

Progetto per la realizzazione
di un impianto geotermico pilota
nell'area del Permesso di Ricerca "Scarfoglio"

PROGETTO DEFINITIVO

Documento SCA-004-PD-00-RS

Relazione geologica-geotecnica



gennaio 2015

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

COMMITTENTE:

GEOELETTRIC SRL

OGGETTO:

Progetto per la realizzazione di un impianto geotermico in località Agnano - comune di Pozzuoli (NA).

Job: 22/2014

Cod. Doc: geoelettric.doc

N°di pagine: 91

Rev. n°: 0 del 24/07/2014

IL GEOLOGO:

Dr. Antonio Compagnone


dr. geol.
Antonio
COMPAGNONE
Albo N. 1266


INDICE

Premessa	pag. 2
2. Ubicazione dell'area	pag. 3
3. Inquadramento geologico generale	pag. 4
4. Inquadramento geomorfologico dei Campi Flegrei	pag. 17
5. Inquadramento idrogeologico generale	pag. 19
6. Sismicità dell'area	pag. 22
7. Morfologia e stabilità del sito in esame	pag. 27
8. Indagini Geognostiche	pag. 29
8.1 Standard Penetration test	pag. 31
8.2 Prelievo Campioni Indisturbati	pag. 33
8.3 Prove penetrometriche dinamiche pesanti	pag. 35
9. Caratteristiche litologiche e geotecniche del sito	pag. 36
10. Caratterizzazione sismica del sito	pag. 41
11. Conclusioni	pag. 43

TAVOLE

- Tav. 1 – Stralcio Geologico Appennino Meridionale - scala 1:250.000
- Tav. 2 – Stralcio Geologico foglio 184 “Napoli” – scala 1:100.000
- Tav. 3 - Stralcio Topografico foglio n°184 tav. 23 – scala 1:25.000
- Tav. 4 – Stralcio della Carta del Rischio Frana
- Tav. 5 – Stralcio della Carta di Pericolosità Relativa da Frana
- Tav. 6 – Stralcio della Carta del Rischio Idraulico
- Tav. 7 – Stralcio della Carta di Pericolosità idraulica

Allegato 1 – Ubicazione indagini

Allegato 2 - Sondaggi geognostici

Allegato 3 – Prove di laboratorio

Allegato 4 – Prove Penetrometriche Dinamiche Pesanti

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla **GEOELETRIC Srl**, il sottoscritto Antonio Compagnone, iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Campania al n°1266, ha redatto la presente relazione geologica inerente il progetto per la realizzazione di un impianto geotermico in località Agnano comune di Pozzuoli (NA).

Il presente lavoro mira a ricostruire e ad illustrare la situazione litostratigrafica locale, l'origine e la natura dei litotipi, il loro stato di alterazione, fratturazione e degradabilità, i lineamenti idrogeologici e geomorfologici della zona, nonché l'eventuale presenza di dissesti in atto o potenziali, a fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

L'indagine è stata condotta in ottemperanza della vigente legislazione:

- ✓ **Legge n.64/74:** provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- ✓ **Legge Regionale n.9/83:** norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico.
- ✓ **Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/88:** norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ **Successivi Decreti Ministeriali LL.PP.:** emanati ai sensi degli artt. 1 e 3 della Legge n.64/74.
- ✓ **Ordinanza P.C.M n. 3274/03 e succ.:** primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- ✓ **D.M. n°29 14/ 01/2008** Norme tecniche per le costruzioni.
- ✓ Consiglio Sup. LL.PP. – Circolare 2/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008"
- ✓ Consiglio Sup. LL.PP. "Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale" – All. al voto 36 del 27/07/2007
- ✓ D.L. n. 180/1998 conv. in L. n. 267/1998 "Misure urgenti per la prevenzione del rischio

- ✓ idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania"
- ✓ P.A.I. Autorità di Bacino Nord Occidentale Regione Campania adottato in data 10/05/2002.

A tal fine si è ritenuto opportuno eseguire uno studio geologico preliminare basato, in una prima fase, sulla ricerca bibliografica e sulla cartografia tematica riguardante l'area in esame. Successivamente si è provveduto ad eseguire un rilevamento geologico di superficie delle aree interessate e di una zona circostante sufficientemente ampia da consentire opportune e valide correlazioni. Per la caratterizzazione litologica e geomeccanica dei terreni formanti il substrato è stato eseguito il seguente piano d'indagine:

- ✓ n° 2 sondaggi a carotaggio continuo;
- ✓ n°3 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH);
- ✓ n°6 Standard Penetration Test;
- ✓ n°2 Prelievo di Campioni indisturbati;
- ✓ Analisi e prove di laboratorio.

Le indagini in sito sono state eseguite da **Soluzioni Geotecniche Srl**, con sede in Caserta alla Via Pablo Neruda (p.zzo Belsito) n°29, - **Decreto Ministeriale n°7468 del 27 Luglio 2011**. Le analisi e prove di laboratorio sono state eseguite da **Geoprove srl**, con sede in S. Maria C.V. (CE) alla Via Martucci 19, - **Decreto Ministeriale n°4956 del 04/06/2010**. Al fine di determinare la categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione sono stati utilizzati i risultati di n°3 profili sismici **RE.MI** (Refraction Microtremor) eseguiti dalla **Soc. GEO-PROGET**, con sede in Cava dei Tirreni (SA) alla Piazza Vittorio Emanuele III, nel giugno 2013.

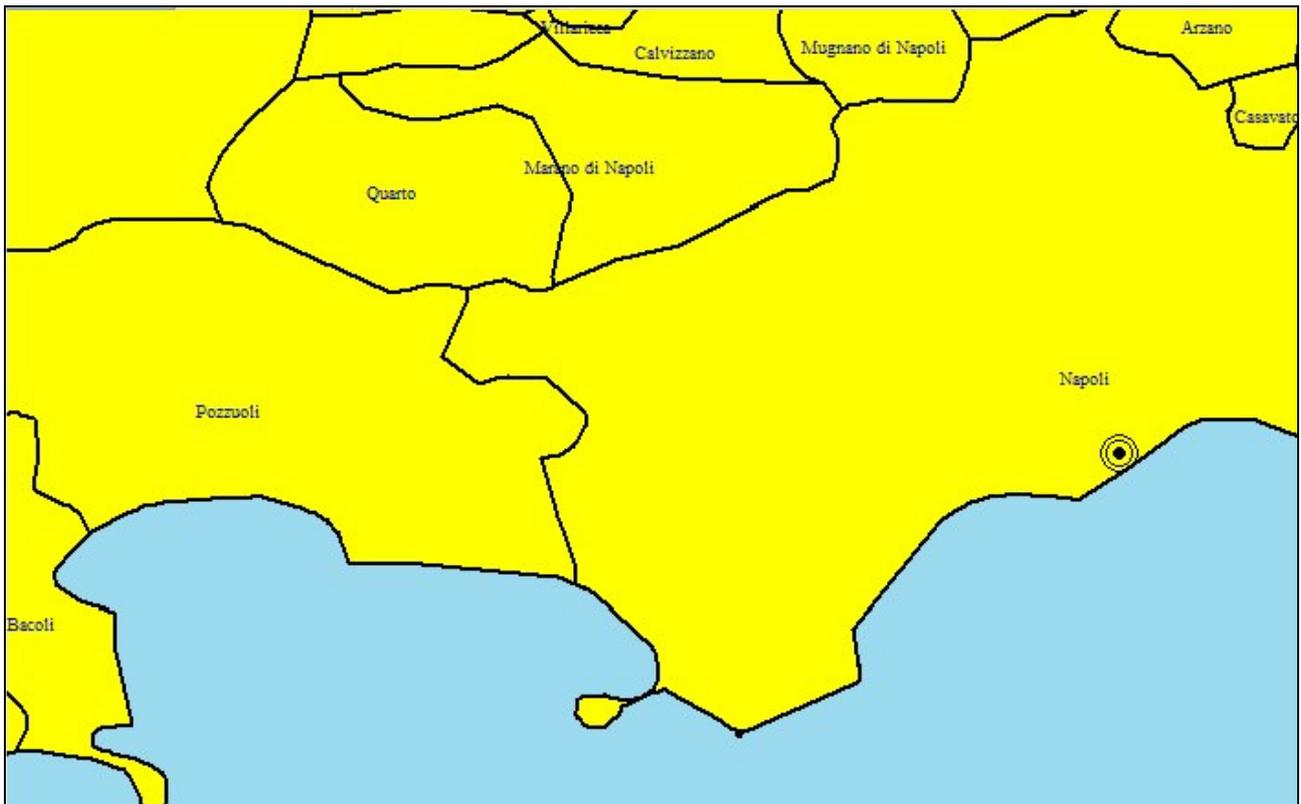
Tutte le indagini ricadano nell'aree oggetto di intervento al fine di poterne ricostruire l'assetto geotecnico e stratigrafico.

Gli elaborati grafici (carte geologiche e topografiche, planimetrie, ecc.), i certificati e le schede relative alle indagini sono riportate in allegato alla presente e della stessa forma parte integrante.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area in esame ricade nel territorio comunale di Pozzuoli, nel distretto provinciale di Napoli. Cartograficamente l'area ricade nel foglio geologico n. **184 "Napoli "** della Carta Geologica d'Italia dell'I.G.M. ma per una visione geologica d'insieme si riporta, in Tav.1, lo stralcio geologico dell'Appennino Meridionale.

La tavoletta topografica con scala al 25.000 è la n°23 - quadrante **184-III NO** denominata "**Pozzuoli**".



Le zone d'intervento ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania Centrale.

Di seguito, vd. tav. 3, è riportato lo stralcio planimetrico di dettaglio con l'ubicazione del delle aree oggetto del presente lavoro.

STRALCIO GEOLOGICO

Foglio 183 - Napoli

Scala 1:100.000 - Tav.1a



- fi** Prodotti proclastici indifferenziati provenienti da vari centri eruttivi (leggi: cineriti e pozzolane chiare. Nell'area urbana partenopea e del F. Sebeto: lapilli pozzolanici stratificati, cenere e pomice grige, suoli con molluschi terrestri, ghiaie (luviali), limo e terre torbose; passanti a facies marina litorea (sabbie grossolane), salmastra nel settore SE; tufo argilloso dell'estuario del paleo-Sebeto III).
- ts** Prodotti proclastici tufacei da grigi a rossastri del sistema craterico di Campagna (= Fossa Lupara o Sengal) (ts) e sue lave trachitiche scorie (tr).
- ti** Materiale di lancio: scorie saldate, breccie con frammenti di tufo giallo (tg) inferiormente (Fondo Riccio e Concola) (ti).
- ta** Lave latitiche: proietti e scorie di Molara, Vateliero etc. (IV^a-X^a sec. a. Cr.) a Ischia (ta).
- tr** Lave trachitiche di tipo pozzano e Ischia (M. Zale-Rotaro, IV^a-X^a sec. a. Cr.) (tr). Prodotti vari di lancio e scorie vitrofriche di M. Rotaro; breccie trachitiche, lave trachivetrofriche (Panza) a Ischia (se).
- tsi** Prodotti proclastici superiori dell'Averno e successivi; lapilli pomice e cineriti stratificati; lapilli (pozzolane) e paleosuoli intercalati (tsi).
- tas** Prodotti proclastici dell'Astroni (IX^a-XX^a sec. a. Cr.) pomice e lapilli (pozzolane) con paleosuoli intercalati (tas).
- trc** Scorie di lancio e lave: trachite vulsinitica del Colle dell'Imperatrice-Astroni (trc).
- ti** Prodotti proclastici del sistema craterico di Cigliano: tufo grigi, cenere, agglomerati di scorie; livelli superiori a pomice bianche (Sterza-Pozzuoli) (ti).
- ali** Formazione limoproclastica di Quarto e di Pianura; lapilli pomice e tufo pisolitico stratificato, con vari mammiferi (*Cervus elaphus* L., veri) (ali).
- sm** Sabbioni, scorie e proietti genericamente trachitici scuri; breccie proclastiche di Marmolite e Muloro a Quarto (sm). Eruzioni laviche: trachitiche sodalica grigia di Marmolite (tr).

