del territorio comunale.

Per quanto concerne la sismicità dell'area, con particolare riferimento alla macrosismologia, la ricerca su quanto avvenuto in passato si è avvalsa dei cataloghi predisposti dalla Comunità Scientifica e in particolare della documentazione prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.). Più in dettaglio sono stati esaminati (Fig. n.42 e Tab. VIII):

- il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (ultima edizione CPTI15 v. 3.0);
- il Database Macrosismico Italiano DBMI15 v. 3.0.

I dati in questione sono consultabili dal sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Quarto

| | |
|----------------------------|----------------|
| PlaceID | IT_60350 |
| Coordinate (lat, lon) | 40.878, 14.146 |
| Comune (ISTAT 2015) | Quarto |
| Provincia | Napoli |
| Regione | Campania |
| Numero di eventi riportati | 3 |

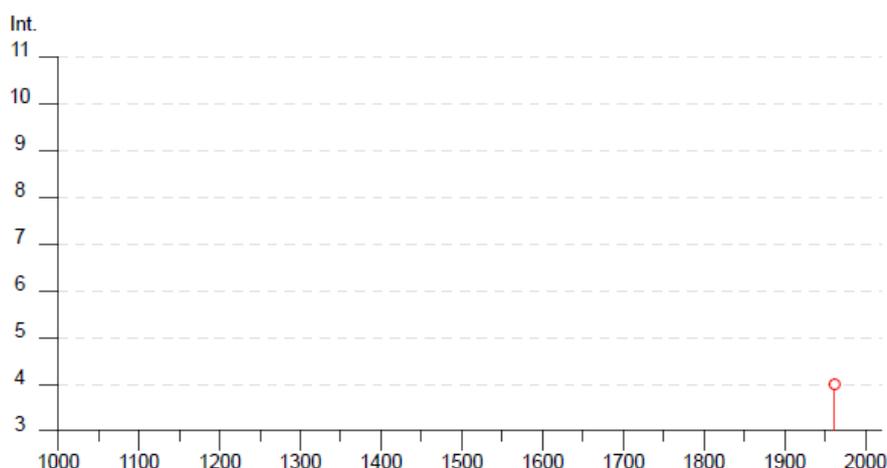


Fig. n.42 – STORIA SISMICA DEL COMUNE DI QUARTO

| Effetti | In occasione del terremoto del | | | | | | | | |
|---------|--------------------------------|----|----|----|------|------------------|------|----|------|
| Int. | Anno | Me | Gi | Ho | MiSe | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw |
| 4 | 1962 | 08 | 21 | 18 | 19 | Irpinia | 562 | 9 | 6.15 |
| NF | 2003 | 06 | 01 | 15 | 45 1 | Molise | 501 | 5 | 4.44 |
| | 2005 | 05 | 21 | 19 | 55 9 | Area Nolana | 271 | 5 | 4.07 |

Tab.VIII: osservazioni macrosismiche per il comune di Quarto; Is rappresenta l'intensità di sito espressa nella scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg, 1930), mentre Ix l'intensità epicentrale (Mercalli-Cancani-Sieberg, 1930), Mw rappresenta la magnitudo momento dell'area epicentrale.

La storia sismica di Quarto, è riportata per un numero di osservazioni pari a 3, a partire dal sisma del 21/08/1962. In tab.VIII si riportano tutti gli eventi disponibili da cui si evince un'intensità massima risentita del IV° della scala MCS. I dati di quest'analisi mostrano che la **massima intensità sismica** risentita nel territorio comunale di Quarto è relativa proprio al terremoto dell'Irpinia del 1962 ed è pari al **IV grado MCS**.

La valutazione della pericolosità sismica dell'area italiana è rappresentata sulla base della zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. n.43 e Tab. IX) secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone per tutta la penisola italiana, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} (Zonazione sismogenetica ZS9, a cura di C. Meletti e G. Valensise, 2004).

| Nome ZS | Numero ZS | M_{wmax} |
|--|---|------------|
| Colli Albani, Etna | 922, 936 | 5.45 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 5.91 |
| Altre zone | 901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934 | 6.14 |
| Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo | 918, 919, 910 | 6.37 |
| Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica | 905, 906, 915, 930 | 6.60 |
| Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto | 924, 925, 931 | 6.83 |
| Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata | 923, 927 | 7.06 |
| Calabria tirrenica, Iblei | 929, 935 | 7.29 |

Tab. IX – Valori di MWMAX per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Zonazione sismogenetica ZS9, a cura di C. Meletti e G. Valensise, 2004- Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (INGV).



Fig. n.43 – Zonazione sismogenetica ZS9 (C. Meletti e G. Valensise, 2004).

Le zone sismogenetiche più vicine al territorio comunale di Quarto sono la 927: *Sannio-Irpinia-Basilicata* e la 928: *Ischia-Vesuvio* a cui sono rispettivamente associate una magnitudo massima $Mw_{max} = 7.06$ e $Mw_{max} = 5.9$.

L'allegato A delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, aggiornate nel gennaio 2018, elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica, prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base

dei valori di pericolosità sismica proposti dal Progetto S1 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

In riferimento alla mappa della Campania per la pericolosità sismica derivante dal progetto S1 dell'INGV (Fig. n.44), disponibile on-line sul sito dell'INGV, si indica che il territorio comunale di Quarto rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra **0.150g e 0.175g** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50). (Fig. n.45).

