



COMUNE DI AFRAGOLA
Città Metropolitana di Napoli



PIANO URBANISTICO COMUNALE

(Lr 16/2004 - Regolamento 5/2011)

Relazione generale

Tavola G1	Convenzione del 9 ottobre 2020	Firma
	<i>Progettista</i> GNOSIS progetti soc. coop. <i>Responsabile urbanistica</i> ROGER & C. soc. coop a r.l. <i>Collaboratore</i> Ing. Viviana De Salvatore <i>Valutazione ambientale strategica</i> Arch. Pio Castiello <i>Geologia e microzonazione sismica</i> Dott. Giovanni De Falco <i>Uso agricolo dei suoli</i> Sistemi territoriali s.r.l. <i>Analisi socio - economica</i> Dott.ssa Giulia Cianciulli	
	<i>Commissario Prefettizio</i> Dott.ssa Anna Nigro <i>R.U.P.</i> Arch. Agnese Castaldo <i>Dirigente Settore Urbanistica</i> Ing. Domenico Maiello	
giugno 2021	Carta Tecnica Regionale della Campania 2011	Nome file G1_Relazione_generale.pdf

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	3
3. INDAGINI SVOLTE.....	12
3.1 Letture freatimetriche.....	12
3.2 Prove eseguite sotto la direzione dello scrivente.....	14
3.3 Prove disponibili eseguite sul territorio comunale negli ultimi 34 anni.....	18
4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO COMUNALE.....	19
5. GEOMORFOLOGIA E CONDIZIONI DI STABILITA'.....	23
6. CLIMATOLOGIA.....	28
7. IDROGEOLOGIA	31
8. STRUTTURA STRATIGRAFICA.....	35
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	36
9.1 Aspetti generali.....	36
9.1.1. Sondaggi e prove considerate per la caratterizzazione geotecnica	36
9.1.2. Caratterizzazione geotecnica dei terreni.....	74
9.1.2.1 Resistenza a rottura.....	75
9.1.2.2 Deformabilità.....	76
10. PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO COMUNALE	76
11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE.....	84
12. COMMENTI ALLE CARTE.....	88
12.1. Carta geolitologica.....	88
12.2 Sezioni litostratigrafiche.....	90
12.3. Carta geomorfologica e della stabilità.....	90
12.4. Carta idrogeologica.....	91
12.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	92
12.6 Carta ubicazione delle prove.....	93
13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	96

1. PREMESSA

Il Comune di Afragola, con Determinazione del Dirigente Settore Urbanistica n. 20/2021 del 17-06-2021, ha affidato allo scrivente l'esecuzione dello studio geologico del territorio comunale ai fini dell'adozione del 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.

Si ricorda che nella mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica derivante dal progetto S1 dell'INGV si indica che il territorio comunale di Afragola (Na) 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).

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;
- 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.

Tutto ciò al fine di procedere ad 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 generale" conclusiva ed esplicativa dei risultati delle indagini avente l'obiettivo di fornire indicazioni utili per l'elaborazione e l'approvazione del P.U.C. – TAV. G1;
- 2) "Prove fatte eseguire dallo scrivente per l'adeguamento sismico del P.R.G." contenente la ricostruzione stratigrafica e stratimetrica dei terreni

impegnati dai sondaggi geognostici, le tabelle e diagrammi delle prove penetrometriche statiche, le prove geotecniche di laboratorio su alcuni dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi nonché le misure e la interpretazione delle prove sismiche down-hole. -TAV. G2;

- 3) "Prove disponibili", eseguite negli ultimi decenni anni sul territorio comunale contenente le stratigrafie dei sondaggi, le tabelle e diagrammi delle prove penetrometriche statiche, le tabelle e i diagrammi delle prove penetrometriche dinamiche (DPM e DPSH), le prove geotecniche di laboratorio su alcuni campioni prelevati nel corso dei sondaggi predetti nonché i risultati di prove sismiche – TAV. G3/a, G3b, G3c);
 - 4) "Carta geolitologica" dell'intero territorio comunale in scala 1:5.000 – TAV. G4;
 - 5) "Sezioni geologiche" più significative – TAV. G5a, G5b, G5c;
 - 6) "Carta geomorfologica e della stabilità" dell'intero territorio comunale in scala 1: 5.000 – TAV. G6;
 - 7) "Carta delle cavità" in scala 1:2000 che riporta la posizione delle cavità rispetto ai manufatti presenti in superficie – TAV. G7a, G7b, G7c;
 - 8) "Carta idrogeologica" dell'intero territorio comunale in scala 1:5.000 – TAV. G8;
 - 9) "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" dell'intero territorio comunale in scala 1:5.000 – TAV. G9;
 - 10) "Carta ubicazione sondaggi e prove" in scala 1: 5.000 – TAV. G10.
- La carta di base utilizzata è stata fornita dall'U.T.C.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE.

2.1-Geologia

Il territorio del comune di Afragola è localizzato nella parte centrale della Piana Campana, un'ampia e profonda depressione strutturale ("graben") colmata da depositi piroclastici e alluvionali intervallati da frequenti episodi marini e palustri.(Fig. n. 1)

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.

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.



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 ed indagini geofisiche eseguite nell'ambito di una ricerca geotermica nell'Italia Meridionale hanno messo in evidenza 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.

Successivamente 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 pianura, 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 al di sotto di notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari, la Campano Lucana e l'Abruzzese Campana.

In superficie, quindi, sono ben osservabili le strutture marginali del graben. Le strutture recenti principali sono rappresentate da faglie normali orientate NE-SW e NW-SE, che in almeno due fasi del Quaternario hanno determinato rigetti verticali dell'ordine di qualche migliaia di metri. (Fig. n. 2)

Le strutture mioceniche, osservabili ai margini della Piana, sono connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura

sedimentaria triassico-miocenica e non sono legate alle deformazioni attuali del basamento cristallino.

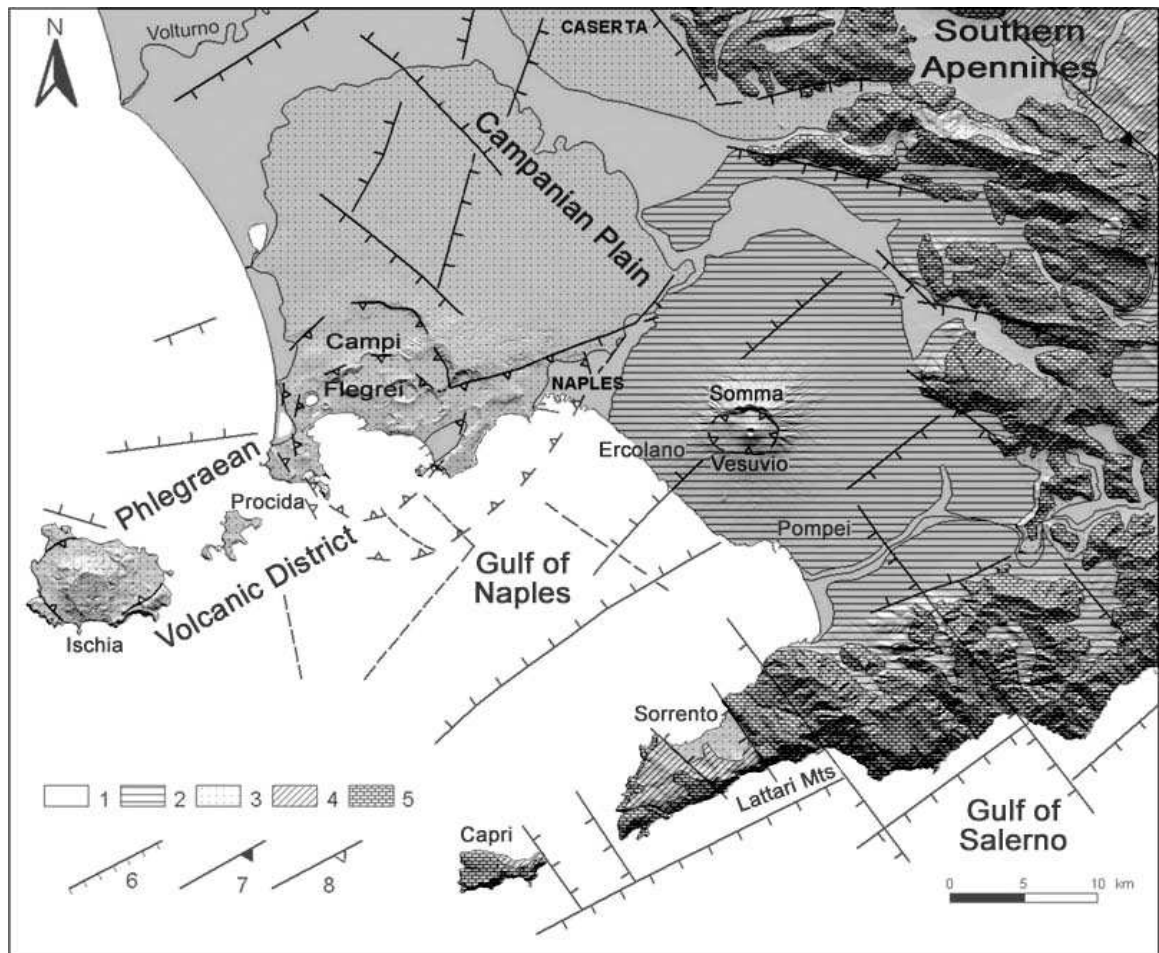


Fig. 2- Mappa geologico strutturale-schematica dell'Area Napoletana della Piana Campana. (da M.A. Di Vito, M. Piochi, A. Mormone, A. Tranelli, 2011).

- 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.

Queste ultime hanno orientamento W-E e sono costituite da una serie di monoclinali immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie normali, aventi rigetti verticali fino a mille metri e che tendono ad estinguersi, verso il basso, sulle superfici di sovrascorrimento.

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.

Le aree vulcaniche marine, antistanti la Piana Campana (Isole Pontine, Ischia), sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena, lungo una fascia in cui, in profondità al di sotto dei depositi del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata del tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita sottostante la catena.

Lungo tale fascia, si potrebbe avere la sovrapposizione della crosta del bordo orientale tirrenico sulle unità sedimentarie ricoprenti la crosta deformata

del margine continentale africano. Le strutture principali recenti che hanno controllato il vulcanismo di questa fascia, quindi, sarebbero da collegare principalmente all'assetto strutturale profondo determinatosi dal Pliocene al Quaternario.

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.

Queste zone vulcaniche sono ubicate in corrispondenza dei graben delimitati da faglie orientate NE-SW e NW-SE, là dove si individuano le zone di massimo sprofondamento. (Fig. n. 2)

La struttura profonda della Piana Campana è stata indagata sia con prospezioni geofisiche che con pozzi profondi.

I sondaggi (profondi sino ad alcune migliaia di metri), però, non hanno mai raggiunto, nella parte centrale del graben, il substrato carbonatico sottostante i potenti depositi alluvionali detritici e vulcanici quaternari.

Le strutture profonde, quindi, risultano ancora oggi di difficile e controversa interpretazione per gli oggettivi limiti delle indagini finora condotte.

I dati pubblicati in letteratura (CELICO, 1983; CIVITA et Alii, 1973; CORNIELLO et Alii, 1990; ORTOLANI & APRILE, 1978; (DE RISO, 1990) indicano un sottosuolo, a partire dall'alto, così articolato:

1. terreni prevalentemente sabbiosi, dunari e di spiaggia e depositi limo-argillosi di interduna, affioranti in una fascia larga circa 1-2 km prospiciente il mare;

2. depositi limo-sabbiosi fluvio-palustri associati a depositi torbosi, che affiorano nelle parti più depresse della piana e raggiungono i massimi spessori (30 m) in prossimità del corso del Volturno;

3. Tufo Grigio Campano, spesso sormontato da piroclastiti sciolte, presente diffusamente nella piana; il banco di tufo si approfondisce e si assottiglia via via che ci si approssima al corso del Volturno; infatti lo spessore complessivo varia dai 40÷45 m alle pendici del recinto montuoso ai 2÷3 m in prossimità del F. Volturno dove sovente il tufo ha consistenza "terrosa" ed a luoghi è assente per fenomeni erosivi locali;

4. terreni sabbioso-limoso-ghiaiosi di ambiente marino, rinvenuti in perforazione alla base del tufo, che talora passano lateralmente o poggiano su terreni granulometricamente affini ma di origine piroclastica, aventi uno spessore di 50÷60 m;

5. -terreni a granulometria fine (da limo-sabbiosi a limo-argillosi), anch'essi di probabile ambiente marino, con spessori di qualche centinaio di metri;

6. -depositi vulcanici antichi (tufi e lave andesitiche e basaltiche attribuibili ad attività preflegrea) con spessori notevoli;

7. -depositi clastici di età mio-pliocenica (profondità 3÷5 km) affioranti localmente all'altezza del raccordo morfologico dei versanti carbonatici con l'area di piana;

8. - terreni in facies di flysch arenaceo argilloso noti in letteratura come *Formazione delle arenarie di Caiazzo*, affioranti con rapporti tettonici nelle aree di rilievo carbonatico;

9. -terreni carbonatici di piattaforma, affioranti intorno alla piana e mai raggiunti dalle perforazioni profonde eseguite nel settore baricentrico della Piana Campana poichè ribassati da "ripide" gradonate di faglia.

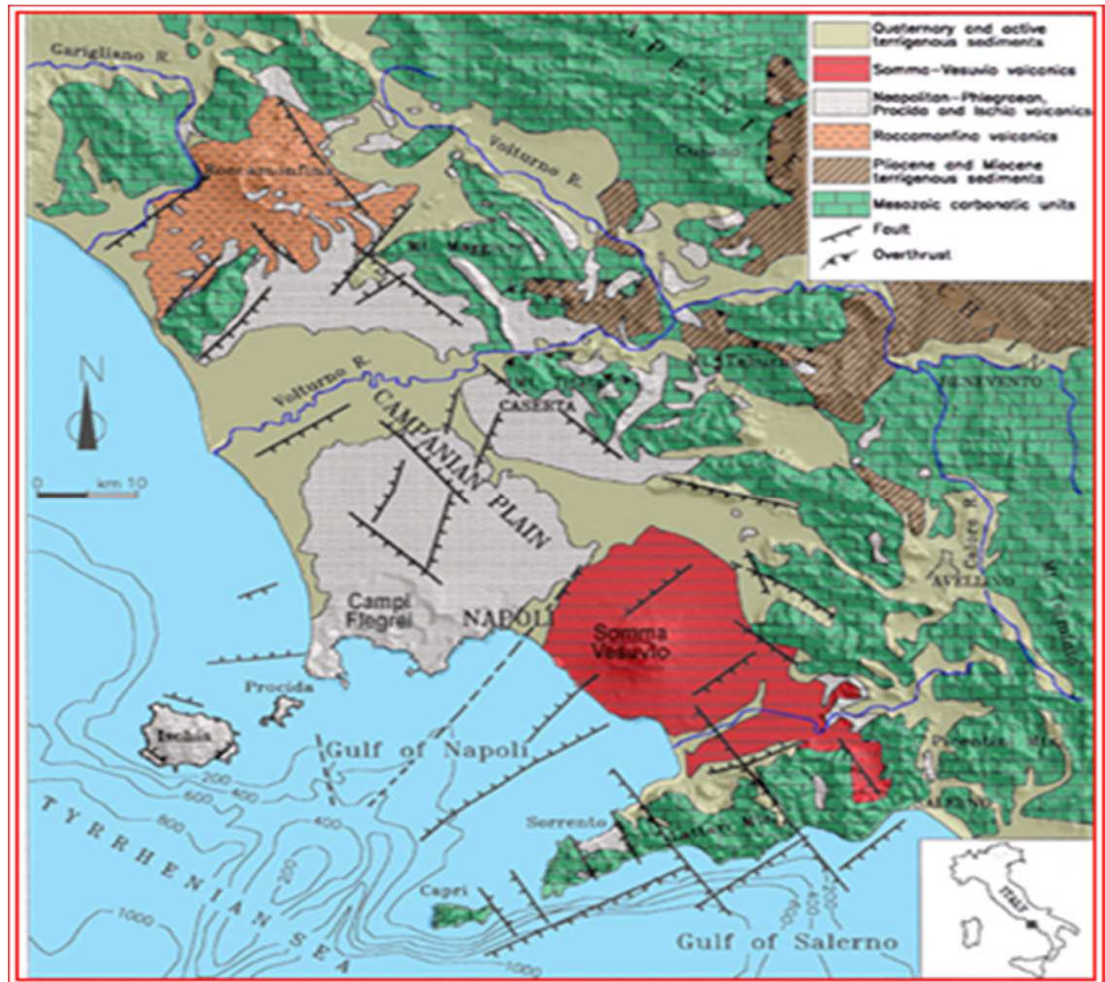


Fig. 3 – Schema geologico della Piana Campana

Nella Piana il tetto del Tufo Grigio Campano si approfondisce man mano che si passa dalle zone periferiche della Piana Campana al corso del fiume Volturno; la massima profondità si raggiunge nella parte terminale del corso del fiume (circa -20 m s.l.m.). A NW dell'allineamento Napoli-Caserta la morfologia attuale del suolo riproduce a grandi linee l'andamento del Tufo Grigio Campano; a SE di tale allineamento ad un'immersione generale del tetto del tufo verso il Vesuvio corrisponde un andamento topografico superficiale opposto.

Nella zona del basso corso del fiume Volturno i terreni di copertura hanno spessore variabile da circa 20 m a circa 40 m. In questa zona, tra Cancellone Amone e Villa Literno, a luoghi, non si rinviene la formazione tufacea; questa mancanza è da attribuire all'azione di processi erosivi successivi alla messa in posto dell'ignimbrite (Ortolani & Aprile, 1985).

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

Osservando la carta delle isopache (Fig. 4), si nota chiaramente un andamento decrescente dello spessore della formazione ignimbrifica seguendo l'allineamento che parte dai monti di Caserta e termina nell'area compresa tra il Lago Patria e l'abitato di Giugliano e ad est di questo ultimo. Queste zone presentano il massimo spessore e coincidono, in pratica, con le zone di minore profondità del tetto del tufo.

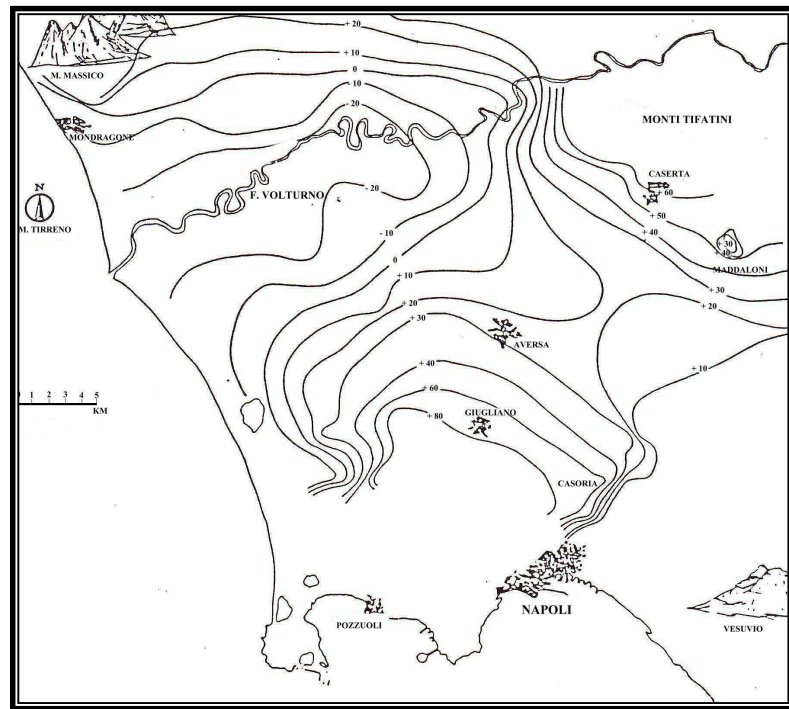


Figura 4– Carte delle isopache dell'Ignimbrite Campana (da Ortolani & Aprile, 1985)

In particolare il territorio strettamente studiato, come già ricordato, è collocato, dal punto di vista geologico, nella parte centrale della “Piana Campana” e i terreni di copertura della gran parte del territorio comunale appartengono al Subsistema di Contrada Romano (VEF₁₂) caratterizzati da una successione di terreni prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di pomici. Tutti i predetti depositi poggiano, con l'interposizione di un paleosuolo ocraceo su un banco di Tufo Grigio Campano. Nella parte alta della successione si rinvencono depositi piroclastici dell'eruzione vesuviana di Avellino. I vari livelli sono separati da superfici erosive o paleosuoli. (R. Isaia, E. Iannuzzi, A. Sbrana, P. Marianelli (2016) - Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447).

Nella parte nord-orientale del territorio studiato sono presenti “depositi piroclastici distali, medio distali e vulcano-sedimentari presenti nelle parti esterne dell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio ed i depositi fluviali di piana di esondazione, di fondovalle,.....Includono limi sabbiosi palustri con livelli torbosi della Piana del Sebeto....” . Al confine con l'angolo sud-orientale del territorio stesso si rinvencono “limi argillosi lagunari e lacustri”. (R. Isaia, E.

Iannuzzi, A. Sbrana, P. Marianelli (2016) - Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447).

La geologia del territorio, infatti, è caratterizzata:

- 1) nella parte occidentale da una successione di depositi cineritici stratificati della Piana Circumflegrea intercalati da livelli di pomici (Astroni, Agnano) separati da paleosuoli e con a letto sabbia e sabbia limosa grigio giallastra a luoghi addensata e laminata con intercalati minuti livelli e lenti di pomici (facies distale del Tufo Giallo Napoletano) ricoprenti generalmente, con l'interposizione di un paleosuolo, un banco di Tufo Grigio Campano. Nella parte alta della successione è presente un livello di sabbia limosa addensata e laminata con a letto, con l'interposizione di un paleosuolo, pomici grigie (eruzione vesuviana delle pomici di Avellino);
- 2) nella parte nord orientale da una successione di depositi cineritici stratificati delle parti esterne dell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio con intercalati livelli di pomici separati da paleosuoli (Astroni, Agnano) seguiti da sabbia e sabbia limosa grigio giallastra a luoghi addensata e laminata con intercalati minuti livelli e lenti di pomici (facies distale del Tufo Giallo Napoletano) ricoprenti generalmente, con l'interposizione di un paleosuolo, un banco di Tufo Grigio Campano.

Sinteticamente nel territorio comunale si rinvencono:

- 1) Coperture piroclastiche a luoghi rimaneggiate riconducibili ai prodotti del III periodo flegreo e subordinatamente del Somma-Vesuvio;
- 2) Prodotti del II periodo flegreo costituiti da sabbie limose e/o limi sabbiosi grigio giallastri con pomici riconducibili alla facies distale del Tufo Giallo Napoletano;
- 3) Prodotti del I periodo flegreo costituiti essenzialmente dal Tufo Grigio Campano (Ignimbrite Campana).

Di Girolamo e Morra in *"The Campanian Ignimbrite"* (Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. In Napoli. Special Issue, 1987, pp. 177-199) così descrivono i caratteri petrografici, geologici, chimici e vulcanologici di quest'ultima formazione:

- 1)- *L'Ignimbrite rappresenta una unità disposta su di un'area di circa 10.000 kmq con uno spessore che raggiunge spesso i 50 metri ed un volume superiore agli 80 kmc. E' uno dei prodotti vulcanici più caratteristici ed è usato come materiale da costruzione, in quest'area, da circa 3.000 anni;*
- 2)- *Fenomeni minerogenetici secondari (sin, post-deposizionali), hanno portato a litologie differenti per tessiture, minerali secondari, caratteristiche tecniche;*
- 3)- *I caratteri tessiturali mostrano che si tratta di un'eruzione fessurale avvenuta lungo serie di fratture ad andamento appenninico (WNW-ESE) disposte fra la parte nord dei Campi Flegrei e Napoli;*
- 4)- *L'Ignimbrite è stata , probabilmente, messa in posto con un'alta velocità di fuoriuscita del magma; è di tipo "sillar" e "low-grade ignimbrite". Infatti il flusso piroclastico ha coperto montagne e attraversato mari; inoltre tale flow non era eccessivamente caldo (alto rapporto aria/calore magmatico) e non si è saldato, ma solo "litificato" per neoformazione di minerali e altre fasi secondarie (K-feldspato, zeoliti, gel o idrossidi di ferro). Una temperatura di messa in posto fra 600° e 550 °C è stata misurata lungo una distanza di 50 Km a partire dalla frattura eruttiva.*

Oltre questa facies di flow presente in Campania esiste una facies di ash-fall molto sottile ("ash dust") ricaduta su immense aree italiane;

5)- I caratteri petrochimici mostrano che tale unità è zonata e presenta una variazione composizionale continua , verso l'alto, da sialica (alcali-trachite) a relativamente femica (trachite). Il magma subì probabilmente un frazionamento gravitativo cristalli-liquido;

6)-L'Ignimbrite è costituita da granuli a dimensione di cenere, per più del 50% del volume , da pomici, scorie e subordinatamente da litici (frammenti di lava) e cristalli (sanidino, plagioclasti, clinopirosseni e biotite).

Rolandi G. in "Ignimbriti e tufi gialli nella Pianura Campana e nei Campi Flegrei: una proposta di riordino" (Convenzione di ricerca "Bradismo e fenomeni connessi"- 4^a Rendiconto, 1988) evidenzia la presenza di due flussi ignibritici :

- Ignimbrite basale che si rinviene in tutte le province campane, da Mondragone a Sorrento, di colore grigio, sebbene presenti localmente chiazze di trasformazione zeolitica gialle, comunque nettamente subordinate al colore predominante. Questa ignimbrite con la sua estesa distribuzione deve essere identificata nell'Ignimbrite Campana, con età 36.000 B. p. ;

- Ignimbrite sommitale di colore giallo, con a tetto una fascia incoerente di pozzolane rosate con pomici a nucleo verdognolo, di spessore variabile. La zona di origine di questo deposito viene individuata tra le località di Poggioreale e Paesole d'Arpino (Casoria), con un'area proximale occidentale che si estende tra i Ponti Rossi e il Parco Grifeo (Tufi giallo-rossi di Scherillo).

L'Ignimbrite campana è stata datata recentemente 39.28 ± 0.11 ka da De Vivo et alii (2001).

La messa in posto dell'Ignimbrite Campana è avvenuta in un periodo di "bassi tassi di subsidenza della piana e con una oscillazione glacioeustatica negativa e ha contribuito al colmamento e alla definitiva emersione dei settori settentrionali e centrali dell'area"(Putignano et alii, 2007).

La formazione più estesa che si rinviene a tetto dell'Ignimbrite Campana e degli altri terreni precedenti ad essa presenti nell'area è la facies distale del Tufo Giallo Napoletano. Quest'ultima si presenta come una coltre discontinua di cenere (limo sabbioso e/o sabbia limosa con rade e minute pomici) grigio-giallastra.

Successivamente i terreni che hanno completato il colmamento nelle parti centrale e costiera della piana sono riferibili alla sedimentazione marina e transizionale originata dalla trasgressione versiliana.

2.2-Geomorfologia

Le aree di piana, a cui appartiene il territorio studiato, sono state per la maggior parte "oggetto di bonifica e regimazione artificiale dei corsi d'acqua superficiali sin dal periodo borbonico" per cui "è difficile trovare un impluvio che non abbia subito interventi antropici di tipo idraulico (Regi Lagni) o legati ad attività estrattive".(R. Isaia, E. Iannuzzi, A. Sbrana, P. Marianelli (2016) - Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447)

Nella piana, poi, si rilevano "gli alti morfologici legati all'affioramento dei depositi di Tufo Grigio Campano" e, nella parte settentrionale della stessa, "le deboli quanto estese concavità morfologiche sede di processi eluvio-

colluviali".(R. Isaia, E. Iannuzzi, A. Sbrana, P. Marianelli (2016) - Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447).

2.3-Idrogeologia

Larga parte della Piana Campana è sede di una falda idrica molto produttiva che viene alimentata lateralmente dalla falda di base dei massicci carsici e trova sede nella pila di sedimenti vulcanoclastici, strutturati in livelli e lenti variabili per litologia e granulometria, che riempiono il graben "Piana Campana".

Generalmente la circolazione idrica sotterranea avviene per falde sovrapposte e gli orizzonti acquiferi corrispondono ai livelli a granulometria grossolana.

L'acquifero principale, alimentato dalla struttura carbonatica e in parte dal complesso del Somma-Vesuvio, trova sede nel forte spessore di piroclastiti e/o di depositi sedimentari sciolti e grossolani che generalmente si rinvencono a letto del banco di "Tufo Grigio Campano" e/o delle lave del Somma che spesso, in funzione dello stato di litificazione e fratturazione, si comportano da elementi di confinamento(Fig. n. 5).

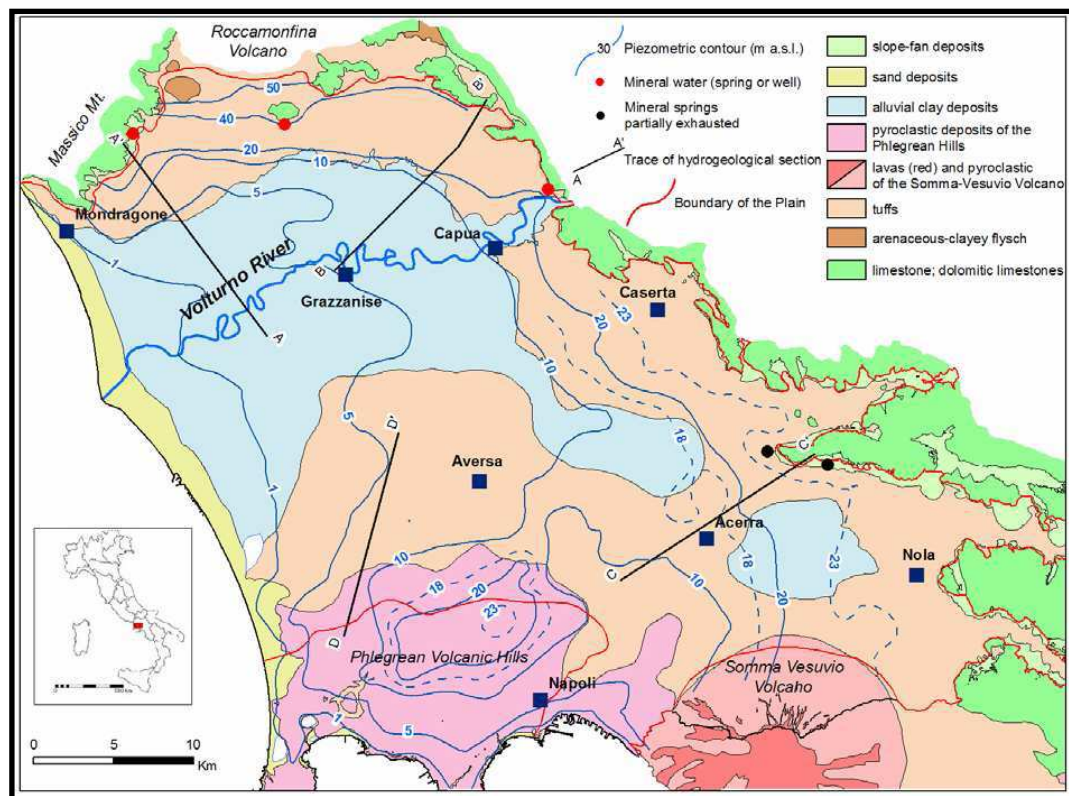


Fig. 5 - Carta idrogeologica della Piana Campana (da Ducci, 2007).

Questa situazione idrogeologica è molto comune nella Piana Campana dove è presente una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro.

Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, porta

all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti.

Nella parte della Piana a cui appartiene il territorio studiato la circolazione idrica sotterranea avviene nei livelli di pomici, scorie, brecce vulcaniche e sabbie permeabili per porosità. In questa parte del territorio la presenza della formazione del tufo grigio campano, caratterizzato da un minor grado di permeabilità relativa rispetto agli altri termini litologici, consente di distinguere due falde, una in condizioni freatiche localizzata al di sopra del banco di Tufo Grigio Campano e l'altra in condizioni di semiconfinamento a letto del banco di tufo grigio stesso.

3. PROVE ESEGUITE SUL TERRITORIO COMUNALE

In via preliminare lo scrivente ha effettuato il rilievo geologico e geomorfologico del territorio comunale. Nel 2004, inoltre, in occasione dello studio geologico del territorio comunale per l'adeguamento sismico del P.R.G., effettuò il censimento di un numero congruo di pozzi in cui furono eseguite le misure freatimetriche.

3.1 Letture freatimetriche

Su un certo numero degli innumerevoli pozzi presenti sul territorio comunale furono eseguite dallo scrivente le misure della profondità del pelo libero della falda ai fini della ricostruzione della morfologia piezometrica e dell'individuazione delle principali direttrici di flusso di essa.

Di seguito si riportano le coordinate Gauss-Boaga Est, le letture della profondità del pelo libero della falda e le quote piezometriche rilevate i giorni 17, 21, 22, 24, 27, 28 e 29 settembre e 01, 05, 08, 18, e 19 ottobre 2004 in n. 53 pozzi censiti dallo scrivente su tutto il territorio comunale ed in n. 4 sondaggi. Un certo numero di pozzi è stato solo riportato sulla "Carta Idrogeologica" in quanto in essi non fu possibile effettuare la misura della profondità della falda idrica a causa di difficoltà di accesso e/o perché i pozzi risultavano ermeticamente chiusi.

I pozzi sono più frequenti nella parte orientale del territorio e nelle fasce meno urbanizzate dello stesso. L'ubicazione dei pozzi rilevati è riportata nella "Carta idrogeologica"; sulla stessa, inoltre, sono state riportate le posizioni della maggior parte dei pozzi ARIN presenti sul territorio comunale.

L'elaborazione dei suddetti dati ha consentito la costruzione della carta idrogeologica nella quale sono riportate le curve isopiezometriche e gli assi di drenaggio preferenziale della falda idrica. Il commento alla Carta Idrogeologica è riportato in un paragrafo a parte della presente relazione.

Nella tabella I sono stati riportati i dati rilevati.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di
Afragola (Na)

Tabella I- Letture freatimetriche.

Nume ro Pozzo	Latitudine X	Longitudine Y	Quota testa (*) Pozzo (m.s.l.m.)	Profondità Pelo libero (m)	Quota piezometrica (m.s.l.m.)	Data lettura
1	4529945	2462699	37.50	25.35	12.15	17-09-2004
2	4529083	2462051	50.20	37.50	12.50	“ ”
3	4530894	2461051	42.30	29.25	13.05	“ ”
4	4531614	2461452	34.10	21.10	13.00	“ ”
5	4531940	2461200	36.30	22.10	14.20	“ ”
6	4531286	2461474	36.50	22.30	14.20	21-09-2004
7	4532464	2461819	31.80	18.35	13.45	“ ”
8	4531714	2462959	26.80	12.40	14.40	“ ”
9	4532285	2463551	23.00	7.80	15.20	“ ”
10	4532689	2463737	23.30	6.95	16.35	“ ”
11	4532805	2463492	23.10	6.80	16.30	“ ”
12	4532916	2463081	24.60	7.25	17.35	“ ”
13	4532983	2462795	25.00	7.90	17.10	“ ”
14	4532334	2464043	23.10	6.40	16.70	“ ”
15	4532079	2464340	23.10	6.10	17.00	“ ”
16	4531741	2464213	23.80	6.85	16.95	“ ”
17	4532653	2464318	22.80	5.95	16.85	22-09-2004
18	4532565	2464557	23.20	6.10	17.10	“ ”
19	4532544	2464653	23.00	5.60	17.40	“ ”
20	4532550	2464779	22.20	5.52	17.28	“ ”
21	4532875	2465068	23.00	5.30	17.70	“ ”
22	4532966	2464980	22.50	5.30	17.20	“ ”
23	4533119	2464250	22.30	5.52	16.78	“ ”
24	4530259	2460808	49.00	34.40	14.60	24-09-2004
25	4529881	2463587	32.60	20.50	12.10	27-09-2004
26	4529984	2463587	32.50	20.70	11.80	“ ”
27	4530441	2464078	27.40	14.95	12.45	“ ”
28	4530016	2464298	28.40	16.00	12.40	“ ”
29	4529959	2464678	25.20	13.20	12.00	“ ”
30	4530940	2464614	23.00	7.00	16.00	“ ”
31	4531247	2464799	23.60	7.10	16.50	“ ”
32	4531384	2464936	23.40	6.50	16.90	“ ”

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di
Afragola (Na)

33	4529369	2462221	46.20	33.80	12.40	28-09-2004
34	4530703	2464851	23.20	6.55	16.65	“ ”
35	4530802	2465315	23.00	5.95	17.05	“ ”
36	4530898	2466001	22.90	6.00	16.90	“ ”
37	4531138	2465993	23.90	5.70	18.20	“ ”
38	4531258	2465992	24.00	5.90	18.10	“ ”
39	4531003	2465749	23.20	5.80	17.40	“ ”
40	4530993	2465512	22.90	5.25	17.65	“ ”
41	4531704	2461639	34.90	20.35	14.55	29-09-2004
42	4531177	2463462	24.90	11.50	13.40	01-10-2004
43	4531216	2463732	25.20	12.20	13.00	“ ”
44	4530594	2463481	28.20	16.05	12.15	“ ”
45	4529588	2463384	36.80	25.50	11.30	“ ”
46	4528970	2463109	45.60	35.40	10.20	05-10-2004
47	4528933	2463427	45.00	34.50	10.50	“ ”
48	4528777	2463342	45.00	35.45	9.55	“ ”
49	4528066	2463667	27.50	18.40	9.10	“ ”
50	4528464	2461846	57.00	44.25	12.75	“ ”
51	4530370	2461866	30.40	25.60	13.80	18-10-2004
52	4531887	2465969	23.80	5.30	18.50	“ ”
53	4530578	2465969	25.80	12.00	13.80	19-10-2004
S3	4530306	2462731	33.80	21.00	12.80	22-10-2004
S2	4530662	2462411	36.00	22.25	13.75	“ ”
S7	4531214	2461141	40.20	27.10	13.10	“ ”
S1	4530944	2461658	36.50	22.40	14.10	“ ”

(*) le quote del piano campagna sono state ricavate dal rilievo aerofotogrammetrico della Provincia di Napoli in scala 1:5.000.

Per il presente studio sono state utilizzate un consistente numero di prove eseguite sul territorio comunale nel corso degli ultimi decenni realizzando così un notevole risparmio dal punto di vista economico.

3.2 – Prove eseguite sotto la direzione dello scrivente

3.2.a – Prove eseguite per l'adeguamento sismico del PRG

Nel mese di settembre 2004, inoltre, a seguito di determina del dirigente del settore 4 n. 94/C del 23-09-2004, ai fini dell'adeguamento sismico del PRG, furono eseguite dalla Trivel Sondaggi sas di Crispiano (Na) le seguenti prove di campagna:

- n. 10 sondaggi a carotaggio continuo profondi 30 metri;
- n. 30 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n. 6 prove penetrometriche statiche CPT;
- n. 10 prove sismiche in foro tipo down-hole.

Furono, inoltre, eseguite le prove geotecniche di laboratorio su n. 5 campioni indisturbati e n. 3 campioni di tufo, comprendenti:

- n. 5 caratteristiche fisiche generali;
- n. 5 analisi granulometriche;
- n. 4 prove di taglio diretto c.d.;
- n. 2 prove di compressione triassiale c.d.;
- n. 3 prove di compressione edometrica;
- n. 3 prove di compressione semplice di cubetti di tufo con determinazione del peso di volume;
- n. 1 determinazione del peso di volume di un campione prelevato da una carota di tufo.

Tutte le predette prove sono state riportate nel fascicolo "Prove fatte eseguire dallo scrivente per l'adeguamento sismico del P.R.G.", Tav. G2 allegato alla presente relazione.

3.2.a.1- Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

Nei giorni 23, 24, 27, 28, 29 e 30/09/2004 e 01, 18, 19, e 20-10-2004 furono eseguiti n. 10 sondaggi a carotaggio continuo per complessivi 303 ml con una sonda MK 400 della CMV di proprietà della TRIVELSONDAGGI s.a.s di Crispano (Na). I sondaggi raggiunsero una profondità massima di 32 metri.

Nel corso dei sondaggi furono prelevati n. 6 campioni indisturbati e n. 4 campioni di tufo ed eseguite n. 30 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT in corrispondenza di orizzonti significativi o comunque a quote prefissate.

La prova SPT consiste nel rilevare il numero dei colpi, di un maglio di 63,5 Kg che cade liberamente da un'altezza di 76,2 cm, occorrenti per infiggere nel terreno l'apposito attrezzo normalizzato (Campionatore Raymond) per tre tratti di 15 cm e valutando la somma dei colpi relativi agli ultimi 30 cm di infissione.