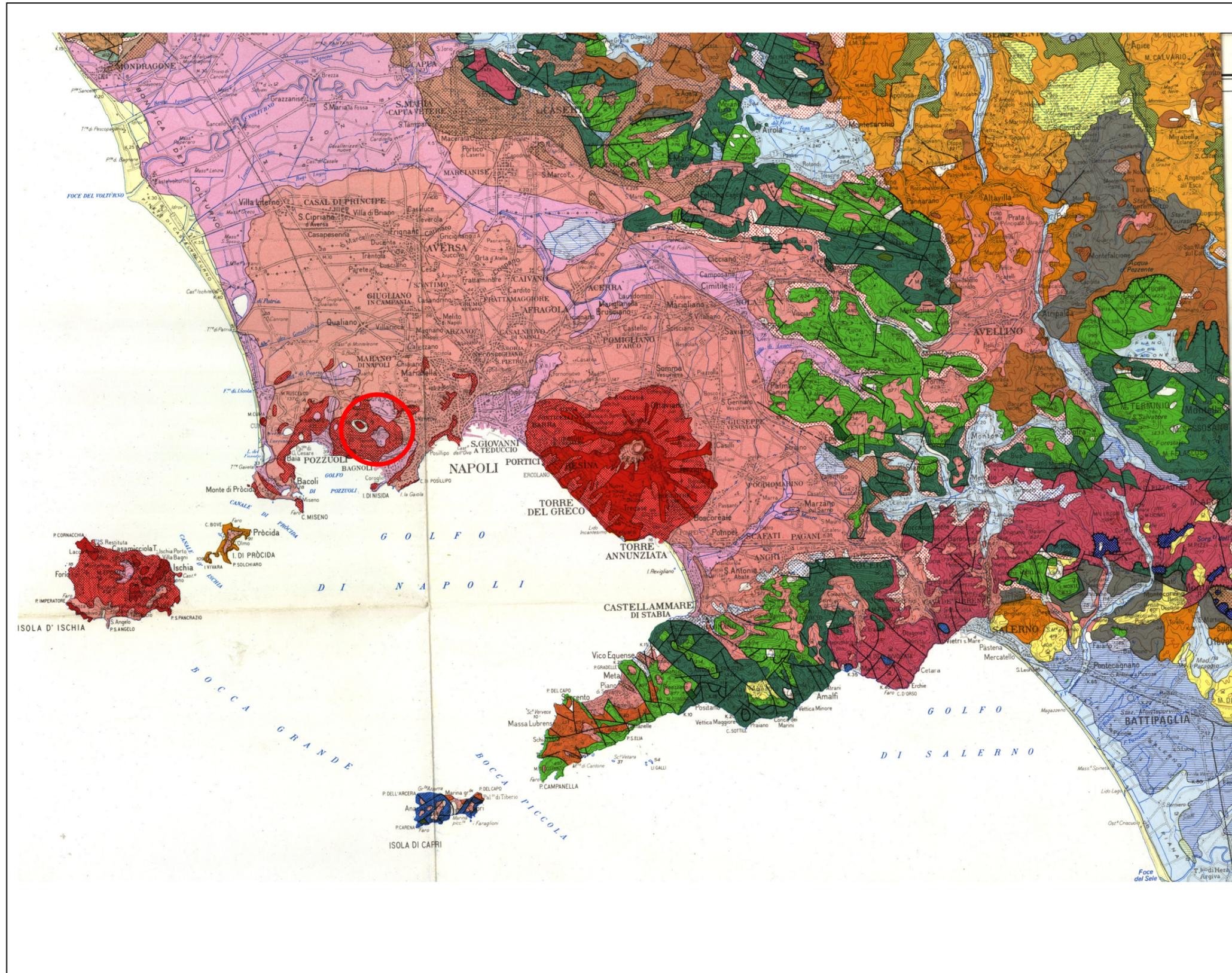
STRALCIO GEOLOGICO Appennino Meridionale

Scala 1:250.000 - Tav.1



Legenda

Vulcanico - Volcanics	
12	Depositi vulcanico - sedimentari Volcano - sedimentary deposits
13	Depositi piroclastici da caduta Pyroclastic fall deposits
14	Proclastiti da flusso (ignimbrite Campana) Pyroclastic flow deposits (Campanian Ignimbrite)
15	Altre piroclastiti da flusso, Surges, Lahars Other Pyroclastic flows, Surges, Lahars
16	Tufiti ialoclastiche (isola di Procida) Hyalotuffites (Procida Island)
17	Lave potassiche (serie shoshonitica) Potassic lavas (Shoshonitic Series)
18	Lave ultrapotassiche (Serie Leucitico-basanitica e leucitiche) Ultrapotassic Lavas (Leucitic-basanitic and leucitic series)
19	Lave sodico - potassiche (M.te Vulture) Sodic - potassic lavas (M.te Vulture)



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il sito oggetto d'indagine ricade nel distretto vulcanico dei Campi Flegrei. Quest'ultimo rappresenta un sistema vulcanico complesso formato da un insieme di piccoli apparati vulcanici sovrapposti ed adiacenti, disposti secondo un allineamento E-O ed alimentato da tale vulcanismo a chimismo prevalentemente potassico. Tale vulcanismo flegreo si è impostato in corrispondenza di un alto strutturale della depressione tettonica della Piana Campana. La suddetta Piana rappresenta la vasta area pianeggiante, compresa tra il mar Tirreno, il Mt Massico, i monti di Caserta ed il Vesuvio; in essa in epoca storica, e specie durante il Quaternario recente, si sono avuti importanti fenomeni vulcanici che hanno contribuito a definire l'assetto morfologico attuale.

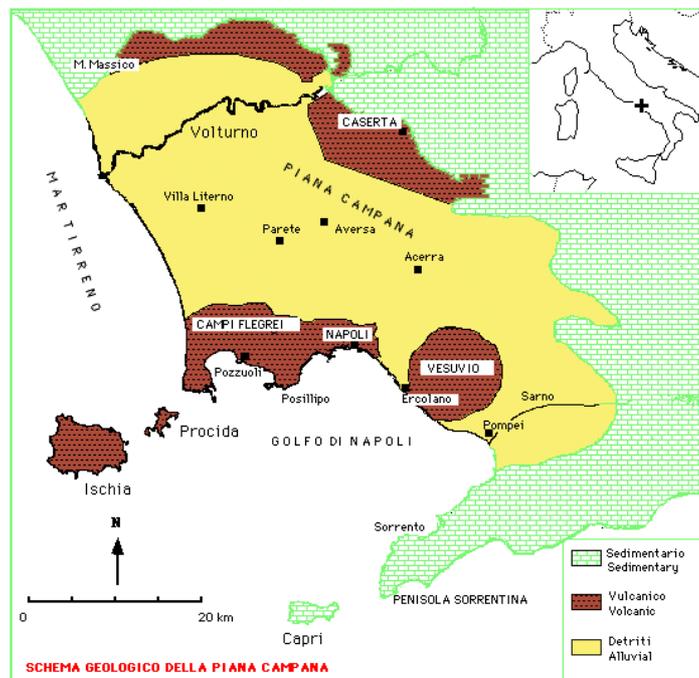


Fig.2: Schema geologico della Piana Campana

Dal punto di vista geologico-strutturale, la Piana Campana rappresenta un grande graben. Impostatosi probabilmente durante il Pliocene Superiore e sottoposto, poi, ad un accentuato sprofondamento durante il Quaternario (Ippolito, Ortolani e Russo, 1973), all'interno di esso si sono accumulati potenti depositi continentali, marini e vulcanici.

In particolare, nella zona compresa tra i Campi Flegrei ed il fiume Volturno si sono impostati antichi edifici vulcanici, ricoperti scessivamente da depositi recenti. In superficie, ai margini della Piana, sono ben osservabili faglie dirette, orientate in direzione NE-SW e NW-SE, che hanno determinato, in almeno due fasi (nel Quaternario), rigetti verticali complessivi intorno ai 5.000 m con il graduale approfondimento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità sovrapposte (Pescatore e Sgrosso,1973; Sgrosso,1974) affioranti tutto intorno al graben, al di sotto di elevati spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari.

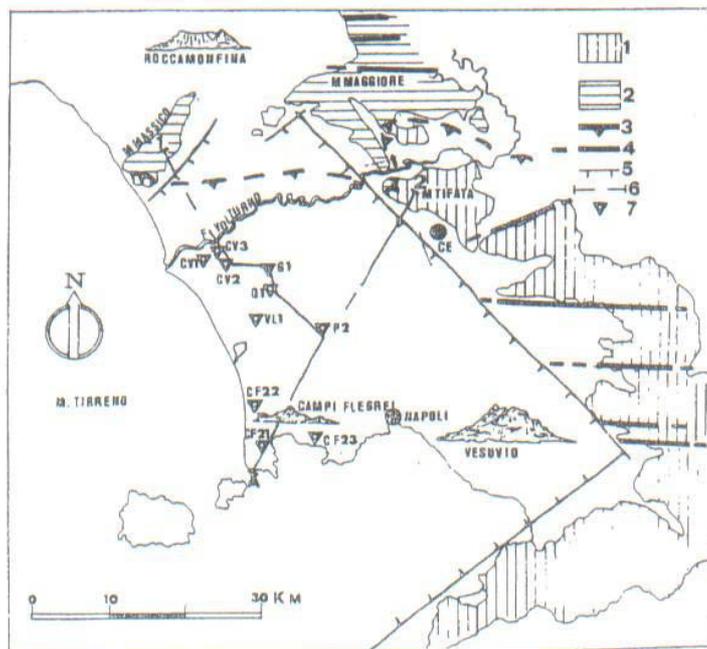


Fig. 3 - Schema tettonico della Piana Campana e delle aree circostanti: 1 unità carbonatiche della piattaforma campano-lucana; 2 unità carbonatiche della piattaforma abruzzese-campana; 3 fronte di sovrascorrimento dell'unità della piattaforma campano-lucana; 4 strutture mioceniche; 5 faglie dirette quaternarie; 6 traccia delle sezioni geologiche interpretative; 7 sondaggi meccanici.

Nelle rocce carbonatiche sono ben visibili anche le strutture mioceniche, connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura sedimentaria triassicomiocenica; esse hanno orientamento W-E, sono costituite da una serie di monoclini immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie dirette (Di Nocera, Ortolani e Torre, 1976). (figura 4.2).

Le aree vulcaniche marine antistanti la Piana (Isole Pontine ed Ischia) sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena appenninica, lungo una fascia dove, al di sotto dei depositi del Miocene

superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata di tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita sottostante la catena (Giese e Morelli, 1973).

I fenomeni vulcanici dell'area Flegrea, del Roccamonfina e del Somma-Vesuvio, ubicati nelle zone di massimo sprofondamento, sono da mettere in connessione con le strutture tettoniche recenti (Olivieri, 1966; Ippolito, Ortolani e Russo, 1973).

Inquadramento geologico dei Campi Flegrei.

Nel settore centrale della Piana Campana, ad Ovest della città di Napoli, è situato l'ampio complesso vulcanico dei Campi Flegrei, la cui attività si è esplicitata in seguito alle fasi tettoniche distensive plio-quadernarie che hanno portato alla formazione della stessa (Rittman et alii, 1950; Luongo et alii, 1991) (figura 4.3;).

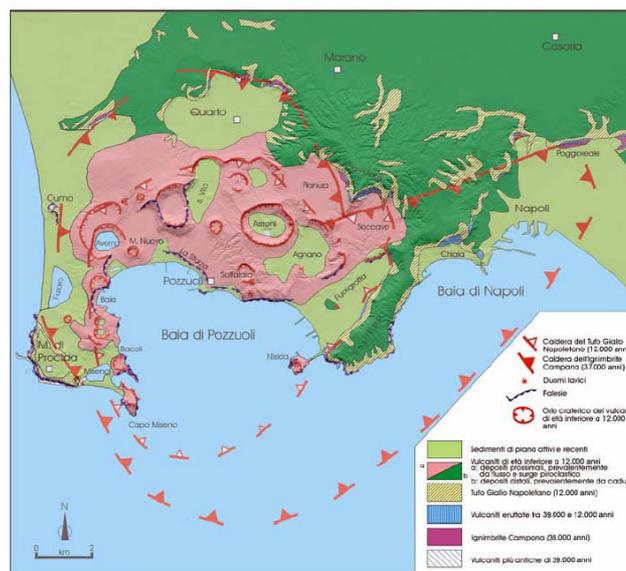


Figura 4 - Carta geologica schematica dell'area napoletano-flegrea (modificato da Orsi et al., 1996)

La depressione dei Campi Flegrei è una struttura calderica all'interno della quale, negli ultimi 39000 anni, sono stati attivi più di settanta centri eruttivi. Tale struttura deriva dalla sovrapposizione di due principali episodi di sprofondamento (Orsi et al., 1996) connessi all'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC- 39000 anni; De Vivo et al., 2001) e del Tufo Giallo Napoletano (TGN; 12.000 anni; Alessio et al., 1973).