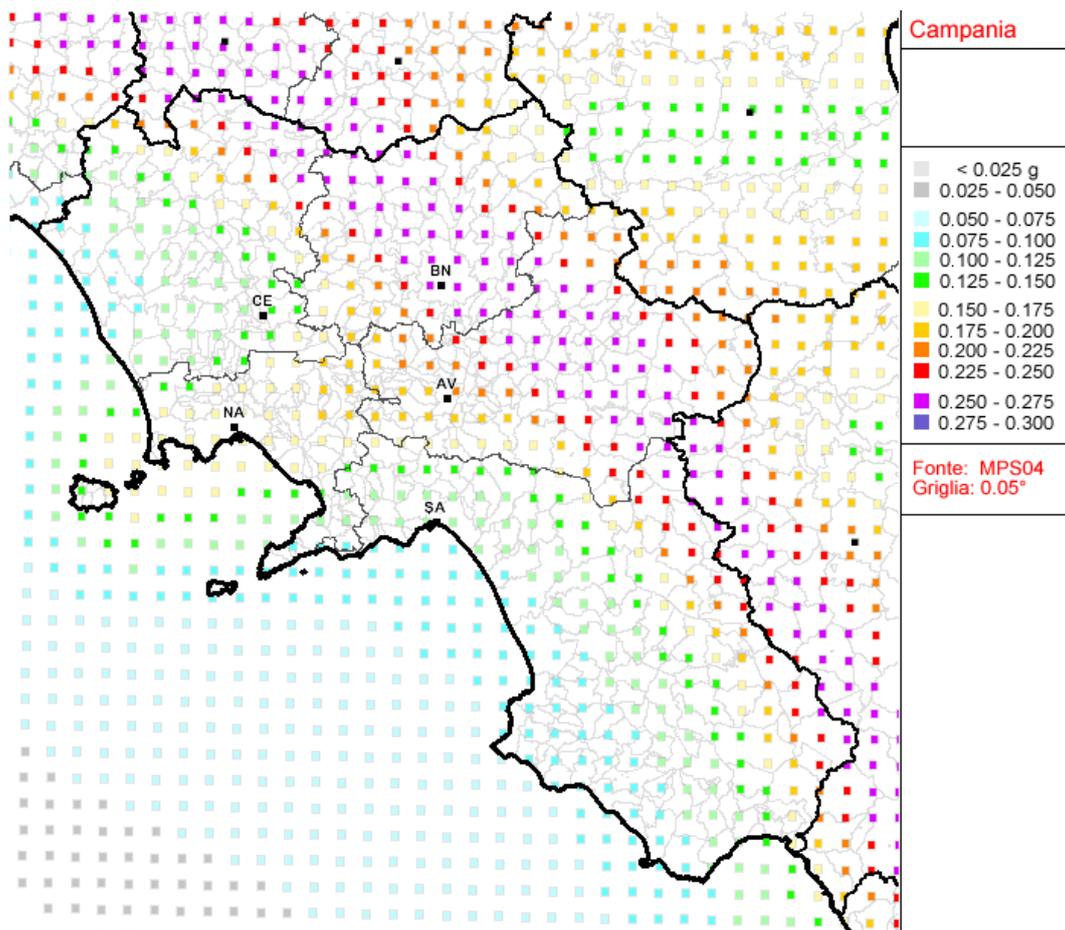


Fig. n.44 - Mappa di pericolosità sismica della Campania (INGV,2004).

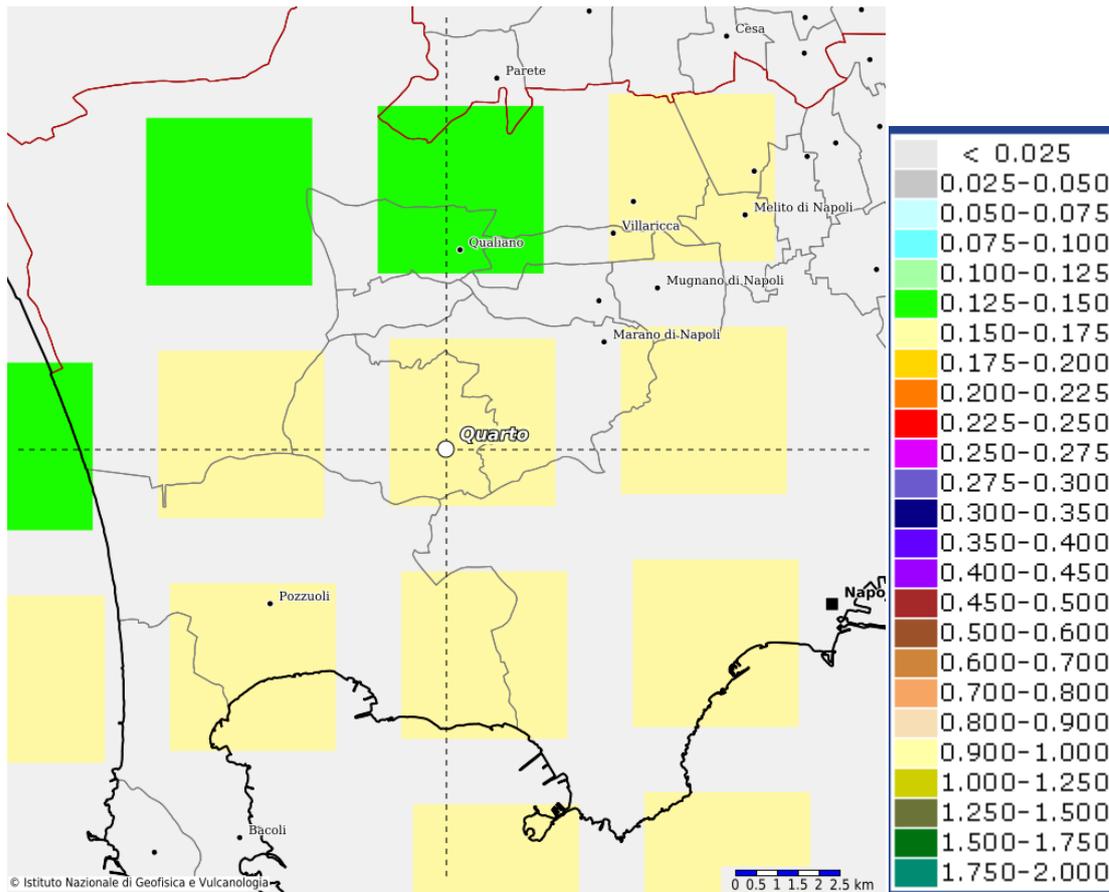


Fig. n.45 - Pericolosità sismica del comune di Quarto e comuni confinanti (INGV,2004).