La campionatura continua del terreno permise la ricostruzione delle stratigrafie dei punti di indagine. Nel corso dei sondaggi S9 e S10 furono rilevati chiari livelli di tufo non o scarsamente litificati. Le colonne stratigrafiche riportanti i risultati delle prove SPT sono contenute nel fascicolo "Prove fatte eseguire dallo scrivente per l'adeguamento sismico del P.R.G.", Tav. G2.

I n. 10 fori di sondaggio furono condizionati per l'esecuzione di prove sismiche in foro tipo down-hole.

3.2.a.2-Prove penetrometriche statiche

Il giorno 26/10/2004 furono eseguite n. 7 prove penetrometriche statiche per complessivi 75.5 ml con un penetrometro statico di tipo olandese, il PAGANI TG 63-200KN, della portata massima di 200 KN. Le prove raggiunsero una profondità massima di 17.80 m. Nella prova n. 6 lo strumento si arrestò alla profondità di 1.50 metri probabilmente a causa di un masso presente nel terreno di riporto.

Il penetrometro, dotato di punta meccanica tipo Begemann di sezione di 10 cmq, misurò, ogni 20 cm., la resistenza alla punta (Rp), la resistenza laterale su manicotto (Rll o Rl) e la resistenza totale (Rt).

I valori furono rilevati mediante cella di carico di sommità (classe 0,2) e visualizzati da una centralina elettronica.

Nel nostro caso il penetrometro, un PAGANI TG 63-200 KN, era montato su cingoli di gomma, effettuò prove penetrometriche statiche (CPT) fino a 200 KN di spinta ed fu ancorato mediante 2 trivelle del diametro di 300 mm che furono infisse dal penetrometro stesso e recuperate automaticamente a prova terminata.

I risultati delle prove furono riportati su diagrammi in cui sulle ordinate figurano le profondità in metri dal piano di campagna e sulle ascisse i valori della resistenza alla punta R_p e della resistenza laterale R_l espresse in kg/cmq.

I risultati delle prove, correlati alle analisi di laboratorio ed alle prove SPT, contribuiscono a fornire un quadro sufficiente delle caratteristiche geotecniche dei terreni studiati.

3.2.a.3 - Prove sismiche

Nei fori di sondaggio condizionati con tubi in PVC da 80 mm di diametro, in data 13, 18, 19, 26 e 28-10-2004, furono eseguite n. 10 prove sismiche in foro tipo down-hole.

Come sorgente energizzante fu utilizzato un martello del peso di 5 kg col quale fu percossa una piastra metallica posta sul terreno con un'inclinazione di 45° rispetto ad esso. La piastra fu posizionata ad una distanza di 2,00 metri dai fori; di tale distanza si tenne conto per la correzione dei tempi di arrivo ed essa fu giudicata adatta sia a evitare il condizionamento del segnale da parte della cementazione del foro che a ottenere una buona ricezione del segnale all'interno del foro.

Per la rilevazione dei tempi di arrivo fu utilizzata una sonda dotata di un sistema pneumatico di ancoraggio alle pareti del foro manovrato dalla superficie e costituita da 5 geofoni con risposta lineare a partire da una frequenza di 10 Hz, di cui 4 disposti nel piano orizzontale con uno sfasamento reciproco di 45 gradi per la rilevazione delle onde S ed il quinto disposto normalmente agli altri per la rilevazione delle onde P.

Furono eseguite complessivamente 150 misure a profondità decrescenti con un incremento medio di 2 metri a partire dal fondo foro e furono registrati i sismogrammi da cui sono stati individuati i tempi di arrivo delle onde P e delle onde S.

La risposta sismica fu rilevata mediante un sismografo marca PASI modello 16 S 12 a 12 canali di registrazione, con processore Pentium 200, display VGA a colori in LCD-TFT 10.4", trattamento del segnale a 16 bit, risoluzione di acquisizione a 16 bit, attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e "notch" e registrazione automatica dei dati.

Le registrazioni relative ad ogni intervallo di profondità consentirono di ricavare i tempi di arrivo delle onde longitudinali e trasversali e di fornire, per ogni misura e per i predetti intervalli di profondità, valori medi nonché, attraverso la conoscenza della densità naturale dei terreni, la determinazione delle caratteristiche di risposta dinamica dei terreni stessi (coefficiente di Poisson $[\nu]$, modulo di Young $[E]$, modulo di taglio dinamico $[G]$ e modulo di Bulk o di incompressibilità $[K]$).

Le prove eseguite misero in evidenza generalmente un incremento graduale con la profondità sia delle onde P sia delle onde S ed in particolare le prime hanno velocità comprese tra 236 e 1592 m/sec e le seconde tra 74 e 701 m/sec.

In tutte le prove furono messe in evidenza inversioni di velocità in corrispondenza del passaggio dal banco di Tufo Grigio Campano ai terreni sciolti posti a letto di esso.

Le prove down-hole, infine, si rivelarono abbastanza correlabili sia per quanto riguarda gli spessori che per le velocità riscontrate ed consentirono di individuare quattro sismostrati con velocità e spessori variabili e in particolare:

- il primo strato, dello spessore di 4-8 m., è caratterizzato da valori della velocità media delle onde longitudinali (P) pari a $250 \div 500$ m/s e una velocità delle onde S di $90 \div 140$ m/s;
- il secondo strato, corrispondente alla formazione delle piroclastiti mediamente addensate, dello spessore di 4 – 10 m., è caratterizzato da valori di Vp variabili tra 500 e 900 m/s e di Vs medio di circa 300 m/s;
- il terzo sismostrato, la formazione del Tufo Grigio Campano, dello spessore di 8 – 14 m., caratterizzato da velocità medie di Vp pari a 1500 m/s e di Vs di circa 650 m/s.
- il quarto e ultimo strato, individuato a letto della formazione del Tufo Grigio Campano, caratterizzato da velocità medie di Vp pari a 1200 m/s e di Vs di circa 500 m/s.

Il responsabile delle indagini, per la parte di campagna, fu il dott. Antonio D'Errico.

3.2.a.4 – Prove geotecniche di laboratorio

Sui sei campioni indisturbati di terreno sciolto prelevati furono eseguite, dal laboratorio geotecnico Ambiente e Territorio con sede in via Molinelle, 27-Monteforte I. (Av), le seguenti prove geotecniche di laboratorio:

- n. 6 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
- n. 6 determinazioni del peso di volume;
- n. 6 determinazioni del peso specifico dei grani;
- n. 6 analisi granulometriche;
- n. 4 prove di taglio diretto
- n. 2 prove triassiali C.I.D.;
- n. 3 prove di compressione edometrica.

Sulle n. 4 carote di tufo prelevate nel corso dei sondaggi, inoltre, furono eseguite n. 4 determinazioni del peso di volume e n. 3 prove di compressione semplice.

3.2.b – Prove eseguite per il progetto del “Centro-servizi alle imprese del parco produttivo di località Cantariello”

Nel giugno 2003 per il “Centro-servizi alle imprese del parco produttivo di località Cantariello” furono eseguite le seguenti prove:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 8 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n. 4 prove penetrometriche statiche (CPT).

Tutti gli elaborati riguardanti le predette prove sono stati riportati nel fascicolo “Prove disponibili”, Tav. G3c allegato alla presente relazione.

3.2.b.1- Sondaggi a carotaggio continuo.

Nel giugno 2003, furono eseguiti, come è stato già detto, n. 2 sondaggi a c.c. per complessivi 33 ml con una sonda MK 200 della CMV fornita dalla ditta Trivel Sondaggi s.a.s. di Crispano. I sondaggi raggiunsero la profondità massima di 18 metri e nel corso di essi furono eseguite n. 8 prove penetrometriche

dinamiche in foro tipo SPT in corrispondenza di orizzonti significativi o comunque a quote prefissate.

La campionatura continua del terreno permise la ricostruzione delle stratigrafie dei punti di indagine. Le colonne stratigrafiche contenenti i risultati delle prove SPT sono contenute nel fascicolo "Prova disponibili" precedentemente ricordato.

3.2.b.2 - Prove penetrometriche statiche.

Nel giugno 2003 furono eseguite n. 4 prove penetrometriche statiche per complessivi ml 54.60 che raggiunsero la profondità massima di 14.60 m.

Le prove furono eseguite con un penetrometro statico di tipo olandese della portata massima di 20 tonnellate, il DOLMEN della SUNDA, fornito dalla I. Geo sas di Pastorano (Ce).

3.2.c – Prove eseguite per altre indagini

Sono state prese in considerazione, inoltre, le prove penetrometriche statiche e dinamiche fatte eseguire dallo scrivente per le seguenti indagini:

3.2.c.1 - Realizzazione di un impianto di gas metano in due aree in via Marzia Sepe

Per la realizzazione di un impianto di gas metano in via Marzia Sepe furono eseguite, nel settembre 2001, n. 2 prove penetrometriche statiche per complessivi 27 ml che raggiunsero la profondità massima di 13.60 m.

Le prove furono eseguite con un penetrometro statico di tipo olandese della portata massima di 20 tonnellate, il DOLMEN della SUNDA, fornito dalla I. Geo sas di Pastorano (Ce).

Il penetrometro, dotato di punta meccanica tipo Begemann di sezione di 10 cmq, misura la resistenza alla punta (R_p), la resistenza laterale su manicotto (R_{ll} o R_l) e la resistenza totale (R_t). A seguito dello spostamento in un lotto vicino dell'area d'intervento furono eseguite, nel gennaio 2004, n. 1 prova penetrometrica statica e n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante per complessivi 29,20 ml che raggiunsero la profondità massima di 17.20 m.

3.2.c.2 - Riqualificazione dell'area via Oberdan – via U. La Malfa, aprile 2002

Per la riqualificazione dell'area via Oberdan – via U. La Malfa furono eseguite, nell'aprile 2002, n. 4 prove penetrometriche statiche per complessivi 60.40 ml che raggiunsero la profondità massima di 15.80 m.

Le prove furono eseguite con un penetrometro statico di tipo olandese il Pagani TG 63-200 kN fornito dalla I. Geo sas di Pastorano (Ce).

3.3 – Prove disponibili eseguite sul territorio comunale negli ultimi 34 anni

Come è stato detto in premessa sono state, altresì, tenute presenti, quali utili elementi di approfondimento e di confronto, le seguenti ulteriori prove eseguite sul territorio comunale negli ultimi 34 anni:

a) la campagna di indagini eseguita nel 1987 e nel 1992 per l'adozione del P.R.G. costituita da:

- n. 25 sondaggi;
- il prelievo di n. 10 campioni indisturbati;
- n. 34 prove penetrometriche dinamiche leggere;
- n. 4 prove sismiche in foro tipo Down-Hole;
- n. 38 stendimenti sismici completi di coniugati.

b) le prove eseguite nel 1996 per la T.A.V. S.p.a. costituite da:

- n. 20 sondaggi a c.c.;
- n. 153 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;

c) le prove eseguite nel 1997 per il progetto di variante della tratta sospesa di Napoli dal Km 210+000 al Km 216+616 costituite da:

- n. 9 sondaggi a c.c.;
- n. 47 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- d) le prove eseguite nel 2013 e 2015 per l'alta velocità costituite da:
 - n. 3 sondaggi a c.c. per complessivi 100 ml;
 - n. 22 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
 - n. 3 prove sismiche down-hole;
 - n. 2 prove sismiche MASW;
 - n. 2 prove Re. Mi.

e) le prove eseguite nel 2002 per la localizzazione di una zona ospedaliera in località Salicelle costituite da:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di n. 2 campioni indisturbati;
- n. 2 prove penetrometriche statiche;
- n. 3 stendimenti di sismica a rifrazione;
- le prove geotecniche di laboratorio di n. 2 campioni indisturbati consistenti in :
 - n. 2 caratteristiche fisiche generali;
 - n. 2 analisi granulometriche;
 - n. 2 prove di taglio diretto .

f) n. 8 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH eseguite sul territorio comunale per privati tra il 2019 ed il 2021.

Tutte le predette prove sono contenute nel fascicolo "Prove disponibili" (Tav. G3c) allegato alla presente relazione.

4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO COMUNALE.

Il territorio del Comune di Afragola si estende per 17,99 Km², è riportato nelle tavv. I.G.M. I N.E. (Acerra), I S.E. (Pomigliano d'Arco), I N.O. (Aversa) e I S.O. (Napoli) del Foglio 184 (Napoli) della Carta d'Italia ed è localizzato nella Zona Flegrea Periferica (A. Scherillo, M. Scherillo-1990).

Esso è delimitato dai territori dei comuni di Caivano, Cardito, Casoria, Casalnuovo e Acerra.

Dal punto di vista geologico il territorio comunale è collocato nella Zona Flegrea Periferica presso il confine tra il dominio vulcanico flegreo e quello vesuviano; nel sottosuolo, pertanto, si rinvengono interstratificati prodotti dei Campi Flegrei e del Somma - Vesuvio.

La geologia, infatti, è caratterizzata, a partire dal piano di campagna, da:

- 1) prodotti piroclastici del Somma – Vesuvio alternati e interdigitati ai prodotti delle eruzioni recenti dei Campi Flegrei presenti nei primi 3 m. di profondità. In detto livello è presente una cenere (sabbia limosa) grigiastra addensata e laminata con a letto, con l'interposizione di un paleosuolo, pomici grigiastre riferibili ad episodi esplosivi (Eruzione delle pomici di Avellino);

- 2) prodotti del vulcanismo esplosivo flegreo con orizzonti e facies riconducibili ai vari periodi in cui è stata distinta l'attività dei Campi Flegrei ed in particolare:
- a) prodotti del III periodo flegreo formati da alternanze di ceneri , pomici e lapilli intercalati da livelli di paleosuoli (pomici di Agnano e pomici di Astroni));
 - b) prodotti del II periodo flegreo (in particolare la facies distale del "Tufo Giallo Napoletano") che si presentano più o meno regolarmente stratificati con alternanze di ceneri grigie, talvolta giallastre, a luoghi addensate e pomici in livelli minuti e lenti (pozzolane s.l.);
 - c) prodotti del I periodo flegreo costituiti essenzialmente dall'Ignimbrite Campana chiamata anche Tufo Grigio Campano.

Le eruzioni sono state intervallate da periodi di inattività; tali periodi sono evidenziati dai "paleosuoli" conseguenza dell'esposizione agli agenti atmosferici della parte più superficiale dei materiali piroclastici presenti sulle "paleosuperfici".

L'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano) riveste particolare importanza nella geologia del territorio comunale, anzi esso rappresenta il substrato geologico locale.

L'Ignimbrite Campana e' presente in tutto il territorio comunale. Essa ha generalmente una consistenza litoide anche se non mancano livelli o sacche non litificate o scarsamente litificate; nelle parti più profonde del banco prevale il colore grigio scuro con pomici grossolane nere mentre nelle parti più superficiali il colore è giallo (zeolitizzazione).

Dal punto di vista litologico l'Ignimbrite è costituita da una pasta cineritica, che in volume supera il 50% del volume totale, da pomici grigie di dimensioni di qualche centimetro nella parte più superficiale e nere di dimensioni fino a un decimetro nelle parti più profonde del banco, da scorie e subordinatamente da litici e cristalli di sanidino , plagioclasio, clinopirosseni e biotite.

Per quanto riguarda la struttura essa si presenta a luoghi omogenea e compatta ed a luoghi leggermente vacuolare; tale variabilità nella struttura determina un diverso comportamento meccanico e se nel corso dei sondaggi non viene utilizzato il doppio carotiere il materiale estratto si presenta sciolto ed è definibile dal punto di vista granulometrico come una sabbia ghiaiosa e/o limo sabbioso ghiaioso.

L'Ignimbrite Campana è stata utilizzata nel passato anche recente come materiale da costruzione. Anche nel comune di Afragola, fino agli anni compresi tra le due guerre mondiali, era invalsa l'abitudine, come in molti altri comuni posti a nord di Napoli, di coltivare cave in sotterraneo nel banco di tufo, spesso al di sotto dei manufatti che si realizzavano, il ché ha reso vulnerabile il territorio per il cosiddetto "rischio cavità".

I terreni sciolti posti a tetto dell'Ignimbrite Campana si presentano con uno spessore variabile da zona a zona, hanno litologia e granulometria variabili, sono di origine vulcanica o alluvionale e si presentano in strati e livelli di forma lenticolare la cui giacitura é generalmente sub-orizzontale.

Tali terreni sono costituiti da strati e lenti di lapillo pomiceo, pozzolane (sabbie limose), sabbia e paleosuoli. Le pomici, la pozzolana e la sabbia sono

stati depositati in corrispondenza delle attività esplosive legate alle singole eruzioni. I paleosuoli testimoniano interruzioni dell'attività vulcanica.

La successione stratigrafica, deducibile dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti sul territorio comunale, si presenta variabile.

La predetta variabilità, per quanto non consenta di ricostruire una successione di terreni unica per tutto il territorio comunale, permette di ravvisare una certa omogeneità nella costituzione delle successioni stratigrafiche.

Nelle successioni stratigrafiche dei terreni posti a tetto dell'ignimbrite Campana, infatti, possono essere individuati chiaramente almeno quattro livelli guida che a partire dal basso sono:

- un banco di pozzolana (sabbia limosa) grigia e a luoghi giallastra con tessitura caotica e laminazioni incrociate da rimaneggiamento interpretato come facies distale non zeolitizzata del Tufo Giallo Napoletano;
- le pomici principali di Agnano con livelli e lingue potenti fino a circa 1,50 m.;
- le pomici degli Astroni separate delle precedenti da un banco di ceneri humificate e costituite generalmente da due strati di pomici separate da uno di cinerite;
- le pomici di Avellino costituite da un livello di cenere grigiasta, a luoghi addensata, con a letto un livello decimetrico di pomici grigie.

I predetti livelli e le correlazioni tra i vari orizzonti piroclastici ricostruite con l'aiuto dei "paleosuoli" consentono una migliore comprensione della geologia del territorio comunale.

La cinerite addensata è presente in larga parte del territorio comunale ad una profondità compresa tra 1,20 e 3,00 metri; si tratta di una cenere pisolitica molto compatta che presenta a letto, con l'intervallo di un "paleosuolo" di pochi centimetri, un livello di pomici.

Nella tradizione edilizia locale la cinerite addensata rappresenta un tradizionale e buon piano fondale. Tale livello è riconducibile alla cosiddetta eruzione delle pomici di Avellino (3.700 a. bp.)

Nell'intervallo tra il tetto dell'Ignimbrite Campana ed il letto della cinerite pisolitica addensata si rinvencono i prodotti del II e del III Periodo Flegreo.

I prodotti del II Periodo Flegreo si rinvencono a tetto del banco di Tufo Grigio Campano e si presentano sotto forma di cinerite laminata (limo sabbioso e/o sabbia limosa) con pomici e lapillo di colore grigio e/o grigio-giallastro (facies distale del Tufo Giallo Napoletano) mentre i prodotti del III Periodo Flegreo più tipici sono le pomici di Agnano e quelle di Astroni, presenti nel territorio comunale a profondità comprese tra 4 e 9 metri.

Nelle successioni stratigrafiche, infine, sono chiaramente riconoscibili almeno n. 3 livelli humificati (paleosuoli).

Per quanto riguarda i terreni in affioramento, la costituzione geolitologica del territorio di Afragola presenta poche variazioni da luogo a luogo in quanto, trattandosi sempre di materiali rimaneggiati, la differenziazione è sempre problematica e può con larga approssimazione essere tentata solo riferendosi alla prevalenza dei prodotti vesuviani o flegrei.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

Nella Carta geolitologica (Tav. G4) allegata, infatti, i terreni superficiali, in accordo con quanto riportato nei Fogli 446-447(Napoli) e 448(Ercolano) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG), appartengono tutti al Sintema Vesuviano Flegreo (VEF).

I terreni del Sintema Vesuviano Flegreo (VEF) vengono definiti "Successione di depositi prevalentemente piroclastici costituiti da livelli cineritici e pomicei stratificati con intercalazioni di paleosuoli e in subordine di prodotti di rimaneggiamento, di origine marina e palustri/lacustri. L'unità sintemica è delimitata inferiormente da una discordanza erosiva e vulcano-tettonica a tetto del Tufo Grigio Campano. Localmente la superficie di erosione è caratterizzata da sviluppo di orizzonti humificati. Il sintema include sia unità sub-sintemiche che litostratigrafiche e litosomatiche. I depositi lavici affiorano in pochi punti nell'area centrale dei campi Flegrei. La superficie superiore dell'unità coincide con l'attuale superficie topografica."(OLOCENE)

Nel territorio di Afragola i predetti terreni sono stati distinti in due macroaree con riferimento ai prodotti prevalenti. In particolare nella macroarea maggiore che occupa la parte centrale e occidentale del territorio comunale sono presenti i terreni prevalentemente flegrei del Subsintema di Contrada Romano(VEF₁₂) che vengono definiti "Successione di depositi prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di lapilli pomicei da caduta. I depositi poggiano su uno spesso paleosuolo ocraceo ampiamente diffuso sia nei settori interni che esterni della caldera flegrea, nelle aree di piana circostanti, fino ai contrafforti appenninici o, a luoghi, su depositi marini.la parte alta della sequenza comprende depositi piroclastici dell'eruzione vesuviana di Avellino. Tutte le sequenze delle unità litosomatiche o litostratigrafiche sono separate da superfici erosive o paleosuoli.....Tra le sequenze piroclastiche sono talora visibili depositi epiclastici legati a sedimentazione marina o lacustre-palustre."

Nella parte nord-orientale del territorio comunale sono presenti terreni del Subsintema dell'Agro Nocerino Sarnese (VEF₂) che vengono definiti rispettivamente ".....depositi piroclastici distali, medio distali e vulcano-sedimentari presenti nelle parti esterne dell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio".

In tutto il territorio, infine, non si notano condizioni tettoniche capaci di esplicare una qualche influenza e ciò perché il substrato rigido mesozoico, con la relativa copertura cenozoica, suddiviso in zolle ribassate a gradinata da faglie ad andamento appenninico ed antiappenninico, è troppo profondo e ricoperto da terreni sciolti per cui non può in alcun modo influenzare il comportamento dei materiali più superficiali.

Recenti ricerche sull'evoluzione neotettonica del margine tirreno della catena sudappenninica, infine, hanno messo in evidenza, nella parte della Piana Campana interessata dal vulcanismo flegreo, un fitto reticolo di faglie orientate NW – SE e NE – SW.

5. GEOMORFOLOGIA E CONDIZIONI DI STABILITA'.

Il territorio del comune di Afragola, come è stato già detto in precedenza, appartiene alla Zona Flegrea Periferica ed è posto in prossimità del confine che delimita il dominio flegreo e quello del Somma – Vesuvio.

Il territorio comunale presenta quote variabili tra i 21 (confine con Casalnuovo) ed i 58 m. s.l.m. (confine con Casoria). In tutto il territorio comunale le pendenze non risultano mai accentuate; le più alte, infatti, prossime al 2%, sono quelle dell'area posta tra l'autostrada Napoli-Bari e la S.S. 7bis mentre nella parte restante del territorio esse sono generalmente comprese entro l'1%.

Nel territorio comunale, per quanto subpianeggiante, si possono individuare un alto morfologico a sud, in prossimità del confine comunale con Casoria, e due bassi morfologici uno nella parte nord-orientale in località Cinque Vie in prossimità della depressione dei Regi Lagni e l'altro nella parte sud-orientale all'altezza della S.S. 7bis in prossimità della depressione del Sebeto.

I due bassi morfologici sono separati da uno spartiacque superficiale localizzato in prossimità dell'autostrada Napoli-Bari, in pratica lungo la direzione Cimitero comunale di Afragola - Botteghele - Tavernanova - Casarea; esso è parte del "modesto spartiacque superficiale che si sviluppa tra le colline" napoletane "ed il Somma – Vesuvio" (BELLUCCI et Alii, 1990) che si è formato a seguito delle eruzioni vesuviane e flegree e che ha separato il bacino dei Regi Lagni da quello del Volla.

Il territorio, in generale, è quindi pianeggiante e, per la parte non urbanizzata, risulta in parte intensamente coltivato ed in parte abbandonato.

La stabilità dei terreni, pur di natura sciolta, è assicurata dalle condizioni di giacitura ed i fenomeni erosivi, a causa delle modeste pendenze e della regimazione efficiente delle acque superficiali, sono praticamente assenti e le acque ruscellanti in superficie, non assorbite dai terreni permeabili, vengono incanalate nelle fogne comunali.

Per quanto riguarda l'intervento antropico è necessario ricordare la presenza di cavità ipogee.

Le cavità presenti nel sottosuolo traggono origine dagli scavi per il prelievo di materiale da costruzione (tufo, pozzolana e pomici) per cui il numero delle cavità si può considerare commisurato all'espansione del centro antico della città.

L'estrazione del tufo ai fini edilizi nell'area napoletana ha rivestito particolare importanza nel corso dei secoli. Il tufo, infatti, è una roccia tenera, facile da lavorare e fin dall'epoca greca utilizzato nell'edilizia per le sue buone caratteristiche fisico-meccaniche.

La pratica dell'estrazione del tufo si estese nel corso dei secoli nei comuni posti a nord di Napoli. Nei predetti comuni l'estrazione del tufo avveniva superando la coltre di materiale piroclastico sciolto posta a tetto del banco di tufo stesso

Il banco di tufo, infatti, veniva raggiunto con due tecniche diverse:

- la prima consisteva nell'approfondimento di un pozzo, in genere circolare e non rivestito, fino al tetto del banco di tufo e dopo averlo attraversato per 4 - 5 metri (spessore in volta) si procedeva con uno scavo circolare sino a

raggiungere il letto del banco. Dalle pareti dello scavo circolare, inoltre, si dipartivano gallerie singole o multiple sviluppate nel modo più svariato;

- la seconda, più comune nel territorio di Afragola, utilizzava rampe di discesa (le discenderie) che consentivano un agevole raggiungimento del banco da coltivare nel quale si procedeva, poi, a realizzare gallerie orizzontali con volta circolare o ellittica.

Le gallerie, in genere a sezione ellittica o trapezoidale, hanno una larghezza di 8-10 metri, un'altezza variabile da 4 a 9 metri ed una lunghezza che in alcuni casi supera i 50 metri; le gallerie, infine, venivano spesso messe in comunicazione tra di loro mediante cunicoli secondari.

Le gallerie, poi, venivano poste in comunicazione con la superficie del piano di campagna con condotti verticali non sempre rivestiti chiamati "occhi di monte". Tali condotti rispondevano principalmente all'esigenza d'aerazione delle gallerie e secondariamente potevano essere utilizzati per portare in superficie i blocchi di tufo.

Gli "occhi di monte" erano disposti a distanza di 8-10 metri ed avevano una forma quadrangolare con lato in generale di 1.80 metri; spesso a coltivazione terminata essi venivano chiusi con travi di legno e successivo riempimento con materiale di risulta.

Le cavità ipogee per l'estrazione del tufo sono state accertate nella parte più antica del nucleo abitato di Afragola ed in particolare nell'area compresa tra via Piemonte, via De Gasperi, via Sicilia, via IV Novembre e via Diaz a nord, una parte del confine comunale lungo la S.S. n. 87, via Indipendenza, via Resistenza, via Kennedy e via Amendola ad ovest, via Leopardi, via S. Antonio, via Torino, via Bologna a sud nonché via Compagna, via E. A. Mario, via S. Giovanni, via S. Luca e via Lucania ad est. Oltre all'area del centro antico, come precedentemente individuata, vi sono altre due aree sicuramente interessate da cavità, la prima sul prolungamento verso est di via De Nicola in corrispondenza del Rione S. Marco e la seconda nella parte nord-occidentale del territorio comunale lungo la S.S. n. 87. Tutta l'area precedentemente individuata, peraltro, storicamente è interessata da dissesti riconducibili alla presenza di cavità.

Lo scrivente, in occasione di una consulenza prestata per l'Amministrazione Provinciale di Napoli per il "progetto per la costituzione di una banca dati delle cavità presenti nel sottosuolo dei Comuni a nord di Napoli", effettuò ricerche di archivio presso l'ufficio tecnico comunale di Afragola.

Le suddette ricerche consentirono l'accesso ad una consistente quantità di dati derivanti dall'insieme degli studi e censimenti effettuati sul territorio del Comune di Afragola.

I dati esaminati misero in evidenza che fino al sisma del 1980 (23-11-1980), in conseguenza dell'emanazione delle Leggi Regionali n. 30/75, n. 38/75 e n. 20/76, il censimento e lo studio delle cavità era stato effettuato in modo sistematico e per isole territoriali prestabilite; fino alla predetta data, infatti, furono individuate e rilevate n. 152 cavità distribuite su n. 10 isole. (Boemio, Grimaldi, Santoro – Progetto generale per il risanamento del sottosuolo-Relazione geologico-tecnica- dicembre 1981, inedita).

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

A partire dalla data del sisma, in conseguenza dei dissesti verificatisi a seguito dell'evento, il censimento ed il rilevamento perse il carattere della sistematicità e i rilevatori procedettero nella predetta attività sulla scorta delle richieste di sopralluogo fatte dai singoli cittadini di Afragola ai fini della verifica di stabilità dei fabbricati.

Tutta questa attività, continuata sino al 1983, mise in evidenza che "nel centro cosiddetto "antico" si sviluppano tutta una serie di cavità orizzontali e verticali, conseguenti alla metodologia delle costruzioni eseguite nel comune[...], che hanno sempre ricavato il materiale per le costruzioni dal sottosuolo lasciandovi tutta una serie di cavità, che costituiscono una minaccia presente e continua per i fabbricati sovrastanti e per la vita di tutti gli abitanti di Afragola." (Boemio, Grimaldi, Santoro – dicembre 1981).

L'attività di ricerca ha evidenziato che sul territorio comunale furono censite e rilevate n. 416 cavità; per n. 87 delle predette cavità, per lo smarrimento dei documenti, si conosce ormai solo la probabile localizzazione. I documenti relativi alle rimanenti 329 cavità sono stati utilizzati dall'Amministrazione Provinciale di Napoli per realizzare una banca dati informatizzata in cui per ogni singola cavità vengono indicate la posizione rispetto ai manufatti superficiali, la posizione dell'accesso, le dimensioni e lo stato al momento del rilevamento.

Per quanto sopra affermato è ipotizzabile la presenza di altre cavità con pozzi e discenderie occluse, e pertanto sconosciute, non solo nelle zone già rilevate nel periodo 1979-83 ma anche nelle rimanenti parti del territorio comunale, specie laddove sono stati realizzati fabbricati fino ai primi decenni del secolo scorso. Non può essere esclusa, inoltre, la presenza di cavità nei siti dove erano ubicate le masserie di cui era disseminata la campagna circostante il nucleo abitato più antico.

La validità di quanto sopra affermato è stata provata almeno in due occasioni nel corso dell'indagine eseguita per l'adeguamento sismico del PRG in quanto in un primo caso un addetto alla pala meccanica che lavorava per le indagini geoarcheologiche, effettuate diffusamente sul territorio ad est dell'autostrada Napoli – Roma, segnalò il rinvenimento di una cavità in un terreno di via Saggese senza alcun manufatto in superficie, e nel secondo caso lo scrivente rinvenne una cavità in buono stato in un cortile posto lungo la S.S. n. 87 ai confini con il Comune di Cardito (ex Masseria Porchiera ?).

L'esame dei dati precedentemente ricordati, inoltre, ha consentito allo scrivente non solo di delimitare l'area del centro antico interessata da cavità nel tufo (vedi Carta geomorfologia e della stabilità 1: 5.000 Tav. G6 allegata alla presente relazione) ma anche di elaborare la "Carta delle cavità" in scala 1:2.000 (Tav. G7a, G7b, G7c) nella quale sono messi in evidenza i rapporti tra le stesse cavità ed i manufatti presenti in superficie.

Nella Carta geomorfologia e della stabilità (Tav. G6) l'area considerata instabile è stata ricavata non solo in base alle conoscenze acquisite nel corso della più volte ricordata attività di ricerca ma anche confrontando l'attuale configurazione dell'abitato con quella della parte più antica così come ricavata da vecchie cartografie.

Sul numero e sulla localizzazione delle cavità conseguenti l'estrazione delle pomici c'è, invece, ancora più incertezza e l'unico dato di riferimento è

quello che le pomici in genere venivano estratte nei luoghi stessi del loro impiego.

Le pomici trovavano, infatti, impiego nella realizzazione di lastrici solari; nei comuni a nord di Napoli, per la necessità di realizzare strutture leggere, i lastrici solari venivano realizzati su travi di legno di castagno mediante battitura di lastroni prefabbricati di pomici disposti a lembi sovrapposti.

La tecnica di coltivazione dei lapilli pomicei si realizzava a mezzo di pozzo verticale a sezione circolare non rivestito con cui si raggiungeva il banco di lapillo pomiceo; nel territorio di Afragola le vene migliori, cioè quelle non inquinate da terreni inglobanti, si rinvenivano a profondità comprese tra 4.00 e 8.00 metri.

Dalla base del pozzo ed a partire dal letto del banco si realizzavano cunicoli a raggiera larghi qualche metro e lunghi da 10 a 15 metri. Dopo la coltivazione veniva riempito, con materiale di risulta e terreno vegetale, solo il pozzo verticale mentre si lasciavano solo occlusi i cunicoli a raggiera orizzontali. Tale metodo rende impossibile la localizzazione dei cunicoli nonché precaria e suscettibile di avvallamenti l'area circostante i pozzi.

Per quanto riguarda la stabilità si deve ricordare in primo luogo che tutte le indagini condotte sul territorio hanno messo in evidenza che:

- il banco di tufo spesso risulta interessato da sistemi più o meno estesi di fratture irregolari che in occasione dell'estrazione del tufo o di tagli subverticali, possono determinare distacchi imprevedibili e pericolosi;
- i materiali piroclastici sciolti posti a tetto del banco di tufo sono molto sensibili all'azione dell'acqua e danno spesso origine a cedimenti o a fenomeni erosivi allorquando sono saturi.

L'estrazione del tufo, inoltre, proseguita sino ai primi anni del secolo scorso, ha reso il territorio estremamente vulnerabile a causa della presenza di un numero consistente di cavità e di occhi di monte che, in parte abbandonati, non più soggetti a manutenzione e spesso intaccati nella loro stabilità da infiltrazioni d'acqua provenienti dalle reti idriche e fognarie, si sono rivelati causa di dissesti, voragini e crolli.

Le infiltrazioni d'acqua, infatti, quando intercettano un "occhio di monte" producono dissesti che investono la volta delle cavità ed in conseguenza ne producono il collasso con l'effetto di dare origine a voragini che arrivano fino al piano di campagna.

Gli sprofondamenti e i crolli, infatti, si determinano spesso esclusivamente a causa dei fenomeni erosivi e, in presenza di gradienti idraulici notevoli, dei sifonamenti.

Le infiltrazioni d'acqua sono abbastanza frequenti laddove le fogne sono in cattive condizioni per scarsa manutenzione o sono mal dimensionate; per questa ragione, allorquando entrano in pressione per eventi piovosi anche non eccezionali, corrono il pericolo di rotture.

Altra causa dei dissesti è da attribuire al fatto che la maggior parte delle cavità sono state realizzate nell'arco di alcuni secoli e, pertanto, una delle prime cause dei dissesti è da ricercare nel naturale degrado derivante dalla vetustà delle "grotte".

Altra causa ancora è ascrivibile alla non corretta esecuzione delle cavità in quanto spesso queste ultime si presentano sia con un ridotto, talvolta

ridottissimo o addirittura mancante, spessore del tufo in volta che con pozzi (occhi di monte e pozzi idrici) troppo vicini e non rivestiti parzialmente o completamente.

Le cavità a maggior rischio potenziale sono quelle caratterizzate da volte con settori di calotta con predisposizione al dissesto sia a causa delle scadenti proprietà geomeccaniche e litotecniche del tufo e/o per ridotto spessore di copertura. I dissesti sono originati spesso, infatti, dalle fessurazioni nel tufo o dalla scarsa litificazione dello stesso, specie in corrispondenza dell'attacco tra la volta della cavità e le pareti dei pozzi. Tali fenomeni si accentuano quando le pareti dei pozzi non sono idoneamente rivestite per cui si verifica il cosiddetto «scampanamento» (erosione delle pareti dei pozzi che assumono la forma di campana).

I fenomeni di dissesto possono evolvere sino al crollo quando si determinano più concause contemporaneamente. Tra i fenomeni scatenanti possono essere considerate le infiltrazioni d'acqua, le pareti dei pozzi non rivestite, la scarsa litificazione del tufo, le fratture del tufo in volta e la presenza di tane di lapillo nel materiale sciolto sovrastante il banco di tufo laddove è localizzata la cavità.

Attualmente molte delle cavità o rappresentano il ricettacolo di ogni sorta di materiali di rifiuto o sono abbandonate completamente o addirittura per alcune di esse si è persa la memoria storica, essendo state riempite o solo occluse tutte le aperture esistenti in superficie.

L'attività di riempimento, se non programmata ed eseguita solo quando le condizioni statiche della cavità sono precarie e non recuperabili e solo con le tecniche del riempimento con adatte miscele cementizie, può aggravare piuttosto che risolvere i problemi di stabilità. Molto più efficace si rivela la pratica dell'ispezione periodica delle cavità alla ricerca di segni premonitori di dissesti e di infiltrazioni d'acqua. Le ispezioni periodiche, infatti, consentono di scegliere gli interventi e i trattamenti specialistici, spesso meno costosi dei riempimenti indiscriminati, che, variamente combinati in funzione dei dissesti e della classe di propensione al dissesto delle cavità, potranno prevedere:

- 1) arco di terreno consolidato mediante iniezione di miscele cementizie o gel di silice nei terreni sciolti posti a tetto del banco di tufo in caso di assenza di volta di tufo o in presenza di volta di modesto spessore e/o lesionata;
- 2) infilaggi metallici per sostenere le bancate di tufo fratturate;
- 3) posa in opera di centine metalliche con relativo strato di spritz-beton armato con rete elettrosaldato posto a tergo delle centine stesse;
- 4) ripristino e risanamento del rivestimento delle cavità ipogee e dei pozzi (occhi di monte e pozzi idrici).

Il notevole lasso di tempo intercorso tra il primo censimento e rilevamento delle cavità, il riempimento delle cavità talvolta non eseguito a regola d'arte e la dissennata eliminazione in superficie dei manufatti e morfologie riconducibili alla presenza di cavità stesse (discenderie, occhi di monte, pozzi isolati, ecc.) hanno di fatto aggravato le condizioni di potenziale instabilità del territorio e impongono la necessità e l'urgenza di:

- aggiornare la conoscenza delle condizioni statiche delle cavità ancora visitabili;

- risalire alla tipologia di attività eseguite nella eliminazione delle cavità;
- ricercare i segni e le forme riconducibili alle cavità interrato e/o eliminate o presunte tali ai fini anche dell'elaborazione di progetti tipo " replicabili " di risanamento e consolidamento.

Per quanto complesso possa essere il lavoro predetto è necessario affermare che solo il rilevamento sistematico e la verifica puntuale dello stato delle cavità potrà rendere più sicuro il centro antico di Afragola.

Si ricorda, infine, la presenza sul territorio dell'accumulo di R.S.U. in Santa Maria la Nova.

Prima di concludere è necessario ricordare che nelle aree della parte nord-orientale del territorio comunale, parte dei terreni immersi in falda presenti nei primi 10-12 metri di profondità , in occasione di sismi intensi, potrebbero essere interessati dal fenomeno della "liquefazione" (vedi Carta Geomorfologia e della stabilità- Tav. G6). Nelle predette aree si consiglia in occasione degli interventi edilizi, di condurre indagini volte all'individuazione dei depositi liquefacibili e alla valutazione dell'indice di liquefazione.

6. CLIMATOLOGIA

L'area d'indagine presenta una discreta piovosità, con precipitazioni medie annue intorno ai 700 mm (ad es. a Giugliano precipitazioni comprese tra 483.8 (2007) e 876 (2009) mm/anno – Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania). Il regime pluviometrico è caratterizzato da un massimo in 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. 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 ed una decrescita da agosto a gennaio, con valori medi annui di 15°-18°.