La definizione della storia geologica è stato oggetto di molti studi, a partire dal secolo scorso (Johnston Lavis, 1889; Dell'Erba, 1892; De Lorenzo, 1904;; Ritmann, 1950; Scherillo, 1953, 1955; Scherillo e Franco, 1960, 1967; Rosi et al., 1983; Di Girolamo et al., 1984; Rosi e Sbrana, 1987; Barberi et al., 1991). L'interpretazione di nuovi dati stratigrafici sia di superficie che di sottosuolo, anche alla luce di tutti i dati pregressi, ha consentito recentemente (Orsi et al., 1996,; Di Vito et al., 1999) una dettagliata ricostruzione della storia vulcanica e deformativa dei Campi Flegrei. La ricostruzione degli eventi vulcanici susseguitisi nel sistema Flegreo è stata realizzata avvalendosi di marker stratigrafici, quali la Formazione del Tufo Giallo Napoletano e l'Ignimbrite Campana come segue:

- Vulcanismo più recente di 12000 anni;
- Eruzione del Tufo Giallo Napoletano;
- Vulcanismo di età compresa tra i 39.000 e i 12.000;
- Eruzione dell'Ignimbrite Campana;
- Vulcanismo più antico di 39.000 anni;

Dal punto di vista strutturale, l'elemento più importante è dato dalla caldera dei Campi Flegrei; essa costituisce una struttura complessa, risultante da due fasi principali di collasso, recente si è formata nel settore sud-occidentale della precedente ed è stata sede di una intensa attività vulcanica e vulcanotettonica più recente.

Vulcanismo connesso alle eruzioni della Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano (*più antico di 39.000 anni*).

Le rocce più antiche sono esposte solo lungo le scarpate che bordano i Campi Flegrei. Esse comprendono i duomi lavici di Punta Marmolite e di Cuma, i depositi piroclastici dei Tufi di Torre Franco e il relitto del Tufo di Monte Grillo. In una cava ubicata lungo il versante che delimita a nord est la piana di Quarto sono ben esposti i depositi piroclastici, intercalati da paleosuoli, di almeno dieci diverse eruzioni. Depositi piroclastici alla stessa altezza stratigrafica sono stati perforati a Poggioreale, Capodimonte, Ponti Rossi, Chiaiano e Secondigliano.

A questa attività, concentrata nella parte occidentale dei Campi Flegrei, segue l'eruzione dell'Ignimbrite Campana.

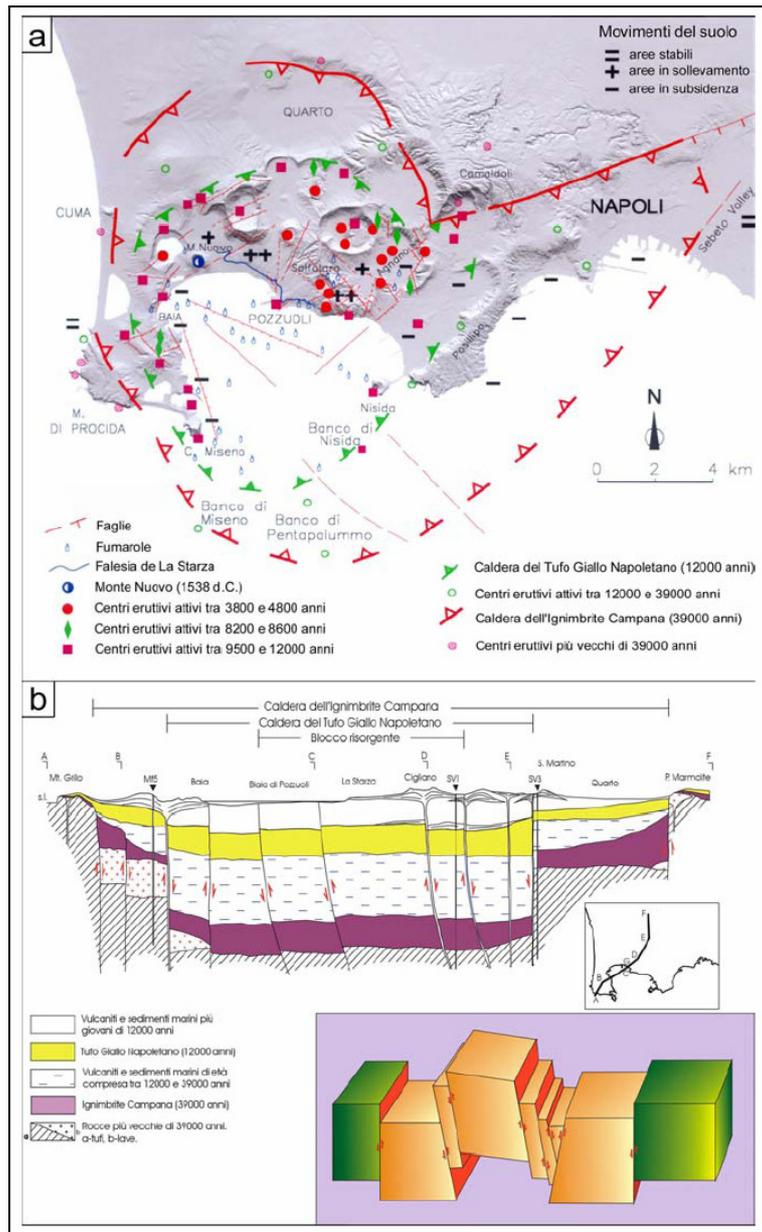


Figura 5 - a) Carta strutturale della caldera dei campi flegrei; b) sezione geologica orientata SW-NE (la traccia è riportata nell'inserto) e modello di risorgenza a blocchi per taglio semplice (modificato da Orsi et al., 1991,1996,1999;Di Vito et al.,1999).

L'Ignimbrite Campana (39000 anni)

L'Ignimbrite Campana è il deposito piroclastico a più ampia distribuzione areale (Fig. 4.5) della Campania; esso, infatti, ha coperto un'area di circa 30.000 Km², con un volume di magma eruttato di circa 150 Km³ (Fisher et al., 1993; Civetta et al., 1997).

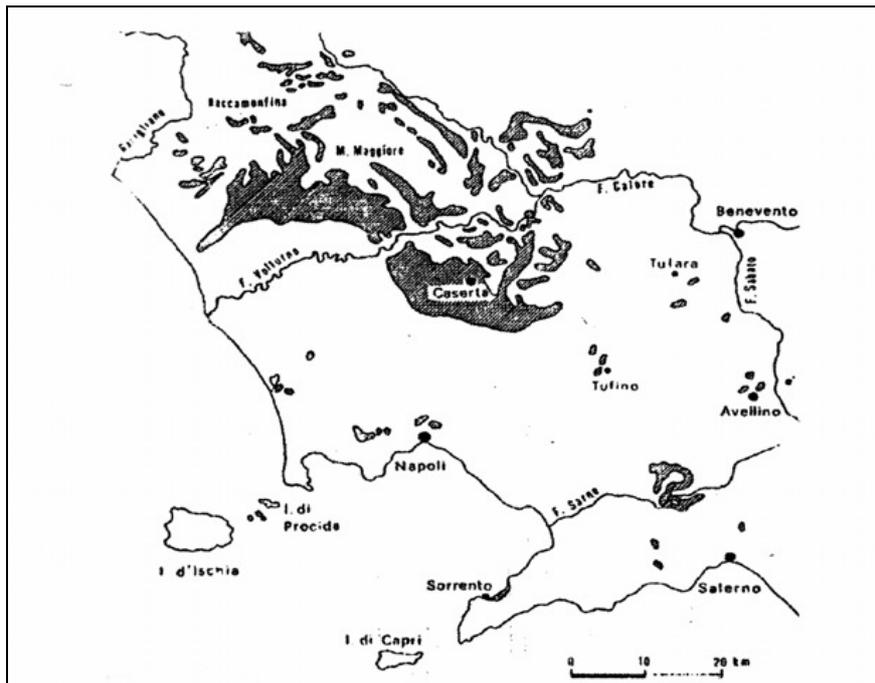


Fig.6: Attuale distribuzione dell'Ignimbrite Campana

Secondo alcuni autori (Barberi et al., 1978) è il prodotto dell'eruzione esplosiva a più alta *magnitudo* avvenuta nell'area mediterranea negli ultimi 200000 anni. Attualmente, la distribuzione dell'Ignimbrite Campana è solo la quindicesima parte del totale, poiché l'erosione e la deposizione di sedimenti ne hanno obliterato l'affioramento. In riferimento alla genesi di tale deposito, vi sono diverse ipotesi tra loro contrastanti. Alcuni autori (Di Girolamo, 1970; Barberi et al., 1978; Di Girolamo et al., 1984) ipotizzano che la zona di emissione del flusso sia una frattura arcuata, presente lungo la parte Nord dei Campi Flegrei e del Golfo di Napoli, e ritengono che l'eruzione abbia provocato lo sprofondamento di un'ampia area che comprende i Campi Flegrei e parte del golfo di Napoli. Secondo altri (Rosi e Sbrana, 1987), la frattura avrebbe una geometria anulare intorno ai soli Campi Flegrei e dopo questa eruzione si sarebbe formata la caldera flegrea.

Lirer et al. (1987) e Scandone et al. (1991) ritengono che lo sprofondamento calderico sia avvenuto in seguito, dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, e collocano i centri eruttivi dell'Ignimbrite Campana lungo una frattura con direzione NE-SO passante per Napoli e delimitante, a Nord, la Piana di Acerra (Scandone et al., 1991).

L'eruzione probabilmente iniziò con esplosioni freatomagmatiche seguite dalla formazione di una colonna eruttiva pliniana che generò un deposito piroclastico da caduta disperso verso est. Verso la fine di questa fase, la colonna diventò instabile e pulsante, finché collassò in concomitanza con l'inizio del collasso calderico. A questo punto si formarono flussi piroclastici che superarono barriere morfologiche alte più di 1000 m. Durante la successiva fase di maggior collasso calderico, si formarono ulteriori flussi espansi. Verso la fine dell'eruzione si generarono flussi più densi che percorsero distanze relativamente più brevi. La messa in posto di questo flusso piroclastico è stata controllata dalla morfologia preesistente che ne ha permesso lo sviluppo e l'espansione nelle valli retrostanti la Piana Campana, tra i rilievi calcarei mesozoici. L'Ignimbrite Campana, come accennato sopra, è un deposito da flusso piroclastico caratterizzato da un'elevata viscosità e da una temperatura relativamente bassa (Barberi et al., 1978), con caratteristiche variazioni tessiturali verticali.

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

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

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

In diversi momenti dell'eruzione si generarono quattro depositi di breccia che furono distribuiti nelle vicinanze delle aree di emissione. Rosi et al (1983) e Rosi e Sbrana (1987) comprendono nell'Ignimbrite Campana anche depositi chiamati "Piperno" ed alcune brecce dette "Breccia Museo". Il flusso piroclastico avrebbe abbandonato questo materiale grossolano e pesante nelle zone vicine al punto di emissione. Al contrario, Lirer et al. (1992) e Perrotta et al. (1993) riconoscono in queste brecce il deposito di eruzioni posteriori.

Il collasso della caldera, il cui margine strutturale non è attualmente esposto, si realizzò attraverso sia la formazione di nuove faglie che la riattivazione di strutture a carattere regionale preesistenti. L'area collassata prevede una parte emersa e una sommersa.

Nella parte sommersa il margine della caldera è stato ricostruito sulla base di evidenze geofisiche, morfologiche e strutturali (Orsi et al., 1996). Nella parte emersa superfici ad alto angolo coperte, in discordanza angolare, da successioni di rocce più recenti dell'Ignimbrite Campana, rappresentano il prodotto dell'evoluzione morfologica di scarpate di faglia prodottesi durante il collasso della caldera e ne definiscono il margine topografico. Tali superfici affiorano a Monte di Procida, Cuma, San Severino, lungo i margini della piana di Quarto e Pianura, e costituiscono l'allineamento Camaldoli- Poggioreale. La Caldera dei Campi Flegrei copre un'area di 230 Km² e racchiude tutti i centri eruttivi attivi successivamente all'eruzione dell'Ignimbrite Campana. Assumendo uno sprofondamento medio di circa 700 m, come suggerito dalle perforazioni profonde (AGIP,1987), il volume del collasso è di circa 160 Km³, in buon accordo con il volume stimato di magma eruttato nel corso dell'eruzione (150 Km³).