L'ultimo aggiornamento della pericolosità sismica regionale risale al 2002, quando con la D.G.R. 5447 del 7 novembre 2002, è stata aggiornata la classificazione sismica dei comuni della Regione Campania dalla cui mappa si evince che ogni singolo comune ricade in una specifica zona sismica contraddistinta da un valore ben definito di accelerazione (Fig. n.46).

Da questa mappa si deduce che il territorio comunale di Quarto ricade in Zona 2 ovvero in una zona a "media sismicità" e quindi con valore di $ag = 0.25g$.

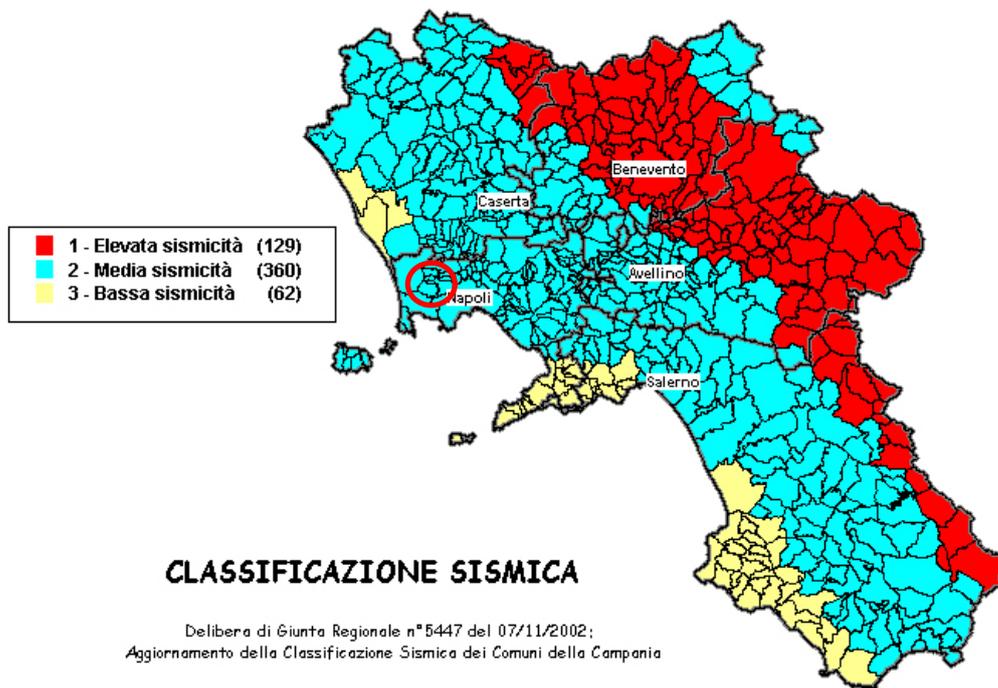


Fig. n.46 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania -Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$ (nel cerchio rosso ricade il territorio di Quarto)

14. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, si può affermare che la pericolosità sismica del territorio comunale scaturisce dal fatto che esso ricade in una zona sismogenetica e quindi in caso di evento sismico nello stesso territorio, si possono verificare amplificazioni del moto sismico dovuti ai suoi caratteri litologico - stratigrafico e morfologici. A tal uopo mentre ai fini pianificatori ci si può attenere alla carta della zonazione in prospettiva sismica non altrettanto, si può fare nel caso di progettazioni esecutive di opere. In questo caso, infatti, oltre all'accelerazione di base si deve tener conto anche di quanto prescritto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17/01/2018) ovvero stabilire i fattori di amplificazione sia stratigrafici (S_s) che topografici (S_T) in corrispondenza del sito di costruzione, per stabilire quindi sia la categoria di sottosuolo che quella topografica (Fig. n.47 e 48).

La determinazione della categoria di sottosuolo, secondo la stessa Normativa Tecnica, va determinata attraverso il calcolo della velocità equivalente, V_{seq} che contraddistingue uno specifico sito, ovvero attraverso il calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità del substrato (formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s) o in mancanza di esso attraverso il calcolo della medesima velocità nei primi 30 metri di profondità (V_{s30}), fattori valutati entrambi mediante adeguate indagini sismiche.

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

Fig. n.47 - Categorie di sottosuolo NTC 2018

Oltre alle amplificazioni stratigrafiche del moto sismico, nell'ambito del territorio comunale bisogna considerare, sempre ai fini normativi (D.M. 17/01/2018), anche le caratteristiche topografiche del sito di costruzione. Nella progettazione di opere quindi bisogna determinare anche il fattore di amplificazione topografico (S_T) che scaturisce dalla preliminare assegnazione della Categoria Topografica allo stesso sito.

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

Fig. n.48 - Categorie topografiche NTC 2018.

a) Microzonazione sismica, generalità.

Le prove eseguite sul territorio di Quarto per la presente indagine e le prove disponibili sono state utilizzate per la caratterizzazione sismica dei terreni e l'elaborazione della Carta delle "MOPS".