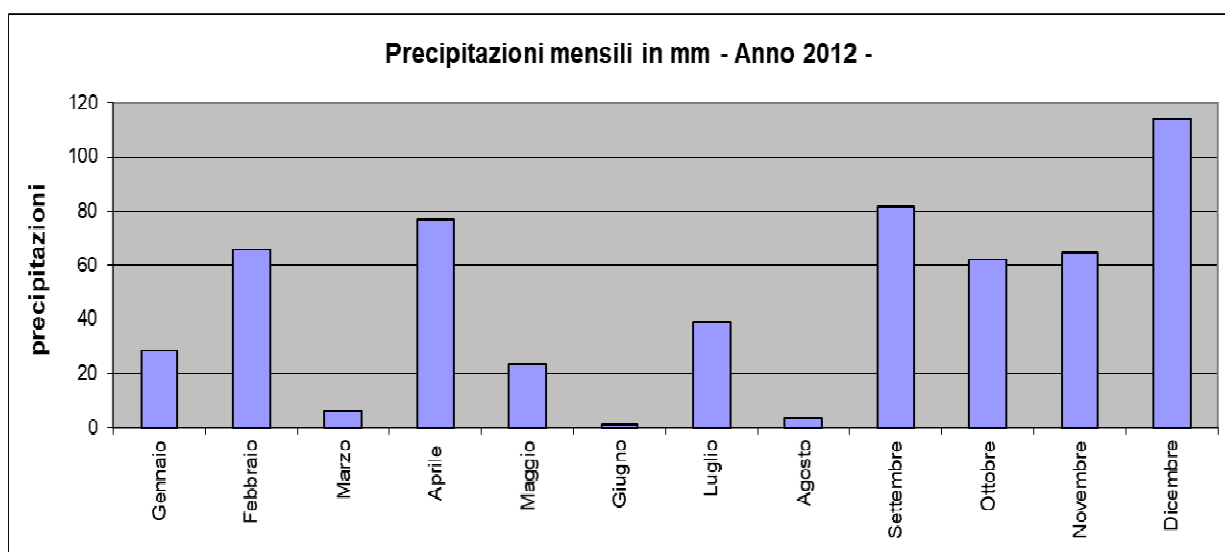


Fig. 6 - Precipitazioni mensili rilevate dalla stazione di Giugliano nell' anno 2012

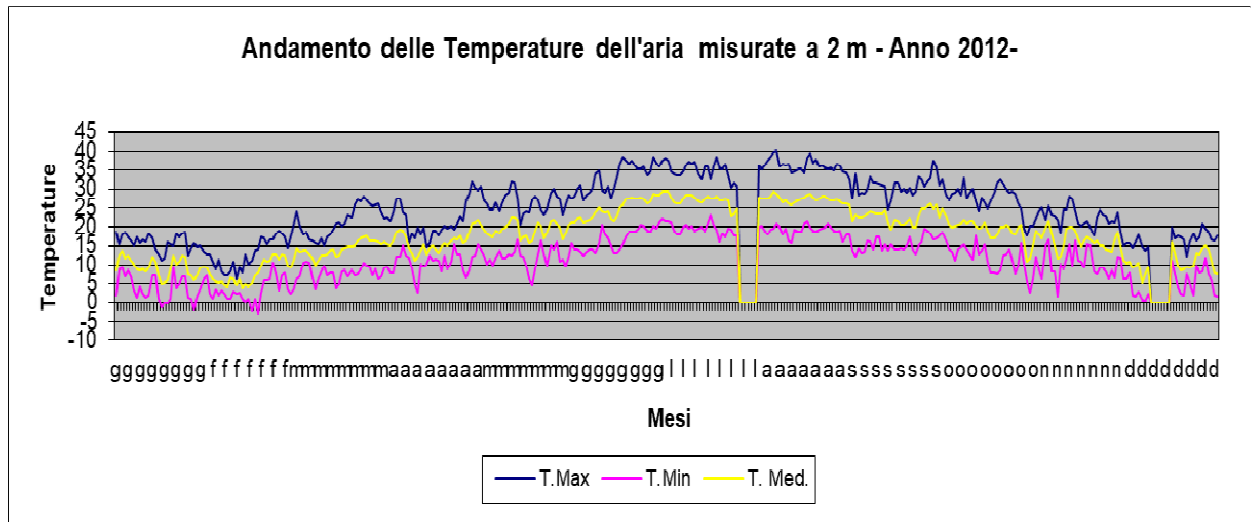


Fig. 7 - Andamento delle temperature rilevate dalla stazione di Giugliano nell' anno 2012

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 riportano le temperature dell'anno 2012, espresse in °C, per la stazione di Giugliano ritenuta più significativa.

Alcuni Autori hanno verificato dei cambiamenti in atto confrontando le temperatura media annua in °C relative ai periodi 1951-1980 e 1981-1999 (Fig. 8) e l'infiltrazione efficace per la Regione Campania (Fig. 9).

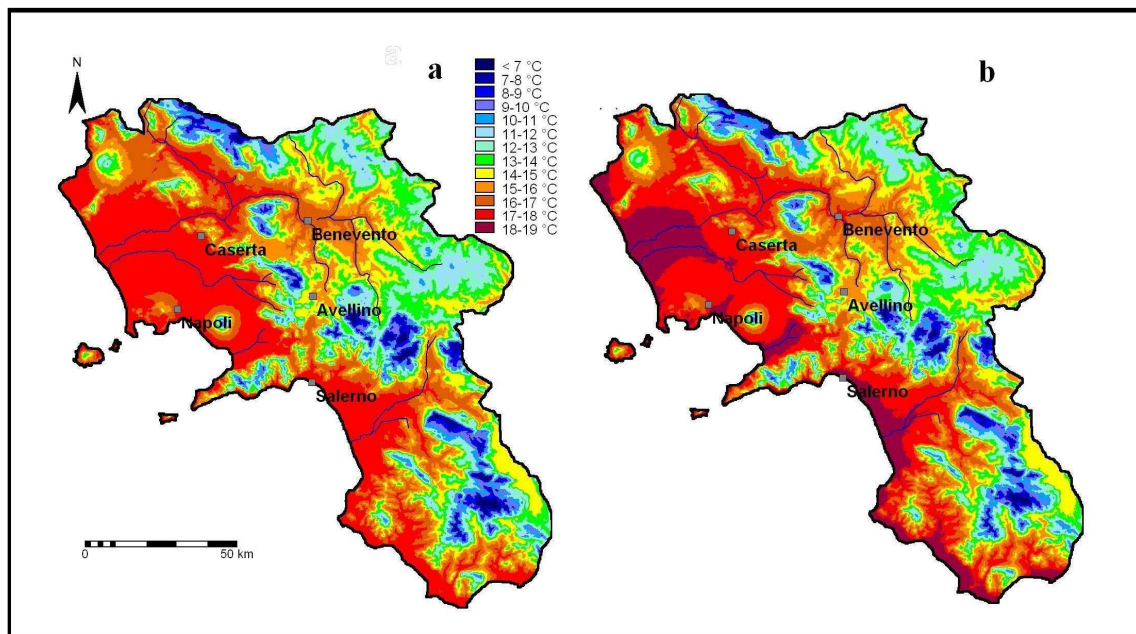


Fig. 8 - Temperatura media annua in °C relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006)

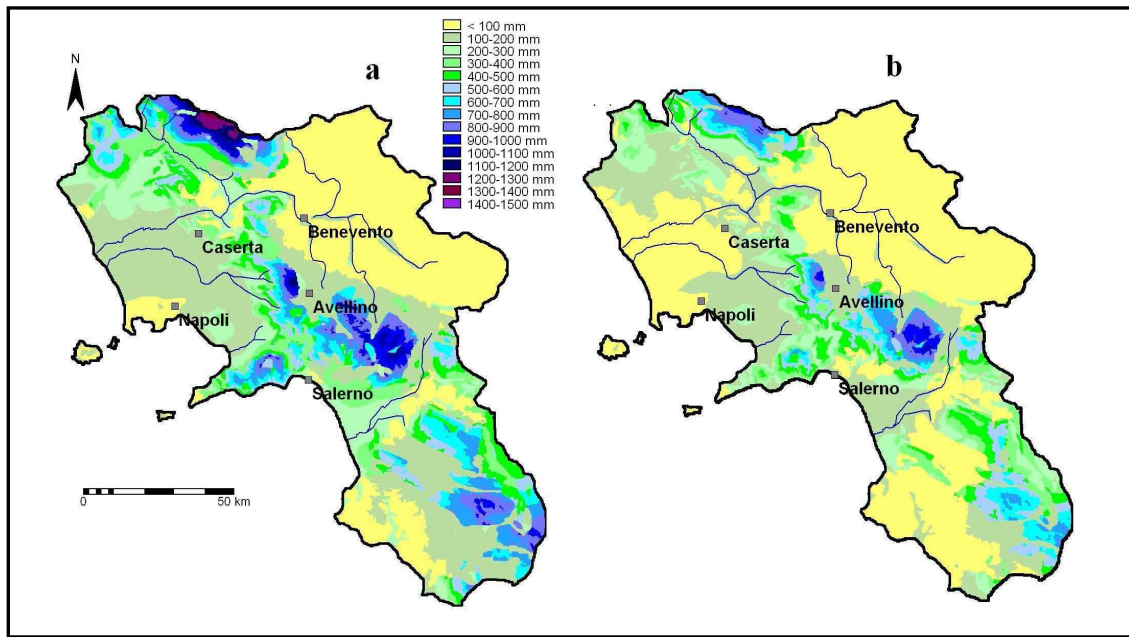


Fig. 9 - Infiltrazione efficace media annua (mm/anno) relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006)

Le stesse considerazioni sono state fatte per quanto riguarda la pluviometria (Fig. 10)

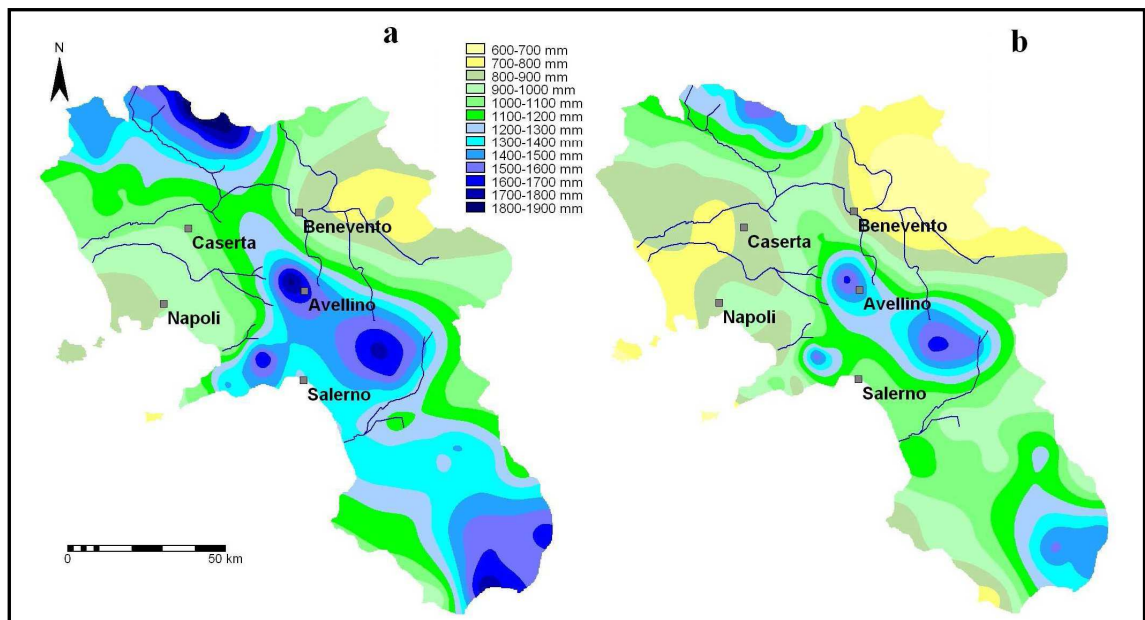


Fig.10 - Precipitazioni medie annue (mm/anno) relative al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006)

7. IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico il territorio comunale studiato è posizionato nella parte meridionale dell'unità idrogeologica Volturno-Regi Lagni (Fig. n. 11 - Celico P., 1983) ed è posizionato a sud dello spartiacque sotterraneo Canello-Caivano-Frattamaggiore (Fig. n.12).

La falda viene alimentata lateralmente dalla falda di base dei Monti di Durazzano e di Avella e trova sede nella pila di sedimenti vulcanoclastici che riempie questa parte del graben "Piana Campana" in cui si rinvencono livelli a varia litologia e granulometria il cui andamento è spesso lenticolare.

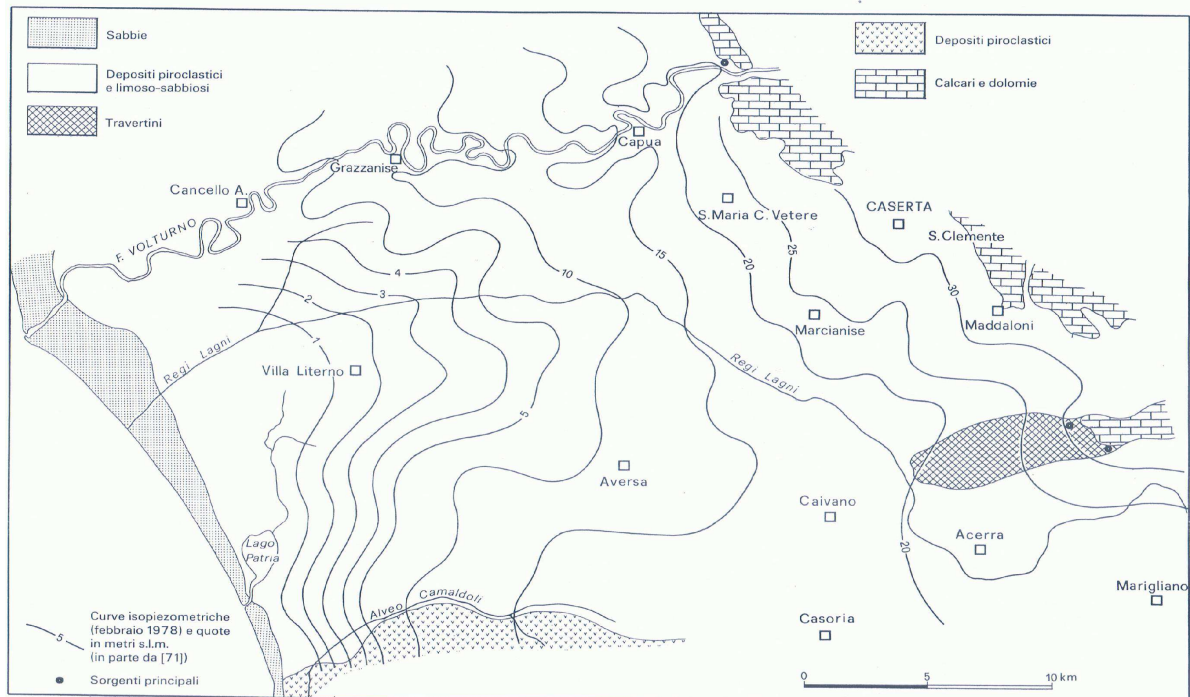


Fig. 11- Estratta da P. CELICO(1983) – Unità idrogeologica della Piana del Volturno-Regi Lagni (settore a sud del Fiume Volturno).

Le recenti ricerche strutturali, idrogeologiche e idrogeochimiche nell'area posta a nord-est di Napoli hanno consentito di distinguere (CELICO et alii, 1997) un "acquifero superficiale " corrispondente all'area strettamente vulcanica ed un "acquifero profondo " corrispondente ai rilievi carbonatici fratturati e carsificati .

L'acquifero superficiale vulcanico presenta un deflusso radiale che in generale si adatta alla morfologia del vulcano. Gli orizzonti acquiferi corrispondono ai livelli di lava fratturata, di scorie, di pomici e lapillo. Alla periferia del vulcano è possibile ipotizzare un certo interscambio idrico sotterraneo.

L'acquifero profondo e/o principale è alimentato dalla "Unità dei Monti di Avella- Monte Vergine- Pizzo d'Alvano" posta a NE del territorio comunale. La predetta unità è troncata al piede, lungo la direttrice Maddaloni – Canello – Nola, da importanti linee tettoniche, che mettono in contatto l'acquifero calcareo con i depositi pliocenici e quaternari della Piana Campana.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

L'acquifero principale della parte di "piana" posta a NE di Napoli, dove è localizzato il territorio studiato, è alimentato dalla struttura carbonatica dei monti di Avella e dall'infiltrazione diretta. Esso trova sede nel forte spessore di piroclastiti sciolte, costituite da banchi di pomici, scorie, litici e sabbie grossolane che generalmente si rinvengono a letto del "Tufo Grigio Campano" che, quando presente, a causa del minor grado di permeabilità relativo di esso rispetto ai restanti litotipi, si comporta da elemento di semiconfinamento.

Questa situazione idrogeologica è molto comune nella Piana Campana, a cui appartiene la zona esaminata, dove è presente una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro.

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

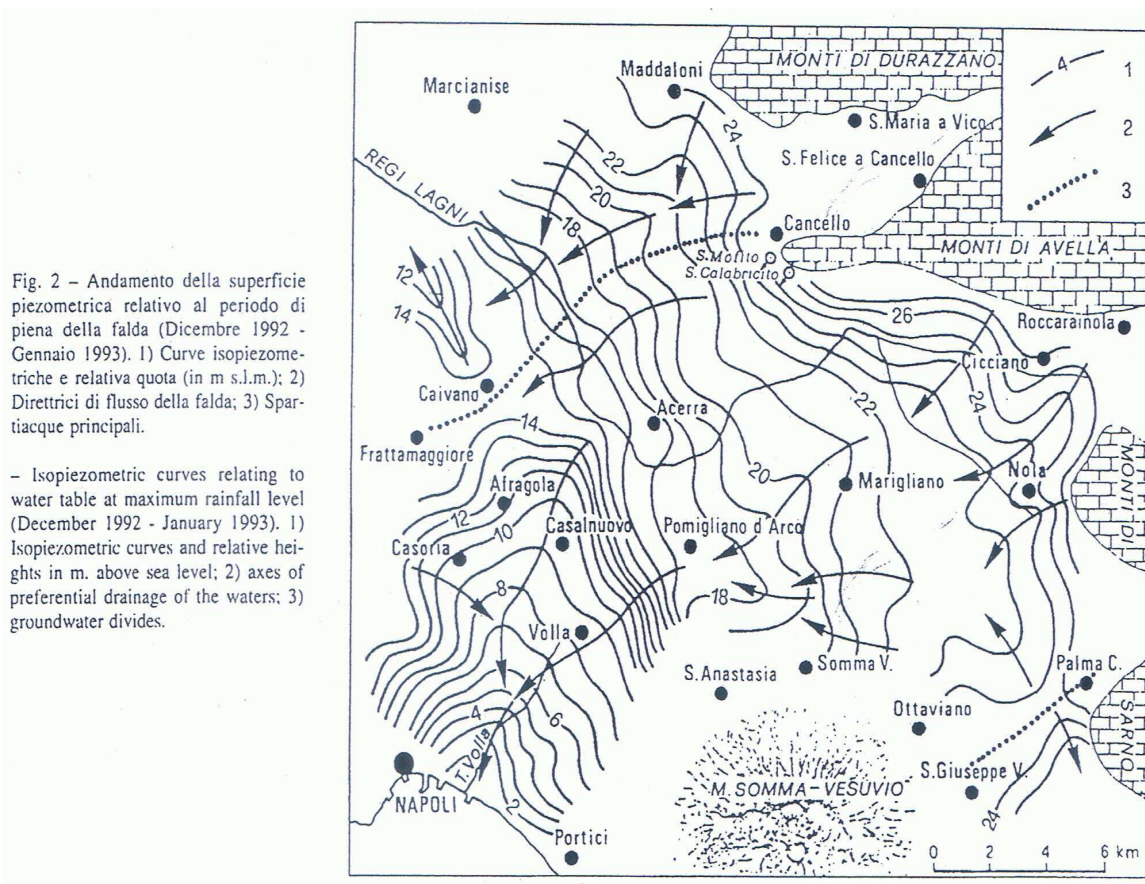


Fig. n. 12- Andamento superficie piezometrica nell'area a nord del Somma-Vesuvio (estratta da F. Celico, L. Esposito, V. Piscopo-Geologica Romana,33-1997)

Nelle aree nord-orientali del territorio comunale, cioè quelle più prossime ai Regi Lagni, l'acquifero principale risulta in parte mescolato con l'acquifero vulcanico in quanto più ad oriente, in prossimità del territorio comunale di Marigliano, a causa dell'assenza del "Tufo Grigio Campano", asportato da fenomeni erosivi, la falda principale si mescola con l'acquifero vulcanico infiltrandosi parte al di sotto del banco di tufo e parte al di sopra di esso.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

Nel sottosuolo comunale, pertanto, si possono distinguere due settori:

- uno occidentale, caratterizzato da una falda unica semiconfinata in cui gli acquiferi sono localizzati nei litotipi aventi permeabilità relativa più elevata, in particolare i livelli di sabbia, pomici, scorie e sabbioni vulcanici permeabili per porosità, posti a letto del banco di Tufo Grigio Campano;
- uno orientale in cui la circolazione idrica sotterranea avviene nei livelli di pomici, scorie, brecce vulcaniche e sabbie permeabili per porosità. In questa parte del territorio comunale la presenza della formazione del Tufo Grigio Campano, caratterizzato da un minor grado di permeabilità relativa rispetto agli altri termini litologici, consente di distinguere due falde, una in condizioni freatiche localizzata al di sopra del banco di Tufo Grigio Campano e l'altra in condizioni di semiconfinamento a letto del banco di Tufo Grigio Campano stesso.

In condizioni non disturbate la falda semiconfinata più profonda comunica con la falda più superficiale mediante "flussi di drenanza" verticali diretti dal basso verso l'alto.

Nel sottosuolo comunale si ha, in conseguenza dell'alternanza, spesso disordinata, di terreni a permeabilità medio-alta (sabbie, ghiaie, ecc.) con altri a permeabilità bassa (limi, paleosuoli, ecc.), una circolazione idrica sotterranea "per falde sovrapposte"; la distinzione delle falde non è sempre possibile in quanto esse sono tra loro interconnesse sia attraverso il "flusso di drenanza" che attraverso le soluzioni di continuità dei sedimenti meno permeabili.

I corpi idrici più consistenti si rinvencono, il più superficiale con livello piezometrico posto a quote comprese tra 18 e 10 metri slm ed il più profondo ad una profondità comprese tra i 40 ed i 60 metri.

La generalità dei pozzi, ormai, attinge alle falde sottostanti il banco di "Tufo Grigio Campano" che in genere presentano una buona produttività e spesso hanno caratteri di artesianità.

La distinzione tra falde poste a diversa profondità è praticamente impossibile a causa della non omogeneità che contraddistingue lo spessore, la granulometria, la giacitura e l'estensione dei singoli strati che è conseguenza delle modalità di deposizione dei terreni (carattere di unicità della falda). Questo ultimo fatto è messo in evidenza dalla sufficiente concordanza dei livelli piezometrici dei pozzi che pescano a diverse profondità.

Le curve isopiezometriche della carta idrogeologica, che sarà commentata in seguito, mettono in evidenza che il pelo libero della falda idrica è profondo da 5 a 6 metri nella parte nord-orientale del territorio in prossimità dei Regi Lagni, è profondo sino a 44 metri nella parte sud-occidentale del territorio in corrispondenza del confine con il comune di Casoria.

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. Le campagne di analisi di cui si ha traccia in letteratura hanno messo in evidenza che in profondità si ha una maggiore percentuale di acque che hanno circolato in rocce calcaree e che le acque sono prevalentemente bicarbonato-solfato-calciche e, rispetto a quelle più vicine ai rilievi calcarei, con un maggior

contenuto in sodio e potassio dovuto all'attraversamento dei prodotti piroclastici.

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, con l'esclusione dei pozzi ARIN, sono privi di un'adeguata cementazione dell'intercapedine tra tubo di rivestimento e terreno circostante. Tale situazione unita al fatto che la generalità dei pozzi mette in comunicazione la falda freatica posta al di sopra del banco di tufo e la falda semiconfinata posta al di sotto si traduce in un potenziale rischio di inquinamento. Altra situazione di rischio è la presenza in prossimità di S. Maria La Nova di un vecchio sversatoio di RSU poggiante su terreni non impermeabili.

Si ricorda, inoltre, che l'area cimiteriale è posizionata a monte di molti pozzi e lungo un asse di drenaggio preferenziale che trova recapito nell'area di Lufrano.

Le acque superficiali trovano recapito, a nord del già ricordato spartiacque superficiale Cimitero di Afragola – Botteghele – Tavernanova - Casarea nei Regi Lagni ed a sud nel Fosso Volla.

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

Complesso piroclastico sciolto

E' il complesso che caratterizza tutto il territorio comunale di Afragola. E' costituito da piroclastiti, di granulometria da media a fine (piccole pomici, ceneri, lapilli etc.), quasi sempre 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 che lungo le verticali investigate. Il complesso è estesamente affiorante soprattutto nella Piana Campana dove è presente con spessori assai significativi. 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 (dE RISO, 1990). I terreni del complesso presentano una permeabilità per porosità variabile da media a bassa in funzione della granulometria dei terreni.

Complesso piroclastico litoide (Tufo Grigio Campano)

Tale complesso caratterizza il sottosuolo del territorio di Afragola. Esso è ubicato al di sotto delle piroclastiti sciolte o è incluso in esse. Dal punto di vista strutturale, tale complesso si presenta più o meno 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.

8. STRUTTURA STRATIGRAFICA.

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

Il sottosuolo del territorio studiato è caratterizzato, sino alla profondità di 8-18 m., prevalentemente dalla presenza di materiali sciolti vulcanici di deposizione primaria e secondaria costituiti da limi, limi sabbiosi e/o sabbie limose con pomici e lapilli scoriacei, sabbie con pomici e ghiaie pomicee nonché da livelli torbosi e/o ossidati (paleosuoli). Tutti i predetti terreni si presentano in strati e livelli di forma lenticolare la cui giacitura è suborizzontale.

Nei primi quattro metri della successione stratigrafica, nella maggior parte del territorio comunale, è presente una cinerite grigia pisolitica debolmente addensata.

A letto dei predetti terreni sciolti, in tutto il territorio comunale, si rinviene un banco di tufo, il Tufo Grigio Campano, di colore giallastro nella parte superficiale del banco e grigio e/o grigio-giallastro in profondità. Il Tufo Grigio Campano si presenta a luoghi incoerente, con variazioni latero-verticali a tufo litificato e zeolitizzato e con uno spessore variabile da dieci a poco più di trenta metri.

A letto del tufo litoide seguono depositi ignimbrici generalmente grigio scuri più chiaramente sabbiosi e/o sabbio-ghiaiosi intercalati da strati anche consistenti di limi debolmente sabbiosi e/o sabbiosi.

La distribuzione dei terreni messa in evidenza dai sondaggi meccanici considerati per la presente indagine, 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 e/o di riporto fino alla profondità comprese tra 1.00 e 4.20 metri;
- limo sabbioso (cinerite) grigio in livelli e lenti aventi spessori compresi tra 1.50 e 3.80 m., a luoghi addensato con a letto, con l'interposizione di un paleosuolo (I paleosuolo), pomici grigie fino a profondità comprese tra 2.70 e 5,50 metri (Eruzione delle pomici di Avellino);
- limo sabbioso grigio-scuro ossidato (II paleosuolo) in livelli e lingue aventi spessore da pochi decimetri ad 1.00 metro. Tali livello a luoghi è assente forse perché asportato da fenomeni erosivi (S9 ed S10);
- livelli di limo sabbioso e/o sabbia limosa grigi e/o grigio-giallastri con pomici passanti a livelli di pomici grigie in matrice sabbiosa e/o limoso-sabbiosa con l'interposizione di un livello ossidato non continuo. Il livello si rinviene a fino profondità comprese tra 5.00 e 10,10 m., ha uno spessore compreso tra 1.30 e 3.60 m. e presenta a letto un livello non continuo di sabbia e/o limo sabbioso marrone ossidati. (III periodo Flegreo-Formazione delle pomici di Agnano e di Astroni separate da paleosuoli riconducibili al III periodo intermedio);
- alternanza di limo sabbioso e/o di sabbia limosa e sabbie vulcaniche più o meno rimaneggiate di colore grigio e/o grigio-giallastre con pomici a luoghi

abbondanti ed a luoghi humificate (Facies grigia del Tufo Giallo Napoletano, Il periodo flegreo). Il livello si rinviene fino a profondità comprese tra 6.20 e 14.00 m., ha spessore compreso tra 2.50 e 9.30 m. e presenta a letto un livello ossidato non continuo;

- tufo a luoghi non litificato, vacuolare, di colore giallastro in sommità e passante a grigio-giallastro e/o grigio in profondità. Si rinviene a profondità comprese tra 6.20 e 14.00 m. ed ha uno spessore compreso tra 10.80 e 31.00 metri;
- Sabbia grigia e/o grigio scura passante in basso e lateralmente a sabbia limosa e/o limo sabbioso grigio scuri con a letto sabbia e/o sabbia limosa grigio scura con scorie nere anche grossolane. Si rinviene a profondità comprese tra 20.80 e 31.80 m.

Le stratigrafie di tutti i sondaggi considerati e riportati negli allegati "Prove fatte eseguire dallo scrivente per l'adeguamento sismico del PRG" e "Prove disponibili" confermano la predetta successione stratigrafica.

9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.

9.1 Aspetti generali

Come è stato ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, il territorio in esame fa parte della depressione morfologica della Piana Campana; i terreni che si rinvencono, nell'ambito delle profondità tecnicamente significative, sono da attribuire all'attività eruttiva degli apparati vulcanici del Somma Vesuvio e dei Campi Flegrei episodicamente intervallati e frammisti a terreni riferibili alle paleosuperfici (paleosuoli).

I sondaggi a carotaggio continuo fatti eseguire e consultati hanno messo in evidenza materiali che si inseriscono perfettamente nello schema sopra riportato.

L'andamento della resistenza alla punta R_p delle prove penetrometriche statiche (CPT) mette in evidenza che la struttura del sottosuolo è molto articolata, si rinvencono infatti frequenti livelli di materiale a granulometria più grossa (rappresentati dai picchi della resistenza alla punta) alternati a materiali a minor resistenza.

La distribuzione areale di tali livelli, per quanto questi siano lenticolari, rende spesso possibile una loro correlazione.

9.1.1. Sondaggi e prove considerate per la caratterizzazione geotecnica.

I sondaggi e le prove utili alla caratterizzazione geotecnica, ai fini di una maggiore omogeneità, sono stati raggruppati per macroaree, e in particolare:

a) area a sud del centro antico tra l'acquedotto campano ed il confine meridionale del territorio comunale (Cimitero, Campo sportivo).

Per la caratterizzazione dei terreni sono stati presi in considerazione:

- i sondaggi S5, Sc1, Sc2, S1k1, S1k2, S1k3 e S1k4;
- la prova penetrometrica statica CPT5 eseguita per l'adeguamento sismico del P.R.G.;
- le prove penetrometriche statiche CPTc1, CPTc2, CPTc3 e CPTc4 eseguite in località "Cantariello";
- le prove penetrometriche statiche CPTik1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 eseguite per la realizzazione dell'IKEA;

- la prova penetrometrica dinamica media P20 eseguita per il P.R.G.

I profili delle prove predette penetrometriche statiche evidenziano un primo picco più o meno pronunciato in tutte le prove entro i primi tre metri di profondità. Tutti i profili, inoltre, presentano fino ad altre quattro cuspidi più o meno pronunciate a partire dalla profondità di 4.00 metri (vedi Fig. n. 13a, 13b, 13c, 13d e 13e).

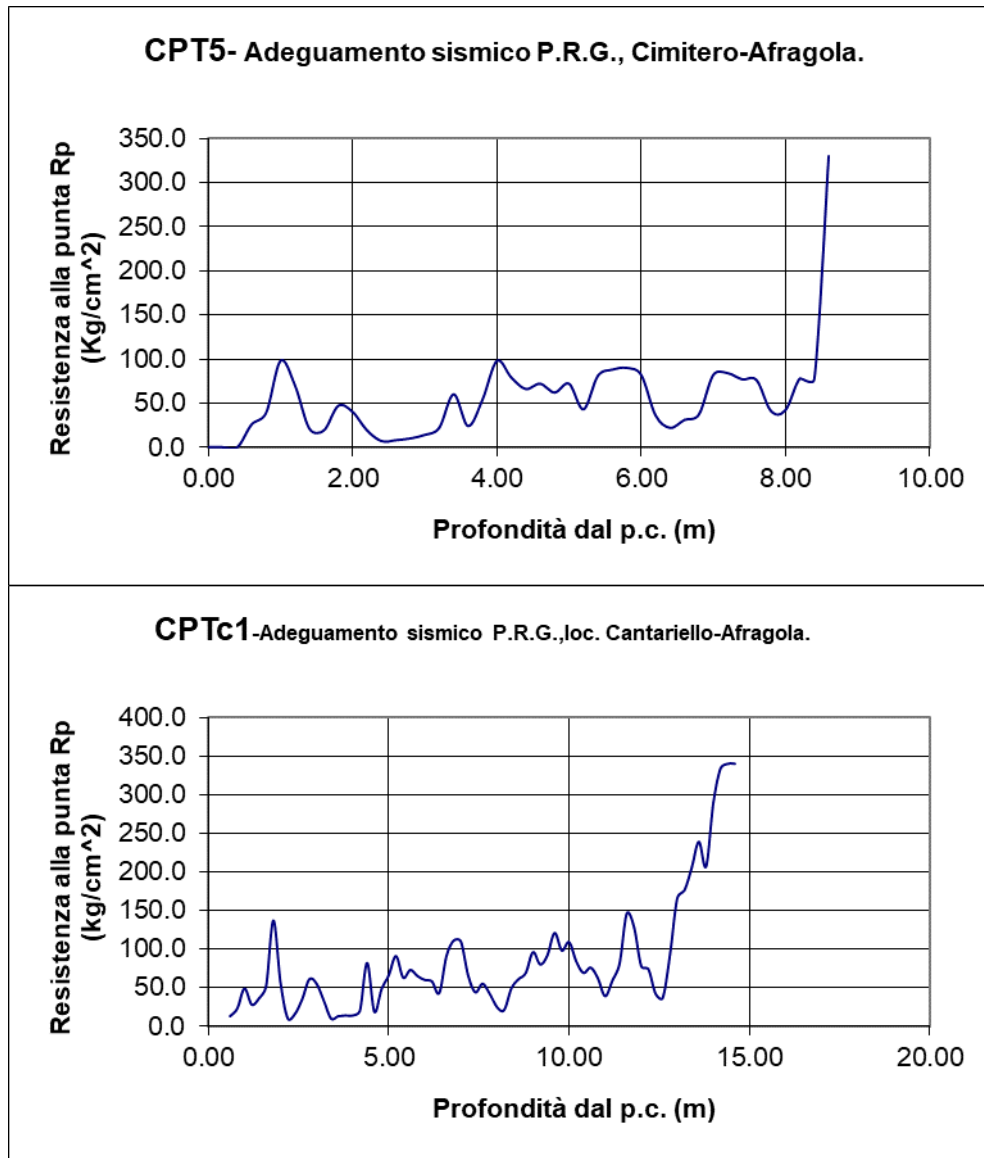


Fig. 13.a- Prove eseguite a sud dell'acquedotto Campano-Confronto resistenza alla punta.

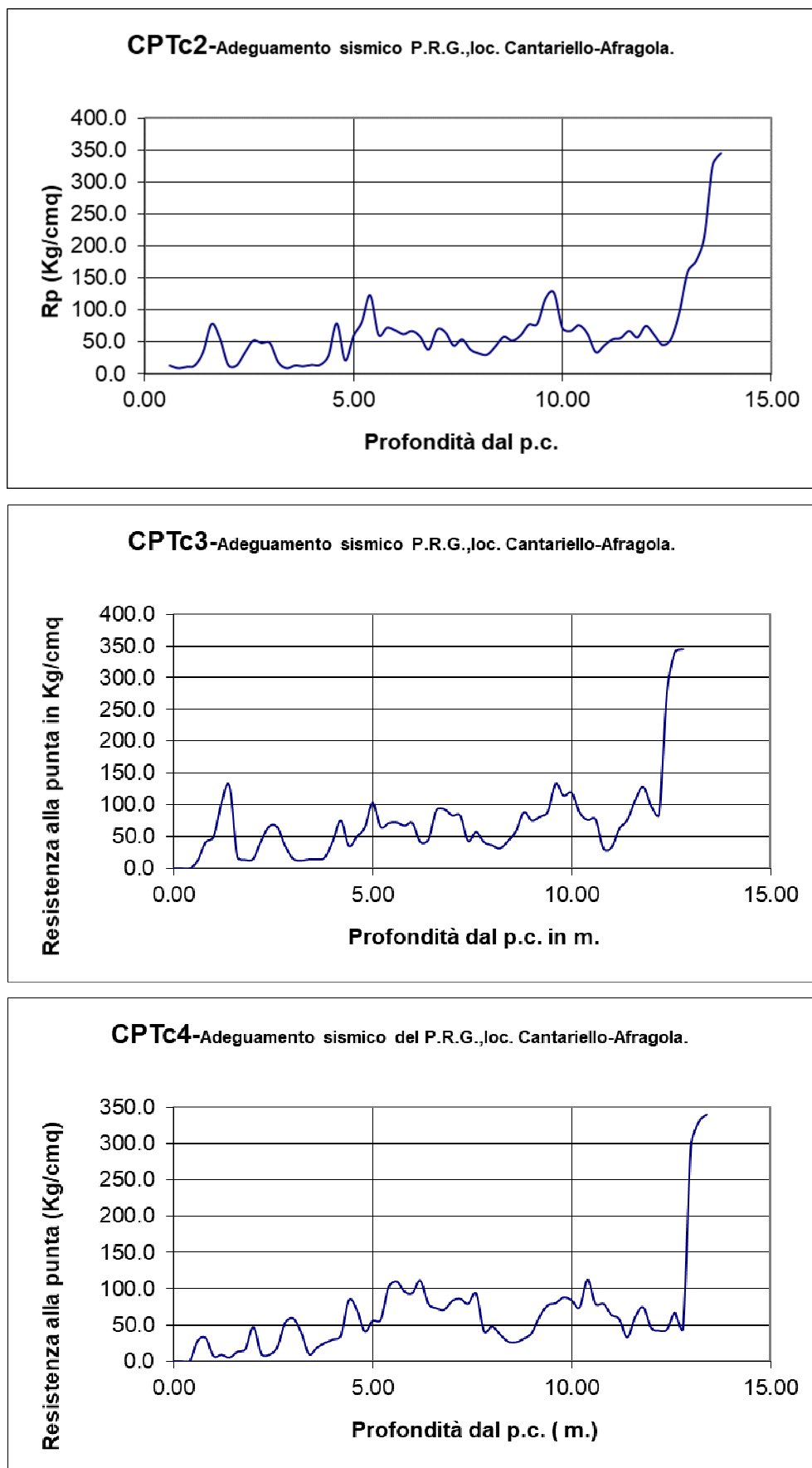


Fig. 13.b- Prove eseguite a sud dell'acquedotto Campano-Confronto resistenza alla punta.

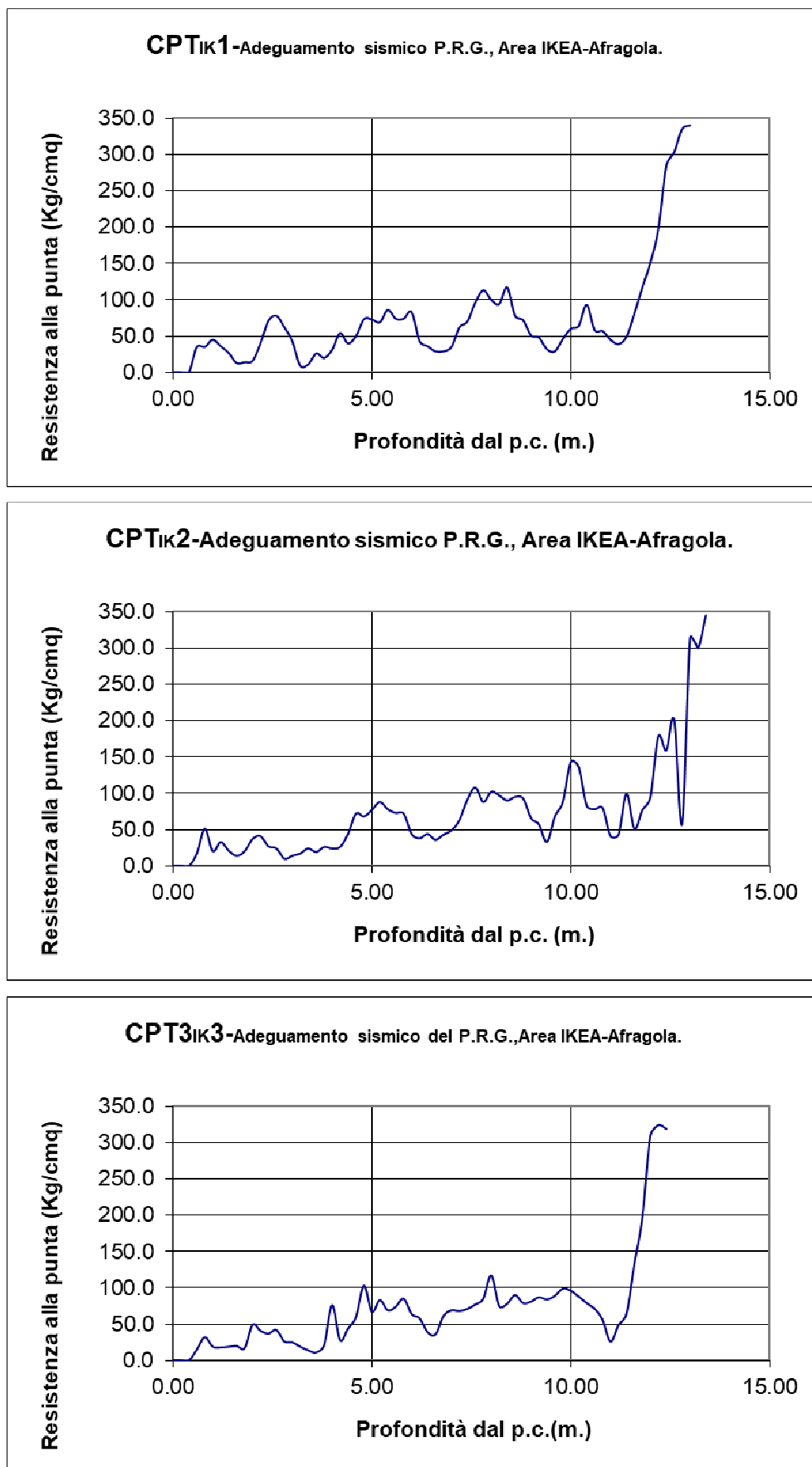


Fig. 13.c- Prove eseguite a sud dell'acquedotto Campano-Confronto resistenza alla punta.