Vulcanismo tra 39.000 e 12.000 anni

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

Il Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni)

Riguardo la sua genesi, esistono pareri controversi. Alfred Rittman (1950) riteneva che tutti i depositi di tufo giallo affioranti nei Campi Flegrei e nella città di Napoli fossero il risultato di eruzioni differenti. Più recentemente, Rosi et al. (1983) e Rosi e Sbrana (1987) concordano con Rittman, mentre altri autori (Lirer e Munno, 1976 e Di Girolamo et al., 1984) ritengono che almeno i depositi di tufo giallo, che si trovano vicino al bordo dei Campi Flegrei, all'interno della depressione, siano stati emessi da un'unica eruzione, cui sarebbe anche legato il collasso dell'area (Lirer et al., 1987). In uno degli ultimi lavori proposti, basato su dettagliati studi stratigrafici, granulometrici e geochimici, Scarpati e Cole (1993) confermerebbero l'ipotesi di una sola eruzione. Questi ultimi ricostruiscono l'evoluzione dell'eruzione attraverso la sequenza dei prodotti (i depositi basali, formati da strati alternati di pomici e ceneri, deriverebbero da una fase eruttiva iniziale freato-pliniana, seguita da una violenta fase di surge e flussi piroclastici) e collocano il centro di emissione in una zona ubicata a NE dei Campi Flegrei. Il Tufo Giallo Napoletano consiste in un vasto deposito da flusso piroclastico, di colore giallastro e grigiastro a struttura da massiva a stratoide, costituito da pomici, frammenti lavici e tufacei immersi in una matrice cineritica, con una composizione variabile da trachitica a fonolitica, probabilmente risultato di una camera magmatica zonata (De Gennaro et al., 2000).

L'intera sequenza del Tufo Giallo Napoletano è stata suddivisa in due membri, denominati membro inferiore e membro superiore, distinguibili per caratteristiche tessiturali e sedimentologiche, area di dispersione e composizione chimica (Orsi et al., 1992, 1995). Il passaggio tra i due membri è definito da una brusca variazione delle caratteristiche tessiturali del deposito e/o da una discordanza angolare. Il Membro Inferiore è disperso su un'ampia superficie: è stato rilevato, infatti, fino a 35 Km dall'area di emissione ed è costituito da diverse unità da caduta, intercalate da numerosi livelli di cenere a grana fine, con intervalli contenenti lapilli accrezionali e vescicolari.

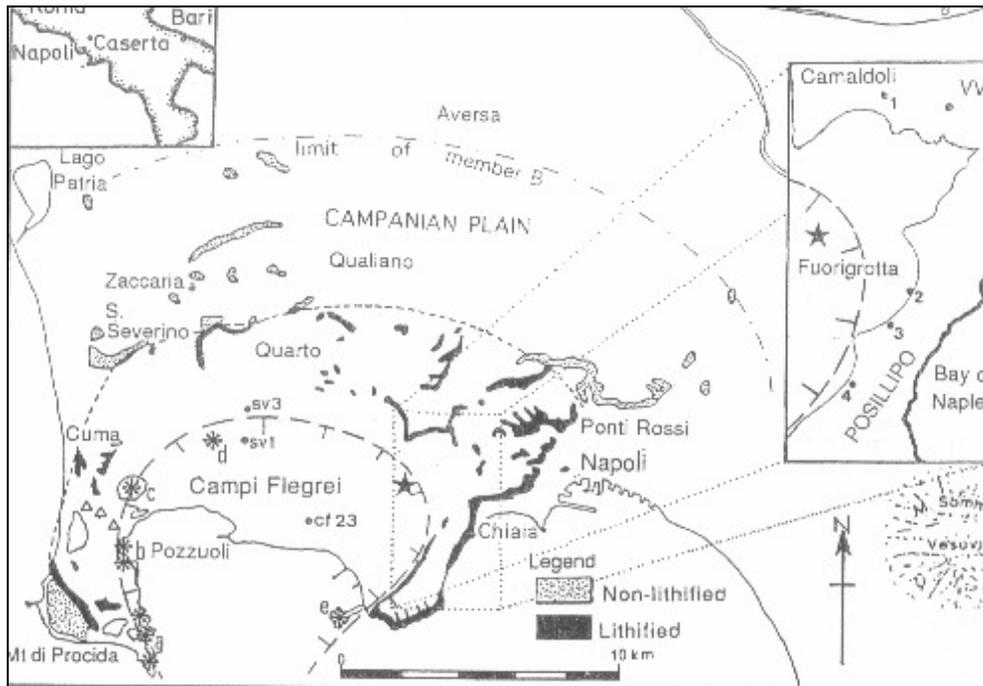


Figura 7 - Carta della distribuzione delle facies del TGN (Scarpati et al, 1993)

Il Membro Superiore, rilevato fino a circa 14 Km dall'area di emissione, è costituito da una sequenza di depositi da flusso e surges piroclastici, le cui caratteristiche variano considerevolmente in funzione della distanza dal centro di emissione e della posizione rispetto al margine della caldera. All'interno della caldera, infatti, prevalgono i depositi da flusso piroclastico, mentre i livelli da surges piroclastici dominano al di fuori della stessa. I depositi del Membro Superiore sono costituiti da alternanze di livelli di ceneri a differente granulometria, da massivi a laminati, con pomici e frammenti litici dispersi, caratterizzati generalmente da un elevato grado di litificazione per zeolitizzazione. Le caratteristiche sedimentologiche e tessiturali del TGN, nell'area napoletano-flegrea, non sono molto variabili. All'interno della caldera dei Campi Flegrei (Monte di Procida, S. Severino, Quarto, Collina dei Camaldoli, Vomero, Posillipo e Capodimonte) affiorano prevalentemente depositi da flusso e surges piroclastici del Membro Superiore, mentre nelle aree periferiche (Qualiano, Giugliano, Miano, Ponti Rossi e Poggioreale) depositi costituiti in prevalenza dal Membro Inferiore e composti da ceneri laminate, da scarsamente a non zeolitizzate. Il Tufo Giallo Napoletano è generalmente di colore grigio e scarsamente litificato in aree distali, mentre è giallo e litificato per zeolitizzazione (de'Gennaro et al., 1990) nell'area prossimale napoletano flegrea, da cui prende il nome. Le caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e

composizionali del Tufo Giallo Napoletano suggeriscono che già nel corso dell'eruzione iniziò un collasso calderico (Orsi e Scarpati,1989; Orsi et al.,1991, 1992, 1995; Scarpati et al. 1993; Wohletz et al., 1995). Il versante occidentale ad alto angolo della collina di Posillipo probabilmente rappresenta l'evoluzione morfologica di una scarpata di faglia prodottasi durante il collasso calderico. La maggior parte del margine strutturale della caldera può essere ricostruita sulla base di evidenze gravimetriche e magnetiche (Barberi et al.,1991), della distribuzione dei centri eruttivi più recenti del Tufo Giallo Napoletano, dell'andamento di superfici di abrasione marina di età nota e di dati di perforazione superficiale e profonda.

Tutti i centri eruttivi più giovani di 12.000 anni sono ubicati all'interno della caldera del Tufo Giallo Napoletano. Il collasso calderico si realizzò attraverso l'attivazione di nuove faglie e la riattivazione di porzioni di faglie persistenti generate dalla tettonica regionale. Il fondo della caldera fu dislocato in una serie di blocchi ribassati in modo differenziale. Il collasso calderico determinò lo sprofondamento di un'area di circa 90 Km² per circa 600 m. Il risultante volume del collasso di circa 54 Km³, è in buon accordo con stima di magma emesso. Le caratteristiche sedimentologiche e tessiturali del TGN, nell'area napoletanoflegrea, non sono molto variabili. All'interno della caldera dei Campi Flegrei (Monte di Procida, S.Severino, Quarto, Collina dei Camaldoli, Vomero, Posillipo e Capodimonte) affiorano prevalentemente depositi da flusso e surges piroclastici del Membro Superiore, mentre nelle aree periferiche (Qualiano, Giugliano, Miano, Ponti Rossi e Poggioreale) depositi costituiti in prevalenza dal Membro Inferiore e composti da ceneri laminate, da scarsamente a non zeolitizzate.

Vulcanismo più recente di 12.000 anni.

Scandone et al. (1991) ritengono che, dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, la parte più bassa dei Campi Flegrei sia stata invasa dal mare. L'eruzione ha posto fine ad ogni attività all'esterno della caldera. Il vulcanismo si è concentrato in tre epoche di attività, alternate a periodi di quiescenza (Isaia, 1998; Di Vito et al., 1999), queste fasi sono accompagnate da intense deformazioni del fondo della caldera. Le eruzioni sono state per la maggior parte esplosive, magmatiche e freatomagmatiche. Le prime hanno generato prodotti prevalentemente piroclastici da caduta e in

seconda misura da flusso, le seconde hanno prodotto depositi da surges piroclastici. Nel corso della prima epoca, che va da 12.000 a 9.500 anni, si verificarono 37 eruzioni, tutte esplosive. Tali eruzioni hanno formato una serie di vulcani monogenici (generati da una sola eruzione).

In quest'arco di tempo, si collocano l'eruzione del Gauro (10Ka), di Monteruscello e delle Pomici Principali (10Ka, Alessio et al., 1971) e dell'Archiaverno, il cui omonimo lago si è impostato su uno dei crateri di esplosione.

Altre eruzioni si sono verificate lungo la costa flegrea verso Ovest: Baia, Miseno e Porto Miseno. I centri ubicati lontano dalla costa (Soccavo, Minopoli, Pisani) produssero vari tipi di depositi piroclastici ampiamente distribuiti al di fuori della caldera e sull'area oggi occupata dalla città di Napoli. Depositati da caduta coprono il settore nord-orientale del fondo

della caldera e i versanti settentrionali della collina dei Camaldoli, fino a 15 km dal centro della caldera. I depositi da caduta delle Pomici Principali coprono un'area molto vasta, con uno spessore di 20 cm a circa 50 km a est-nord-est del centro eruttivo. Correnti piroclastiche depositarono il loro contenuto solido sul fondo della caldera, sul versante settentrionale della collina dei Camaldoli e su una parte della Piana Campana a nord di Cuma. Le faglie bordiere della caldera erano le prevalenti strutture di alimentazione per il vulcanismo della prima epoca. La prima epoca si conclude con un periodo di quiescenza durato circa 1000 anni, durante il quale si forma il paleosuolo A. La seconda epoca abbraccia un periodo di tempo che va dagli 8.600 agli 8.200 anni, in quest'intervallo di tempo si sono verificate ben 6 eruzioni esplosive i cui depositi coprono un'area molto più ristretta della I epoca (il fondo della caldera, il versante settentrionale della collina dei Camaldoli e il settore nord-orientale della caldera dei Campi Flegrei). CCF. Il magma raggiunse la superficie solamente attraverso porzioni delle faglie marginali della caldera del TGN (Fig. 2.1a). La maggior parte di queste faglie non si comportò più come strutture di alimentazione delle eruzioni. Alla II epoca sussegue un periodo di quiescenza della durata di 3500 anni nel quale si forma il paleosuolo B. Fra 10 ka e 5 Ka il suolo della caldera si è sollevato e la traccia di questo evento è costituita da un terrazzo marino, la Starza, alto circa 40 m s.l.m., il quale borda la costa settentrionale del Golfo di Pozzuoli. La

terza epoca (4.800-3.800) è caratterizzata da 21 eruzioni esplosive e 5 effusive . Durante ques'epoca si ha la formazione di Agnano- MonteSpina.

L'ultimo periodo di quiescenza, iniziato alla fine della III epoca, fu interrotto nel 1538 AD dall'eruzione che determinò la formazione del *tuff-cone* del Monte Nuovo.

Negli ultimi 2.000 anni, la caldera del TGN è stata interessata da una deformazione, ben documentata al Serapeo di Pozzuoli (Parascandola, 1947; Dvorak e Gasparini, 1991).

Due maggiori eventi bradisismici hanno avuto luogo nei periodi 1969–1972 e 1982–1984 (Orsi *et al.* 1999 e bibliografia citata). Il massimo sollevamento del suolo fu di 170 cm durante il primo e di 180 cm durante il secondo evento. Dal 1984 il suolo è stato complessivamente interessato da subsidenza, interrotta da piccoli episodi di sollevamento nel 1987 (7 cm), 1994 (1 cm) e nel 2000 (4 cm). Durante tutti gli eventi bradisismici il massimo sollevamento del suolo è stato misurato a Pozzuoli.

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

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

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

La generale subsidenza della CCF e la risorgenza della parte centrale della caldera del TGN, hanno contribuito in modo rilevante all'articolazione plano-altimetrica dei luoghi.

L'effetto più evidente della risorgenza è il terrazzo marino de La Starza, posto a circa 40-60 m s.l.m. e costituito da più intervalli deposizionali di origine marina, intervallati da depositi piroclastici subaerei. La generale subsidenza della CCF è testimoniata dai numerosi resti archeologici di età imperiale che costellano, a profondità per lo più comprese entro l'isobata dei -10 m, il litorale flegreo-napoletano.