La microzonazione sismica è un criterio volto a prevedere e mitigare gli effetti sismici in un territorio di limitata estensione. Le indagini di microzonazione sismica, pertanto, hanno lo scopo di riconoscere, a scala di dettaglio, le condizioni di sito (microzone) che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (moto sismico di riferimento) o produrre effetti cosismici rilevanti (fratture, liquefazioni, ecc.).

Nel nostro caso, alla luce delle prove che hanno portato alla caratterizzazione sismica dei terreni, è stato possibile stabilire che il territorio compreso nei limiti amministrativi ha comportamento omogeneo dal punto di vista sismico.

b) Caratterizzazione sismica dei terreni.

I parametri caratterizzanti il comportamento sismico dei terreni sono stati dedotti dalle n.12 prove M.A.S.W. e n.6 H.V.S.R. eseguite per la presente indagine e dalle altre prove eseguite in varie occasioni nel recente passato (down-hole, MASW e HVSR). Tutti i dati riguardanti le prove predette sono riportati nei fascicoli allegati alla presente relazione (Elab. D.1.2 e D.1.3).

Il valore della velocità delle onde sismiche in un litotipo dipende, dalla sua rigidità e dalla sua densità. In pratica viene energizzato il terreno mediante una massa battente rilevando, poi, al sismografo i tempi d'arrivo degli impulsi. Dalla conoscenza dei tempi d'arrivo è possibile risalire, attraverso appositi algoritmi, alla determinazione delle velocità e degli spessori dei livelli sismici individuati. L'indagine geofisica conferma che litologicamente, nella parte più superficiale dei terreni, ci si trova al cospetto di materiali sciolti, caratterizzati da velocità sismiche basse, seguiti da un banco di tufo giallo napoletano caratterizzato da velocità medio-alte.

I risultati delle prove M.A.S.W. mostrano l'esistenza generalmente di almeno 3-4 strati sismici e purtroppo spesso non hanno raggiunto i 30 m. di profondità.

Ai fini del confronto tra le prove sismiche eseguite per la presente indagine e quelle eseguite in precedenza, riportate nel fascicolo "Indagini disponibili" si rimanda alla lettura della relazione geofisica (Elab. D.1.3).

La lettura degli allegati (D.1.2 e D.1.3) consente di affermare che il territorio comunale ha un comportamento omogeneo dal punto di vista sismico fatta eccezione per le aree dove il banco tufaceo è poco profondo fino ad affiorare.

La denominazione e localizzazione delle prove sismiche sono quelle riportate nella "Carta ubicazione indagini" (TAV. G.1).

c) Determinazione del periodo proprio del sottosuolo T_s .

Nel territorio studiato è stato valutato il periodo proprio del sottosuolo utilizzando le prove Hvsr realizzate e disponibili, per le down-hole esistenti è stato utilizzato il metodo dello "strato equivalente". Nelle tabelle X e XI sono riportati i relativi valori.

Tabella X – Frequenza e periodo del sottosuolo ricavato dalle indagini disponibili sul territorio comunale (Per le down-hole, lo spessore di riferimento è correlato alla profondità della prova).

| Indagine sismica | Frequenza (Hz) | Periodo Sottosuolo (S) |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| *** DISPONIBILI UTC *** | | |
| Hvsr1 | 11,6 | 0,09 |
| Hvsr2 | 4,1 | 0,25 |
| Hvsr3 | 5,57 | 0,18 |
| Hvsr4 | 1,39 | 0,72 |
| *** REPERITE *** | | |
| Down-hole1 – PdR1999 | 5,0 | 0,20 |
| Down-hole2 - PdR1999 | 4,55 | 0,22 |
| Down-hole3 - PdR1999 | 5,89 | 0,17 |
| Down-hole5 - PdR1999 | 5,56 | 0,18 |
| Down-hole1 – PdR2001 | 2,95 | 0,34 |
| Down-hole3 – PdR2001 | 3,03 | 0,33 |

Tabella XI – Frequenza e periodo del sottosuolo ricavato dalle indagini eseguite.

| Indagine sismica | Frequenza (Hz) | Periodo Sottosuolo (S) |
|------------------|----------------|------------------------|
| Hvsr1 | 1,75 | 0,58 |
| Hvsr2 | 1,93 | 0,52 |
| Hvsr3 | 1,19 | 0,84 |
| Hvsr4 | 1,63 | 0,62 |
| Hvsr5 | 2,88 | 0,35 |
| Hvsr6 | 5,0 | 0,20 |

I dati riportati nelle tabelle consentono di affermare che il periodo proprio del sottosuolo del territorio comunale varia tra 0,09 e 0,48 sec. e le frequenze tra 11,6 e 1.19 Hz, un range molto ampio, a testimonianza del fatto che in alcune aree il banco tufaceo è in affioramento.

E' necessario ricordare che quanto più il periodo proprio del sottosuolo si approssima al periodo proprio del manufatto vincolato a esso tanto più, il manufatto stesso è sollecitato per cui, nel territorio studiato, si consiglia di realizzare manufatti con periodo proprio lontano dai valori di T_s riportati nelle tabelle.

d) Categorie di sottosuolo di riferimento (D.M. 17-01-2018).

La valutazione delle categorie di sottosuolo di riferimento del territorio di Quarto è stata eseguita secondo le norme contenute nel D.M. 17-01-2018 riportate di seguito.

L'indagine sismica MASW ha consentito di ricavare il valore della velocità delle onde trasversali dal p.c.. Attesi i risultati ottenuti, discussi nella relazione geofisica (Elab. D.1.3), e sulla base della conoscenza del modello geologico di sito, in ossequio alle disposizioni normative, la risposta sismica locale può essere valutata, ai fini della definizione dell'azione sismica, utilizzando un approccio semplificato. In particolare, la classificazione del sottosuolo di sito può essere ottenuta attraverso la relazione di calcolo del $V_{s,eq}$:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

E' però d'uopo precisare che nella quasi totalità dei siti indagati non è stato intercettato un *bedrock* sismico (caratterizzato da V_s maggiori di 800 m/sec), pertanto la stima del V_s equivalente si riconduce alla stima del parametro (V_{s30}) così come già proposto nel DM 14 gennaio 2008.