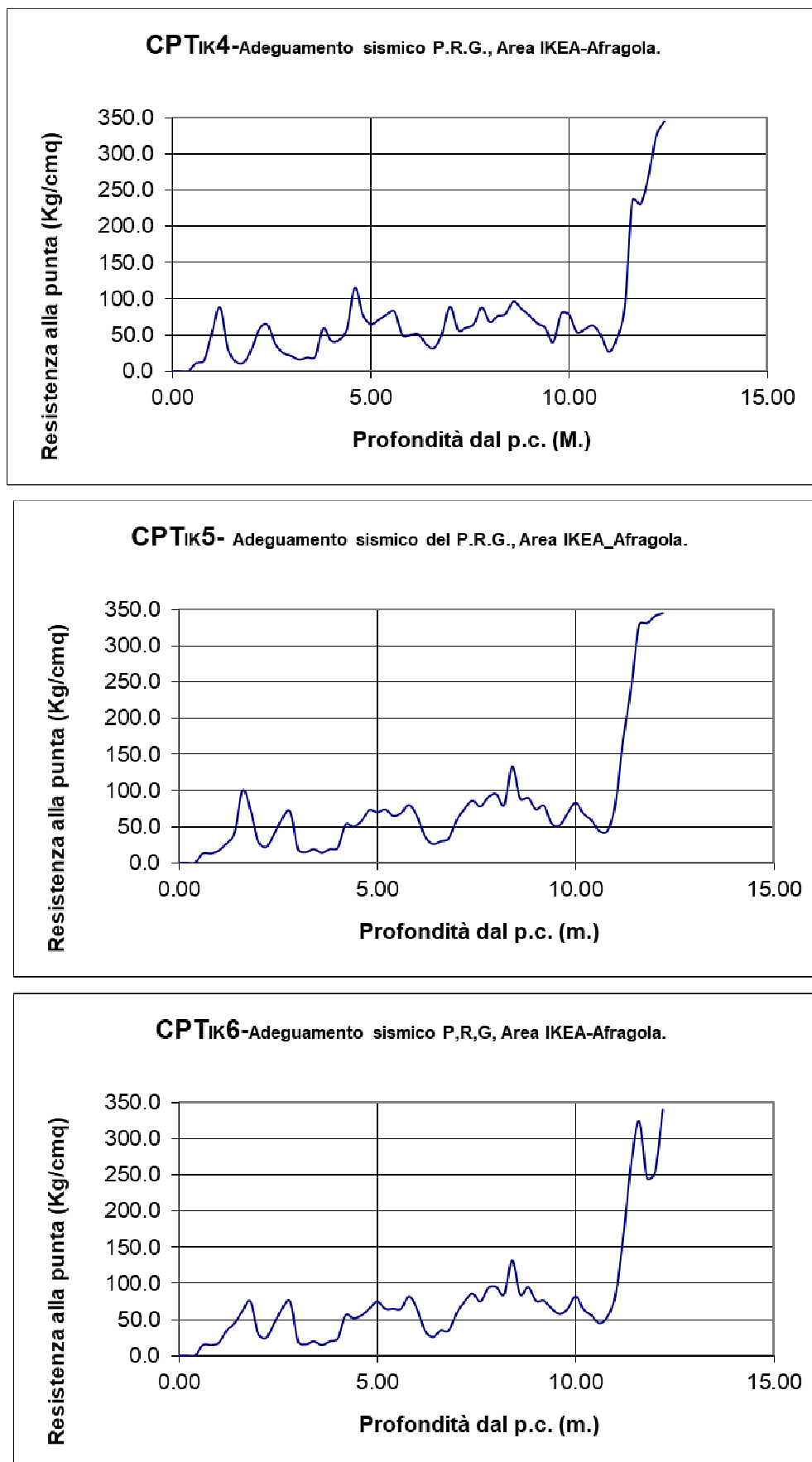


Fig. 13 d- Prove eseguite a sud dell'acquedotto Campano-Confronto resistenza alla punta.

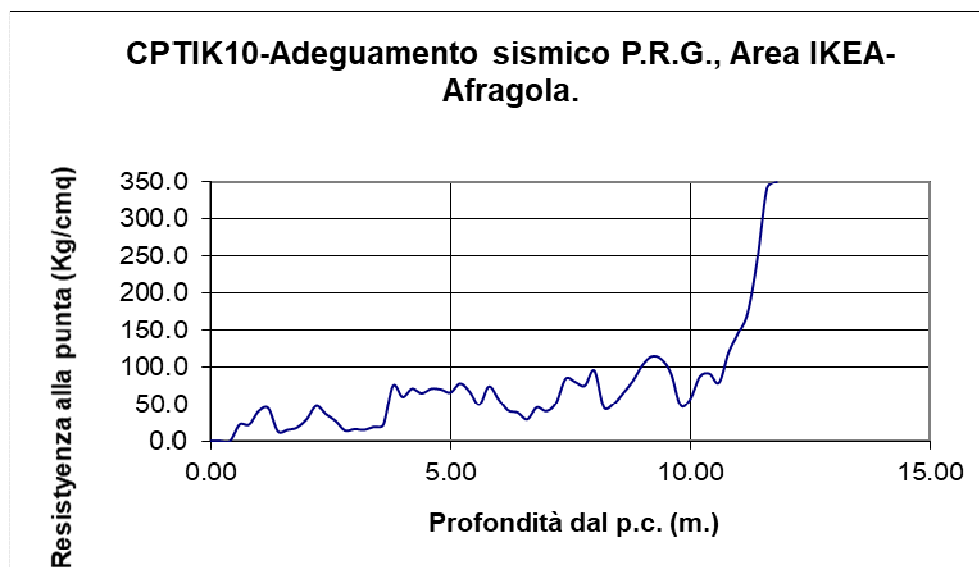
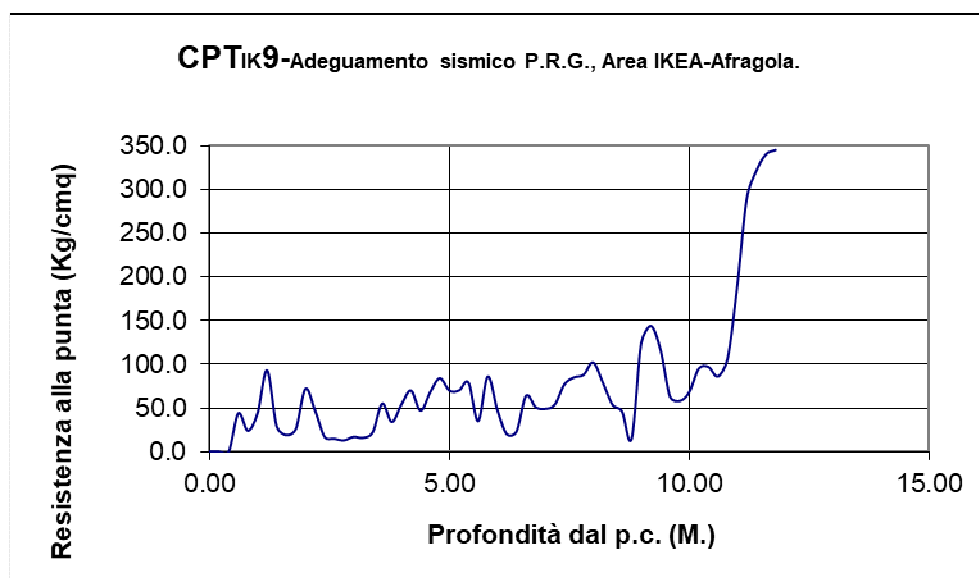
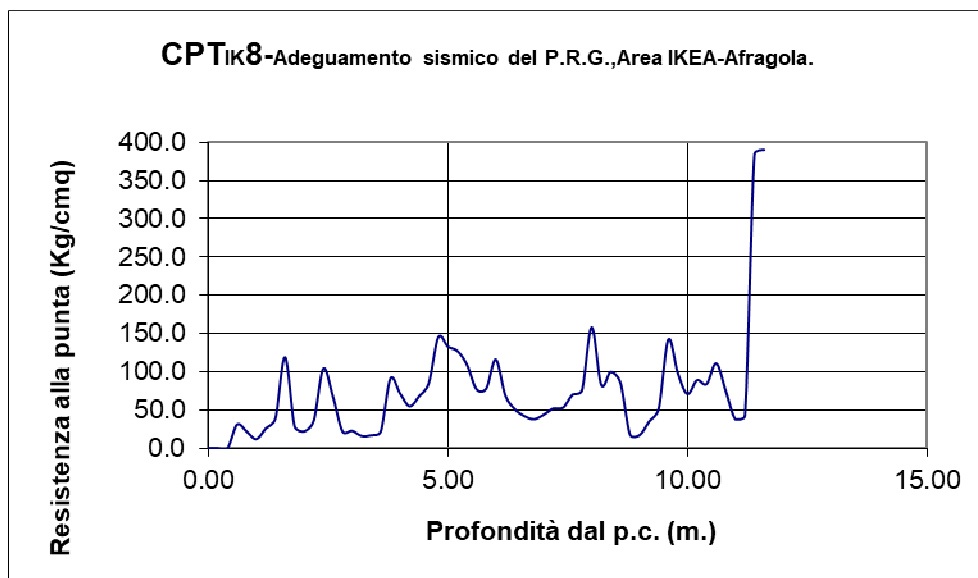


Fig. 13e- Prove eseguite a sud dell'acquedotto Campano-Confronto resistenza alla punta.

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento alquanto omogeneo. Quanto detto è messo ben in evidenza nella Fig. 14 dall'ampiezza del campo definito dalla media $\pm$ lo scarto della resistenza alla punta calcolata per ogni metro sui risultati delle quattordici prove CPT.

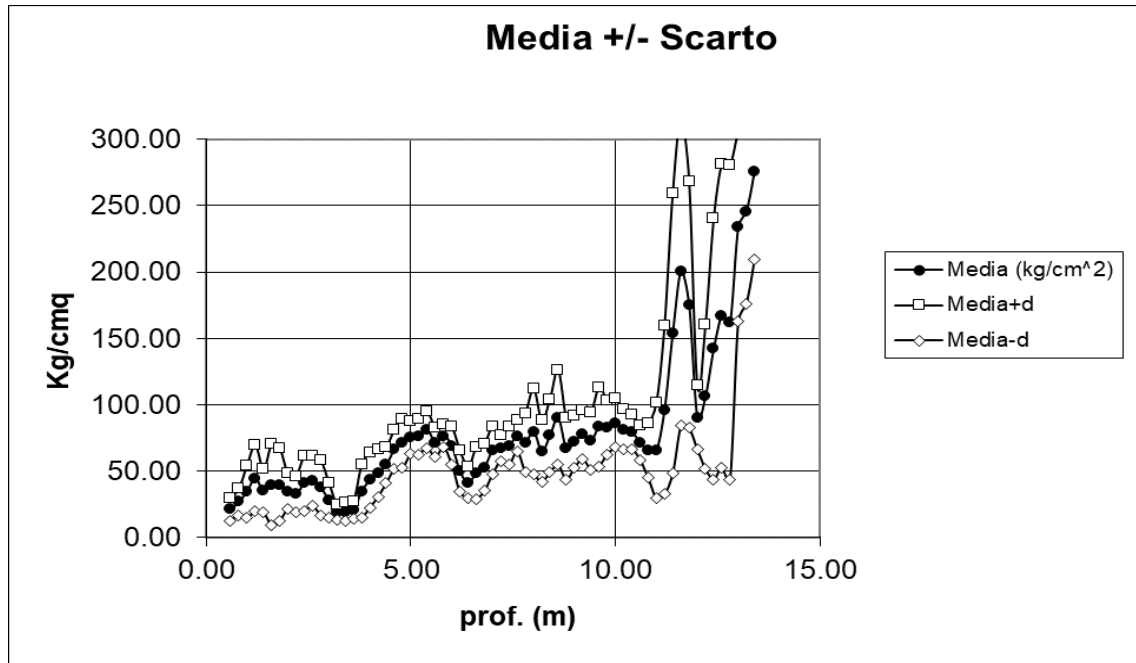


Fig. 14- Media, media-scarto, media + scarto della resistenza alla punta calcolate per metro e per le quattordici prove CPT eseguite a sud dell'acquedotto Campano.

Nell'area, infine, fu eseguita una prova penetrometrica dinamica media (PM20) il cui andamento del numero di colpi, tenuto conto della diversa tecnologia d'esecuzione, è coerente con l'andamento della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche prima ricordate. (Fig. n. 15)

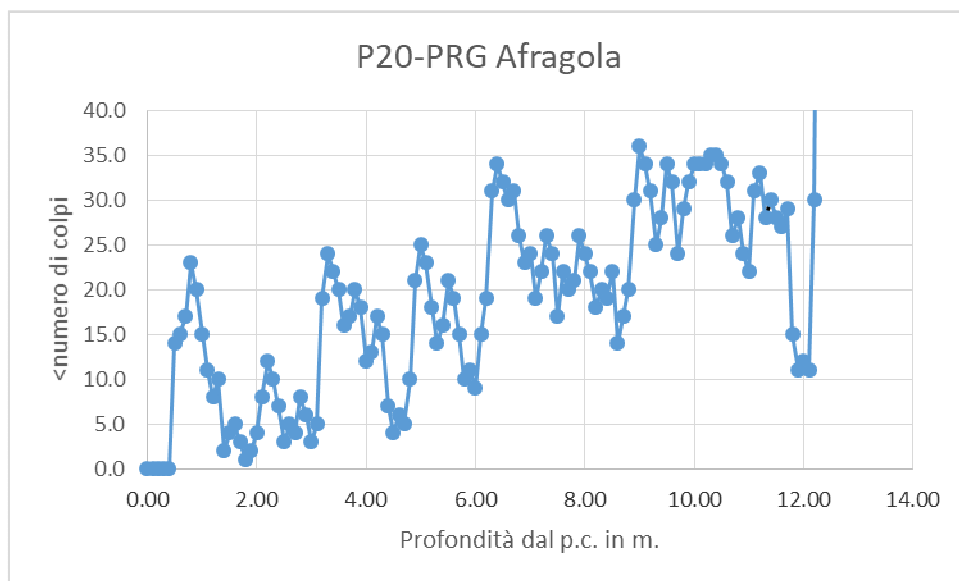


Fig. 15- Prova penetrometrica dinamica media. Andamento numero colpi.

Oltre alle prove penetrometriche statiche, furono eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, ventisette prove SPT durante la perforazione dei sondaggi S5, Sc1, Sc2, SIK1, SIK2, SIK3 e SIK4.

Come 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 $\alpha=4$).

Nella figura n. 16 è stata riportata la resistenza alla punta misurata con il penetrometro statico in termini di media dei valori misurati nelle quattordici prove alla stessa profondità dal p.c.

Confrontando i valori delle prove SPT, relative ai sondaggi Sc1, Sc2, SIK1,2, 3 e 4, e i valori della resistenza alla punta media nelle quattordici prove (Fig. n. 16) si può notare che, pur essendo state prese in considerazione prove molto distanti tra loro, l'accordo tra le due sperimentazioni si può definire sufficiente.

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. 17 sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle ventisette prove SPT eseguite nell'area interessata; diciannove dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\phi' = 30^\circ$ e $\phi' = 40^\circ$ e due relativi alla prova SIK1, uno relativo alla prova SIK2 e uno relativo alla prova Sc1 hanno valori maggiori di 45° . Si discostano da questi valori tre prove eseguite probabilmente in corrispondenza di livelli ossidati (paleosuoli), che si dispongono o poco al di sopra o poco al di sotto della curva $\phi' = 25^\circ$.

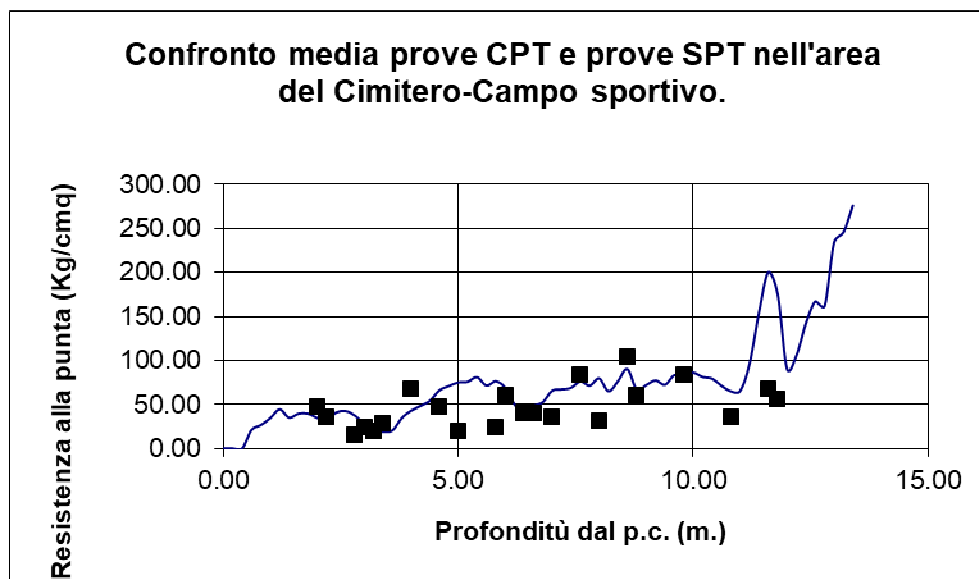


Fig. 16-Valore medio della resistenza alla punta q_c per le quattordici prove eseguite a sud dell'acquedotto campano e confronto con le prove SPT dei sondaggi eseguiti nella stessa area.

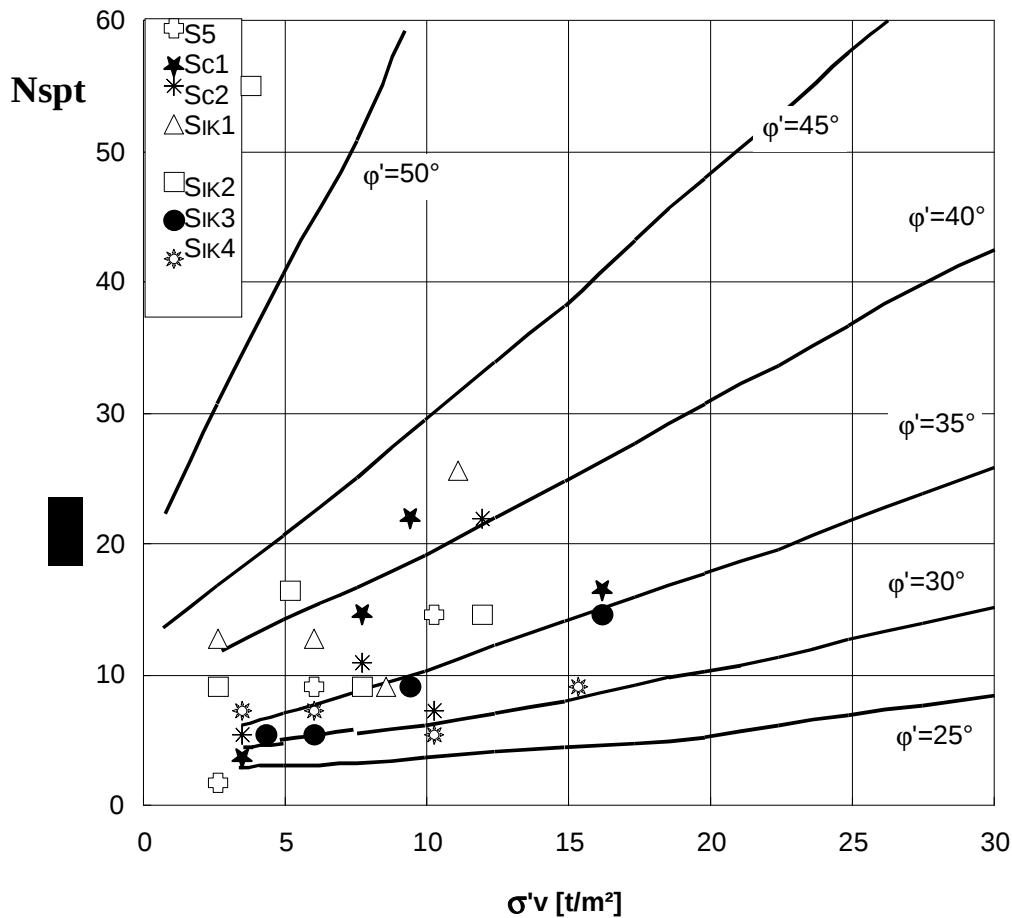


Fig. 17- Abaco di DE MELLO (1977)

b) area del centro antico.

Per la caratterizzazione dei terreni sono state prese in considerazione le seguenti prove eseguite nell'area:

- i sondaggi S1, S2, S3, S4, S6 e S7;
- le prove penetrometriche statiche CPT3, CPT4, CPTo1, CPTo2, CPTo3 e CPTo4;
- le prove penetrometriche dinamiche continue DPSH eseguite per privati PD1, PD2, PD3, PD4, PD5, PD6, PD7 e PD8;
- le prove penetrometriche dinamiche continue medie(DPM) P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P13, P15, P16, P17, PP21, P22, P23 e P24.

Anche in questo caso le prove penetrometriche statiche evidenziano un primo picco più o meno pronunciato entro i primi 3.00 metri di profondità. Tutti i profili, inoltre, presentano fino ad altre tre cuspidi più o meno pronunciate a partire dalla profondità di 3.50 metri (vedi Fig. n. 18a e 18b).

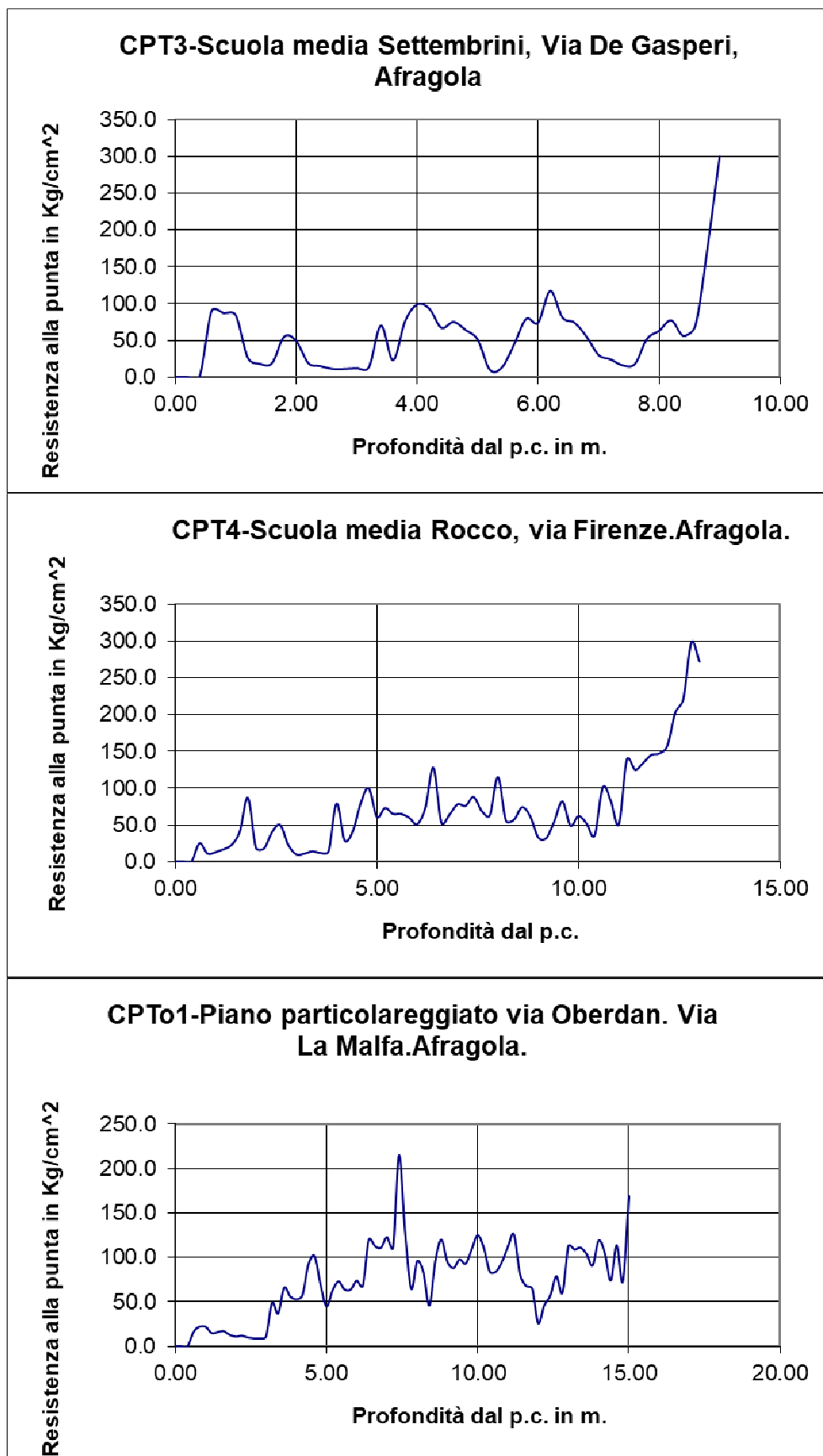
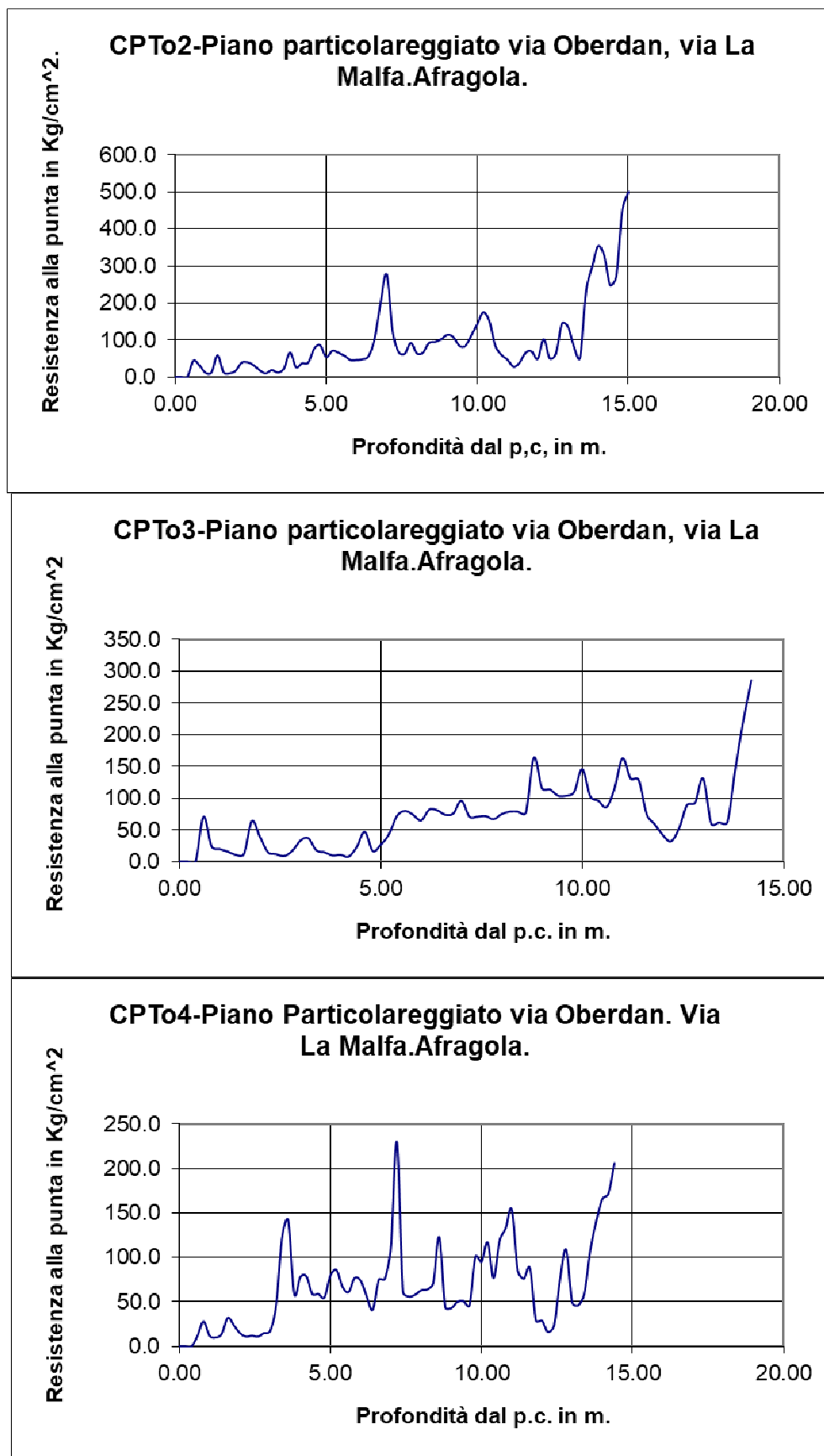


Fig. n. 18a – Prove penetrometriche statiche eseguite nel centro antico-Confronto resistenza alla punta.



.Fig. 18b- Prove penetrometriche statiche eseguite nel centro antico. Confronto resistenza alla punta.

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento sufficientemente omogeneo. Quanto detto è messo ben in evidenza nella Fig. 19 dall'ampiezza del campo definito dalla media $\pm$ lo scarto della resistenza alla punta calcolata per ogni metro sui risultati delle sei prove CPT.

Oltre alle prove penetrometriche statiche, sono state eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, diciotto prove SPT durante la perforazione dei sondaggi S1, S2, S3, S4, S6 e S7.

Come è stato già detto 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 $\alpha = 4$).

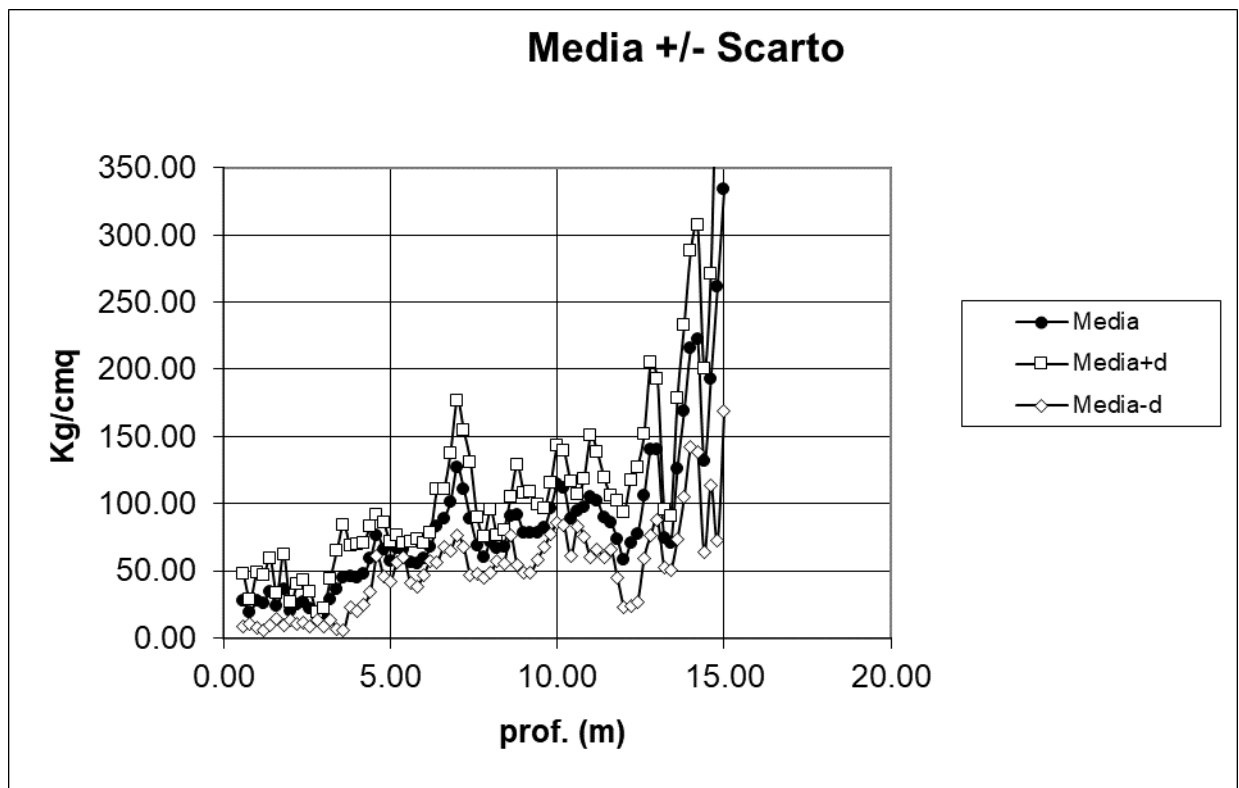


Fig. n. 19 - Media, media -scarto, media + scarto della resistenza alla punta calcolata per metro di profondità e per le sei prove.

Nella Fig. n. 20 è stata riportata la resistenza alla punta misurata con il penetrometro statico in termini di media dei valori misurati nelle sei prove alla stessa profondità dal p.c.

Confrontando i valori delle prove SPT e i predetti valori della resistenza alla punta media si può notare che, pur essendo state prese in considerazione prove eseguite in luoghi abbastanza distanti tra loro, l'accordo tra le due sperimentazioni si può definire accettabile.

Le prove penetrometriche dinamiche continue DPSH eseguite nell'area mostrano un andamento del numero di colpi coerente con l'andamento della resistenza alla punta delle prove statiche predette.

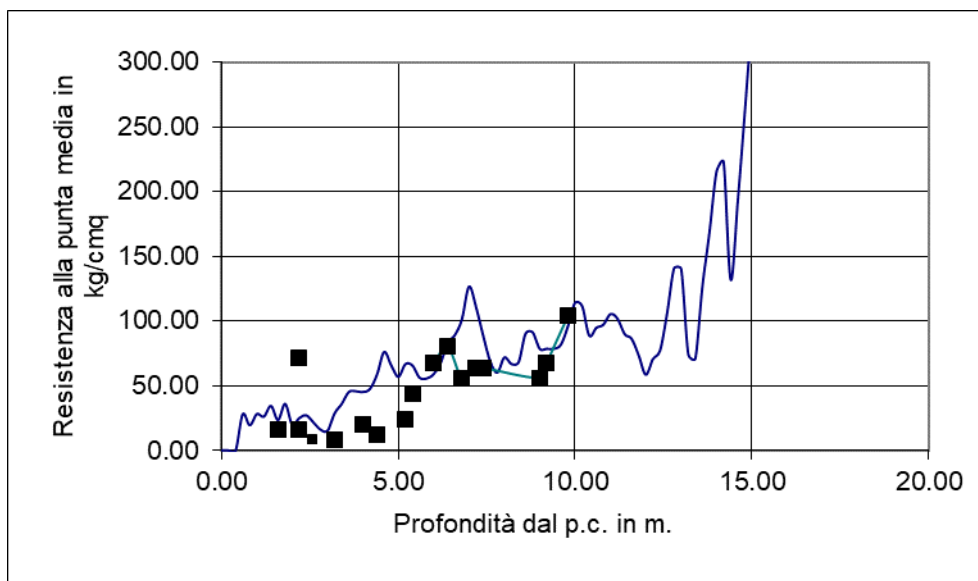


Fig. 20- Valore medio della resistenza alla punta q_c nelle sei prove alla stessa profondità e confronto con le prove SPT.

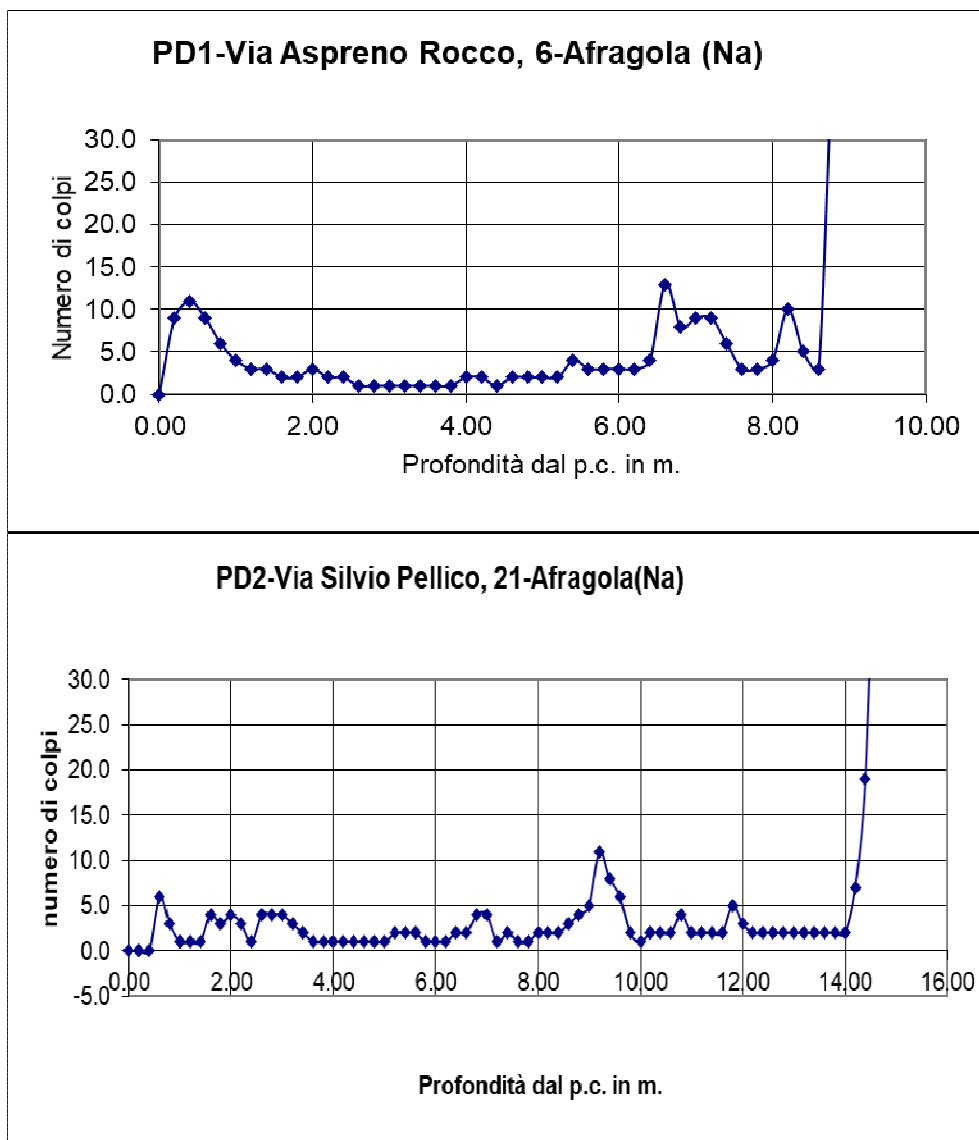


Fig. 21a- Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH. Confronto andamento numero di colpi con la profondità.