In particolare, la collina dei Camaldoli, con i suoi 458 m s.l.m., rappresenta la morfostruttura che domina l'intero paesaggio flegreo. All'attuale conformazione della collina hanno concorso sia gli eventi deformativi quali i collassi calderici legati alle eruzioni dell'IC e del TGN, sia gli eventi vulcanici costruttivi, successivi all'eruzione dell'IC. La collina può quindi essere considerata un "alto" morfostrutturale, individuatosi nel corso del tardo Quaternario – Olocene.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DEI CAMPI FLEGREI

Lo studio geomorfologico permette il riconoscimento di forme e processi legati a diversi agenti geomorfici nonché alla influenza di altri fattori; di essi viene di seguito riportata la descrizione.

Forme di origine vulcano-tettonica e strutturale.

L'aspetto rilevante di interesse morfologico è dato dalla presenza di versanti da moderatamente a fortemente acclivi di origine strutturale, connessi al verificarsi di fenomeni di collasso vulcano-tettonico. Tali versanti si impostano in rocce litoidi e in terreni piroclastici sciolti; in particolare, le creste tufacee che bordano la collina dei Camaldoli e la collina di Posillipo sono interessate da una intensa fatturazione che contribuisce ad isolare blocchi in precarie condizioni di equilibrio, spesso soggetti a fenomeni di crollo, i cui effetti sono testimoniati da numerosi massi presenti nelle aree pedemontane.

Altre morfologie strettamente associate alla attività vulcanica flegrea sono rappresentate dai *duomi lavici* (Monte Olibano, La Caprara) e dagli edifici vulcanici, in alcuni casi ancora ben conservati (Astroni, Cigliano, Solfatara, Averno, Fondi di Baia) con versanti interni ripidi e profilo concavo, e versanti esterni meno acclivi e profilo concavo rettilineo, in altri casi meno conservati soprattutto per quanto

riguarda gli edifici vulcanici soggetti alla azione erosiva del mare (vulcano di Miseno, vulcano di Baia ecc.).

Forme, processi e depositi legati alla azione delle acque correnti superficiali.

Si individuano forme di erosione e accumulo quali: solchi da ruscellamento concentrato, alvei poco incisi, alvei da moderatamente a molto incisi, orli di scarpata, vallecole a conca, vallecole a fondo piatto, gomiti lungo aste fluviali a forte gradiente, soglie di valle sospesa, conoidi alluvionale attivo, poco o non reincisi, fasce di raccordo versante fondovalle di origine alluvio-colluviale o di origine fluvio-denudazionale, e settori di glacis alluvio-colluviale interessati da diffusi fenomeni di deiezione.

Forme, processi e depositi di versante di origine gravitativa.

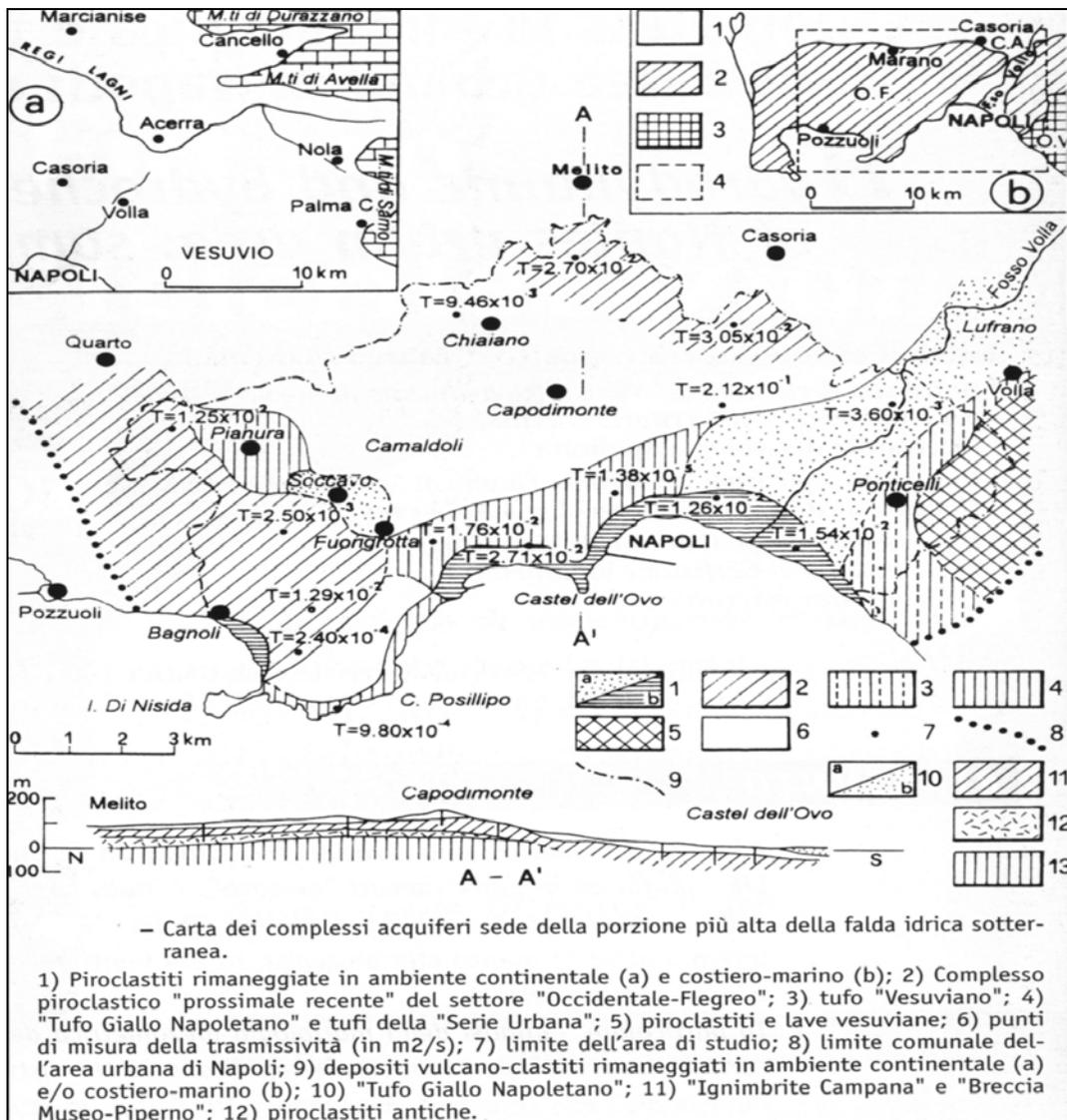
I fenomeni franosi riconosciuti nel territorio dei Campi Flegrei sono ascrivibili prevalentemente a scorrimenti traslativi, colate e frane complesse, quest'ultime rappresentate da crolli o scorrimenti traslativi evoluti in colate. Gli scorrimenti, gli scorrimenti colata e le colate sono in larghissima parte di modesto volume, e si sono attivati lungo versanti ad inclinazione variabile, per lo più compresa tra 40° e 50° circa. Nel complesso, gli eventi di frana sono distribuiti in maniera abbastanza omogenea lungo tutte le aree di versante caratterizzate da elevata acclività e energia di rilievo spesso concentrati in corrispondenza degli orli di scarpata a controllo strutturale (vedi i versanti legati a fenomeni di collasso vulcano-tettonico). In corrispondenza delle pareti subverticali impostate in materiali litoidi di natura tufacea e lavica, sono frequenti fenomeni di crollo.

Forme e depositi di origine marina.

Le forme di origine marina maggiormente presenti nel territorio flegreo sono costituite dagli orli di falesia; (gli orli di falesia attivi e quelli inattivi (paleofalesie) e, ancora, quelli con o senza un controllo di tipo strutturale). Di particolare interesse, inoltre, ai fini della ricostruzione delle variazioni del livello del suolo, è l'elemento geomorfologico corrispondente al terrazzo della Starza, limitato verso mare da un versante acclive soggetto a una vivace dinamica morfologica.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

L'area in esame rientra nell'unità idrogeologica dei Campi Flegrei.



Quest'area ha subito una complessa evoluzione vulcano-tettonica, a carattere eminentemente esplosivo, a partire dalPleistocene superiore fino in tempi storici, come testimoniano sia la netta prevalenza di prodotti piroclastici a composizione alcali-trachitica che i numerosi crateri geneticamente connessi ad eventi esplosivi. Il susseguirsi dei numerosi eventi esplosivi ha determinato, nell'area in esame, una stratigrafia complessa derivante dalla sovrapposizione di prodotti piroclastici variabili in granulometria, spessore, stato di costipazione ed estensione laterale. Tali litotipi possono essere raggruppati in tre complessi idrogeologici:

- ❖ complesso delle piroclastiti e dei detriti alluvionali incoerenti, caratterizzato da una permeabilità per porosità variabile da media a bassa, per la presenza di un'abbondante frazione cineritica;
- ❖ complesso dei tufi, costituito dalle formazioni del "Tufo Grigio Campano" e del "Tufo Giallo Napoletano", caratterizzato da un grado di permeabilità mediamente più basso di quello dei prodotti incoerenti e da un tipo di permeabilità per porosità e fessurazione;
- ❖ complesso delle lave e delle scorie, scarsamente presenti in affioramento, il cui grado di permeabilità è elevato, sia per fessurazione (lave) che per porosità (scorie); le prime sono state individuate a piccola profondità nelle zone comprese fra Quarto ed il Lago di Patria.

Alla luce della sequenza stratigrafica descritta, ne consegue uno schema di circolazione idrica sotterranea dell'area flegrea che, almeno a livello locale, è rappresentato da una circolazione sotterranea per "falde sovrapposte" (a causa della successione molto variabile di litotipi a diversa permeabilità relativa). Nonostante ciò, a grande scala, si riconosce essenzialmente un'unica falda e ciò soprattutto per la mancanza di veri e propri orizzonti impermeabili sufficientemente estesi e spessi.

Dalla studio delle curve isopiezometriche, relativa alla suddetta area sono state tratte le seguenti considerazioni di carattere idrogeologico:

- 1) La falda flegrea può essere effettivamente considerata un corpo idrico unico; infatti, anche se localmente esistono più falde sovrapposte, a livello generale queste si comportano come un'unica falda per la mancanza di orizzonti impermeabili sufficientemente estesi;
- 2) la falda raggiunge il suo livello massimo (circa 26 m s.l.m.) nella zona di Marano-Calvizzano; quest'area è quella più lontana dal recapito naturale delle acque sotterranee, rappresentato dal mare;
- 3) la falda si mantiene a quota relativamente alta in prossimità dello spartiacque Marano - Arco Felice, nel tratto compreso tra Marano, dove raggiunge i 26 m s.l.m. La stessa falda, poi, defluisce radialmente dal suddetto tratto dello spartiacque, subendo un incremento del gradiente piezometrico, tra le isopiezometriche di quota