Il calcolo del V_{s30} è fondamentale per identificare la categoria di sottosuolo su cui i manufatti futuri saranno realizzati, in ossequio alle Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17 gennaio 2018).

In particolare, il V_{s30} è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

con h_i = spessore dello strato i-esimo

V_i = velocità dell'onda di taglio i-esima

N = numero degli strati.

Nelle tabelle XII e XIII, oltre alle V_{s30} , sono riportate le categorie di sottosuolo di riferimento nei siti d'indagine.

Bisogna considerare che alcune prove masw eseguite non hanno raggiunto la profondità dei 30 m. necessaria per la determinazione della categoria di sottosuolo. Pertanto si è proceduto ad estendere, per tutte le prove che hanno raggiunto almeno 15 m., lo spessore dell'ultimo strato individuato fino a tale profondità, determinando una categoria di "sottosuolo presunta". Per le altre non è stato eseguito nessun computo (vedi tab. XIII).

Tabella XII – Velocità media di propagazione entro 30 m. di profondità delle onde di taglio V_{s30} e categorie di sottosuolo di riferimento ricavate dalle indagini disponibili sul territorio comunale.

| Indagine sismica | V_{s30} (m/s) | Categoria Sottosuolo |
|-------------------------|-----------------|----------------------|
| *** DISPONIBILI UTC *** | | |
| Masw1 | 328 | C |
| Masw2 | 325 | C |
| Masw3 | 304 | C |
| Masw4 | 282 | C |
| Hvsr1 | 243 | C |
| Hvsr2 | 187 | C |
| Masw7 | 321 | C |
| Masw8 | 309 | C |

Piano Urbanistico Comunale di QUARTO - STUDIO GEOLOGICO
(artt. 11, 12 e 14, L.R. n°9/1983; DM 17.01.2018; O.P.C.M. 3274/2003)

| | | |
|-----------------------|-----|---|
| Hvsr3 | 323 | C |
| Hvsr4 | 276 | C |
| *** REPERITE *** | | |
| Masw1 – P.S. M. Serao | 325 | C |
| Down-hole1 – PdR1999 | 280 | C |
| Down-hole2 - PdR1999 | 236 | C |
| Down-hole3 - PdR1999 | 233 | C |
| Down-hole5 - PdR1999 | 240 | C |
| Down-hole1 – PdR2001 | 210 | C |
| Down-hole3 – PdR2001 | 228 | C |

Tabella XIII – Velocità media di propagazione entro 30 m. di profondità delle onde di taglio Vs30 e categorie di sottosuolo di riferimento ricavate dalle prove M.A.S.W. eseguite sul territorio comunale.

| Prove MASW | V _{s30} (m/s) | Categoria sottosuolo ¹ |
|--------------------|------------------------|-----------------------------------|
| MASW1 | - | - |
| MASW2 | 310 | C |
| MASW3 | 253 | C |
| MASW4 | 432 | C |
| MASW5 | - | - |
| MASW6 ² | - | - |
| MASW7 | 200 | C |
| MASW8 | 223 | C |
| MASW9 | 370 | B |
| MASW10 | - | - |
| MASW11 | 680 | B |
| MASW12 | 385 | B |

Come si può osservare dalle tabelle i suoli di fondazione si presentano per la maggior parte di “Categoria C” e solo raramente di “Categoria B”; le Vs30 di questi ultimi, indicano la presenza del banco tufaceo a pochi metri di profondità.

e) Categorie topografiche di riferimento (D.M. 17-01-2018).

Nell’ambito comunale quindi, in caso di progettazione di opere, tale categoria può essere dedotta preliminarmente dalla carta delle pendenze redatta per codesto studio (Tav. G.4). Da una speditiva visione di tal elaborato si evince che le quasi totalità del territorio ricade nella categoria T1, mentre le rimanenti categorie vanno ad interessare le aree di cave dismesse nonché le zone elevate del territorio comunale, lungo il bordo della caldera flegrea.

¹ Le categorie in rosso sono presunte in quanto la masw non ha raggiunto i 30 m. di profondità.

² Non ha restituito nessun risultato per la probabile presenza di un manufatto in c.a. di notevole spessore.

f) Liquefazione

Per quanto riguarda la possibilità che in occasione di eventi sismici si possa verificare il fenomeno della "liquefazione" si può affermare che la natura e consistenza dei terreni nonché la profondità del pelo libero della falda idrica portano ad escludere il verificarsi del predetto fenomeno.

15. COMMENTI ALLE CARTE

15.1 Carta ubicazione indagini (Tav. G.1)

Sulla carta ubicazioni indagini sono state riportate la posizione sia dei sondaggi a carotaggio continuo, delle prove penetrometriche e delle prove sismiche eseguite per la presente indagine che delle innumerevoli prove "disponibili" eseguite sul territorio comunale. Per queste ultime è indicato il tipo di prova e l'indagine per cui sono state eseguite.

15.2 Carta geolitologica (Tav. G.2)

La carta sintetizza, per quanto possibile, le principali informazioni contenute nei capitoli " Geologia e tettonica del territorio" e "Struttura stratigrafica" ai quali si rimanda per più dettagliate informazioni.

Il territorio di Quarto dal punto di vista geologico è praticamente omogeneo, fatta eccezione per le aree marginali.