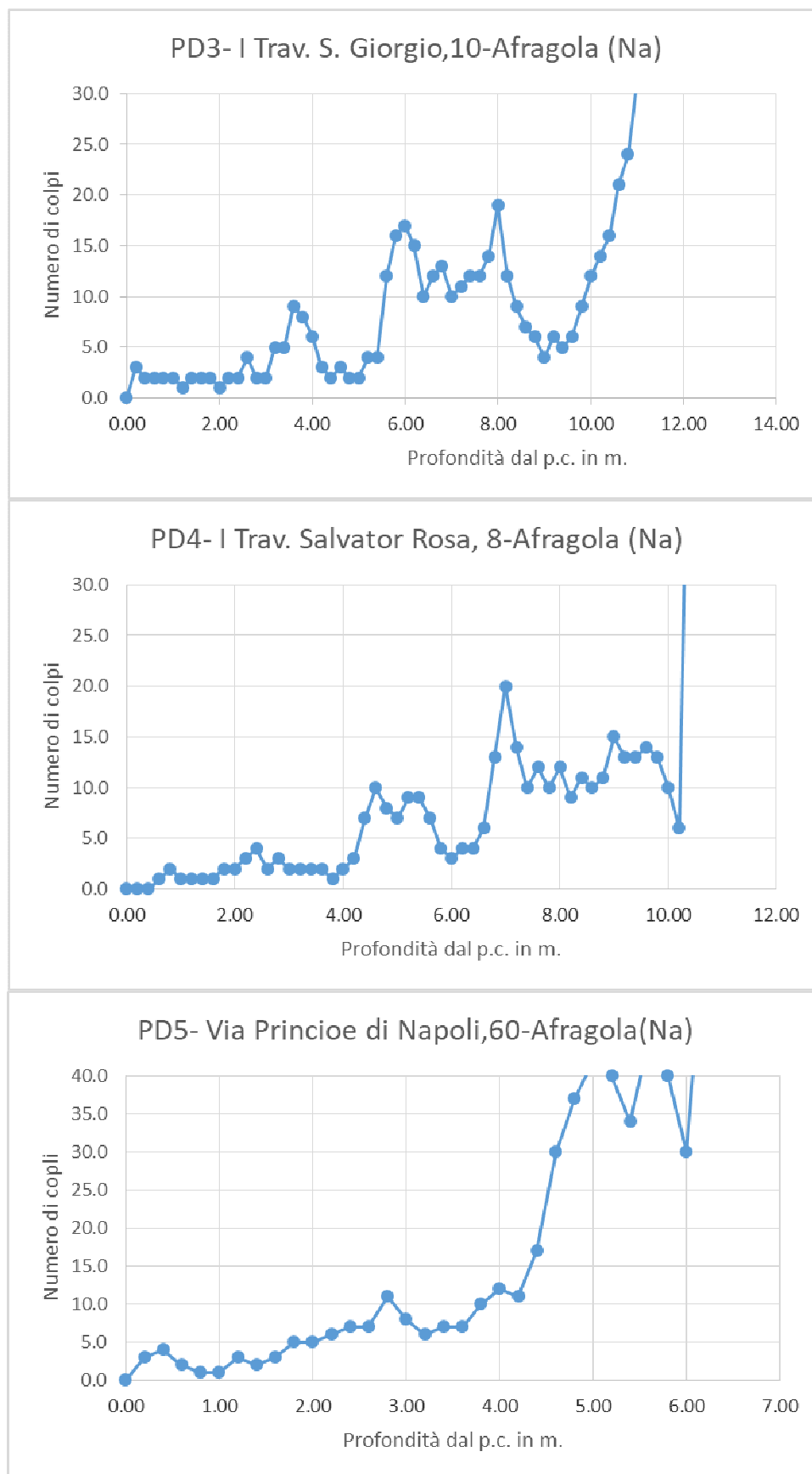


Fig. 21b- Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH. Confronto andamento numero di colpi con la profondità.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

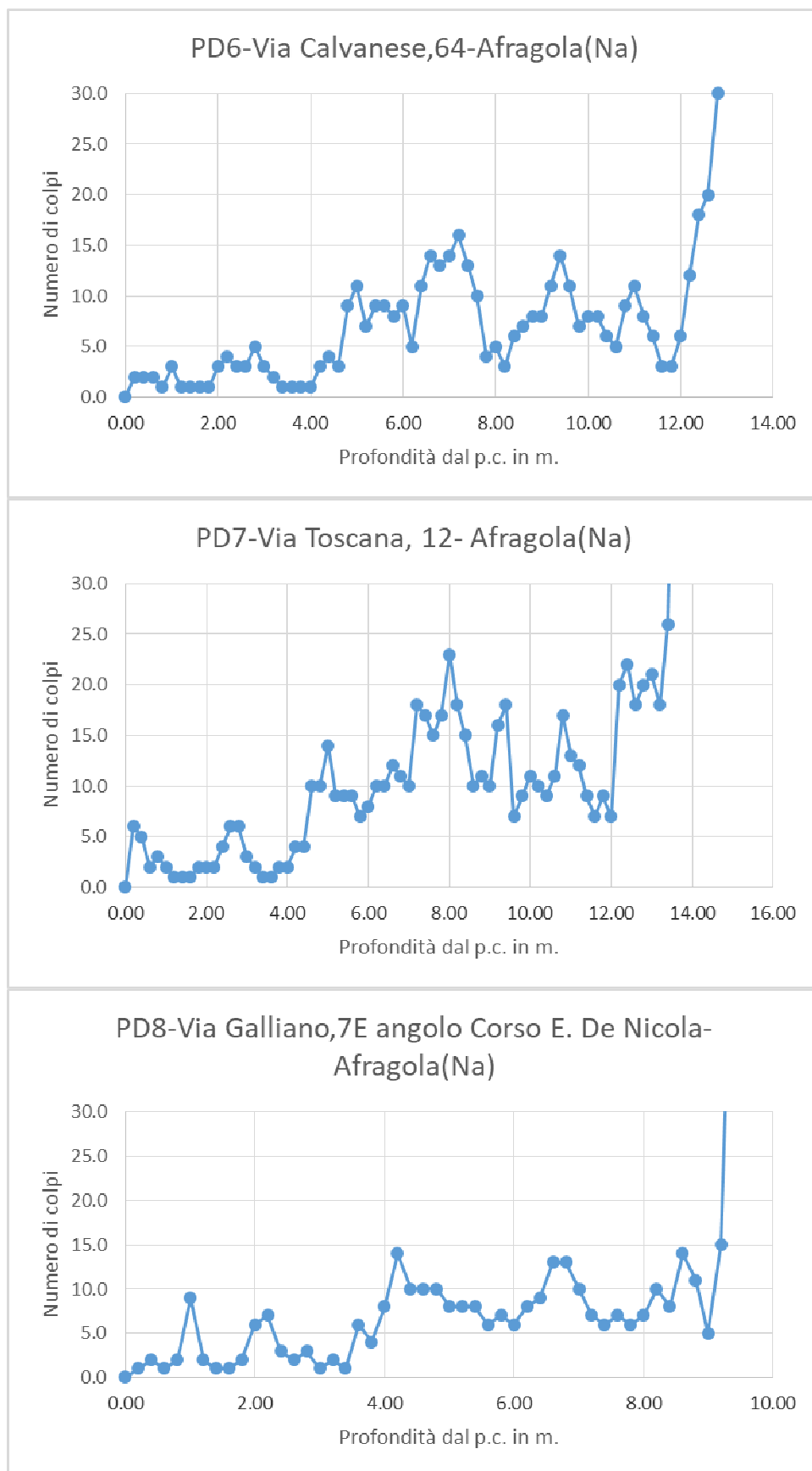


Fig. 21c- Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH. Confronto andamento numero di colpi con la profondità.

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento sufficientemente omogeneo. Quanto detto è messo ben in evidenza nella Fig. 22 dall'ampiezza del campo definito dalla media $\pm$ lo scarto del numero di colpi calcolato per ogni metro sui risultati delle otto prove DPSH.

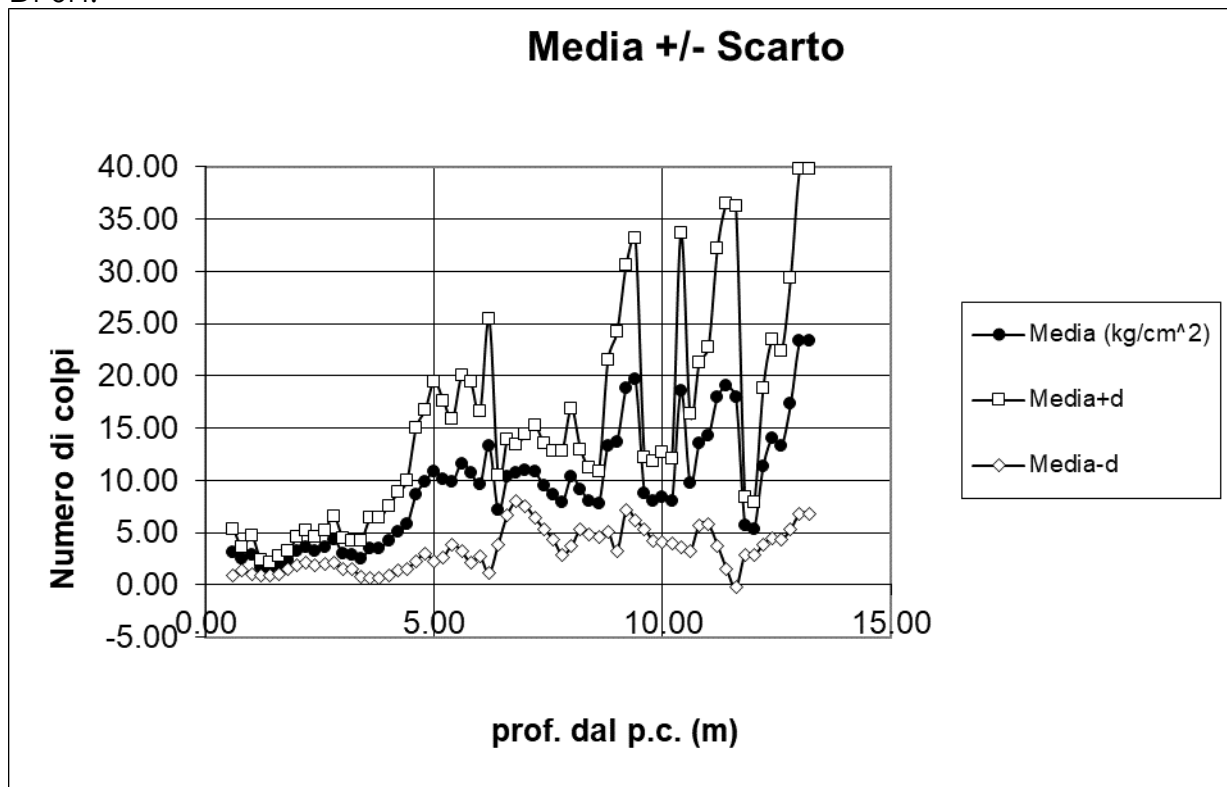


Fig. n. 22 - Media, media -scarto, media + scarto del numero di colpi calcolata per metro di profondità e per le otto prove.

Nell'area, infine, furono eseguite n. 18 prove penetrometriche medie il cui andamento del numero di colpi, tenuto conto della diversa tecnologia d'esecuzione, è coerente con l'andamento della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche prima ricordate. (Fig. n. 23)

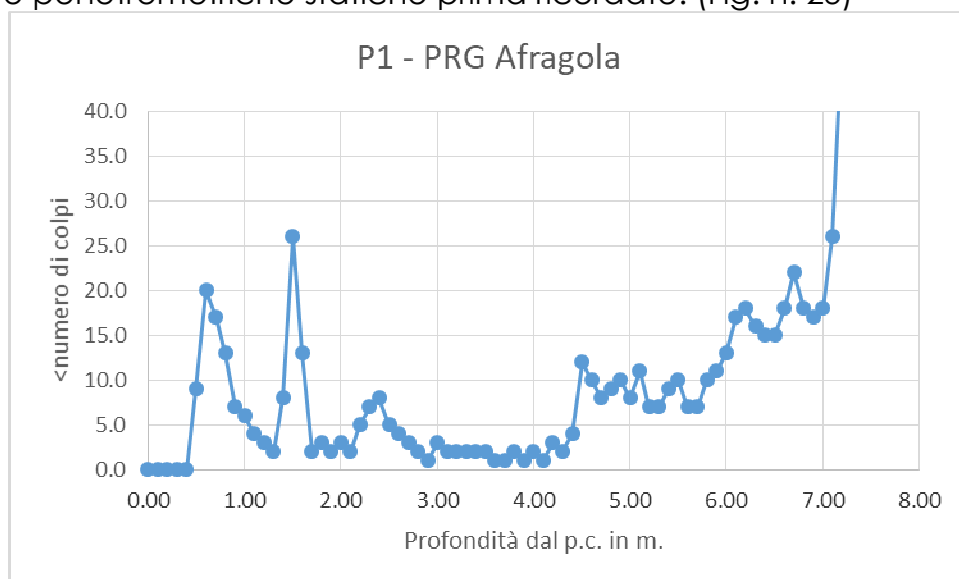


Fig. 23- Prova penetrometrica dinamica media. Andamento numero colpi.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

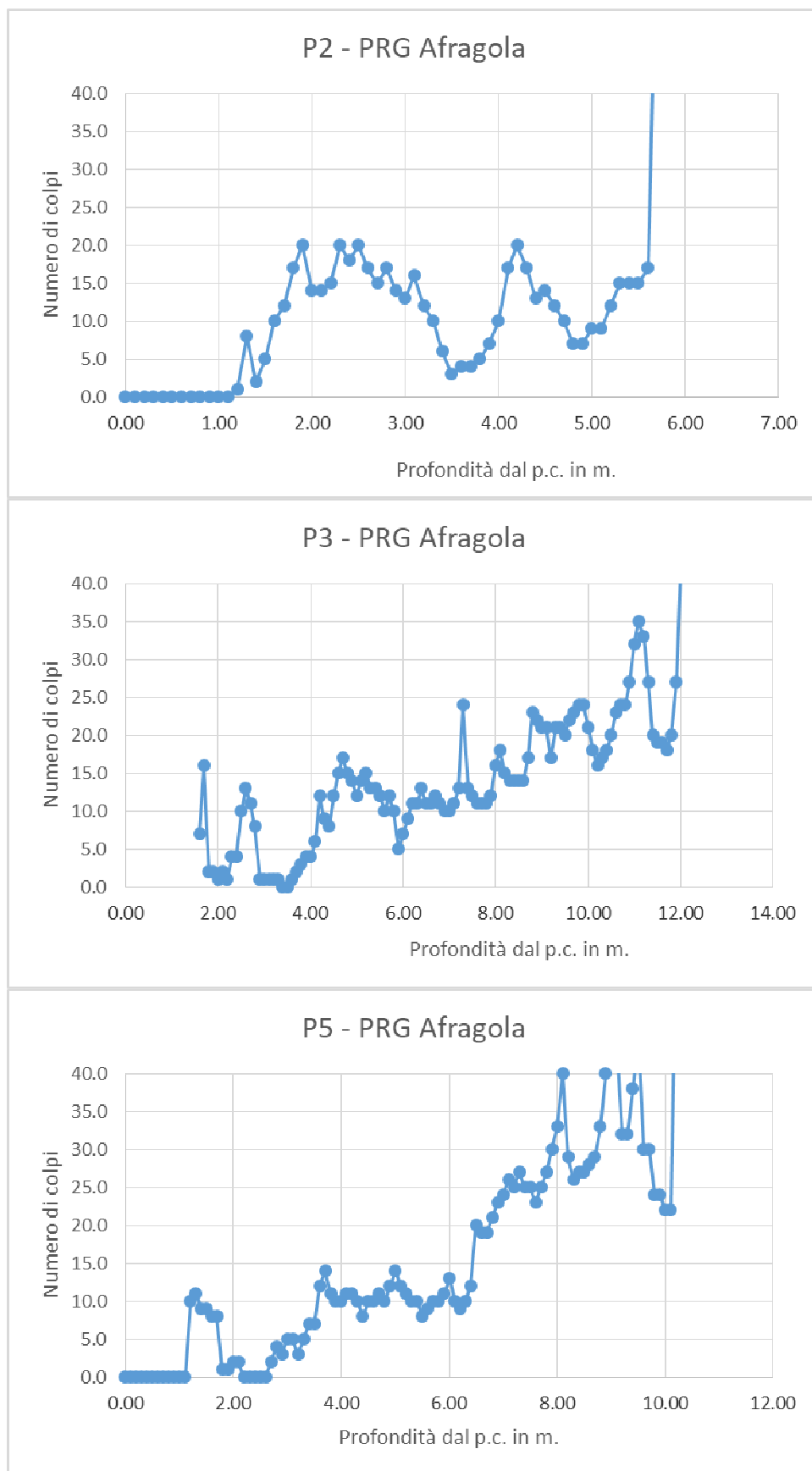


Fig. 23a- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

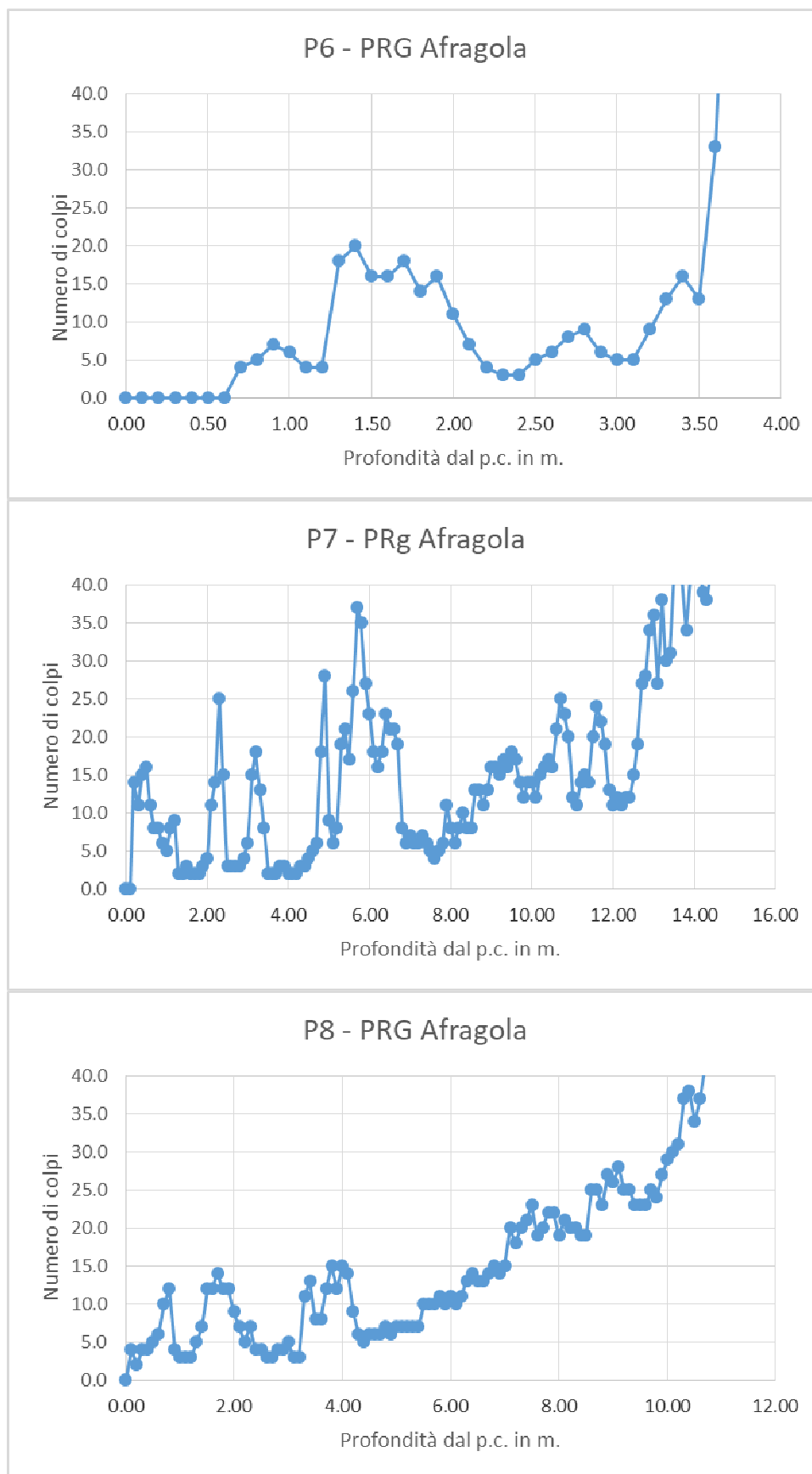


Fig. 23b- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

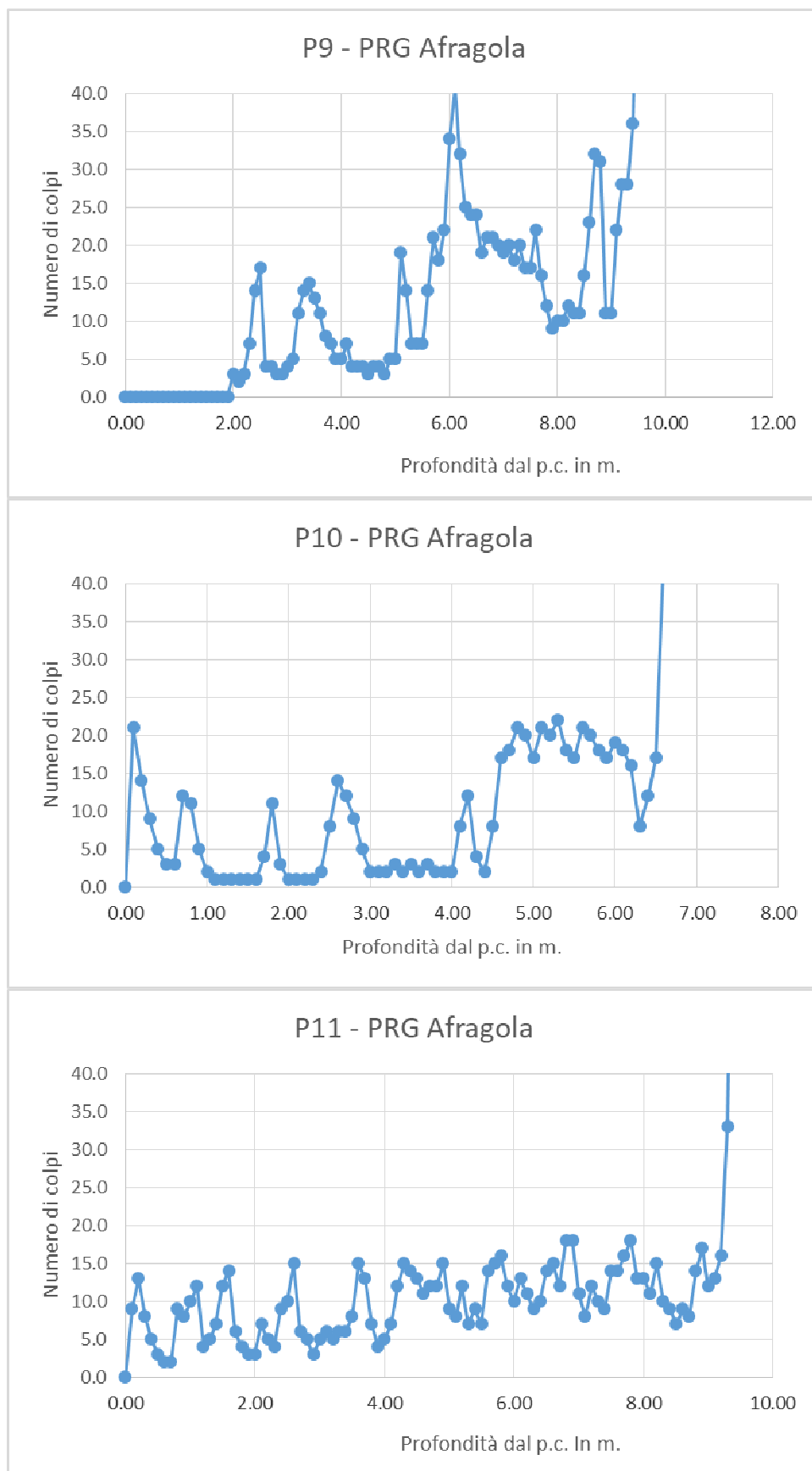


Fig. 23c- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

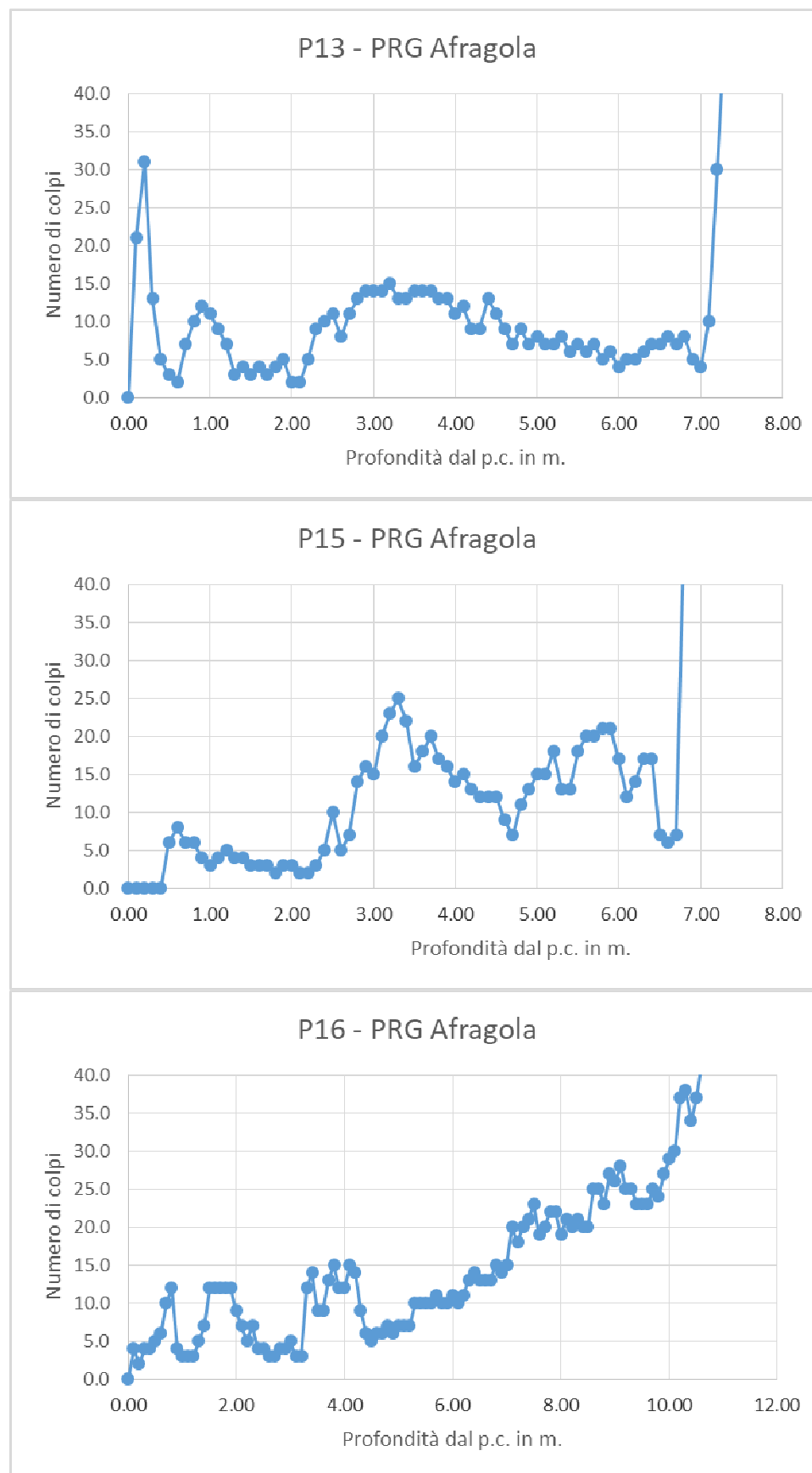


Fig. 23d- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

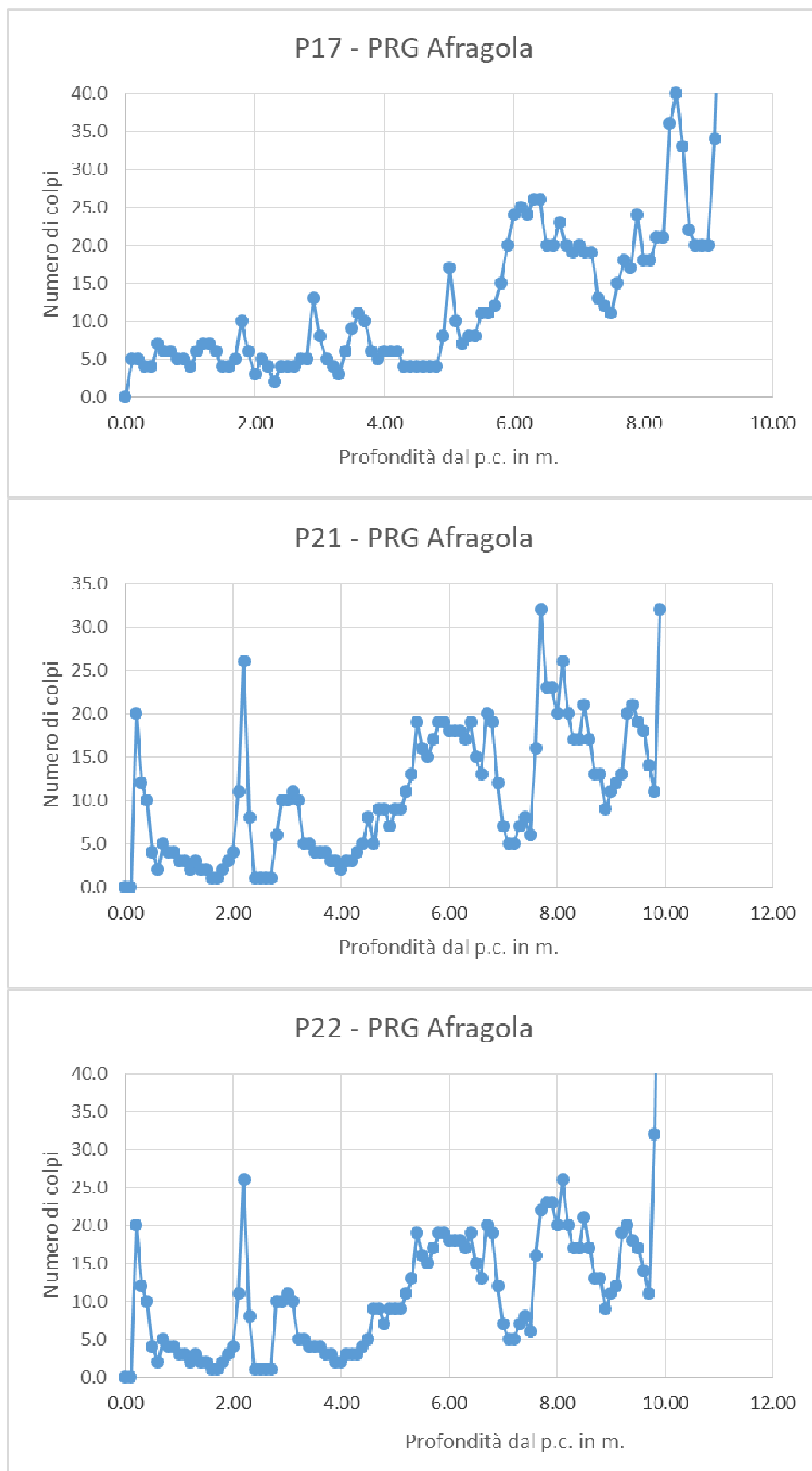


Fig. 23e- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

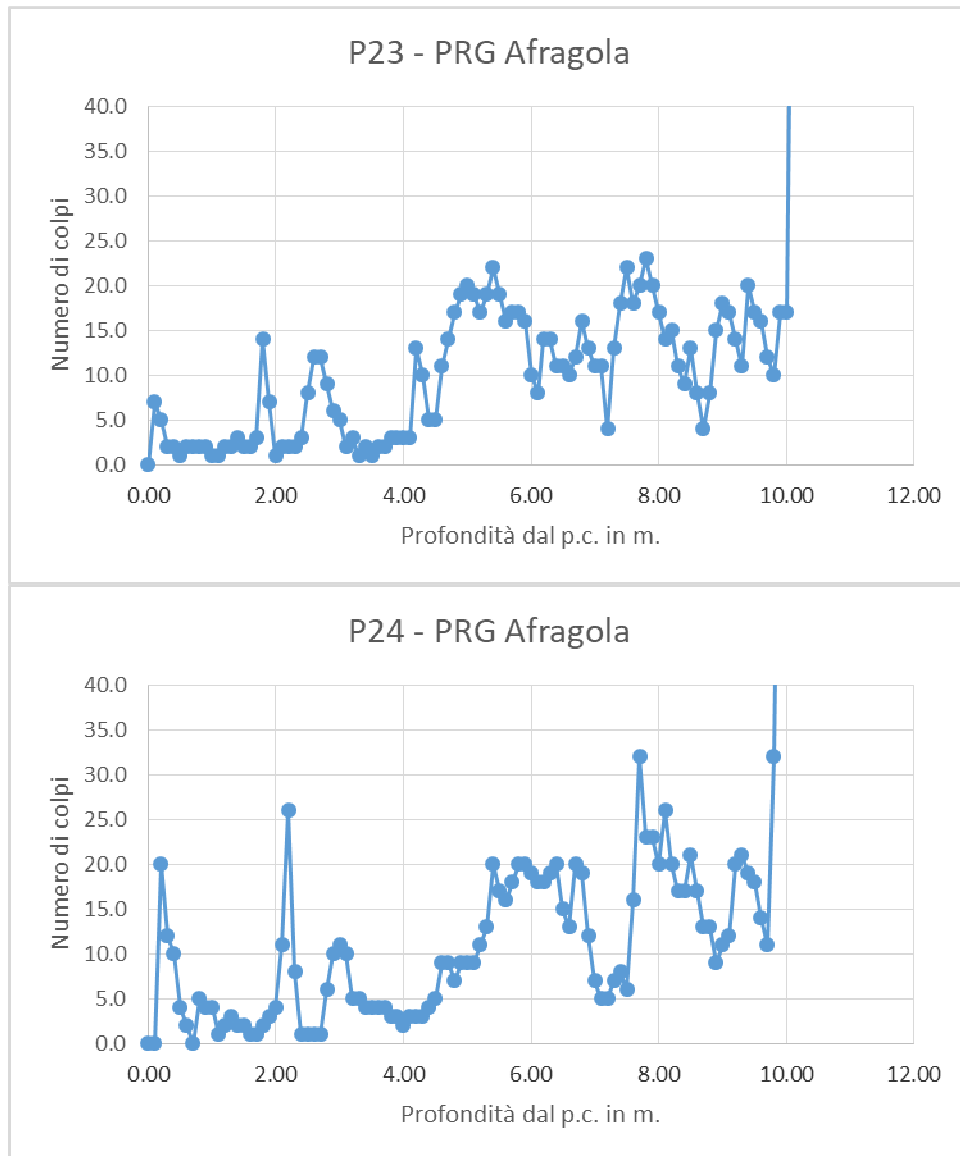


Fig. 23f- Prove penetrometriche dinamiche medie. Andamento numero colpi.

Anche in questo caso I risultati delle prove SPT eseguite, come detto precedentemente, durante la perforazione dei sondaggi S1, S2, S3, S4, S6 e S7, sono stati utilizzati per fornire una valutazione dell'angolo di attrito ϕ' attraverso la correlazione empirica di DE MELLO (1977).

Nella Fig. n. 24 sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle prove SPT eseguite nell'area interessata; dodici dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\phi' = 30^\circ$ e $\phi' = 45^\circ$ e uno relativo alla prova S3 ha valori maggiori di 45° . Si discostano da questi valori ben 4 prove eseguite probabilmente in corrispondenza di livelli ossidati (paleosuoli), che si dispongono poco al di sopra o al di sotto della curva $\phi' = 25^\circ$.

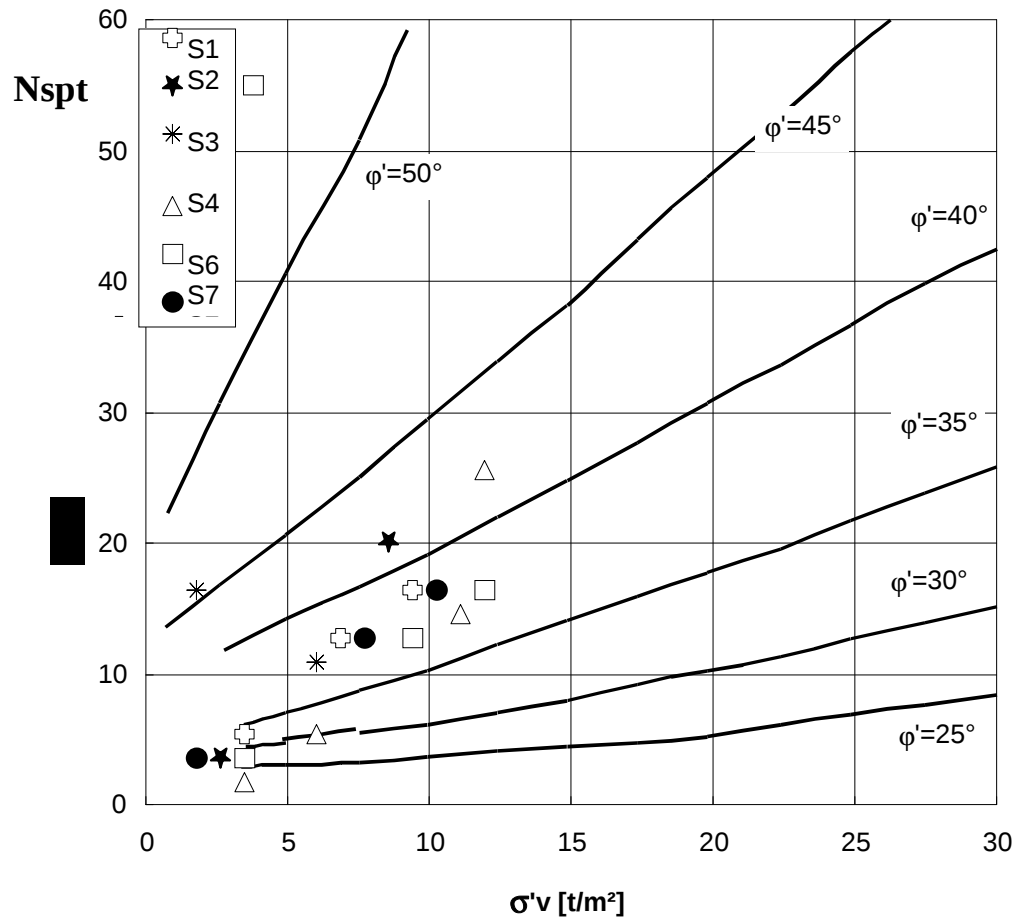
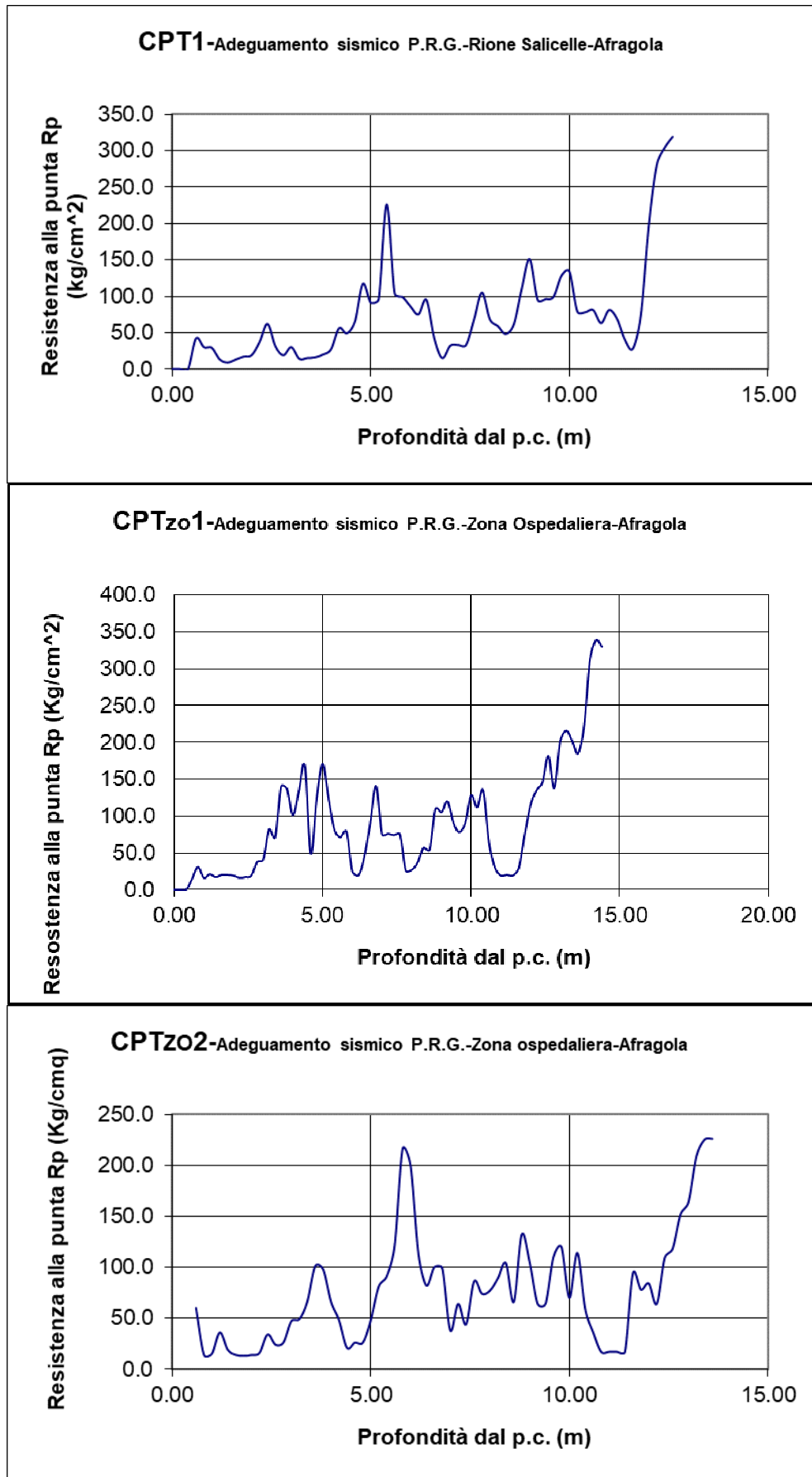


Fig. 24- Abaco di DE MELLO (1977)

c) area comprendente la località Salicelle e la parte settentrionale del territorio comunale ad ovest dell'autostrada.