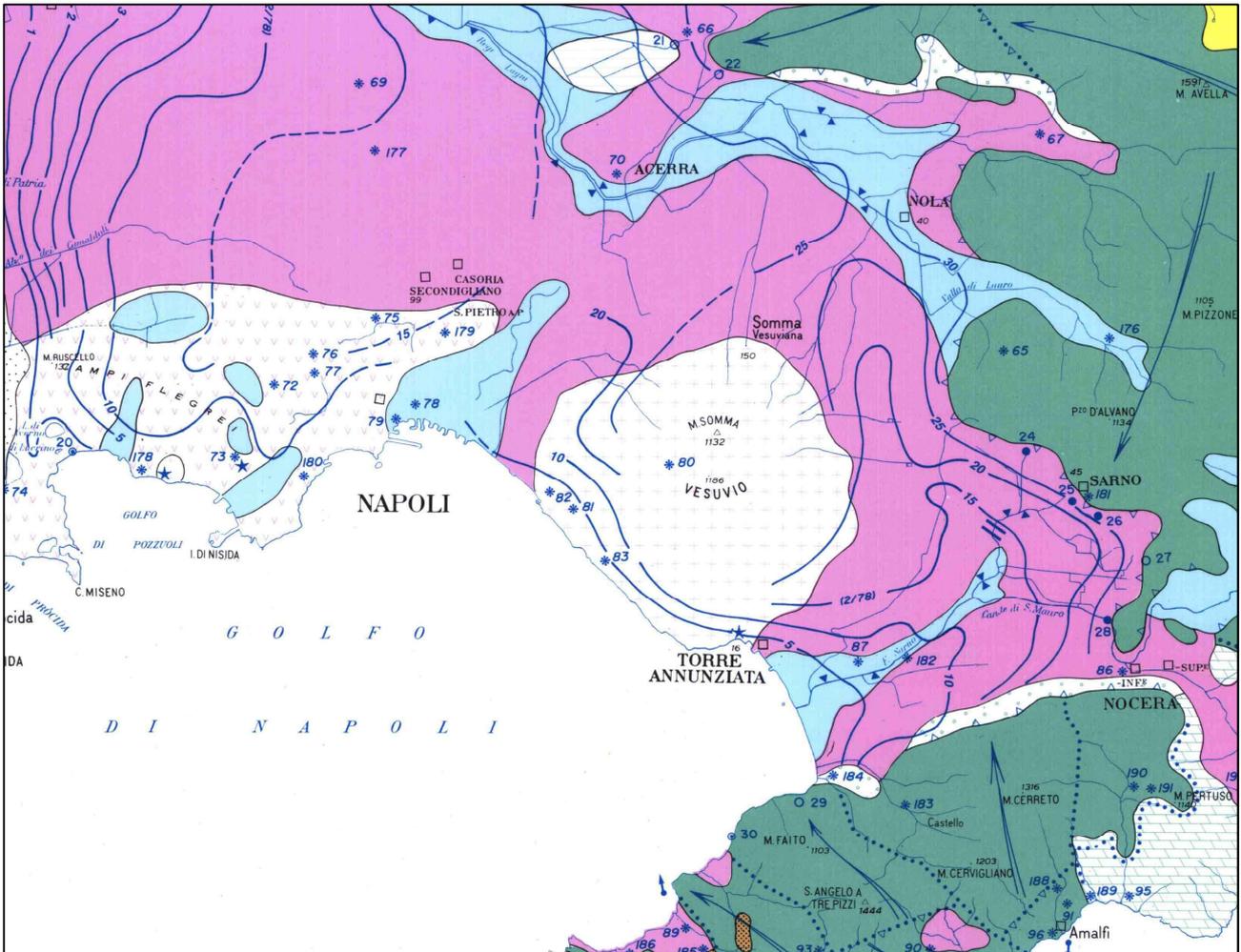
20 e 4 m s.l.m., sia verso Est (bonifica di Licola) sia verso Sud (Pozzuoli – Arco Felice). Il gradiente piezometrico relativamente elevato a Nord di Arco Felice - Pozzuoli (compreso fra 0,8% e il 1,2%), seguito a monte, nella zona del Piano di Quarto, da un appiattimento della morfologia piezometrica (gradiente inferiore allo 0,15%), suggerirebbe l'ipotesi di una diminuzione della trasmissività in corrispondenza dell'infittimento delle isopiezometriche. Tuttavia i valori di trasmissività ottenuti da prove di emungimento, nella zona a gradiente piezometrico elevato, rientrano nella media dell'intera area. Comunque, considerando il valore puntuale di queste prove, non si può escludere la presenza di un impedimento, al deflusso della falda, di natura strutturale (faglie del M.te Barbaro) o stratigrafica (presenza di eventuali livelli cineritici, che potrebbero causare la stessa fenomenologia). Ad ogni modo queste due ipotesi non sembrano sufficientemente attendibili: la prima, perché i rigetti delle faglie del M.te Barbaro sono di piccola entità (poche decine di metri); la seconda, perché non esistono evidenze stratigrafiche al riguardo. Quindi è da ritenere valida l'ipotesi secondo la quale, immediatamente all'origine ed in corrispondenza della zona a gradiente piezometrico elevato, esiste un'alimentazione della falda proveniente dal basso che, aumentando localmente la portata della falda, ne determina l'incremento del gradiente piezometrico;

4) nell'area a Nord di Quarto si evidenzia una zona di drenaggio, a partire dalla quale la falda defluisce regolarmente verso NW con un basso gradiente piezometrico (circa 0,4%). Tale evidenza trova conferma nell'esistenza di corpi lavici, ad alta permeabilità, siti a piccola profondità;

5) la falda flegrea, in corrispondenza delle zone di Licola e di Agnano, risente dell'azione drenante dei canali di bonifica. Anche il lago d'Averno esercita un'azione drenante, come testimonia l'andamento delle isopiezometriche.

Dal punto di vista qualitativo forti sono gli effetti indotti dalle attività antropiche ai quali si sommano l'interazione delle acque di falda con fluidi di origine profonda.

STRALCIO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA DELLA CAMPANIA



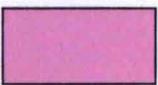
Unità degli apparati vulcanici



Terreni piroclastici "sciolti" e tufi litoidi dell'area flegrea-ischitana. Permeabilità medio-bassa. Circolazione idrica sotterranea, di fondo, lenta ma diffusa e con locali apporti di fluidi di origine endogena.



Corpi lavici del Somma-Vesuvio, dell'area flegrea-ischitana, del Roccamonfina, talora sepolti o intercalati a prodotti di lancio e di flusso. Permeabilità medio-alta per frattura (nelle lave), medio-bassa per porosità nelle piroclastiti. Circolazione idrica "sospesa" e di fondo (quest'ultima dotata talora di chimismo influenzato da apporti gassosi di origine endogena).

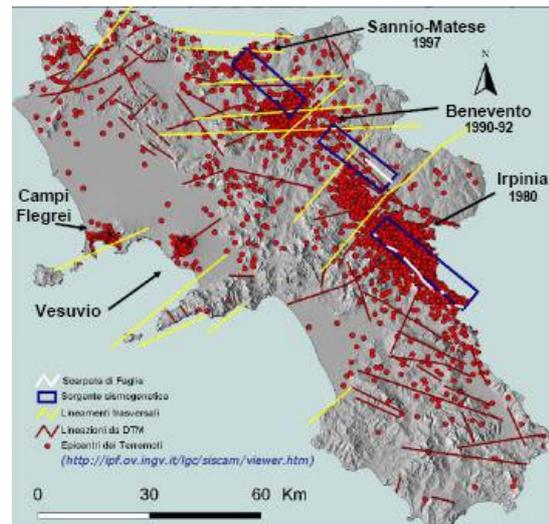
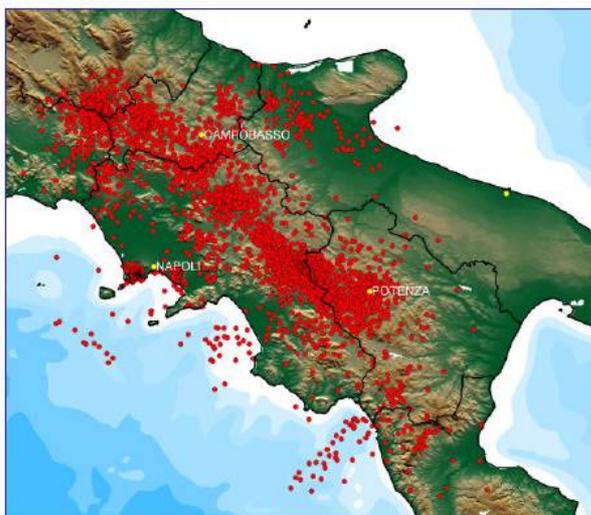


Terreni piroclastici limo-sabbiosi, in sede o rimaneggiati, delle aree circostanti agli apparati vulcanici dei C. Flegrei, del Somma-Vesuvio e del Roccamonfina. Nella piana Campana e di Sorrento sovrastano sovente un banco di tufo litoidi di spessore crescente in direzione dei rilievi circostanti.

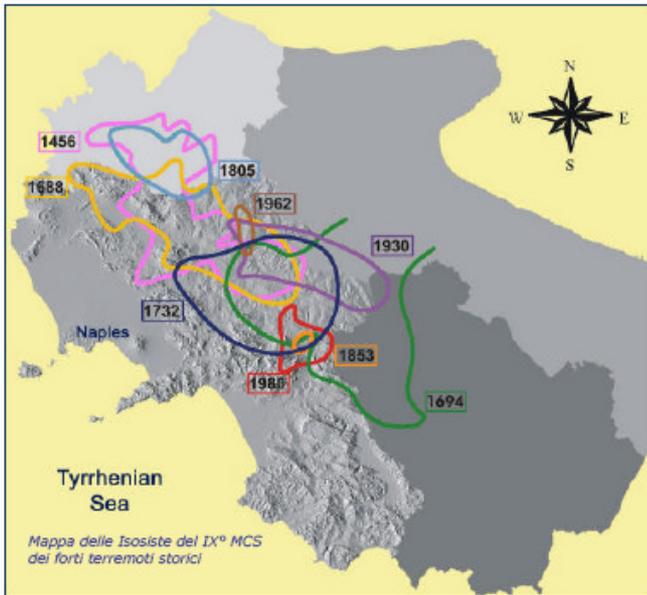
Modesta circolazione idrica collegata al reticolo idrografico superficiale e all'acquifero vulcano-sedimentario sottostante al banco di tufo (quando quest'ultimo esercita una insufficiente azione di confinamento).

6. SISMICITÀ DELL'AREA

Dal punto di vista sismico la Frazione Agnano, territorio comunale di Pozzuoli, presenta un rischio sismico derivante dalla sua posizione rispetto alla catena appenninica, ai Campi Flegrei e al Somma Vesuvio. Per quanto riguarda la catena appenninica, essa ancora in fase di prevalente sollevamento rispetto al margine tirrenico, è caratterizzata dalla presenza di strutture sismogenetiche lungo le quali si distribuiscono maggiormente i principali eventi sismici. Le isosisme dei maggiori terremoti dell'appennino Campano-Lucano mostrano che le aree a più elevata intensità sono allungate secondo l'asse della catena.



Nella figura seguente vengono riportate le aree dei maggiori terremoti storici che hanno colpito la Campania e la Basilicata, che forniscono un immediata visione della distribuzione delle fratture oltre che delle dimensioni della zona maggiormente interessata dai terremoti .



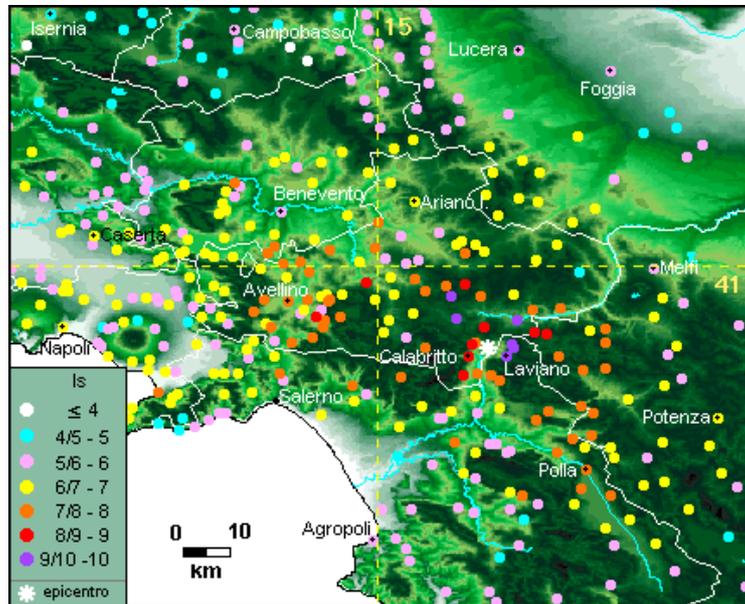
Distribuzione dei maggiori terremoti

Distribuzione areale dei maggiori terremoti

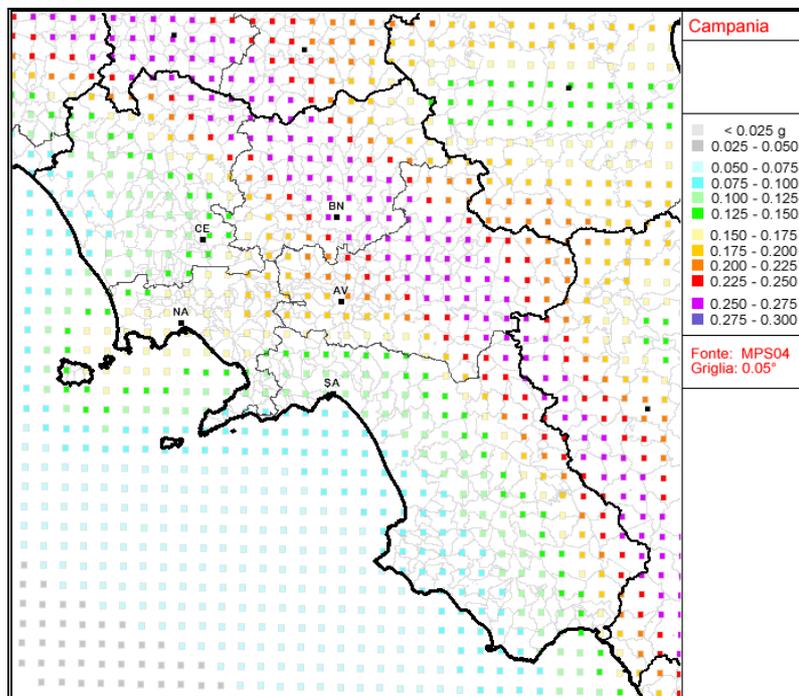
DATA	MAGNITUDO	AREA EPICENTRALE
5 dicembre 1456	7.1	Italia centr. Merid.
5 giugno 1688	6.6	Sannio
8 settembre 1694	6.8	Irpinia - Basilicata
29 novembre 1732	6.6	Irpinia
26 luglio 1805	6.6	Molise
16 dicembre 1857	7.0	Basilicata
23 luglio 1930	6.7	Irpinia
23 novembre 1980	6.7	Irpinia – Basilicata
5 maggio 1990	5.8	Basilicata
29 dicembre 2013	4.9	Campania - Molise