In tutto il territorio, infatti, affiorano i depositi piroclastici e lapilli chiari non differenziati e loro suoli della pianura flegrea (cineriti, banchi e lingue di pomice, sabbie a luoghi grossolane e pozzolane separate a volte da paleosuoli) ricoprenti generalmente la formazione del tufo giallo napoletano, talvolta affiorante.

Il deposito prevalente è rappresentato da un banco principalmente cineritico finemente stratificato con livelli di lapilli pomiceo poggiante spesso su paleosuolo, indicato con la sigla VEF12. Per quanto riguarda la successione stratigrafica si rimanda al capitolo "Struttura stratigrafica". Spicca la formazione del tufo giallo napoletano affiorante nelle aree di cava (TGN).

Sulla carta sono evidenziate, le tracce di n.2 sezioni rappresentate su una tavola a parte (Tav. G.3). Tale tavola deve essere considerata solo un approfondimento della "Carta geolitologica".

15.3 Sezioni geolitologiche (Tav. G.3)

La distribuzione verticale dei terreni messa in evidenza dai sondaggi meccanici ha consentito, per quanto siano state evidenziate sensibili variazioni verticali e orizzontali, il loro raggruppamento in sei gruppi principali.

Come detto nel paragrafo precedente sono state elaborate n.2 sezioni geolitologiche. Le sezioni fanno riferimento alla seguente successione stratigrafica:

1. Terreno vegetale limoso e/o sabbioso grigio passante lateralmente a marrone e/o terreno di riporto limoso sabbioso grigio e/o rossastro con pomici sparse;
2. Sabbia limosa con rare pomici e lapilli immerse nella matrice, di colore prevalente grigiastra;
3. Paleosuolo limoso sabbioso talora debolmente argilloso e con livelli torbosi di colore grigio scuro;
4. Limo sabbioso e/o sabbia limosa con pomici e lapilli spersi nella matrice, di colore prevalentemente grigio – giallastro;
5. Sabbia e sabbia limosa debolmente ghiaiosa di colore grigio e grigio scuro;
6. Tufo giallo napoletano, esso si presenta a luoghi incoerente, con variazioni latero-verticali a tufo litificato e zeolitizzato, ed è di colore giallo passante in profondità a grigio.

15.4 Carta delle pendenze, geomorfologica e della stabilità (Tav. G.4-5-7)

Le informazioni riportate su queste carte sintetizzano gli aspetti morfologici più significativi del territorio di Quarto e forniscono un quadro di insieme delle condizioni di stabilità dell'intero territorio comunale.

Il territorio comunale si presenta praticamente pianeggiante (pendenza 0-15°) fatta eccezione per le zone marginali, al confine con Giugliano ad Ovest, con Marano a Nord-Est, a Est e Sud-Est e Sud con Pozzuoli e Napoli, e, le zone di cava dismesse, dove la pendenza raggiunge intervalli di 15-30° e superiore.

Le principali forme riconosciute sono le falde detritiche pedemontane del settore Nord-Orientale ed Orientale, l'orlo della caldera flegrea sull'intero margine settentrionale, le cave dismesse in località Spinelli e Monteleone, nonché l'orlo di un cratere estinto in località Monticelli. La maggior parte del territorio insiste in una conca intracraterica.

Sulla carta sono state individuate diverse aree potenzialmente instabili, localizzate principalmente dove le pendenze superano i 30° e lungo la presenza di canali o depressioni di natura antropica. Le prime sono soggette a fenomeni franosi, visto anche le litologie affioranti, le seconde, invece a fenomeni idraulici. Tali sono state cartografate anche nel P.S.A.I. (aggiornato al 2017) dell'Autorità distrettuale dell'Appennino Meridionale.

15.5 Carta idrogeologica (Tav. G.6)

Sulla carta sono presenti quattro complessi idrogeologici, raggruppati per litologia e diversa permeabilità relativa, i seguenti:

1. Complesso piroclastico rimaneggiato costituito da sabbie, sabbie - limose e talora limi - argillosi. Permeabilità da media a elevata per porosità;
2. Complesso dei depositi piroclastici da caduta costituito da ceneri da fini a grossolane con livelli ghiaiosi di lapillo pomiceo e scoriaceo. Permeabilità da media ad elevata per porosità;
3. Complesso tufaceo del Tufo Giallo Napoletano. Permeabilità da media a bassa per porosità e fessurazione;
4. Complesso lavico. Permeabilità elevata per fessurazione, variabile in funzione del grado di fessurazione.

Il primo complesso può essere considerato ubiquitario.

Sulla carta sono state riportate anche le curve isopiezometriche che variano da 11 a 23 m. s.l.m. e generano una direzione di deflusso principale della falda E-W. Tali curve, mostrano che il pelo libero della falda idrica è profondo più di 50 m. nelle periferie occidentali, settentrionali e sud-orientali del territorio e meno in quelle sud-occidentali e orientali, nella zona centrale della Piana di Quarto si attesta tra i 20 e 40 m.

La direzione di flusso è probabilmente influenzata da copiosi emungimenti effettuati nella parte occidentale del territorio comunale dove sorgevano le principali cave di tufo.

15.6 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Tav. G.8)

L'O.P.C.M. 20-03-203 n.3274 ha individuato n. 4 "macrozone", nelle quali sono stati inseriti tutti i Comuni d'Italia, caratterizzate ciascuna da un valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria "A". Il territorio del comune di Quarto è stato inserito nella "zona 2" caratterizzata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria "A" $a_g = 0.25g$.

Attraverso l'elaborazione delle indagini sismiche eseguite e disponibili (masw, hvsr e down-hole) è stato possibile redigere la carta delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica).