Per la caratterizzazione dei terreni sono state prese in considerazione le prove penetrometriche statiche CPT1, CPTzo1 e CPTzo2. Anche queste prove evidenziano un primo picco poco pronunciato entro i primi 2.50 metri di profondità. (Fig. n. 25)



.Fig. 25- Prove penetrometriche statiche eseguite nell'Area Salicelle. Confronto resistenza alla punta.

I profili, inoltre, presentano almeno altre tre cuspidi più o meno pronunciate a partire dalla profondità di 3.00 metri (vedi Fig. n. 25).

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento sufficientemente omogeneo. Quanto detto è messo ben in evidenza nella Fig. n. 26 dall'ampiezza del campo definito dalla media $\pm$ lo scarto della resistenza alla punta calcolata per ogni metro sui risultati delle tre prove CPT.

Confrontando i valori delle prove SPT e i valori della resistenza alla punta nella prova predetta si può notare che l'accordo tra le due sperimentazioni si può definire accettabile (Fig. n. 27).

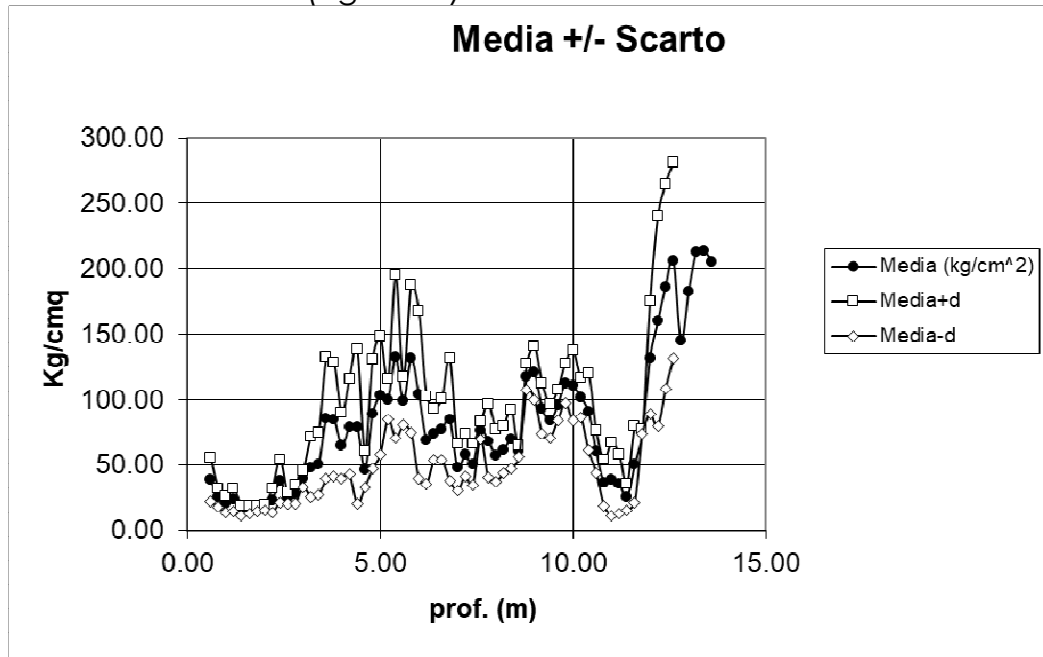


Fig. 26 - Media, media -scarto, media + scarto della resistenza alla punta calcolate per metro e per le tre prove.

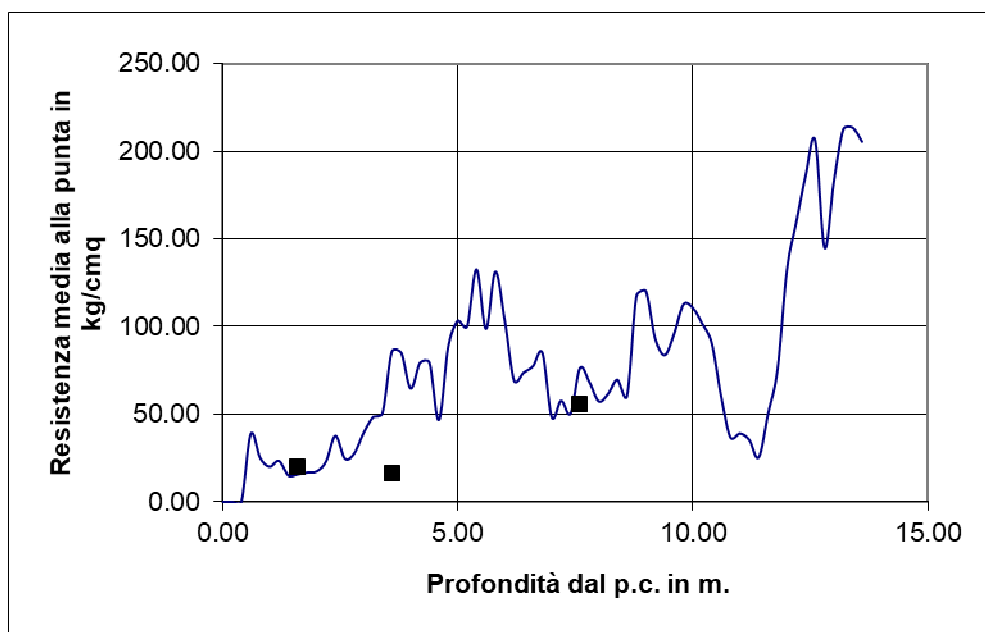


Fig. 27- Valore medio della resistenza alla punta q_c nelle tre prove alla stessa profondità e confronto con le prove SPT.

Le predette prove sono state, inoltre, confrontate con le prove penetrometriche dinamiche medie PM19 e PM26. L'andamento del numero di colpi con la profondità, tenendo conto della diversa tecnologia di esecuzione, è decisamente confrontabile con l'andamento della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche precedentemente riportate. (Fig. n. 28)

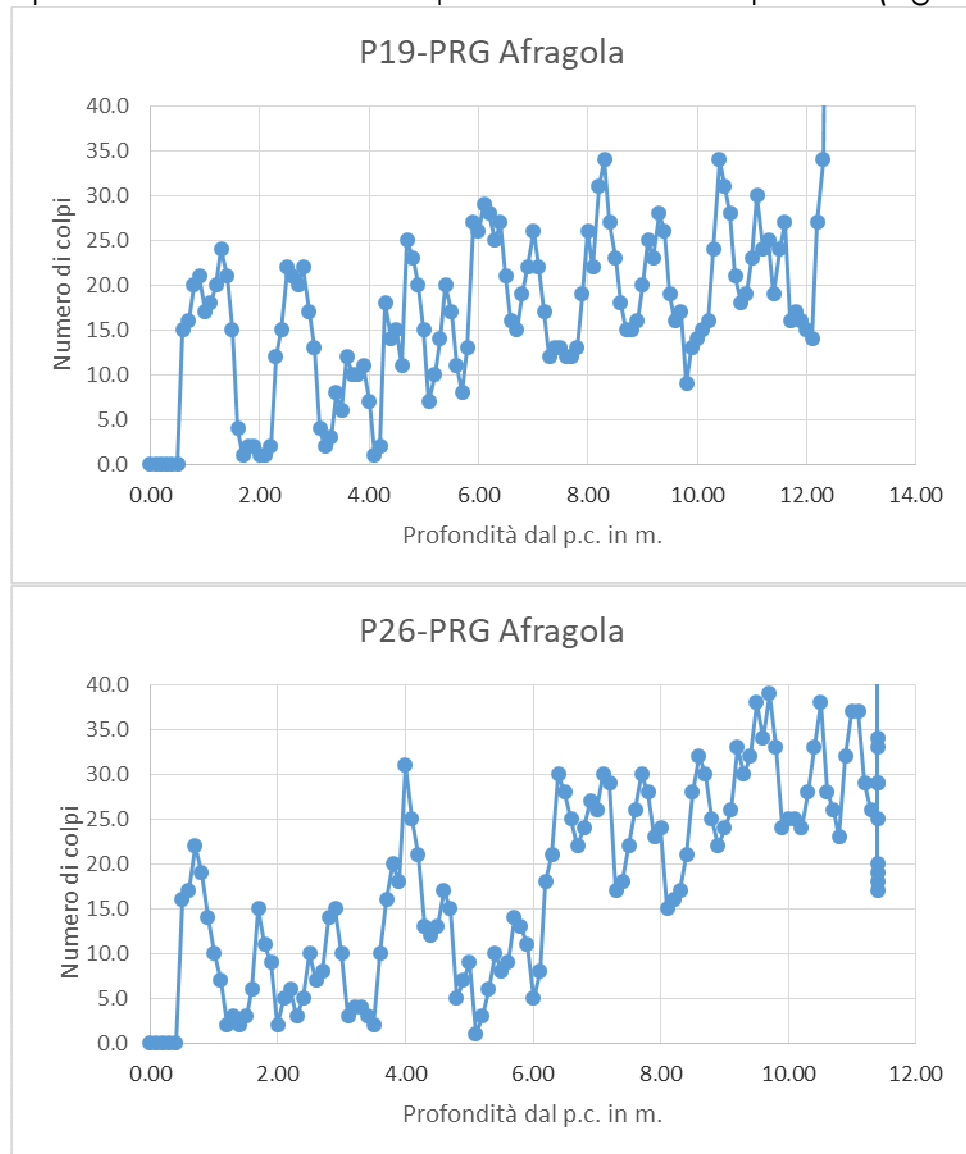


Fig. 28- Prove penetrometriche dinamiche medie eseguite nell'Area Salicelle. Confronto numero di colpi.

Oltre alla prova penetrometrica statica, sono state eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, tre prove SPT durante la perforazione del sondaggio S8.

Anche in questo caso i risultati delle prove SPT sono stati utilizzati per fornire una valutazione dell'angolo di attrito ϕ' attraverso la correlazione empirica di DE MELLO (1977).

Nella Fig. n. 29 sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle tre prove SPT eseguite nell'area interessata; uno dei punti sperimentali si posiziona al di

sopra della curva $\phi' = 35^\circ$ e due, eseguiti in corrispondenza di livelli ossidati, si dispongono poco al di sopra della curva $\phi' = 25^\circ$.

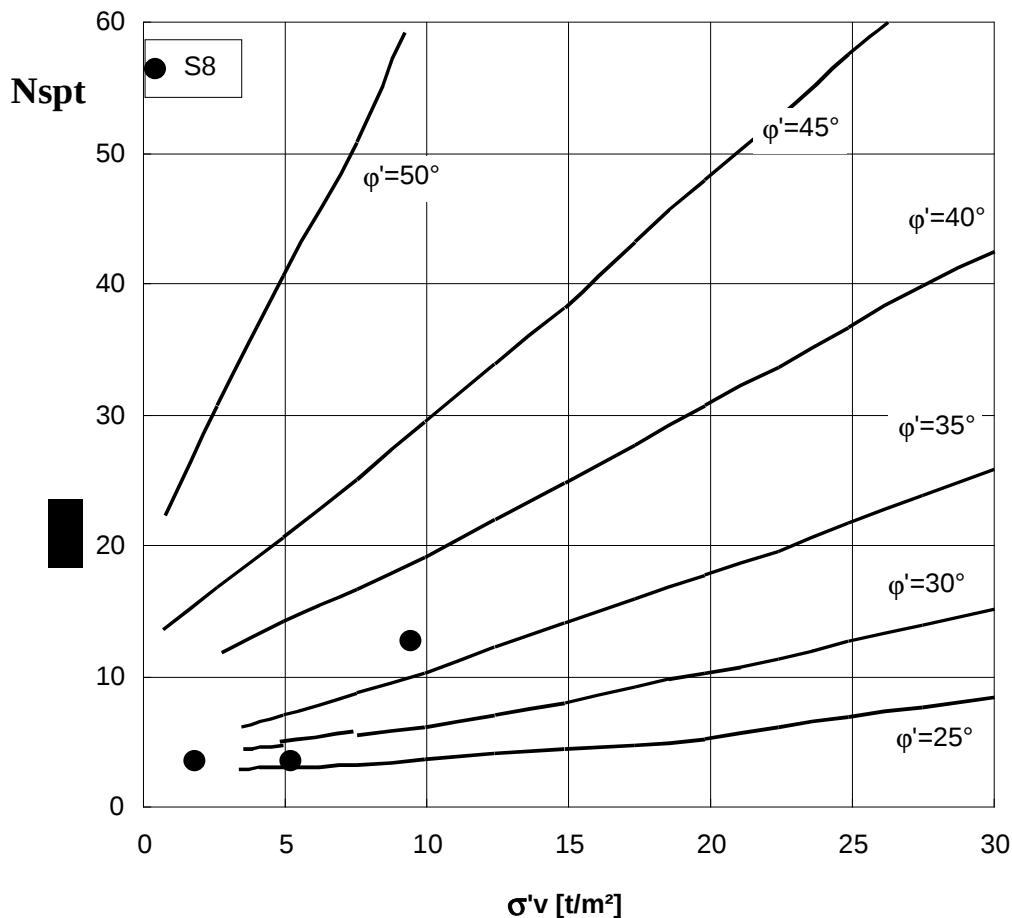


Fig. 29- Abaco di DE MELLO (1977)

d) area posta ad Est dell'autostrada Napoli-Roma e a sud di via Arena.

In quest'area la caratterizzazione dei terreni è stata effettuata sia prendendo in considerazione la prova penetrometrica CPT2 che le prove SPT eseguite durante la perforazione dei sondaggi per la TAV BH38bis, BH38, BH39, BH40, BH40A, BH41bis, BH41, Bh41A, BH42, BH43, BH44, BH44A, BH44bis, BH45, BH45bis, BH46, BH47, BH48, BH48bis, BH49, BH49bis, BH50, BH50bis e S10 effettuato per la presente indagine .

La prova CPT2 evidenzia un primo picco poco pronunciato intorno alla profondità di 2.00 metri ed almeno altre quattro cuspidi più o meno pronunciate a partire dalla profondità di 4.00 metri (vedi Fig. n. 30).

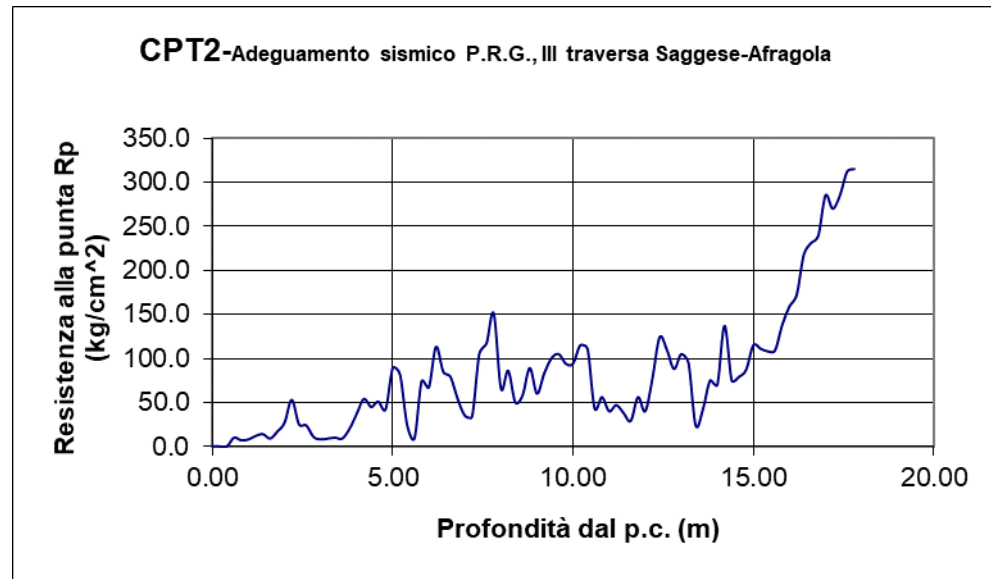


Fig. n. 30- Profilo della resistenza alla punta nella prova CPT2 eseguita in via Saggese.

Come è noto le prove SPT 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 $\alpha = 4$).

Confrontando i valori delle prove SPT relativi alle prove prima ricordate e i valori della resistenza alla punta nella prova predetta si può notare che l'accordo tra le due sperimentazioni si può definire accettabile (Fig. n. 31).

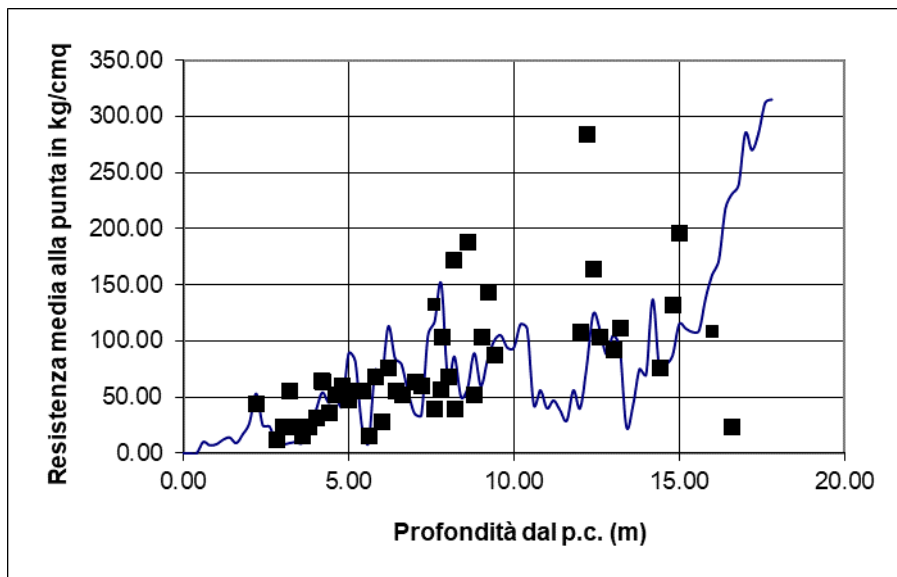


Fig. n. 31- Confronto resistenza alla punta della prova penetrometrica statica CPT2 e le prove SPT eseguite nei sondaggi della stessa area.

Le predette prove sono state, inoltre, confrontate con le prove penetrometriche dinamiche medie PM4, PM14 e PM18.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

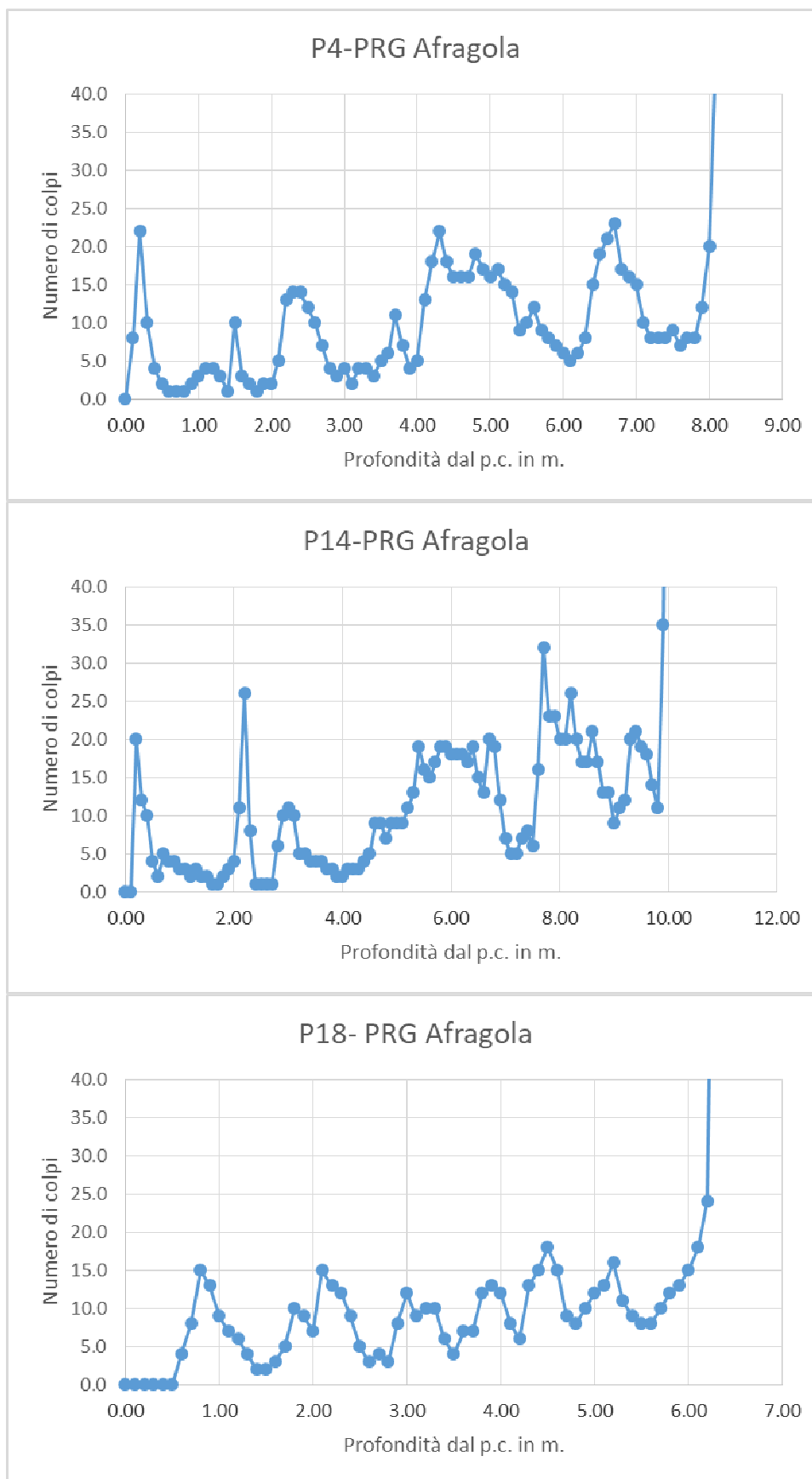


Fig. 32- Prove penetrometriche dinamiche medie eseguite a sud di via Arena. Confronto numero di colpi.

L'andamento del numero di colpi con la profondità, tenendo conto della diversa tecnologia di esecuzione, è decisamente confrontabile con l'andamento della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche precedentemente riportate. (Fig. n. 32)

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.

Nelle Figg. n. 33a e 33b sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle settantasei prove SPT eseguite nei sondaggi dell'area interessata; trentanove dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\phi' = 30^\circ$ e $\phi' = 40^\circ$ e ventiquattro relativi hanno valori maggiori di 40° . Si discostano da questi valori ben 9 prove eseguite probabilmente in corrispondenza di livelli ossidati (paleosuoli), che si dispongono o poco al di sopra o poco al di sotto della curva $\phi' = 25^\circ$.

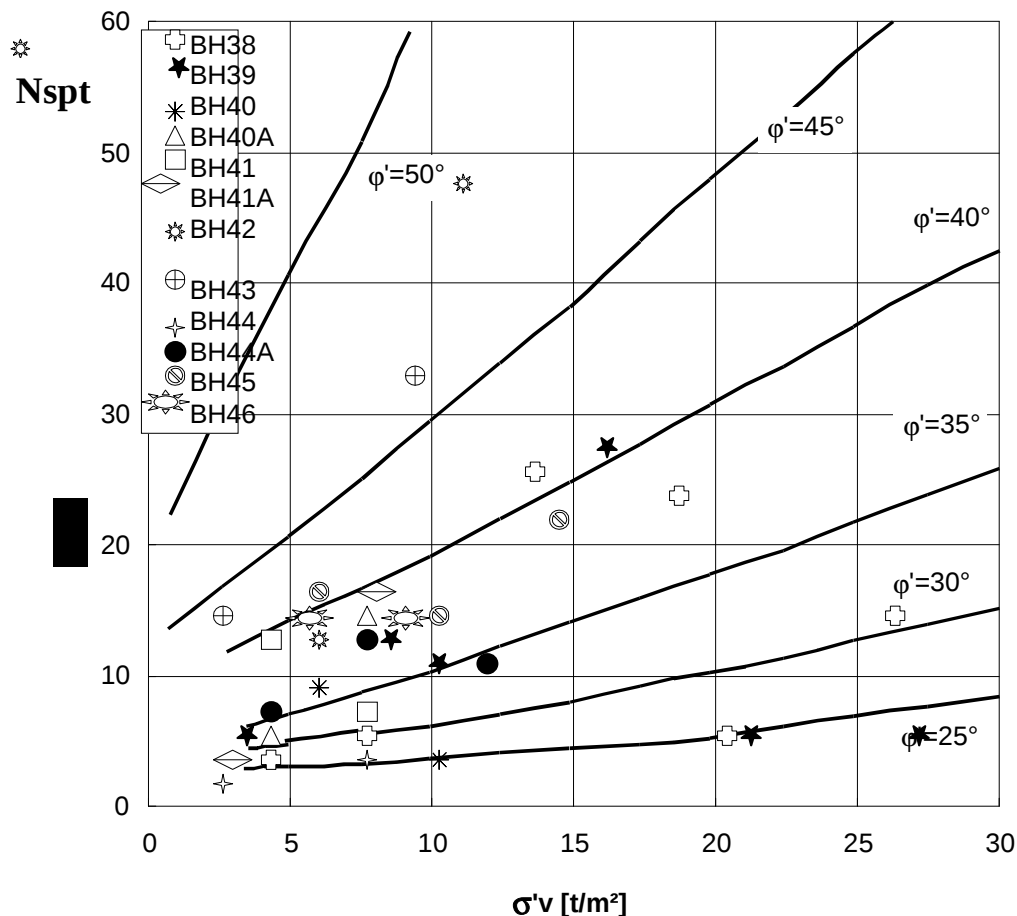


Fig. 33a- Abaco di DE MELLO (1977)

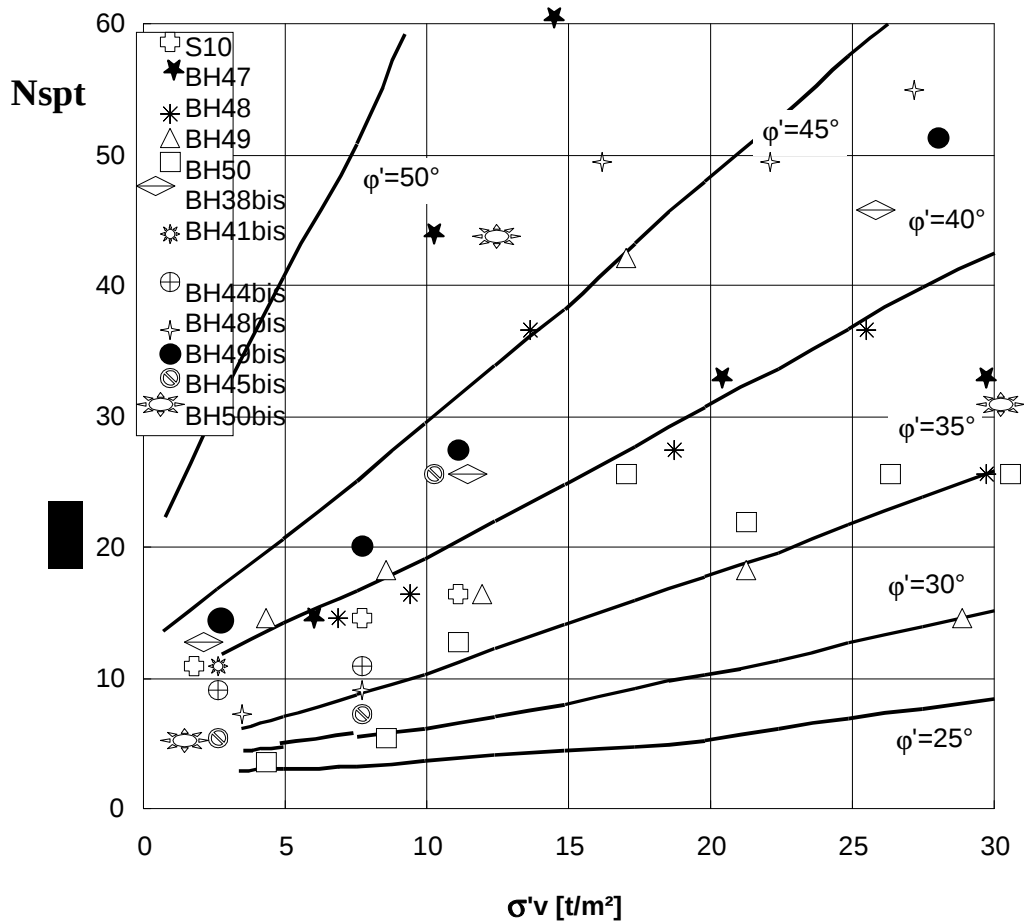


Fig. 33b- Abaco di DE MELLO (1977)

e) Area a nord di via Arena ad est dell'autostrada Napoli- Roma

Per la caratterizzazione dei terreni sono state prese in considerazione le prove penetrometriche statiche CPT6bis, CPTms1, CPTms2, CPTms3 eseguite nell'area. Queste prove evidenziano un primo picco più o meno pronunciato entro i primi 2.50 metri di profondità. Tutti i profili, inoltre, presentano fino ad almeno altre tre cuspidi più o meno pronunciate a partire dalla profondità di 3.50 metri (vedi Fig. n. 34a e 34b).

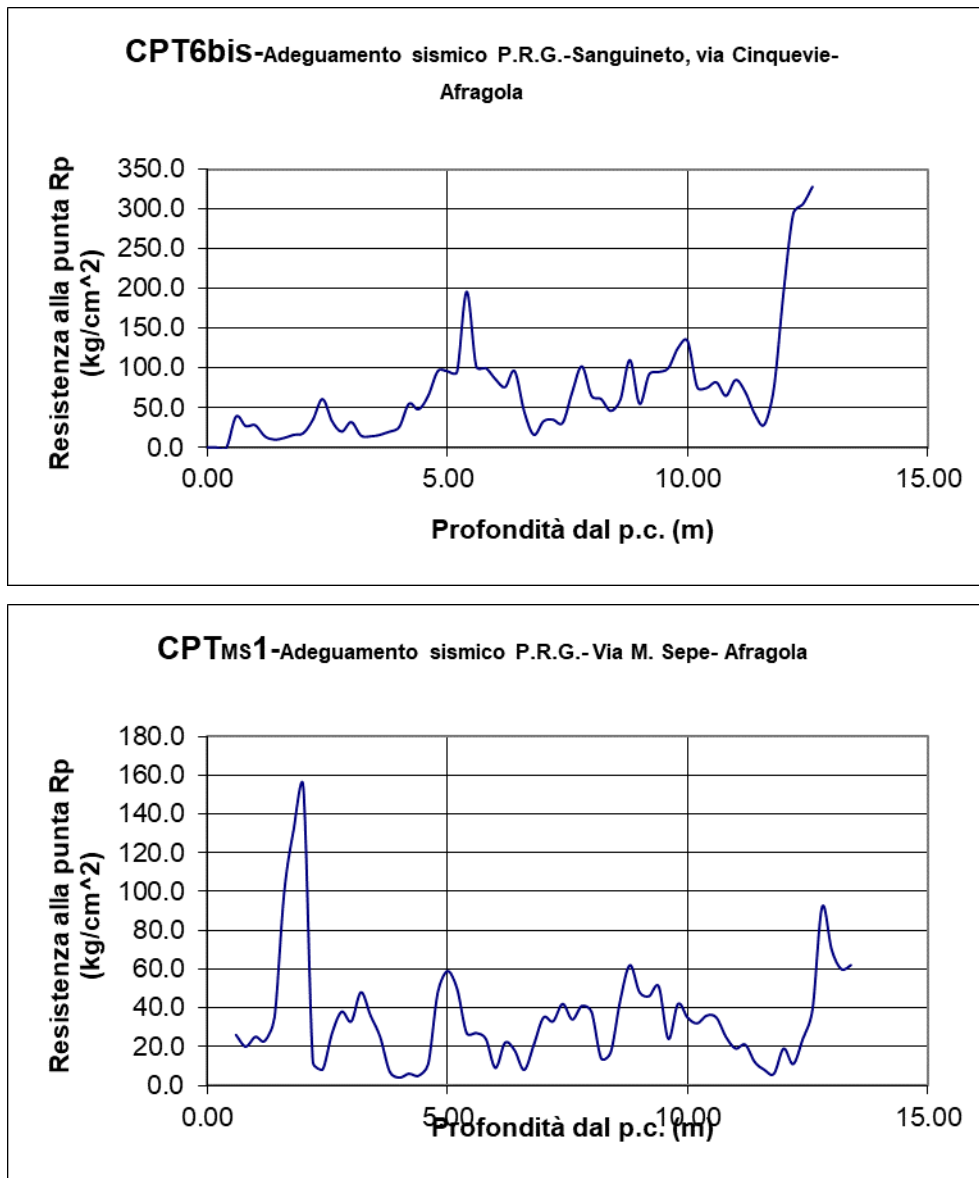


Fig. n. 34a- Prove penetrometriche statiche eseguite a nord di via Arena. Confronto resistenza alla punta.

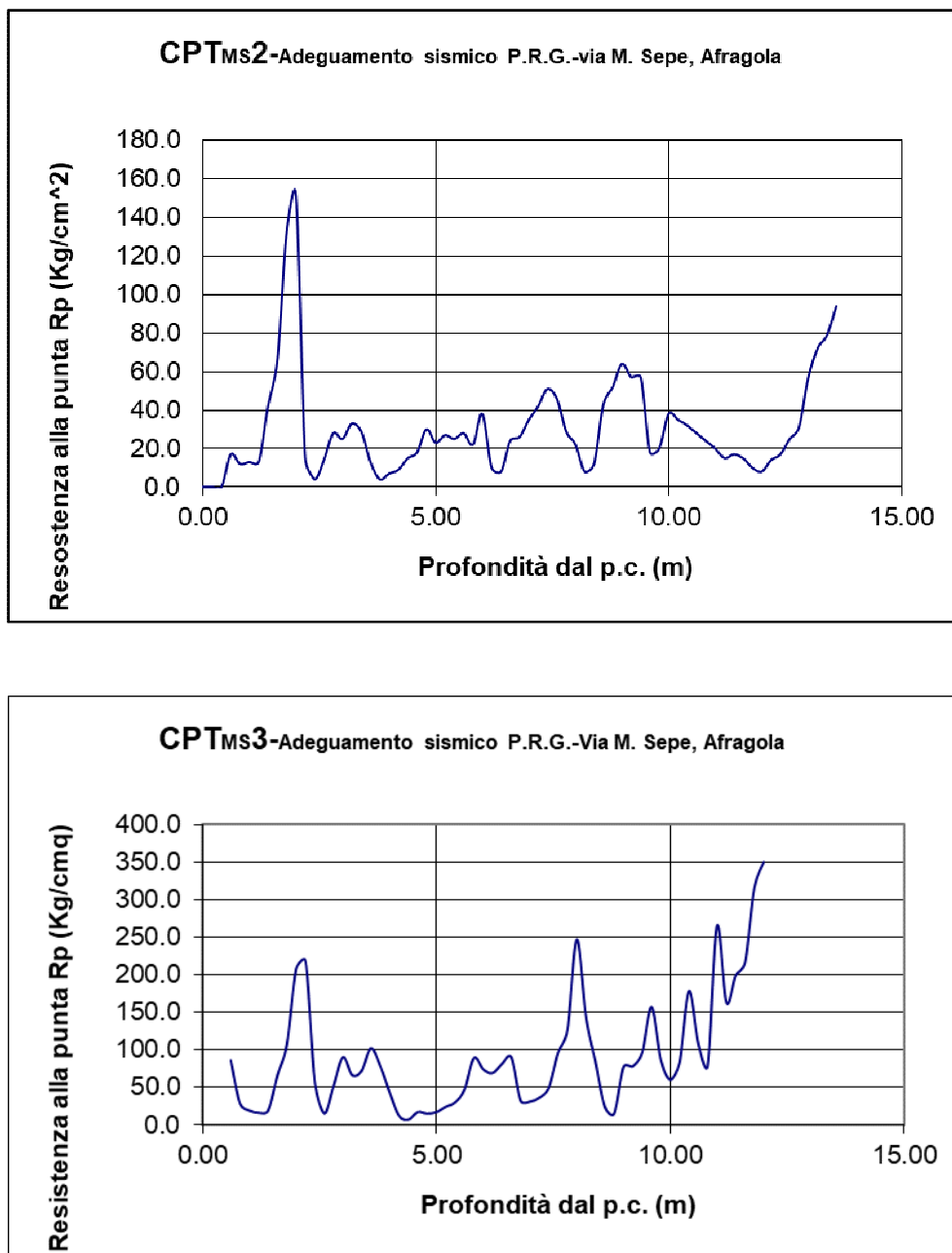


Fig. n. 34b- Prove penetrometriche statiche eseguite a nord di via Arena. Confronto resistenza alla punta.

Come si può osservare dai profili, i terreni lungo le verticali presentano un comportamento sufficientemente omogeneo.

Quanto detto è messo ben in evidenza nella Fig. 35 dall'ampiezza del campo definito dalla media $\pm$ lo scarto della resistenza alla punta calcolata per ogni metro sui risultati delle tre prove CPT.

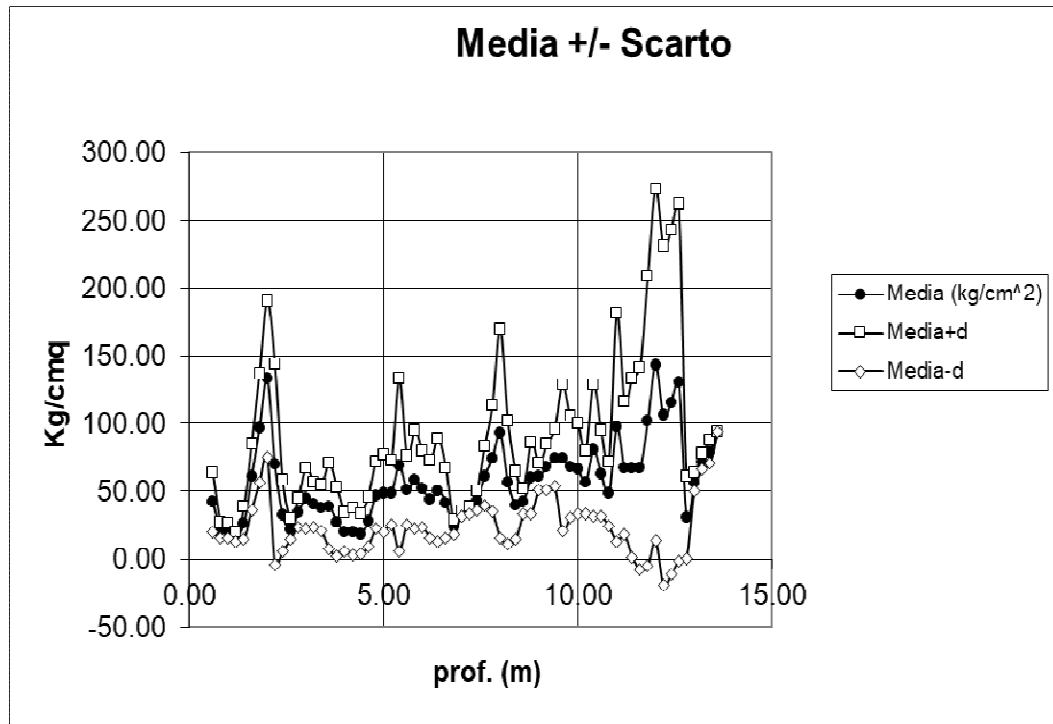


Fig.35 - Media, media -scarto, media + scarto della resistenza alla punta calcolate per metro e per le quattro prove.

Oltre alle prove penetrometriche statiche, sono state eseguite, come detto nei paragrafi precedenti, alcune prove SPT durante la perforazione dei sondaggi S9, BH37, BH37bis, BH36, BH36A. Come è stato già detto 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 $\alpha=4$).

Confrontando i valori delle prove SPT e i predetti valori della resistenza alla punta media nelle quattro prove si può notare che, pur essendo state prese in considerazione prove eseguite in luoghi abbastanza distanti tra loro, l'accordo tra le due sperimentazioni si può definire accettabile.