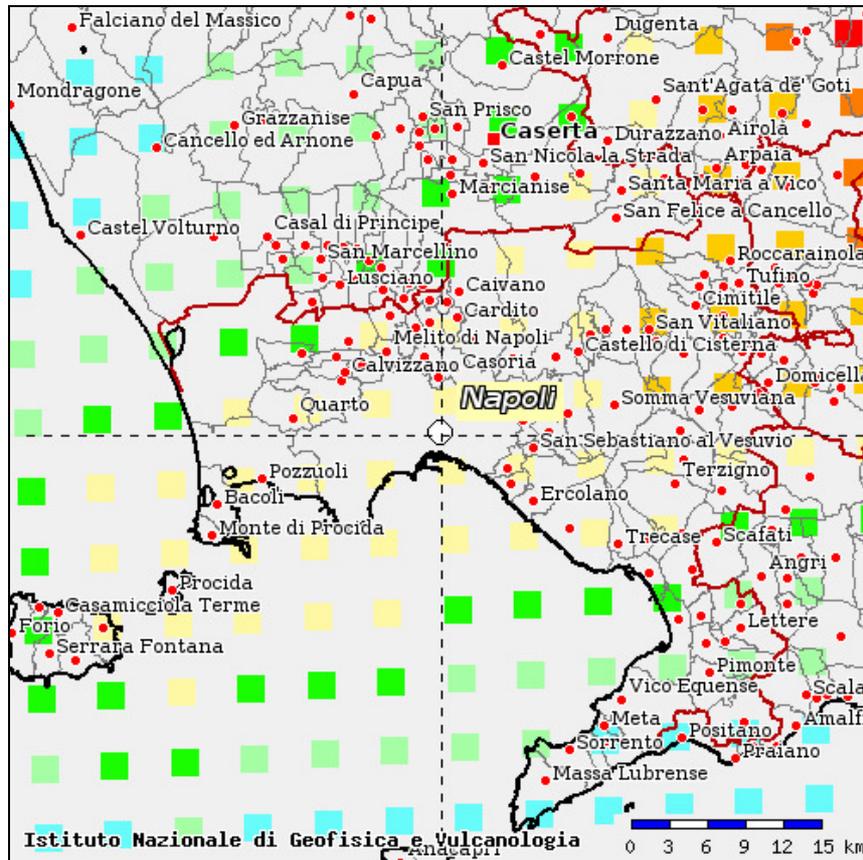
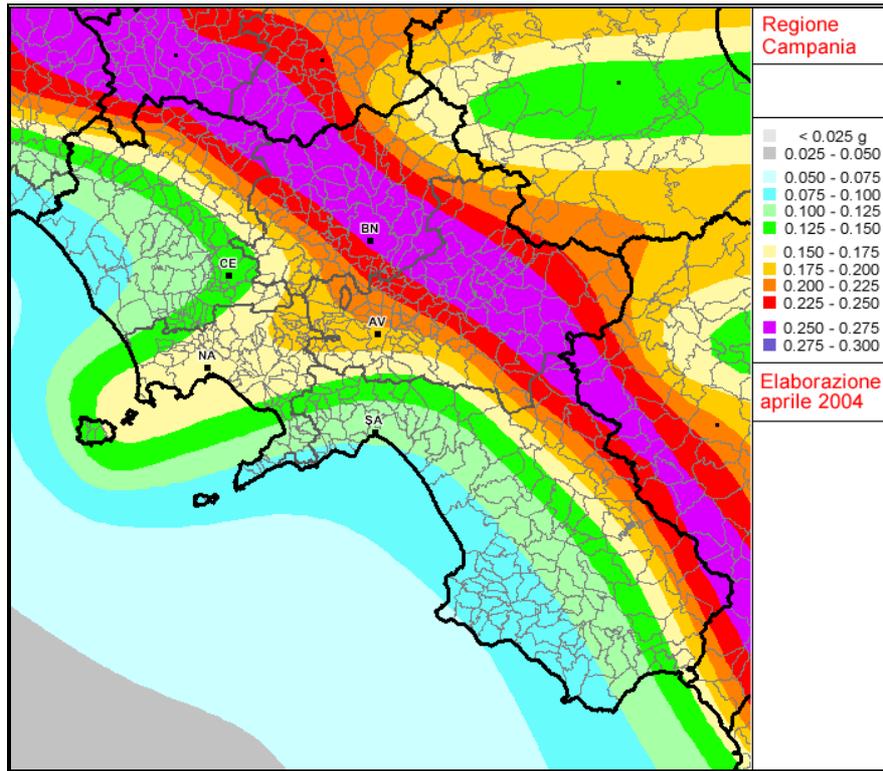
Sulla base delle tabelle dei terremoti storici si ricava la frequenza media con cui un sisma di data intensità si ripete nel tempo. Per cui in 524 anni sono avvenuti 8 terremoti efficaci di intensità maggiore 6.5 magnitudo con una frequenza media di un sisma ogni 50-70 anni.

Dalla fig. 6 si evince che la maggiore densità sismica si ha tra una zona compresa tra Benevento e Ariano Irpino e ad Est dei Monti Picentini, cioè in una fascia compresa tra 100 e 130 km dell'area oggetto del presente lavoro.



La **Frazione Agnano**, territorio comunale di Pozzuoli, rientra in una zona sismica di II categoria (Media sismicità) con grado di sismicità $S=9$ a cui compete un coefficiente di intensità sismico $C=0.07$ con accelerazione orizzontale compresa tra 0.150 - 0.175 g.





La Frazione Agnano, territorio comunale di Pozzuoli, in riferimento alla macrozonizzazione sismica del territorio italiano, rientra in 2^a zona sismica indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Campania n. 5447 del 7.11.2002.

Zona sismica 2	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante **ag**, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$ag \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq ag < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq ag < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$ag < 0,05g$

7. MORFOLOGIA E STABILITA' DEL SITO IN ESAME

L'impianto in progetto si sviluppa su n°3 aree (v. figura di seguito riportata) ubicate lungo il versante occidentale della caldera vulcanica dei Campi Flegrei. I tre siti sono ubicati su aree terrazzate alle seguenti quote topografiche:

Area 1 – con accesso da Via Antiniana - 68.60 mt s.l.m.

Area 2 – con accesso da Via Antiniana – 122.40 mt s.l.m.

Area 3 – con accesso da Via Pisciarelli – 54.30 mt s.l.m.



Il versante in esame, interamente impostato su successioni vulcaniche stratificate a diversa consistenza e comportamento geotecnico, è ricoperto da spessori variabili di depositi piroclastici rimaneggiati, sciolti o debolmente addensati, formati da sabbie e limi, che si adattano alla morfologia del sottostante substrato "relativo" e ne

costituiscono, in parte, la rispettiva porzione alterata ed allentata, ed in parte sono legati a successive fasi deposizionali eruttive recenti o storiche.

L'instabilità di questi settori di territorio è essenzialmente legata all'eventualità di mobilitazioni parziali o totali della suddetta coltre di copertura, alterata ed allentata, specie nelle porzioni sommitali dei pendii mediante movimenti franosi del tipo colata di fango o scorrimento rototraslativo-colata rapida, lungo superfici planari, parallele al pendio che non coinvolgono il substrato relativo sottostante.

L'innescò può avvenire per cause naturali (in generale, per il decadimento delle forze resistenti o per un aumento delle forze di taglio) o per cause antropiche (ruscellamento selvaggio delle acque di scolo, immissione di acque nel sottosuolo, cattiva gestione delle aree coltivate, ecc ...).

Con riferimento alle aree prese in esame, analizzando la carta del rischio da frana, si nota come i siti in oggetto ricadono quasi completamente nelle aree a pericolosità nulla con conseguente non collocazione nell'ambito delle aree a rischio frane. Soltanto una porzione del sito identificato come **Area 1** ricade nell'ambito del rischio da frana **R1 (Rischio frana moderato)** e a **suscettibilità bassa (P1)** indicata come: *Area a suscettibilità bassa all'innescò, al transito e/o all'invasione da frana.*

Tale collocazione, nella prima delle quattro classi di rischio, evidenzia come i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale risultano essere marginali ai fini progettuali.

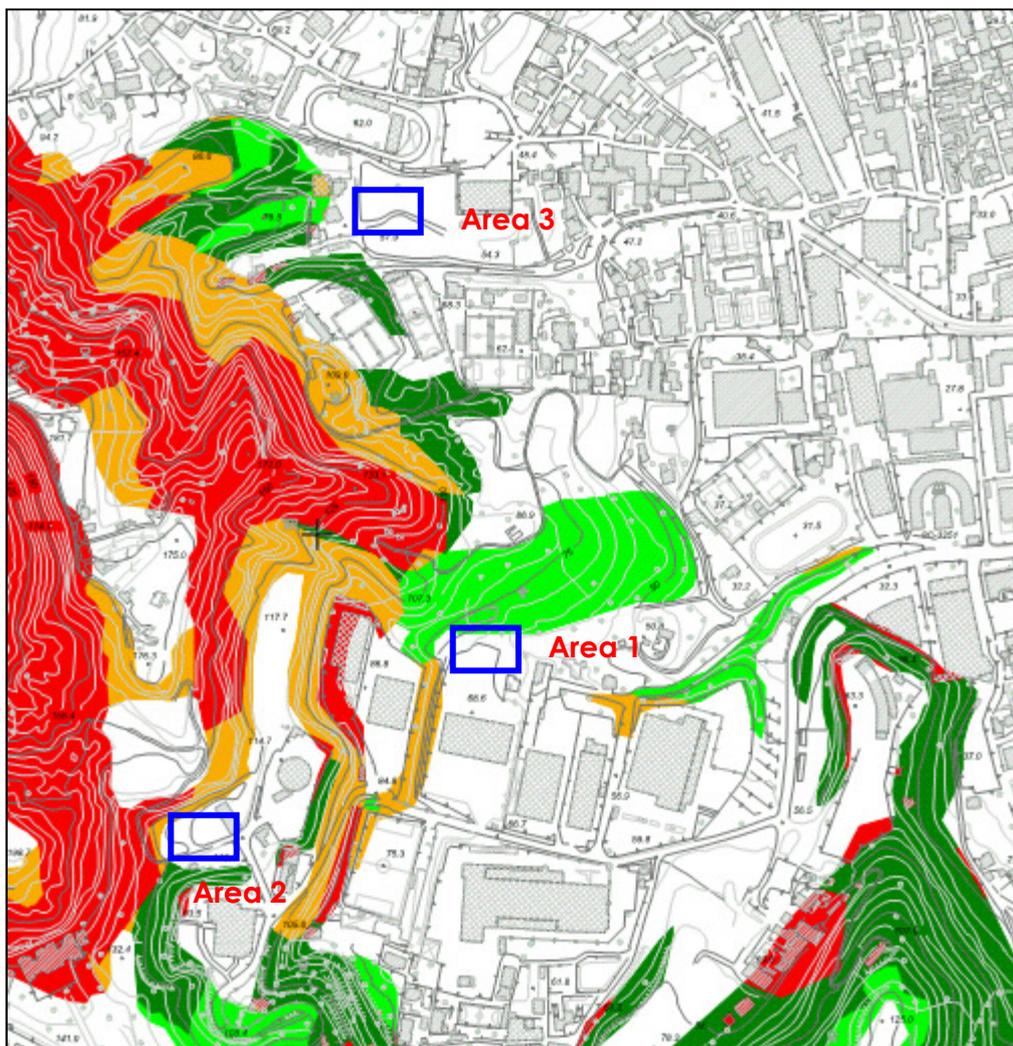
Per quel che concerne il rischio idraulico soltanto l'**Area 3** ricade nella fascia definita: *Area ad elevata suscettibilità di allagamento ubicata al piede dei valloni.*

L'intervento di progetto **non provocherà alterazione della conformazione dell'area, né modificherà l'assetto idrogeologico del sito.**

Si consiglia, comunque, di effettuare una buona regimentazione e canalizzazione sia delle acque meteoriche che di quelle di ruscellamento.