Il territorio comunale è stato suddiviso in due zone **stabili suscettibili di amplificazione locali** che secondo gli "Indirizzi e Criteri della Microzonazione Sismica", redatti nel 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile ed approvati in seno alla Conferenza delle Regioni, sono definite: Zone nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale; tali zone sono caratterizzate dalla presenza di terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde $V_s < 800$ m/s.

Ogni zona stabile suscettibile di amplificazione, cartografata sulla tavola G.8, è contraddistinta da una specifica composizione litologica e da una altrettanto litostratigrafia che ne condiziona quindi l'amplificazione in occasione di un eventuale evento sismico, le zone cartografate sono le seguenti:

- **Zona 1:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi;
- **Zona 2:** Tufo semilitoide e litoide.

Consultando la carta in prospettiva sismica si deduce che la zona 1 è molto diffusa mentre la 2 è distribuita su pochi areali, ai margini del territorio comunale nonché le zone di cava.

Gli Indirizzi e Criteri della Microzonazione definiscono inoltre, anche delle Zone suscettibili di instabilità: Zone caratterizzate da instabilità di versante (frane), liquefazione, presenza di faglie attive e capaci e cedimenti differenziali, tali, da una prima analisi, non sono presenti sul territorio di Quarto.

Per quanto riguarda la possibilità che in occasione di eventi sismici si possa verificare il fenomeno della "liquefazione" si può affermare che la natura e consistenza dei terreni nonché la profondità del pelo libero della falda idrica portano ad escludere il verificarsi del predetto fenomeno.

Le prove sismiche eseguite e disponibili utilizzate per l'elaborazione del presente elaborato si trovano nella relativa cartografia (Cfr. Tav. G.1).

16. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Gli studi e le prove effettuate per lo studio geologico ai fini dell'approvazione del P.U.C. unitamente alle indagini disponibili eseguite sul territorio comunale portano a concludere che il territorio del comune di Quarto può in generale essere utilizzato ai fini edilizi.

Va chiarito, in via prioritaria, che tutte le indicazioni concernenti, le caratteristiche dei terreni fornite nella presente relazione sono utilizzabili solo per la programmazione urbanistica del territorio in quanto la variabilità dell'assetto geologico del sottosuolo impone il ricorso ad indagini puntuali dirette così come

previsto dal DM 11.03.1988, DM 17/01/2018 e dalla L.R. n. 9/1983 e, pertanto, prima della realizzazione di un qualsiasi manufatto si dovrà procedere ad accurate indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche volte ad evidenziare le interazioni tra terreno e struttura.

Ai fini urbanistici non si deve, infatti, prescindere dalle aree a diversa stabilità morfologica che caratterizzano il territorio comunale, pertanto per tali scopi si deve fare inevitabilmente riferimento alla Tav. G.7 "Carta della stabilità" e alla Tav. G.5 "Carta geomorfologica nella quale sono state rappresentate tutte le forme di superficie che caratterizzano, o hanno caratterizzato in passato, l'intero territorio comunale.

In merito alla pericolosità sismica e nello specifico all'intensità sismica che si sviluppa sul territorio comunale a seguito di eventi sismici appenninici o dell'area vulcanica flegrea e vesuviana prossima allo stesso territorio, si rimanda a quanto dettagliatamente specificato nello specifico paragrafo della presente relazione. A tal proposito quindi bisogna far riferimento all'elaborato Tav. G.8 "Carta delle MOPS".

Per quanto concerne il rischio vulcanico, data l'ubicazione del Comune di Quarto nell'area intracraterica Flegrea, sono state accennate le problematiche derivanti da un eventuale eruzione dei Campi Flegrei. Nello specifico paragrafo, infatti, è stato descritto lo scenario definito dal Piano di emergenza (2015) e le prescrizioni richieste dalla specifica Normativa Regionale.

Lo studio redatto consente quindi ai tecnici urbanistici pianificatori di verificare le compatibilità vigenti tenendo conto quindi di tutti gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, sismici e vulcanici che caratterizzano il territorio comunale.

In merito alle prescrizioni da adottare sulla pericolosità idrogeologica del territorio si rimanda a tutto quanto previsto dalle Norme di Attuazione del P.S.A.I., redatto dall'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale e ancora vigente.

Allo stesso tempo si rimanda per gli aspetti del rischio vulcanico a tutto quanto previsto dal Piano di Emergenza dell'Area Flegrea e in particolare alla Delibera di Giunta Regionale n°175 del 03/04/2015 ed i relativi allegati tecnici, ovvero alle prescrizioni da adottare secondo tale Normativa ai fini di pianificazione territoriale. In tutte le aree soggette ad interventi edilizi, inoltre, sarà necessario provvedere al convogliamento razionale delle acque meteoriche nella rete fognaria bianca nonché nei canali Borbonici onde evitare di aggravare la già precaria situazione delle acque sotterranee nonché evitare i rischi di erosione dei terreni superficiali e del sottosuolo che in tutto il territorio sono facilmente erodibili.

Per quanto riguarda la vulnerabilità delle acque sotterranee si fa presente che la presenza di numerosi pozzi idrici, non tutti costruiti a regola d'arte, rende la falda idrica potenzialmente inquinabile; ciò impone la necessità di sistemazioni razionali per i pozzi esistenti e una corretta progettazione ed esecuzione dei pozzi nuovi, adatta a prevenire la possibilità d'inquinamento.