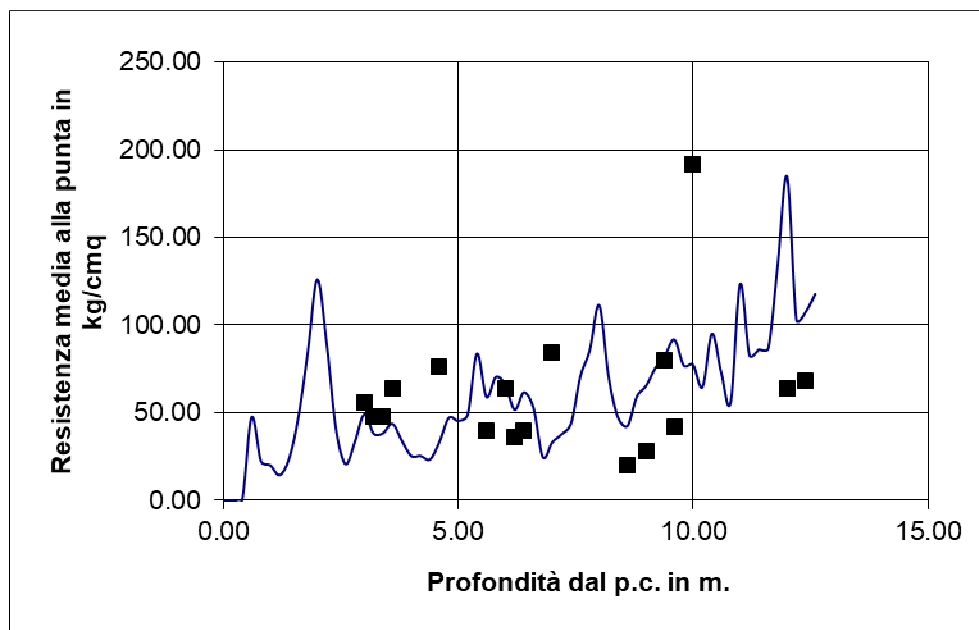


Fig. 36- Valore medio della resistenza alla punta qc nelle quattro prove alla stessa profondità e confronto con le prove SPT.

Le predette prove sono state, inoltre, confrontate con le prove penetrometriche dinamiche medie P27, 28, 29, 390, 31, 32, 33 e 34. Anche in questo caso l'andamento del numero di colpi con la profondità, tenendo conto della diversa tecnologia di esecuzione, è decisamente confrontabile con l'andamento della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche precedentemente riportate. (Fig. n. 37)

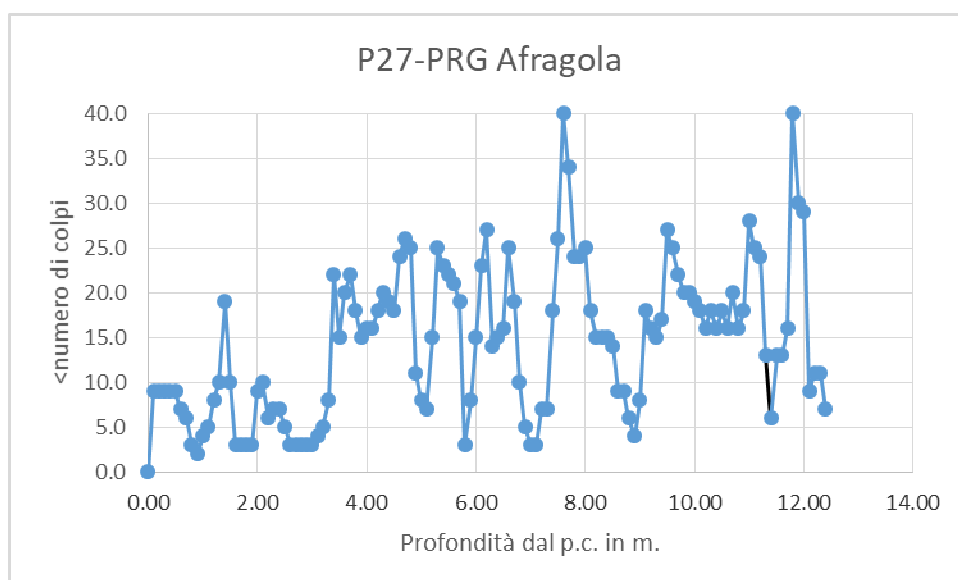


Fig. 37a - Prova penetrometrica dinamica media eseguita a nord di via Arena. Confronto numero di colpi.

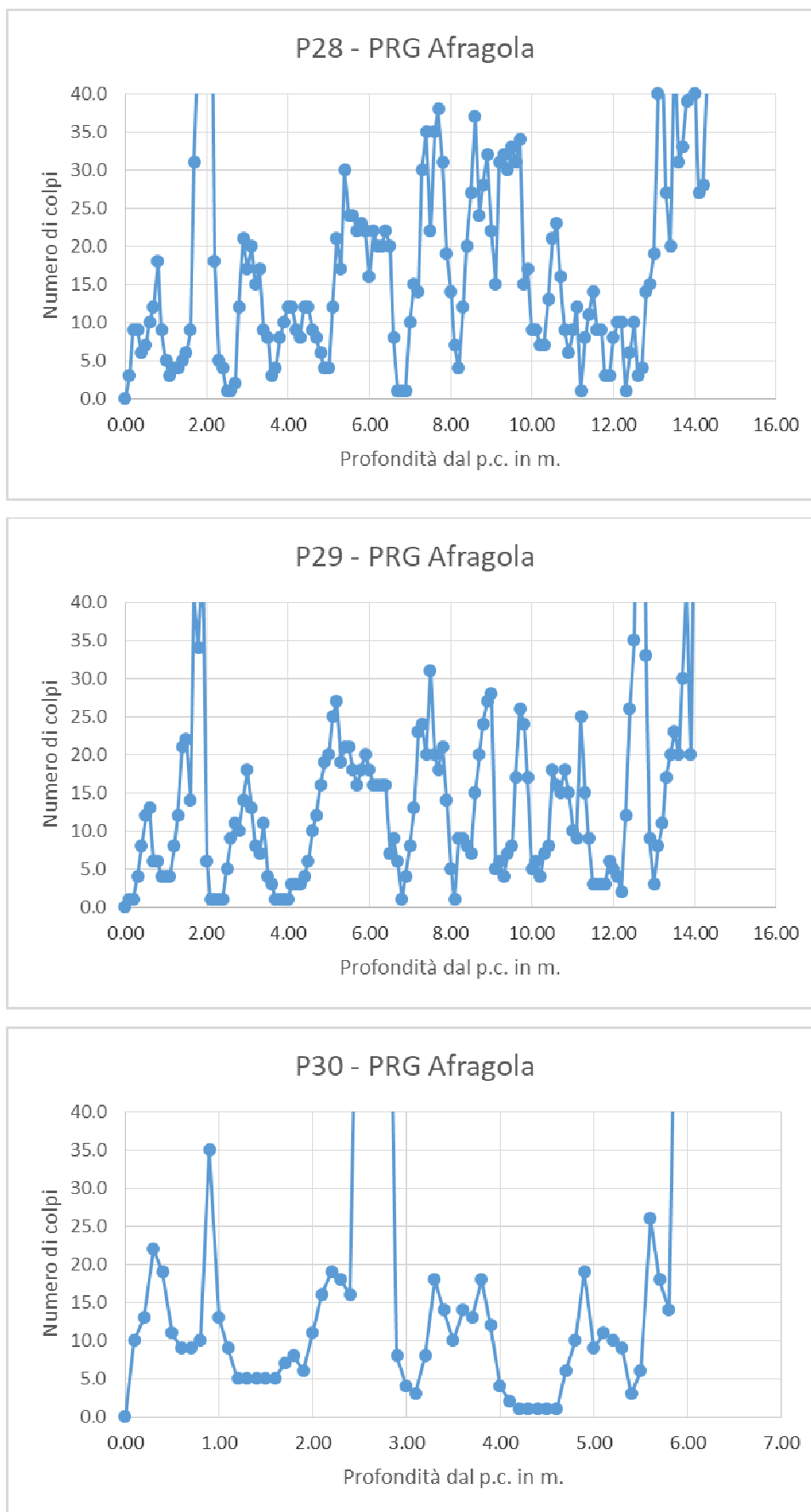


Fig. 37b - Prove penetrometriche dinamiche medie eseguite a nord di via Arena. Confronto numero di colpi.

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

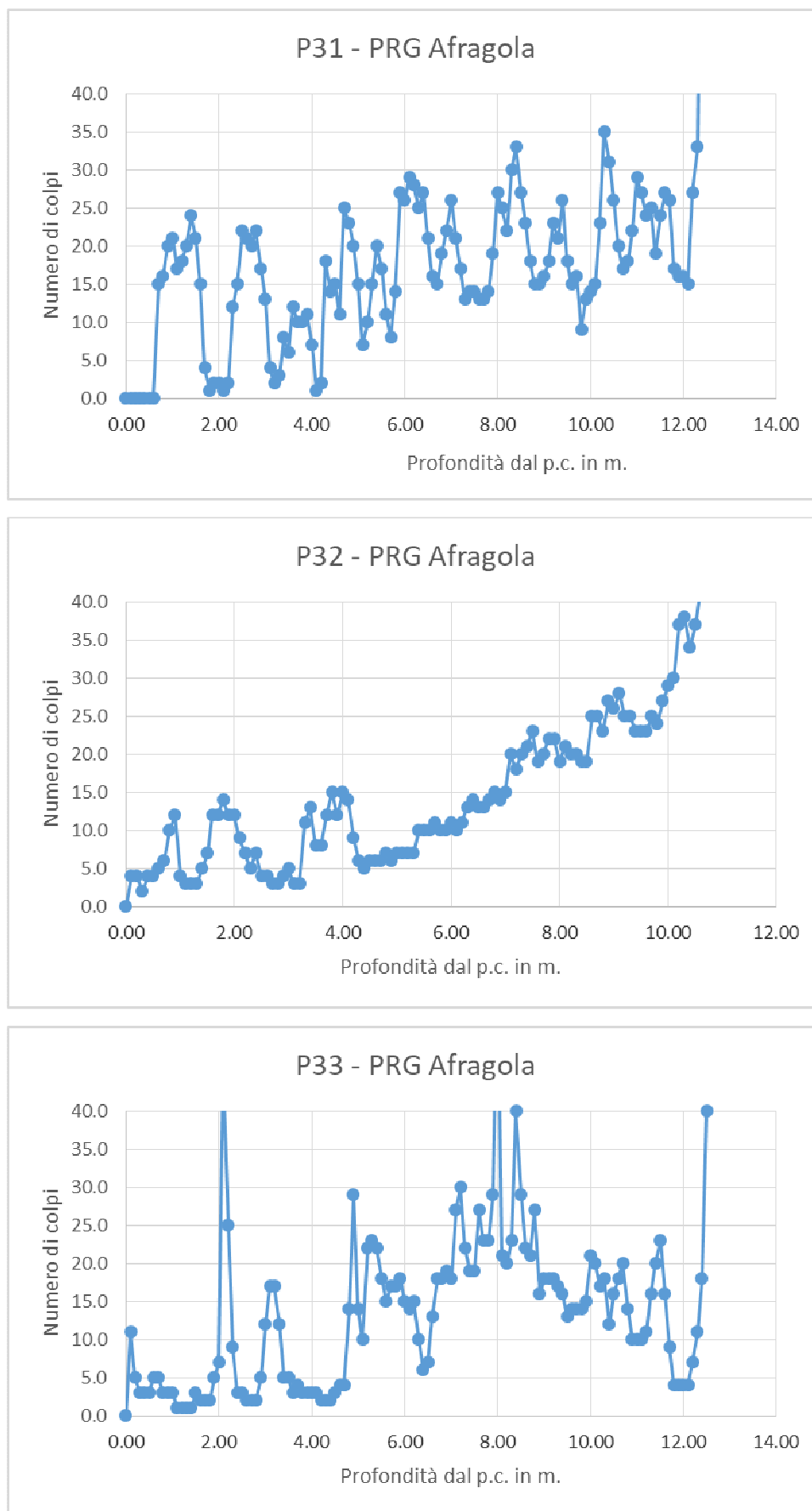


Fig. 37c - Prove penetrometriche dinamiche medie eseguite a nord di via Arena. Confronto numero di colpi.

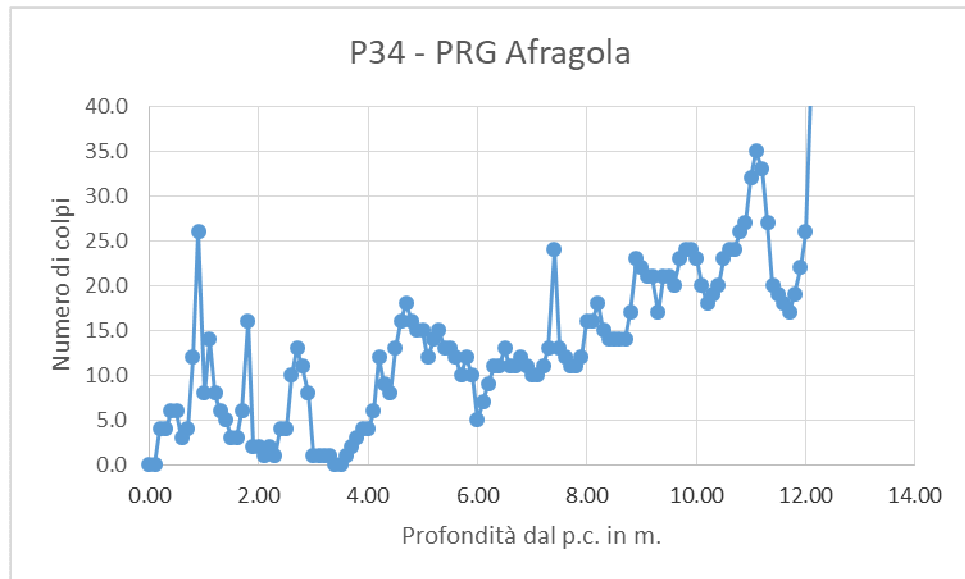


Fig. 37d - Prova penetrometrica dinamica media eseguita a nord di via Arena. Confronto numero di colpi.

Anche in questo caso i risultati delle prove SPT sono stati utilizzati per fornire una valutazione dell'angolo di attrito ϕ' attraverso la correlazione empirica di DE MELLO (1977).

Nella Fig. n. 38 sono stati riportati nel citato abaco i risultati delle ventisei prove SPT eseguite nell'area interessata; Quattordici dei punti sperimentali sono compresi tra le curve $\phi' = 30^\circ$ e $\phi' = 40^\circ$, nove tra le curve $\phi' = 40^\circ$ e $\phi' = 45^\circ$ e due relativi alle prove BH37 e BH37A hanno valori maggiori di 45° . Si discosta da questi valori una sola prova, eseguita nel corso del sondaggio BH36 alla profondità di 8.50 m., probabilmente in corrispondenza di un livello ossidato (paleosuolo), che si dispone poco al di sopra della curva $\phi' = 25^\circ$.

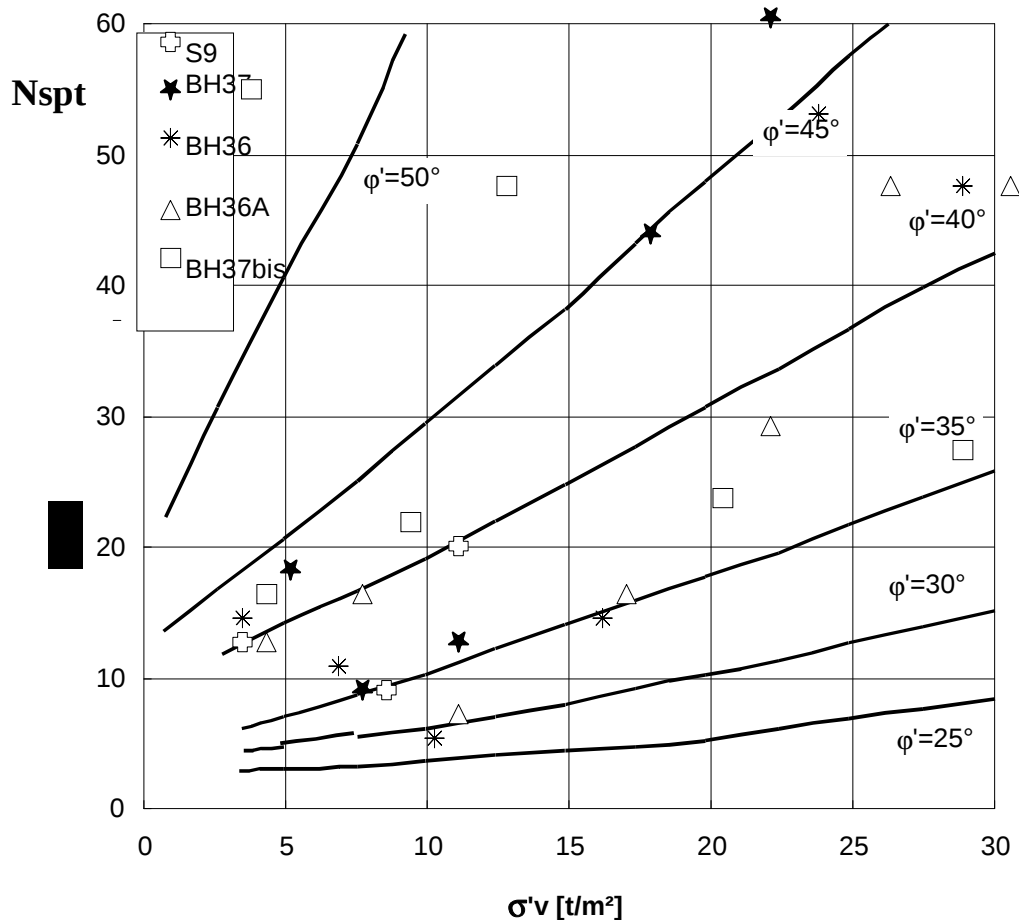


Fig.38- Abaco di DE MELLO (1977)

9.1.2. Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per la presente indagine nonché degli ulteriori sondaggi eseguiti sul territorio comunale consultati (Vedi fascicoli delle Indagini disponibili) sono state eseguite, tra l'altro, le determinazioni del peso dell'unità di volume (γ) e del peso dell'unità di volume secco (γ_d).

La lettura dei dati, inoltre, consente di affermare che il peso dell'unità di volume dei terreni non varia di molto con la profondità e si presenta, salvo poche eccezioni, più frequentemente con valori compresi tra 1.1 e 1.4 g/cmc..

E' interessante notare che il campione prelevato alle profondità di 27.30 m. mostra valori alti; si tratta infatti, come risulta dalla descrizione fatta dal laboratorio, di un campione prelevato in uno strato particolarmente addensato.

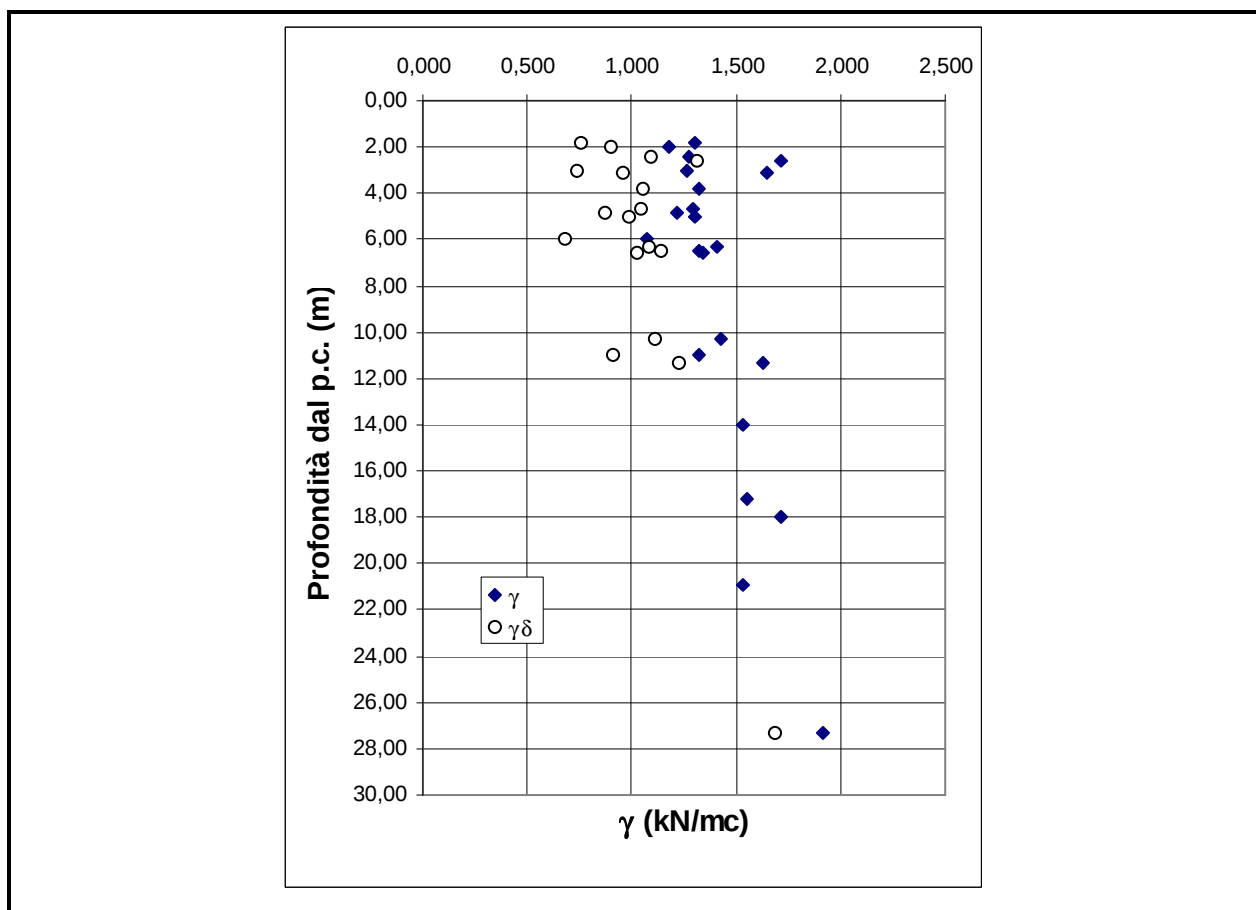


Fig. 39- Andamento del peso dell'unità di volume e dell'unità di volume secco con la profondità.

I campioni di tufo prelevati alle profondità di 14.20, 17.50 e 21.30 m. mostrano valori compresi tra 1.534 e 1.547 g/cmc mentre il campione di tufo prelevato alla profondità di 18.00 m. ha un valore di 1.710 g/cmc.

Le analisi granulometriche hanno messo in evidenza, come del resto era già stato osservato nel corso dei sondaggi, una certa abbondanza della frazione limosa e sabbiosa con presenza a volte consistente della frazione ghiaiosa.

9.1.2.1. Resistenza a rottura

Le prove CPT e SPT possono fornire una valutazione dell'angolo di attrito ϕ' attraverso correlazioni empiriche in cui l'angolo di attrito stesso è correlato ai risultati delle prove attraverso lo stato tensionale effettivo agente alla profondità alla quale è stata eseguita la prova.

Alcune di queste valutazioni sono state già presentate in precedenza.

Sui campioni indisturbati prelevati sono state eseguite quattro prove di taglio diretto e due prove di compressione triassiale C.I.D.

I punti sperimentali appaiono ben correlati ed in generale si può affermare che i risultati delle predette prove appaiono in buon accordo con le interpretazioni delle prove in sito (SPT e CPT) .

Gli angoli di attrito ϕ' rilevati con le prove triassiali e le prove di taglio eseguite sui terreni presenti tra 1.80 e 6,60 m. di profondità, infatti, hanno valori compresi tra 30° e 38°.

L'esame dei dati relativi alle indagini disponibili hanno messo in evidenza valori dell'angolo di attrito compresi tra 29° e 30° per i campioni indisturbati prelevati nel 2002 nella zona ospedaliera rispettivamente alle profondità di 6.60 e 10.30 m., valori dell'angolo di attrito di 25°, 27°, 28°, 31° e 33° per i campioni indisturbati prelevati, rispettivamente alle profondità di 3.10, 5.00, 3.00, 6.50 e 11.00 m., nella prima fase delle indagini effettuate nel 1987 per l'adozione del P.R.G. e valori dell'angolo di attrito di 35°, 36°, 37°, 39° e 43° per i campioni indisturbati prelevati, rispettivamente alle profondità di 2.00, 4.70, 11.30, 2.60 e 6.00 m., nel corso delle indagini integrative per il P.R.G. effettuate nel 1992.

La coesione effettiva c' in tutti questi terreni può essere considerata nulla.

9.1.2.2 Deformabilità

Su n. 3 campioni prelevati nel corso dei sondaggi eseguiti per la presente indagine, su 5 prelevati nel corso delle indagini di prima fase per l'adozione del P.R.G. eseguite nel 1987 e su 3 prelevati nel corso delle indagini integrative eseguite per l'adozione del P.R.G. nel 1992 furono eseguite prove di compressione edometrica le cui curve carichi-cedimenti sono riportate nel fascicoli "Prove fatte eseguire dallo scrivente" Tav. G2 e "Prove disponibili" Tav. G3a, G3b, G3c.

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 mostrano che il processo di consolidazione avviene in tempi talmente rapidi da non essere rilevabile e quasi tutte le curve, salvo quelle che si riferiscono a materiali humificati, presentano, infatti, andamenti rettilinei.

10. PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO COMUNALE

Il territorio comunale di Afragola, 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.

10.1. Pericolosità da dissesto idrogeologico

Per quanto l'assetto stratigrafico del territorio comunale non presenti situazioni naturali pericolose, la presenza di cavità ipogee, conseguenza dell'attività estrattiva di materiali da costruzione (tufo, pozzolana e pomici) condotta nel corso dei secoli dall'uomo, ha determinato le condizioni predisponenti al dissesto.

L'estrazione del tufo ai fini edilizi nell'area napoletana si è sviluppata nel corso dei secoli in quanto il tufo è una roccia tenera, facile da lavorare e fin dall'epoca greca esso fu utilizzato nell'edilizia per le sue buone caratteristiche fisico-meccaniche.

La pratica dell'estrazione del tufo si estese nel corso dei secoli nei comuni posti a nord di Napoli. Nei predetti comuni l'estrazione del tufo

avveniva superando la coltre di materiale piroclastico sciolto posta a tetto del banco di tufo stesso.

Nel territorio di Afragola il banco di tufo veniva raggiunto mediante rampe di discesa (le discenderie) che consentivano un agevole raggiungimento del banco da coltivare nel quale si procedeva, poi, a realizzare gallerie orizzontali di larghezza di 8-10 metri, altezza variabile da 4 a 9 metri e di lunghezza in alcuni casi maggiore di 50 metri. Le gallerie, poi, comunicavano con la superficie del piano di campagna con condotti verticali non sempre rivestiti chiamati "occhi di monte" che generalmente assicuravano l'aerazione delle gallerie.

Le cavità ipogee per l'estrazione del tufo sono state accertate nella parte più antica del nucleo abitato di Afragola ed in particolare nell'area compresa tra via Piemonte, via De Gasperi, via Sicilia, via IV Novembre e via Diaz a nord, una parte del confine comunale lungo la S.S. n. 87, via Indipendenza, via Resistenza, via Kennedy e via Amendola ad ovest, via Leopardi, via S. Antonio, via Torino, via Bologna a sud nonché via Compagna, via E. A. Mario, via S. Giovanni, via S. Luca e via Lucania ad est. Oltre all'area del centro antico, come precedentemente individuata, vi sono altre due aree sicuramente interessate da cavità, la prima sul prolungamento verso est di via De Nicola in corrispondenza del Rione S. Marco e la seconda nella parte nord-occidentale del territorio comunale lungo la S.S. n. 87. Tutta l'area precedentemente individuata, peraltro, storicamente è interessata da dissesti riconducibili a cavità.

Non si può escludere, inoltre, che altri siti siano interessati da cavità nel banco di tufo specie laddove sono stati realizzati fabbricati fino ai primi decenni del secolo scorso o sono o erano presenti le masserie di cui era disseminata la campagna circostante il nucleo abitato più antico.

Per quanto riguarda il numero e la localizzazione delle cavità conseguenti l'estrazione delle pomici c'è, invece, ancora più incertezza e l'unico dato di riferimento è quello che le pomici in genere venivano estratte nei luoghi stessi del loro impiego.

Le pomici, infatti, trovavano impiego nella realizzazione di lastrici solari; nei comuni a nord di Napoli, per la necessità di realizzare strutture leggere, i lastrici solari venivano realizzati su travi di legno mediante battitura di lastroni prefabbricati di pomici a lembi sovrapposti.

La tecnica di coltivazione dei lapilli pomicei si realizzava a mezzo di pozzo verticale a sezione circolare non rivestito con cui si raggiungeva il banco di lapillo pomiceo; nel territorio di Afragola le vene migliori, cioè quelle non inquinate da terreni inglobanti, si rinvenivano a profondità comprese tra 4.00 e 8.00 metri.

Dalla base del pozzo ed a partire dal letto del banco si realizzavano cunicoli a raggiera larghi qualche metro e lunghi da 10 a 15 metri. Dopo la coltivazione veniva riempito, con materiale di risulta e terreno vegetale, solo il pozzo verticale mentre si lasciavano solo occlusi i cunicoli a raggiera orizzontali. Tale metodo rende impossibile la localizzazione dei cunicoli nonché precaria e suscettibile di avvallamenti l'area circostante i pozzi.

I fenomeni di dissesto possono evolvere sino al crollo quando si determinano più concause contemporaneamente. Tra i fenomeni scatenanti

possono essere considerate le infiltrazioni d'acqua, le pareti dei pozzi non rivestite, la scarsa litificazione del tufo, le fratture del tufo in volta e la presenza di tane di lapillo nel materiale sciolto sovrastante il banco di tufo laddove è localizzata la cavità.

Attualmente molte delle cavità o rappresentano il ricettacolo di ogni sorta di materiali di rifiuto o sono abbandonate completamente o addirittura di esse si è persa la memoria storica, essendo state riempite o solo occluse tutte le aperture esistenti in superficie.

10.2 Pericolosità per fenomeni di liquefazione

Per quanto riguarda la possibilità che in occasione di eventi sismici si possa verificare il fenomeno della "liquefazione" è necessario ricordare che, nelle aree poste nella parte nord-orientale del territorio comunale, i dati ricavati dalle prove CPT ed SPT eseguite, valutati rispettivamente coi metodi semplificati di Robertson e Wride(1997) e Seed e Idriss (1982), mettono in evidenza, per alcuni dei livelli di terreno saturo presenti nei primi 15 metri di profondità, la probabilità che si verifichi il fenomeno stesso. La stima, infatti, del rischio di liquefazione complessivo, lungo le verticali individuate dalle prove CPT e SPT eseguite nelle predette aree, fornisce un "indice di liquefazione" (IL) che passa dal rischio molto basso per le prove SPT eseguite nel corso del sondaggio S9 (IL = 0,0), al rischio basso (IL = 2,0÷4,4) per le prove CPTzo1, CPTzo2, CPT6bis, BH36A, CPTMS, CPTMS1 e CPTMS2 nonché al rischio alto o molto alto ($8,5 \leq IL \leq 25,3$) per le prove BH36, CPTMS1 e CPTMS2.

In ogni caso giova ricordare che la "liquefazione", pur essendo penalizzante per l'uso del territorio non ne limita l'utilizzo ai fini edilizi se nella fase di progettazione dell'opera vengano eseguite indagini specifiche e nella fase di realizzazione vengono adottati adeguati accorgimenti volti all'aumento della densità relativa (vibroflottazione, compattazione pesante) ed alla facilitazione del drenaggio (dreni verticali, fondazioni verticali e di tipologia omogenea).

Nella "Carta Geomorfologia e della Stabilità" sono state individuate le aree in cui la liquefazione è impossibile e una fascia di terreno posta nella parte nord-orientale del territorio comunale in cui la liquefazione è probabile in quanto l'indice di liquefazione è compreso da "molto basso" (IL = 0,0) a molto alto ($21,8 \leq IL \leq 25,3$). In questa ultima area si consiglia, in occasione degli interventi edilizi, di condurre opportune indagini volte alla individuazione degli eventuali depositi liquefacibili e alla valutazione dell'indice di liquefazione.

10.3 Pericolosità vulcanica

Il territorio di Afragola è posto sui margini nord-occidentali del Piano Nazionale di Emergenza per il Rischio Vesuvio e nel detto Piano non è compreso in nessuna delle tre aree di pericolosità (rossa, gialla, blu).

Tuttavia nel Piano, secondo quanto proposto da Scandone R. et alii (1993), il rischio vulcanico è stato valutato in funzione del valore esposto, della vulnerabilità, della pericolosità.

Sulla base delle tre classi di **VEI** (*Volcanic Explosivity Index*) in grado di produrre rischio per caduta di prodotti piroclastici nell'area vesuviana e zone esterne (VEI = 3 violenta stromboliana; VEI = 4 eruzione subpliniana; VEI = 5 eruzione pliniana) è stato calcolato il coefficiente di rischio per i comuni interessati. Il comune di Afragola è considerato a rischio alto. (Fig. n. 40)

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

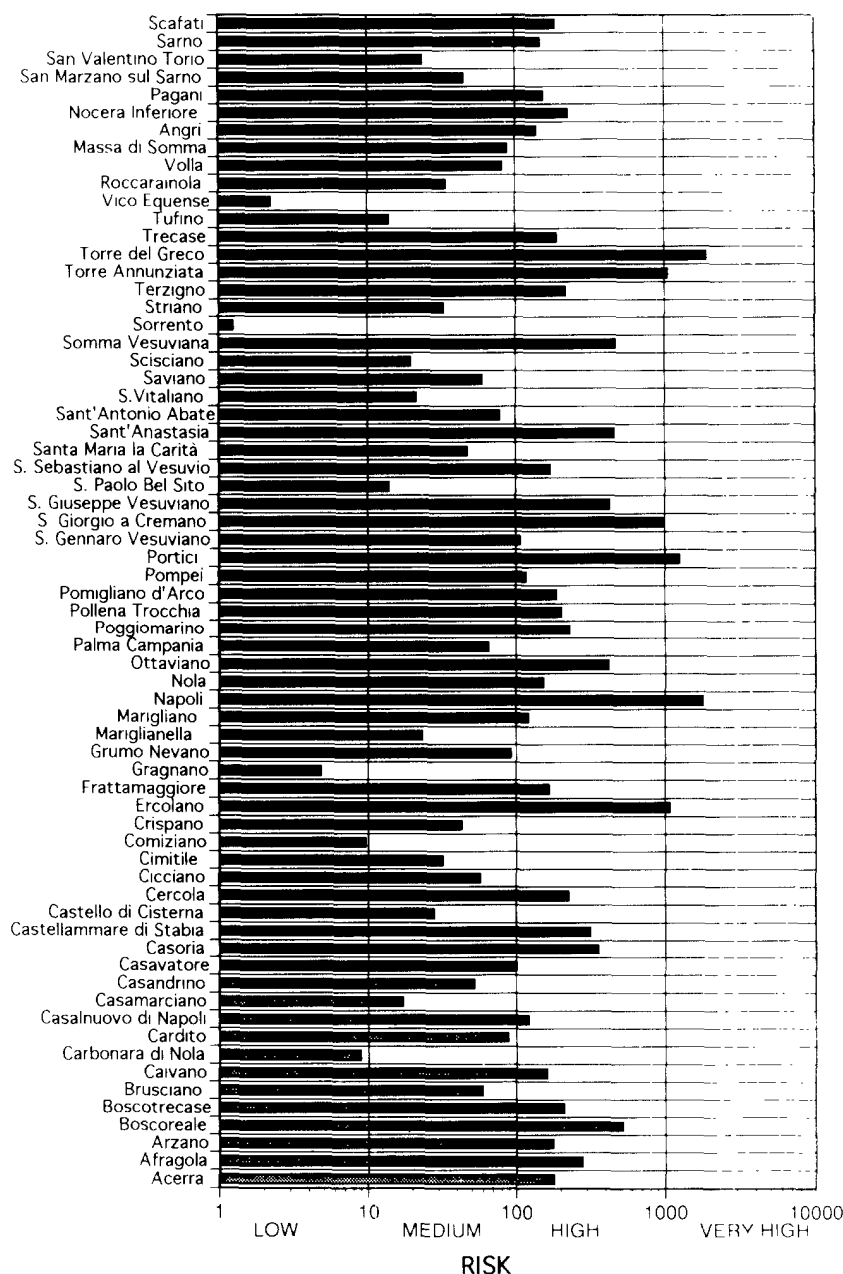


Fig. n. 40 .- Lista delle città dell'area vesuviana classificate secondo una scala logaritmica di coefficiente di rischio.(Scandone R. et alii 1992).

10.4 Pericolosità sismica

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

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 (Fig. n. 41).

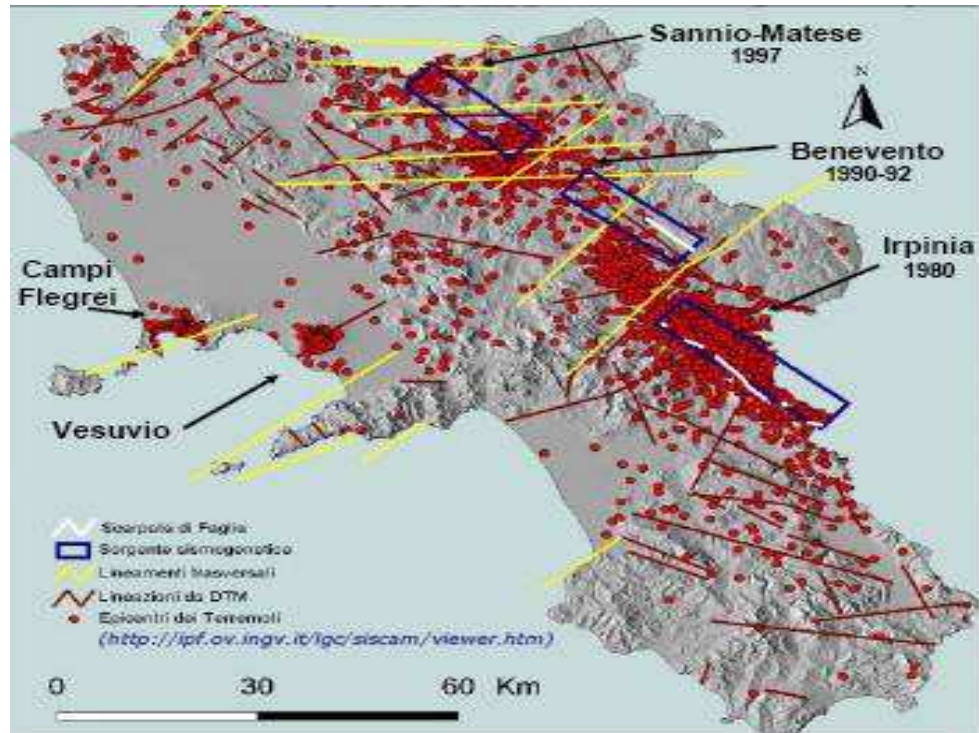


Fig. n. 41 – Epicentri dei terremoti storici nella Regione Campania

10.4.a Cenni sulla sismicità storica dell'area

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 ed in particolare della documentazione prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Più in dettaglio sono stati esaminati:

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

I dati di questa analisi sono riassunti nella Tab. II, dalla quale si evince che la **massima intensità sismica** risentita nel territorio comunale di Afragola è relativa al terremoto dell'Irpinia – Basilicata del 23/11/1980 ed è pari al **VII grado MCS**.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF		1903	05	04	03	44	Valle Caudina	78	7	4.69
F		1907	12	18	19	21	Monti Picentini	35	5-6	4.52
7		1980 52	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6		1984	05	07	17	50	Monti della Meta	911	8	5.86
5		1990	05	05	07	21	Potentino	1375		5.77
		1991	05	26	12	25	Potentino	597		

Tab. II: osservazioni macrosismiche per il comune di Afragola; 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.

10.4.b Pericolosità sismica

La valutazione della pericolosità sismica dell'area italiana viene rappresentata sulla base della zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. n. 42 e Tabella III) 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. III – Valori di M_{wMAX} 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).

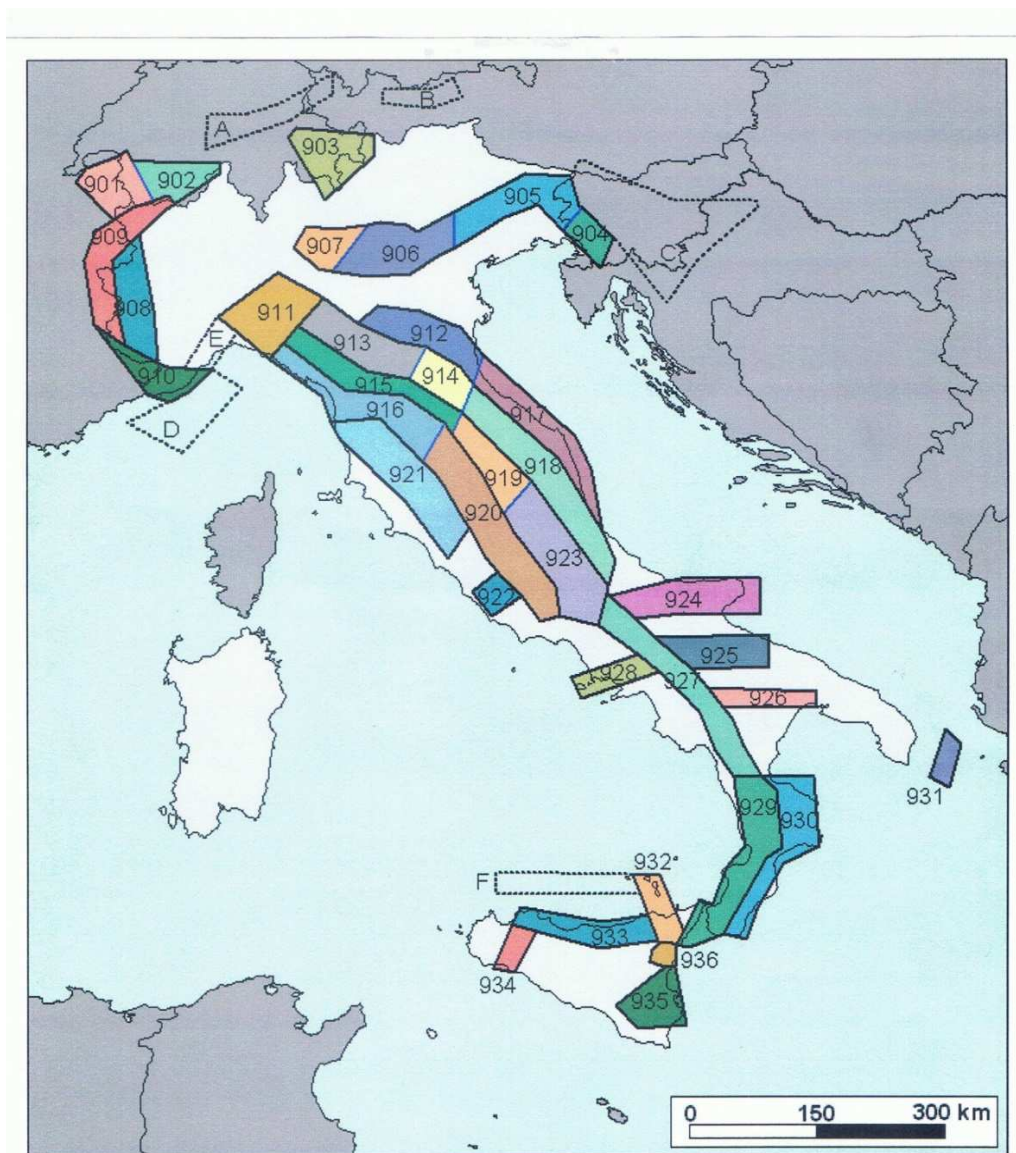


Fig. n. 42 – Zonazione sismogenetica ZS4 (C. Meletti e G. Valensise, 2004)

Le zone sismogenetiche più vicine al territorio comunale di Afragola 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 nuove 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 (paragrafo 3.2.3) 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. 43 e 44), disponibile on-line sul sito dell'INGV, si indica che il territorio comunale di Afragola rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra **0.150g e 0.175g**

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di Afragola (Na)

(punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

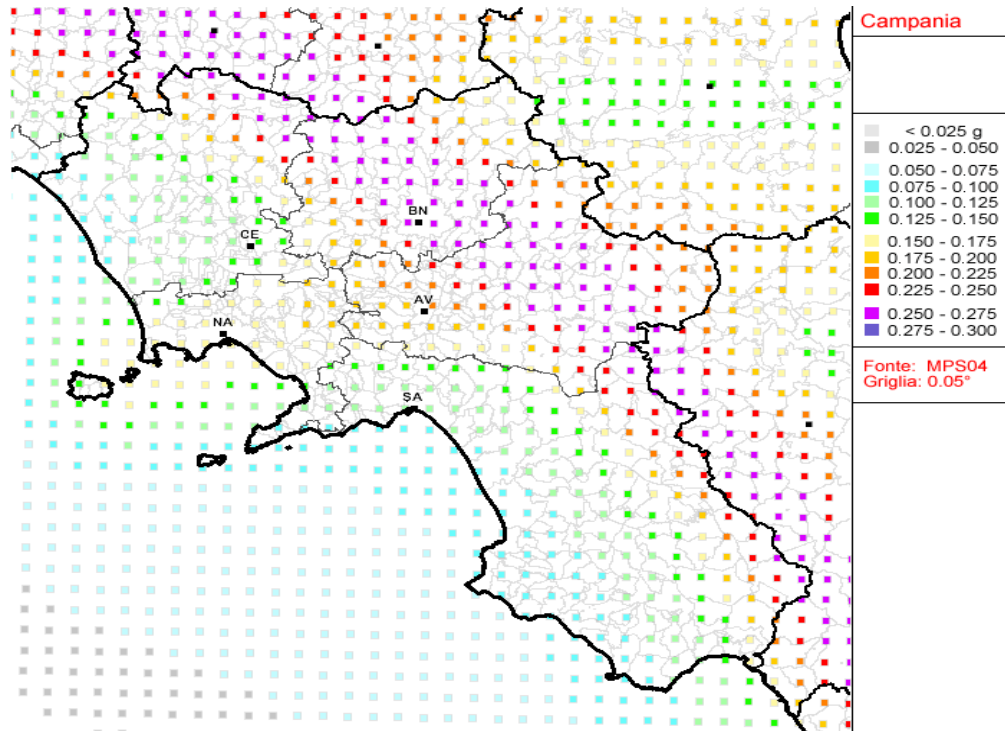


Fig.43- Mappa di pericolosità sismica della Campania (INGV,2004).

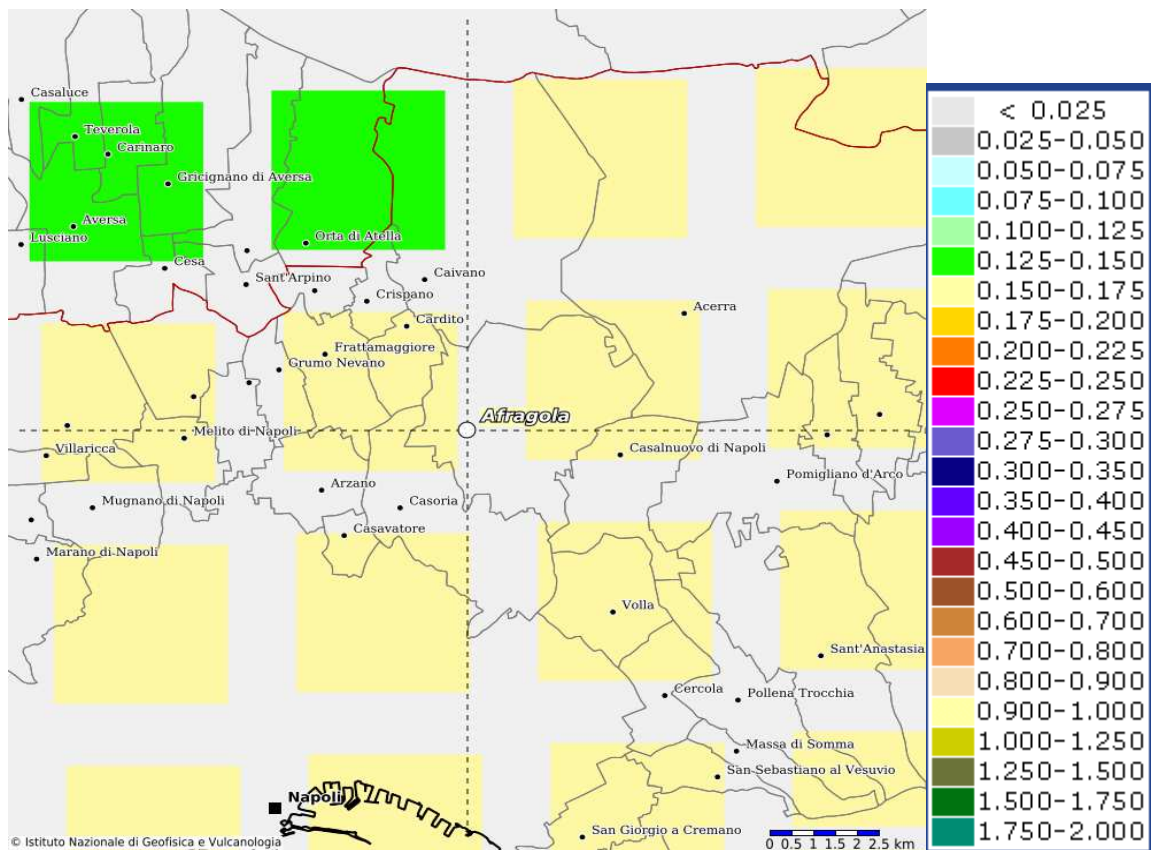


Fig.44- Pericolosità sismica del comune di Afragola e comuni confinanti (INGV,2004).

11) CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

I parametri caratterizzanti il comportamento sismico dei terreni sono stati dedotti dalle n. 10 prove down-hole eseguite nel 2004 per l'adeguamento sismico del PRG. Per un utile confronto queste ultime sono state confrontate con le n. 4 prove down-hole eseguite nel 1992 per il P.R.G.

Sono state prese in considerazione, inoltre, n. 3 prove down-hole, n. 2 prove MASW e n. 2 prove Re.Mi. eseguite tra il 2013 e 2015 per la TAV.

Tutti i dati relativi alle prove predette sono riportati nei fascicoli allegati alla presente relazione (Tav. G2 e Tav. G3/a, G3b, G3c).

Il valore della velocità delle onde sismiche in un litotipo dipende, dalla sua rigidezza e dalla sua densità. Esso viene valutato energizzando il terreno mediante una massa battente e 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 della maggior parte del territorio comunale, ci si trova al cospetto di materiali sciolti (sabbie limose e/o limi sabbiosi con livelli e lingue di pomici) caratterizzati da velocità sismiche medio-basse, seguiti da un livello di terreno caratterizzato da velocità medie (Tufo Grigio Campano litoide) con a letto sabbie ghiaiose di colore grigio scuro (Tufo Grigio Campano sciolto) caratterizzate da velocità mediamente più basse del tufo litoide.

In particolare tutte le prove sismiche mostrano generalmente l'esistenza di 4 a volte 5 strati sismici.

Nelle tabelle IV e V che seguono sono riportati i valori degli spessori e delle velocità medie dei terreni negli strati rinvenuti.

Prova	Profondità Da m. a m.	Spessore	Vs media	Vp media
DHS1	0 - 6	6	135	364
	6 - 10	4	274	687
	10 - 22	12	671	1468
	22 - 30	8	529	1230
DHS2	0 - 6	6	132	382
	6 - 10	4	307	795
	10 - 22	12	664	1480
	22 - 30	8	540	1262
DHS3	0 - 4	4	129	406
	4 - 8	4	302	794
	8 - 22	14	652	1450
	22 - 30	8	511	1173
DHS4	0 - 6	6	115	320
	6 - 10	4	280	706
	10 - 22	12	609	1421
	22 - 30	8	498	1168
DHS5	0 - 6	6	117	320

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di
Afragola (Na)

	6 - 10	4	262	664
	10 - 22	12	607	1398
	22 - 30	8	526	1222
DHS6	0 - 8	8	149	419
	8 - 14	6	332	809
	14 - 24	10	629	1439
	24 - 30	6	496	1169
DHS7	0 - 6	6	122	353
	6 - 8	2	256	638
	8 - 24	16	611	1406
	24 - 30	6	452	1067
DHS8	0 - 8	8	174	478
	8 - 12	4	299	746
	12 - 24	12	639	1477
	24 - 30	6	527	1242
DHS9	0 - 6	6	110	317
	6 - 14	8	230	575
	14 - 18	4	421	1026
	18 - 28	10	629	1490
	28 - 30	2	522	1241
DHS10	0 - 8	8	148	419
	8 - 14	6	241	603
	14 - 18	4	451	1055
	18 - 30	12	650	1481

Tab. IV – Spessori e delle velocità medie rilevati con le prove down-hole eseguite nei sondaggi effettuati per l'adeguamento sismico del P.R.G.

Prova	Profondità Da m. a m.	Spessore	Vs media	Vp media
DHS7	0 - 1	1	53	245
	1 - 5	4	214	425
	5 - 12	7	480	1036
	12 - 16	4	687	1591
	16 - 30	14	380	1307
DHS12	0 - 3	3	132	365
	3 - 11	8	281	438
	11 - 24	13	813	1428
	24 - 30	6	427	974
DHS25	0 - 3	3	134	289
	3 - 6	3	294	483
	6 - 17	11	252	1133
	17 - 24	7	547	1474
	24 - 30	6	334	1836
MASWS13A	0 - 6.3	6.3	180	==
	6.3 - 11	4.7	195	==
	11 - 13.1	2.1	196	==

Studio geologico del territorio comunale per il Piano Urbanistico Comunale del Comune di
Afragola (Na)

Re. Mi S11	13.1- 22.3	9.2	800	==
	22.3 - 30	7.7	426	==
	0 - 2	2	114	==
	2 – 7.4	5.4	216	==
	7.4 – 12.2	4.8	571	==
	12.2 -20.1	7.9	571	==
Re. Mi.S15a	20.1 - 30	9.9	514	==
	0 – 2.9	2.9	353	==
	2.9 – 9.0	6.1	746	==
	9 – 23.1	14.1	921	==
	23.1 - 30	6.9	750	==

Tab. V – Spessori e delle velocità medie rilevati con le prove down-hole, MASW e Re.Mi. eseguite per la TAV.

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

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare la risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Nei casi più semplici si può fare ricorso ad un approccio semplificato mediante la classificazione del sottosuolo in categorie determinate sulla base del valore della velocità delle onde di taglio Vs.

La determinazione delle categorie di sottosuolo di riferimento nei siti di esecuzione delle prove sismiche nel territorio di Liveri è stata eseguita secondo le norme contenute nel D.M. 17-01-2018 riportate di seguito.

Categorie	Descrizione profilo stratigrafico
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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 3m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente Vs30 compresi tra 360 e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s .
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

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>
---	---

Le predette categorie, utili alla scelta dell'azione sismica di progetto nei casi più semplici, sono state determinate tenendo presente i valori delle velocità equivalenti calcolate con la seguente espressione:

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

Dove:

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 (valori di $V_s > 800$ m/s)

Per i depositi con profondità del substrato sismico superiore a 30 metri dal p.c., come nel caso del presente studio, la velocità equivalente delle onde di taglio **$V_{s,eq}$** è definita dal parametro V_{s30} . Nel caso in esame gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione dei valori della **V_{s30}** come riportato nella tabella VI e VII calcolati a partire dal piano di campagna, così come stabilito dal D.M. 17-01-2018. Le categorie di suolo, pertanto, sono generalmente **C** e subordinatamente **B**.

Tabella VI –Velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ e categorie di sottosuolo di riferimento (D.M. 17-01-2018) ricavate dalle down-hole eseguite nei fori profondi 30 metri nell'ottobre 2004.

Prova down-hole	$V_{s,eq}$ in m/s	Categorie di suolo di fondazione
D-H1	311	C
D-H2	327	C
D-H3	369	B
D-H4	296	C
D-H5	295	C
D-H6	301	C
D-H7	311	C
D-H8	335	C
D-H9	253	C
D-H10	282	C

Tabella VII –Velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ e categorie di sottosuolo di riferimento (D.M. 74-01-2018) stimate dalle prove down-hole e MASW “disponibili”.

Prova sismica	Velocità equivalente $V_{s,eq}$ in m/s	Categorie di sottosuolo di riferimento
DHS7	302	C
DHS12	369	B
DHS25	285	C
Re. Mi S11	275	C
Re. Mi.S15a	299	C

11.2 Microzonazione sismica, generalità.

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.).

Le prove eseguite per la presente indagine e le prove disponibili hanno consentito di individuare zone nel territorio compreso nei limiti amministrativi del comune di Afragola a comportamento omogeneo dal punto di vista sismico e conseguentemente elaborare la Carta delle “microzone omogenee in prospettiva sismica”(Carta delle M.O.P.S.).

La Carta M.O.P.S. è un elaborato di sintesi, costruito con la sovrapposizione dei dati geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici e geofisici, avente lo scopo di suddividere il territorio in unità che presentano caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche sufficientemente omogenee. Ognuna delle predette unità ingloba parti di territorio che, avendo le caratteristiche omogenee prima ricordate, potrebbero avere pari potenziale suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale e/o effetti superficiali indotti dall'azione sismica quali: amplificazione del moto, induzione di frane e altri dissesti, modificazioni permanenti del suolo, cedimenti differenziali, liquefazione, ecc..

Sulla base di quanto stabilito negli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica” le microzone sono state classificate in:

1. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
2. Zone di attenzione per instabilità.

L'illustrazione delle “Carta” è riportata in un paragrafo successivo.

12. COMMENTI ALLE CARTE.

12.1 CARTA GEOLITOLOGICA (Tav. G4)

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 Afragola è stato diviso in due aree, una posta a nord/est e l'altra a ovest – sud/ovest.

La divisione in due aree fa riferimento alla Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, Foglio 445-447.

La geologia del territorio, infatti, è caratterizzata:

- 3) nella parte occidentale da una successione di depositi cineritici stratificati della Piana Circumflegrea intercalati da livelli di pomici (Astroni, Agnano) separati da paleosuoli e con a letto sabbia e sabbia limosa grigio giallastra a luoghi addensata e laminata con intercalati minuti livelli e lenti di pomici (facies distale del Tufo Giallo Napoletano) ricoprenti generalmente, con l'interposizione di un paleosuolo, un banco di Tufo Grigio Campano. Nella parte alta della successione è presente un livello di sabbia limosa addensata e laminata con a letto, con l'interposizione di un paleosuolo, pomici grigie (eruzione vesuviana delle pomici di Avellino);
- 4) nella parte nord orientale da una successione di depositi cineritici stratificati delle parti esterne dell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio con intercalati livelli di pomici separati da paleosuoli (Astroni, Agnano) seguiti da sabbia e sabbia limosa grigio giallastra a luoghi addensata e laminata con intercalati minuti livelli e lenti di pomici (facies distale del Tufo Giallo Napoletano) ricoprenti generalmente, con l'interposizione di un paleosuolo, un banco di Tufo Grigio Campano.

Sinteticamente nel territorio comunale si rinvengono:

- 3) Coperture piroclastiche a luoghi rimaneggiate riconducibili ai prodotti del III periodo flegreo e subordinatamente del Somma-Vesuvio;
- 4) Prodotti del II periodo flegreo costituiti da sabbie limose e/o limi sabbiosi grigio giallastri con pomici riconducibili alla facies distale del Tufo Giallo Napoletano;
- 5) Prodotti del I periodo flegreo costituiti essenzialmente dal Tufo Grigio Campano (Ignimbrite Campana);

Per la stratigrafia delle singole aree si rimanda al capitolo "Struttura stratigrafica"

Sulla carta, inoltre, sono state evidenziate le curve del tetto del Tufo Grigio Campano e le relative quote sul livello del mare. Le curve stesse hanno l'equidistanza pari a 5 metri e, per quanto esse siano state costruite sulla scorta di sondaggi eseguiti in varie epoche e da operatori diversi, mettono in evidenza a nord pendenze del top tufaceo non accentuate (0.2-1%) in direzione N/NE e più accentuate (1.5%) in direzione S/SE rispetto ad un allineamento di massima altezza del tetto del tufo che si sviluppa in corrispondenza dello spartiacque superficiale Cimitero di Afragola – Botteghele – Tavernanova – Casarea ricordato in precedenza.

Sulla carta, inoltre, sono stati riportati i sondaggi presi in considerazione per l'elaborazione della stessa e un accumulo di RSU.

Sulla carta sono evidenziate, infine, le tracce di n. 5 sezioni rappresentate su tre tavole a parte (Tav. G5a, G5b, G5c). Tali tavole devono essere considerate solo un approfondimento della "Carta geolitologica".

12.2 – SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE (Tav. G5a, G5b, G5c).

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

In base a quanto detto sono state elaborate n. 5 sezioni litostratigrafiche. Le sezioni fanno riferimento alla seguente stratigrafia tipo:

- terreno vegetale e/o di riporto;
- limo sabbioso e/o sabbia limosa a luoghi addensata, grigio-giallastro e/o marrone, passanti in basso, con l'interposizione di un livello decimetrico ossidato (paleosuolo), a pomici grigie e/o sabbia con pomici aventi a letto un livello ossidato (paleosuolo);
- limo sabbioso grigio e/o giallastro con pomici a luoghi abbondanti passante in basso, con l'interposizione di un livello decimetrico di limo sabbioso ossidato (paleosuolo), a pomici grigie in matrice sabbiosa e/o sabbia con pomici grigie e/o giallastre;
- sabbia grigia e a luoghi giallastra passante lateralmente a sabbia limosa e/o limo sabbioso grigio con minute pomici, a luoghi con lenti di pomici grigie, con a letto un livello decimetrico ossidato (paleosuolo) non continuo;
- Tufo Grigio Campano giallo, spesso in sommità alterato (cappellaccio), colore giallo passante in basso a grigio e/o grigio-giallastro. Il letto del banco spesso si presenta non litificato;
- Tufo Grigio Campano giallo non litificato;
- sabbia grigio scura passante lateralmente e in basso a sabbia limosa e/o limo sabbioso con rade pomici con a letto sabbia limosa grigio scura con livelli di scorie grossolane (max. 10 cm) e/o scorie nere in matrice sabbiosa. Sulle sezioni, infine, viene riportato il livello del pelo libero della falda idrica.

12.2 CARTA GEOMORFOLOGICA E DELLA STABILITA' (Tav. G6)

Le informazioni riportate sulla carta sintetizzano gli aspetti morfologici più significativi del territorio di Afragola.

Nel territorio comunale, per quanto subpianeggiante, si possono individuare, per quanto sfumati, un alto morfologico a sud, in prossimità del confine comunale con Casoria, e due bassi morfologici uno nella parte nord-orientale in località Cinque Vie in prossimità della depressione dei Regi Lagni e l'altro nella parte sud-orientale all'altezza della S.S. 7bis in prossimità della depressione del Seбето.

I due bassi morfologici sono separati da uno spartiacque superficiale localizzato in prossimità dell'autostrada Napoli-Bari, in pratica lungo la direzione Cimitero comunale di Afragola - Botteghelle – Tavernanova - Casarea; esso è parte del "modesto spartiacque superficiale che si sviluppa tra le colline" napoletane " ed il Somma – Vesuvio" (BELLUCCI et Alii, 1990) che si è formato a seguito delle eruzioni flegree e vesuviane e che separa il bacino dei Regi Lagni da quello del Volla.

Il predetto spartiacque determina la direzione dei flussi delle acque ruscellanti in superficie, non assorbite dai terreni permeabili e non incanalate nelle fogne comunali, in parte verso N nei Regi Lagni e in parte verso S nel Fosso Volla.

Sulla carta è stato evidenziato, infine, un accumulo di R.S.U. in prossimità della chiesa S. Maria La Nova.

La carta della stabilità fornisce, poi, un quadro di insieme delle aree a rischio dell'intero territorio comunale.

I fattori di rischio individuati sono:

- la presenza accertata o presumibile di cavità;
- la possibilità di liquefazione dei terreni.

Le cavità ipogee per l'estrazione del tufo sono state accertate nella parte più antica del nucleo abitato ed in particolare nell'area compresa tra via Piemonte, via De Gasperi, via Sicilia, via IV Novembre e via Diaz a nord, una parte del confine comunale lungo la S.S. n. 87, via Indipendenza, via Resistenza, via Kennedy e via Amendola ad ovest, via Leopardi, via S. Antonio, via Torino, via Bologna a sud nonché via Compagna, via E. A. Mario, via S. Giovanni, via S. Luca e via Lucania ad est. Oltre all'area del centro antico, come precedentemente individuata, vi sono altre due aree sicuramente interessate da cavità, la prima sul prolungamento verso est di via De Nicola in corrispondenza del Rione S. Marco e la seconda nella parte nord-occidentale del territorio comunale lungo la S.S. n. 87. Tutta l'area precedentemente individuata, peraltro, storicamente è interessata da dissesti riconducibili a cavità.

La posizione del simbolo che indica la presenza della "cavità ipogea nel tufo" fa riferimento, generalmente, ad un preciso rilevamento delle cavità e/o a notizie storiche.

Sul numero e sulla localizzazione delle cavità conseguenti all'estrazione delle pomici c'è, invece, ancora più incertezza e l'unico dato di riferimento è quello che le pomici in genere venivano estratte nei luoghi stessi del loro impiego. Nella carta queste aree sono state definite "con presenza accertata e/o presunta di cavità nel banco di tufo. Instabile".

Sulla carta, infine, è stata evidenziata un'area nella parte nord-orientale del territorio comunale, in cui le indagini hanno messo in evidenza, nei primi 15 metri di profondità, terreni sabbiosi e/o limoso sabbiosi immersi in falda. I dati ricavati dalle prove CPT ed SPT eseguite nelle predette aree hanno consentito di stimare l'indice di liquefazione (IL) compreso tra molto basso ($IL = 0,0$) e molto alto ($21,8 \leq IL \leq 25,3$) e, pertanto, in quest'area la liquefazione viene considerata probabile.

In queste aree, ai fini della scelta "consapevole" della tipologia e del dimensionamento del sistema fondale dei manufatti, si consiglia, in occasione degli interventi edilizi, di condurre opportune indagini volte alla individuazione degli eventuali depositi liquefacibili e alla valutazione dell'indice di liquefazione.

12.4 – CARTA IDROGEOLOGICA (Tav. G8).

Le curve isopiezometriche riportate sulla carta idrogeologica hanno equidistanza di 1 metro; esse mettono in evidenza che il pelo libero della falda idrica è profondo da 5 metri nella parte nord-orientale del territorio sino a 45 metri in corrispondenza del confine comunale con Casoria

Sulla carta è stata riportata la posizione dei pozzi in cui è stata letta la profondità della falda idrica nei giorni 17, 21, 22, 24, 27, 28, 29/09/2004 e 01, 05, 08, 18 e 19 /10/2004.

L'andamento della isopiezometriche, costruite sulla base delle predette letture, mette in evidenza un certo innalzamento della falda idrica rispetto ai dati di letteratura, che si riferiscono a misure effettuate nel 1988, ed almeno n. 4 linee di drenaggio preferenziale, tutte dirette verso l'area di Lufrano, di cui n. 3 aventi mediamente direzione NE – SW e n. 1, all'altezza dello spartiacque superficiale Cimitero di Afragola - Botteghelle, avente direzione NW-SE.

La ricostruzione dell'andamento piezometrico, anche se presenta motivi di indeterminazione dovuti al fatto che le quote assolute sono state rilevate dal rilievo aerofotogrammetrico e non determinate mediante livellazione di precisione, è in accordo con i dati di letteratura.

La pila di piroclastiti, spesso rimaneggiate, posta a tetto del banco di tufo, è costituita da terreni mediamente permeabili (coefficiente di permeabilità $10^{-2} > K > 10^{-4}$) in quanto costituiti da livelli poco permeabili (limi e limi sabbiosi) che presentano interposti livelli di buona permeabilità (sabbie e pomici). I predetti terreni, aventi spessori compresi tra 10 e 18 metri, debbono essere considerati come una buona protezione per l'acquifero sottostante in quanto l'entità dello spessore e la granulometria sono tali da assicurare la depurazione di eventuali inquinanti di tipo organico già in fase di percolazione delle acque verso la falda. Tale protezione risulta accentuata dalla presenza del banco di tufo poco permeabile.

12.5 – CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (Tav. G9)

Il 4 febbraio 2008, aggiornate nel gennaio 2018, sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dal Progetto S1 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e vulcanologia che per il territorio comunale di Grumo Nevano (Na) 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).

I valori riguardanti le velocità V_s sono stati ricavati dalle prove sismiche eseguite sul territorio comunale.

Le predette prove hanno permesso la stima delle velocità V_s nei siti di esecuzione delle prove e hanno consentito di valutare compiutamente il comportamento sismico dei terreni.

I valori di velocità V_s e gli spessori dei sismostrati, riportati nel paragrafo "Caratterizzazione sismica del territorio comunale", hanno consentito di constatare la sostanziale omogeneità del territorio compreso nei confini comunali.

Le categorie del sottosuolo di riferimento di tutto il territorio comunale, infatti, risultano di tipo "C" e subordinatamente "B".

La carta, alla luce della delibera della Giunta Regionale della Campania n. 118 del 27-05-2013, è stata redatta come definito negli standard ICMS 2008 (Carta delle MOPS-Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, livello 1).

Larga parte del territorio comunale è stato compreso nella **zona 1** retinata in verde e definita "Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali". Per la predetta zona, sulla scorta dello studio dei sondaggi effettuati, è stata redatta una successione stratigrafica tipo media con l'individuazione di spessori medi dei singoli strati e le relative descrizioni.

Le prove eseguite sul territorio comunale non hanno consentito di individuare la presenza e la profondità del substrato con $V_s > 800$ m/s.

Nel territorio comunale (**zona 1**), invece, è stata individuata la presenza, lo spessore medio e la profondità media di un substrato non stratificato (Tufo Grigio Campano) avente $V_s < 800$ m/s. La predetta situazione rende il territorio comunale (leggi **zona 1**) suscettibile di amplificazioni locali.

Sulla carta, inoltre, è stata individuata un'ampia area definita "Zona di attenzione per crollo di cavità sotterranee" suscettibile di instabilità in corrispondenza del centro antico della città, a causa della presenza di cavità nel banco di tufo (grotte e piscine) e nei livelli di pomici (tane) nonché due aree, una "Zona di attenzione per liquefazione-Zona 1" in cui è considerato probabile il fenomeno della liquefazione e una zona 2 in cui è presente un accumulo di RSU. Anche per queste zone è stata redatta una successione stratigrafica tipo media con l'individuazione di spessori medi dei singoli strati e le relative descrizioni.

12.6 – CARTA DI UBICAZIONE DELLE PROVE (Tav. n. 1.7)

Sulla carta sono state riportate la tipologia e la posizione sia dei sondaggi a carotaggio continuo e prove down-hole eseguiti per la presente indagine che delle innumerevoli prove "disponibili" eseguite sul territorio comunale.

Per queste ultime viene indicato il tipo di prova e l'indagine per cui sono state eseguite.

13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Gli studi e le prove effettuate per l'adeguamento sismico del P.R.G. unitamente alle indagini disponibili eseguite sul territorio comunale portano a concludere che il territorio del comune di Afragola può in generale essere utilizzato ai fini edilizi.

Va chiarito, inoltre, 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 17.01.2018 e dalla L.R. n. 9/83 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.

Nella parte più antica del nucleo abitato è stata accertata la presenza di cavità ipogee per l'estrazione del tufo ed in particolare nell'area compresa tra via Piemonte, via De Gasperi, via Sicilia, via IV Novembre e via Diaz a nord, una parte del confine comunale lungo la S.S. n. 87, via Indipendenza, via

Resistenza, via Kennedy e via Amendola ad ovest, via Leopardi, via S. Antonio, via Torino, via Bologna a sud nonché via Compagna, via E. A. Mario, via S. Giovanni, via S. Luca e via Lucania ad est. Oltre all'area del centro antico, come precedentemente individuata, vi sono altre due aree sicuramente interessate da cavità, la prima sul prolungamento verso est di via De Nicola in corrispondenza del Rione S. Marco e la seconda nella parte nord-occidentale del territorio comunale lungo la S.S. n. 87. Tutta l'area precedentemente individuata, peraltro, storicamente è interessata da dissesti riconducibili a cavità.

La predetta situazione rende indispensabile la verifica delle attuali condizioni statiche delle cavità ancora visitabili, l'accertamento sul tipo e modalità di riempimento delle cavità nonché uno studio specifico volto alla ricerca di elementi morfologici riconducibili a cavità interrato e/o mai rilevate o censite.

Nell'area individuata nella carta geomorfologica e della stabilità come "Area con presenza accertata di cavità nel banco di tufo. Instabile", ai fini della scelta "consapevole" del miglioramento, della tipologia e del dimensionamento del sistema fondale dei manufatti, si prescrive, in occasione di qualsivoglia intervento edilizio, **di condurre opportune indagini volte alla individuazione delle eventuali cavità e, nel caso ne fosse accertata la presenza, delle loro condizioni statiche in rapporto ai manufatti realizzati o da realizzare in superficie.**

In ogni caso anche nella parte rimanente del territorio comunale, definita "Stabile", non potendo stabilire con assoluta certezza se nel passato in essa non siano state effettuate attività di estrazione del tufo, prima degli interventi edilizi si consiglia di eseguire apposite indagini volte alla ricerca di eventuali cavità presenti nel sottosuolo e, **nel caso ne fosse accertata la presenza, delle loro condizioni statiche in rapporto ai manufatti realizzati o da realizzare in superficie.**

In tutte le aree soggette ad interventi edilizi, inoltre, sarà necessario provvedere al convogliamento razionale delle acque meteoriche nella rete fognaria bianca 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 di Afragola sono facilmente erodibili. Su questo terreno particolare attenzione dovrà essere prestata allo stato e alle eventuali perdite delle condotte fognarie e dei tubi dell'acquedotto presenti nel sottosuolo cittadino. Gli sprofondamenti e i crolli, infatti, spesso si determinano esclusivamente a causa dei fenomeni erosivi e, in presenza di gradienti idraulici notevoli, dei sifonamenti causati dalle copiose infiltrazioni d'acqua. Le infiltrazioni d'acqua, peraltro, sono abbastanza frequenti laddove le fogne sono malandate per scarsa manutenzione o sono mal dimensionate e per questa ragione, entrando in pressione anche per eventi piovosi non eccezionali, corrono il pericolo di rotture.

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 nonché una corretta

progettazione ed esecuzione dei pozzi nuovi, adatta a prevenire la possibilità di inquinamento.

L'indagine sismica ha consentito di fornire una valutazione di massima delle categorie di sottosuolo che sono risultati generalmente di tipo "C" e subordinatamente del tipo "B".

Sulla carta geomorfologica, infine, è stata evidenziata un'area nella parte nord-orientale del territorio comunale, in cui le indagini hanno messo in evidenza, nei primi 15 metri di profondità, terreni sabbiosi e/o limoso sabbiosi immersi in falda. I dati ricavati dalle prove CPT ed SPT eseguite nelle predette aree hanno consentito di stimare l'indice di liquefazione (IL) che è risultato compreso tra molto basso ($IL = 0,0$) e molto alto ($21,8 \leq IL \leq 25,3$) e, pertanto, in quest'area la liquefazione viene considerata probabile.

Nella predetta area si consiglia, in occasione degli interventi edilizi, di condurre apposite indagini volte all'individuazione dei depositi liquefacibili e alla valutazione dell'indice di liquefazione.

In ogni caso giova ricordare che la "liquefazione", pur essendo penalizzante per l'uso del territorio non ne limita l'utilizzo ai fini edilizi se nella fase di progettazione dell'opera vengano eseguite indagini specifiche e nella fase di realizzazione vengono adottati adeguati accorgimenti volti all'aumento della densità relativa (vibroflottazione, compattazione pesante) ed alla facilitazione del drenaggio (dreni verticali, fondazioni verticali e di tipologia omogenea).

Pomigliano d'Arco li 30/06/2021

Il geologo incaricato
dr. geol. Giovanni De Falco

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 1) APRILE F. , ORTOLANI F. – *Sulla struttura profonda della Piana Campana*. Boll. Soc. Natur. In Napoli, vol. 88, 1979, pp.19, 12f.
- 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) BELLUCCI F. , CORNIELLO A. , DE RISO R. & RUSSO D. (1990) – *Idrogeologia della Piana a N-E di Napoli*. Mem. Soc. Geol. It. , 45 (1990), 339-349, 5 ff. , 1 tav.
- 4) BOEMIO, GRIMALDI, SANTORO (1981)- *Progetto generale per il risanamento del sottosuolo- Relazione geologico-tecnica*.
- 5) BONARDI G., D'ARGENIO B. & PERRONE V. (1988) – *Carta geologica dell'Appennino meridionale alla scala 1:250.000*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 1341.
- 6) BUDETTA P., Celico P., Corniello A., de Riso R., Ducci D., Nicotera P. (1994) – *Carta idrogeologica della Campania 1/200.000 e relativa memoria illustrativa*. Atti IV Geoengineering International Congress: Soil and Groundwater Protection, 2, Geda, Torino.
- 7) CELICO P. , BARTOLOMEI C. , PECORARO A. , RUSSO D. (1980)- *Vulnerabilità potenziale all'inquinamento delle falde idriche dell'area di intervento del P.S. n. 29 – Relazione preliminare. Progetto speciale n. 29*.
- 8) CELICO N. , CELICO P. , GHIARA M. R. , PISCOPO V. , STANZIONE D. , AQUINO S. (1994) – *Caratteristiche geochemiche delle acque sotterranee dell'area del Somma-Vesuvio (Campania, Italia)-* Geologica Romana, 30: 709-724, 19 fig., Roma (1994).
- 9) CELICO P. & STANZIONE D. e di ESPOSITO L. , GHIARA M. R. , PISCOPO V. , CALIRO S. & LA GIOIA P. (1997) – *Caratterizzazione idrogeologica e idrogeochemica dell'area vesuviana*. Boll. Soc. Geol. It. 116 (1997), 00-00, 10 ff. , 2 tabb.
- 10) CIVITA M. , de MEDICI G.B. , DE RISO R. , NICOTERA P. , NOTA d'ELOGIO E. (1973) – *Carta idrogeologica della Campania Nord-Occidentale e relativa memoria descrittiva*. Atti del II Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, Palermo.
- 11) CORNIELLO A. , DE RISO R. & DUCCI D. (1990) – *Idrogeologia e idrogeochemica della Piana Campana*. Mem. Soc. Geol. It. 45 (1990), 351-360, 2 ff., 1 tav.
- 12) D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P., 1973 - *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Atti Accademia Nazionale Lincei, Quad., 183, 49-72.
- 13) DE VITA P, CELICO P., 2006 – *Distribuzione delle coltri piroclastiche sui versanti carbonatici perivesuviani e suscettibilità a franare*. Giornale di Geologia Applicata 3, 145-151.
- 14) 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.
- 15) 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.*
- 16) DUCCI D., Onorati G. (2005) – *L'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche sotterranee in Campania - Geologi 1-4 2005 Bollettino dell'Ordine dei Geologi della Campania Napoli.*
- 17) DUCCI D., Onorati G. (1993) – *Analisi di una lunga serie di dati piezometrici in Piana Campana. Atti 2° Convegno Nazionale di Geoidrologia - Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale – Protezione delle acque sotterranee, 49, Pitagora, Bologna.*
- 18) ESPOSTO L. (1998) – *Nuove conoscenze sulle caratteristiche idrogeochimiche della falda ad Oriente della città di Napoli (Campania). Quaderni di geologia Applicata, 5 – I(1998).*
- 19) FACCIOLI 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.*
- 20) ISAIA R., IANNUZZI E., SBRANA A., MARIANELLI P.(2016) - *Note illustrative della Carta Geologiche D'Italia in scala 1:50.000, foglio 445-447).*
- 21) LANDI G. & STANZIONE D. (1984)- *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei. Boll. Soc. Geol. It. 103, 349-413.*
- 22) LA TORRE P. , NANNINI R. & SBRANA A. (1982) – *Geothermal exploration in Southern Italy: geophysical interpretation of the Vesuvian area. 44th Meeting Eur. Ass. Explor. Geophys., Cannes.*
- 23) ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1988) – *Struttura e vulcanismo del margine tirrenico dell'Appennino Campano e tettonica compressiva recente. Mem..*
- 24) PUTIGNANO M.L., RUBERTI D., TESCIONE M. & VIGLIOTTI M. (2007) – *Evoluzione tardo quaternaria del margine casertano della Piana Campana. Boll. Soc. Geol. It., Vol. 126, No 1, pp. 11-24.*
- 25) ROLANDI G. (1988)- *Ignibriti e tufi gialli nella Pianura Campana e nei Campi Flegrei: una proposta di riordino. Convegno "Bradisismo e fenomeni connessi" 4^a Rendiconto 26-26 marzo 1988, 436-446.*
- 26) ROSI M. & SBRANA A. (1987)- *Fhlegrean Fields. Quaderni de " La Ricerca Scientifica", Progetto finalizzato " Geodinamica", n. 114, 9, 1-168. Napoli maggio 1997*
- 27) SCHERILLO A. & SCHERILLO M. (1990) – *I Campi Flegrei e la stratigrafia napoletana. Quaderni dell'accademia pontaniana, 11.*
- 28) 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.*