Per quanto riguarda la possibilità che in occasione di eventi sismici si possa verificare il fenomeno della "liquefazione" si può affermare che la natura e consistenza dei terreni nonché la profondità del pelo libero della falda idrica portano ad escludere il verificarsi del predetto fenomeno.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Mariglianella (NA), 15-09-2021

Il geologo incaricato
dr. Carmine Negri Cerciello

(ISCRITTO ALL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE CAMPANIA AL N.2134)

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 1) ALESSIO M., BELLA F., IMPTOTA S., BELLUOMINI G., CALDERONI G., CORTESI C. & TURI B. (1973)- *University of Rome Carbon-14 dates X. Radiocarbon.*, 15, 164-178.
- 2) BARBERI F. , INNOCENTI F. , LIRER L. , MUNNO R. , PESCATORE T. & SANTACROCE R. (1978) – *The Campanian Ignibrite: a Major Prehistoric Eruption in the Neapolitan Area (Italy). Bull. Volcanol.* , 41, 1, 1-22.
- 3) BARBERI F., CASSANO E., LA TORRE P., & SBRANA A: (1991)- *Structural evolution of volcanological and geophysical data. J. Volcan. Geotherm. Res.* , 48, 33-50.
- 4) De Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Calvert A., Bohron B.A., Spera F.J., Belkin H.E. (2001) – *New constrains on the pyroclastic eruptive history of the Campania volcanic Plain (Italy). Mineralogy and Petrology*, 73, pp. 47-65.
- 5) DE' GENNARO, CAPPELLETTI P., LANGELLA A., PERROTTA A. & SCARPATI C, (2000)- *Genesis of zeolites in the Neapolitan Yellow Tyff: geological , olcanological and mineralogical evidence. Contb. Mineral. Petrol.* , 139, 17-35.
- 6) DI GIROLAMO P. (1968a)- *Petrografia dei tufi campani: il Processo di pipernizzazione (tufo→tufo pipernoide→piperno). Rend. Accad. Sci. Fis. Mat., ser. 4*, **35**, 329-394.
- 7) FACCIOLE E. (1986) – *Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica. Quaderni de "La Ricerca Scientifica"- Progetto Finalizzato "Geodinamica". C.N.R. .Roma. Vol. 7-Monografie Finali.*
- 8) DI GIROLAMO P., GHIARA M.R., LIRER L., MUNNO R., ROLANDI G. & STANZIONE D. (1984)- *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei. Boll. Soc. Geol. It.* 103, 349-413.
- 9) DI GIROLAMO P. , LIRER L. , PORCELLI C. & STANZIONE D. (1972)- *Correlazioni stratigrafiche fra le principali formazioni piroclastiche della Campania (Roccamonfina, Campi Flegrei, Somma-Vesuvio. Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.* , 28, 77-123.
- 10) FEDELE L. et alii, *Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000- Foglio 465 Isola di Procida.*
- 11) LIRER L., LUONGO G. & SCANDONE R. (1987)- *On the vulcanogical evolution of Campi Flegrei. EOS*, 68, 26-227.
- 12) LUONGO G., CUBELLIS E., OBRIZZO F. & PETRAZZUOLI F. M. (1991)- *A phisycal model for the origin of vulcanism of the Tyrranian margin: the case of the Neapolitan area. J. Volcan. Geoth. Res.*, 48, 173-185.

- 13) MELE R., PALMA G., SANTO A. and SGAMBATI D. (2004) – *Fenomeni di instabilità dei versanti dei Monti Lattari e dell'Area Flegrea (Campania): scenari di suscettibilità da frana in aree campione*. Quaderni di Geologia Applicata, 11 (1), pp. 1-30.
- 14) ORSI G., D'ANTONIO M., DE VITA S. & GALLO G. (1992)- *The Neapolitan Yellow Tuff, a large magnitude trachitic phreto-plinian eruption dynamics, magma with-drawal and caldera collapse*. J. Volcan. Geotherm. Res. 53, 275-287.
- 15) ORSI G., CIVETTA L., D'ANTONIO M., Di GIROLAMO P. & PIOCHI M. (1995)-*Step-filling and development of a three-layer magma chamber: the NYT case history*. J. Volcan. Geotherm. Res. 67, 291-312.
- 16) ORSI G., DE VITA S., & DE VITO M. (1996)- *The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 74, 179-214.
- 17) PARASCANDOLA A. (1953)- *Sui lavori compiuti nell'Isola di Procida, M.te di Cora, Miseno e Vesuvio per il F. 184 della Carta Geologica d'Italia*. Boll. Serv. Geol. D'It. , 75, 766-778.
- 18) PESCATORE T., ROLANDI G. (1981)- *Osservazioni preliminari sulla stratigrafia dei depositi vulcanoclastici nel settore SW dei campi Flegrei*. Boll. Soc. Geol. It. 100, 233-254.
- 19) RITTMAN A. (1950)- *Sintesi geologica dei Campi Flegrei*. Boll. Serv. Geol. It. 69, 117-128.
- 20) ROLANDI G. (1988)- *Ignibriti e tufi gialli nella Pianura Campana e nei Campi Flegrei: una proposta di riordino*. Convegno "Bradisismo e fenomeni connessi" 4^ Rendiconto 26-26 marzo 1988, 436-446.
- 21) ROSI M. & SBRANA A. (1987) - *Fhlegrean Fields*. Quaderni de " La Ricerca Scientifica", Progetto finalizzato " Geodinamica", n. 114, 9, 1-168. Napoli maggio 1997.
- 22) SCARPATI C., COLE P., PERROTTA A. (1993) – *The Neapolitan Yellow Tuff – A large volume multiphase eruption from Campi Flegrei, Southern Italy*. Bull. Vulcan. , 55, 343-356.
- 23) SCHERILLO A. & SCHERILLO M. (1990) – *I Campi Flegrei e la stratigrafia napoletana*. Quaderni dell'accademia pontaniana, 11.
- 24) VINALE F. (1988) – *Caratterizzazione del sottosuolo di un'area campione di Napoli ai fini d'una microzonazione sismica*. Rivista Italiana di Geotecnica – Anno XXII, n. 2 e 3. Edizioni Scientifiche Italiane. Napoli.