STRALCIO DELLA CARTA DEL RISCHIO DA FRANA

Aggiornamento 2010

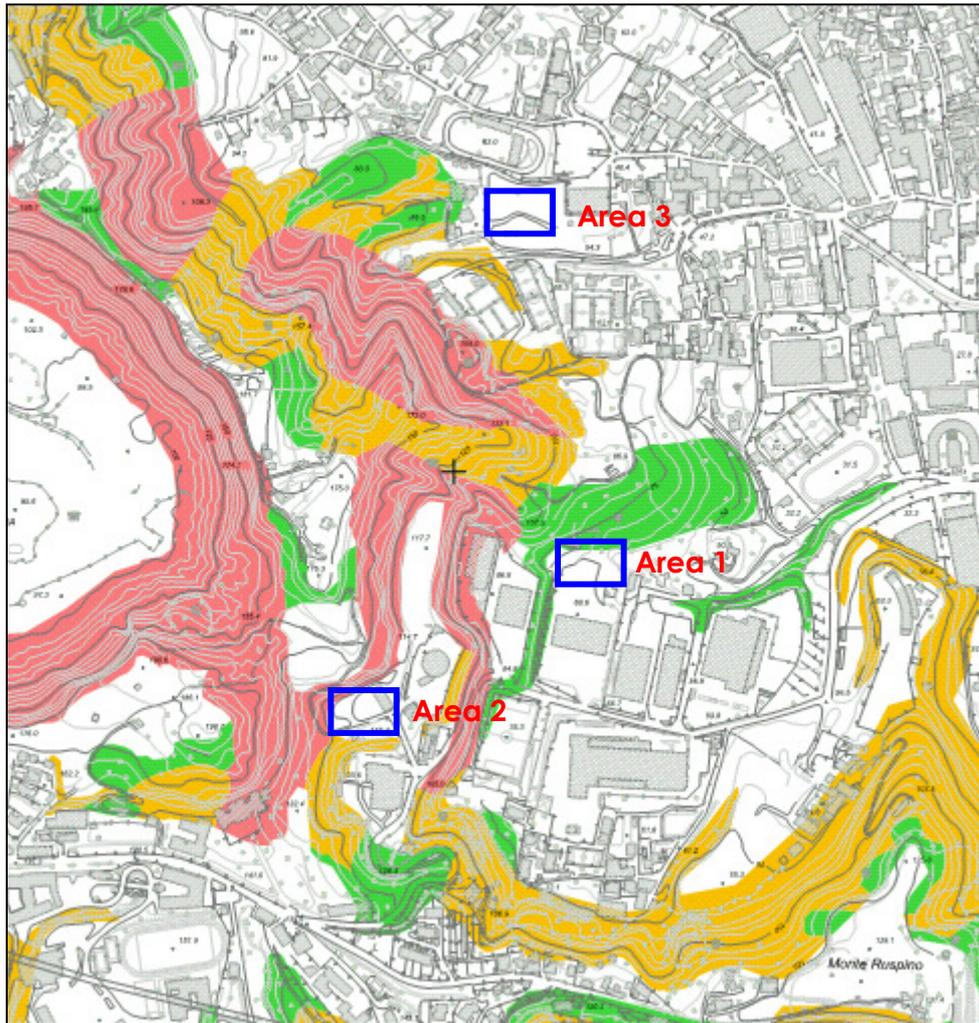


Legenda

-  R4 Rischio molto elevato
-  R3 Rischio elevato
-  R2 Rischio medio
-  R1 Rischio moderato
-  AREA IN ESAME

STRALCIO DELLA CARTA DI PERICOLOSITA' RELATIVA DA FRANA

Aggiornamento 2010

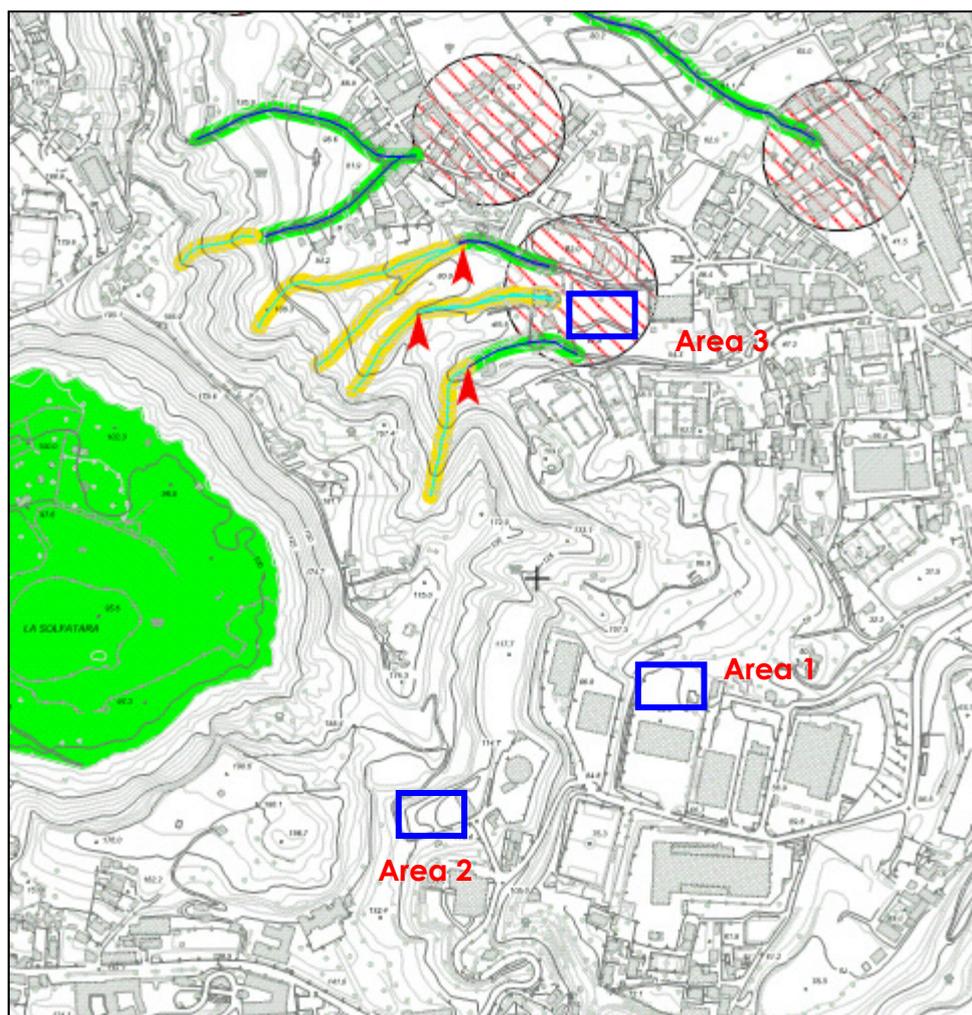


Legenda

-  P3 Area a suscettibilità alta all'innescò, al transito e/o all'invasione da frana
 -  P2 Area a suscettibilità media all'innescò, al transito e/o all'invasione da frana
 -  P1 Area a suscettibilità bassa all'innescò, al transito e/o all'invasione da frana
 -  Area di attenzione
(Area oggetto di intervento di sistemazione idrogeologica che ha prodotto la mitigazione della pericolosità e del rischio, ma che necessita di continuo monitoraggio per la verifica dell'efficienza dell'intervento)
 -  Cava
 -  Area di cava in cui il livello di pericolosità è associato a fenomeni di dissesto idrogeologico generati nelle porzioni di versante poste a monte o ad episodi di esondazione di alvei
 -  Settore di falesia obliterato dalla presenza di strutture e/o infrastrutture
 -  Area di approfondimento (Commissariato di Governo per l'Emergenza Idrogeologica)
-  **AREA IN ESAME**

STRALCIO DELLA CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO

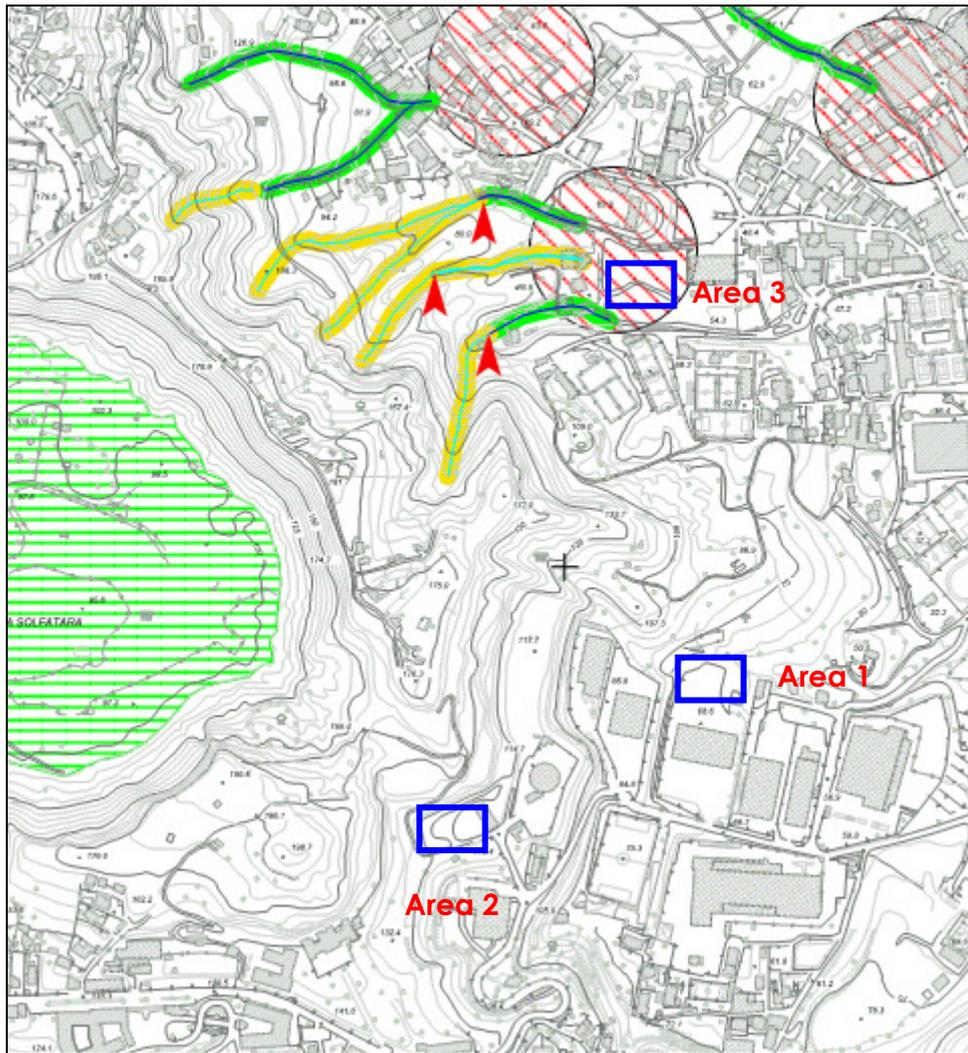
Aggiornamento 2010



-  **R4** Rischio molto elevato
-  **R3** Rischio elevato
-  **R2** Rischio medio
-  **R1** Rischio moderato
-  Punti/fasce di possibile crisi idraulica localizzata/diffusa dovuta a: fitta vegetazione in alveo, presenza di rifiuti solidi, riduzione di sezione, sponde danneggiate (*)
-  Area ad elevata suscettibilità di allagamento ubicata al piede dei valloni (*)
-  Vasca - Limite di bacino artificiale
-  Linea di impluvio incerto
-  Reticolo idrografico
-  Tratto tombato
-  Alveo strada
-  Aste montane incise con tratti di possibile crisi per piene repentine/colate detritiche/alluvioni di conoidi
-  **AREA IN ESAME**

STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Aggiornamento 2010



Fenomeni da allagamento per esondazione

-  **P4** Area a pericolosità molto elevata (T=20, 100 anni; $h > 1\text{m}$)
-  **P3** Area a pericolosità elevata (T=20 anni; $0.50\text{m} < h < 1\text{m}$)
Area a pericolosità elevata ((T=300 anni; $h > 1\text{m}$))
-  **P2** Area a pericolosità media (T=20 anni; $h < 0.50\text{m}$)
Area a pericolosità media (T=100,300 anni; $0.50\text{m} < h < 1\text{m}$)
-  **P1** Area a pericolosità moderata (T=100,300 anni; $h < 0.50\text{m}$)

Fenomeni da flusso iperconcentrato

-  **P4** Area a pericolosità molto elevata ($h > 1\text{m}$ o $h^*v > 1 \text{ m}^2/\text{s}$)
-  **P3** Area a pericolosità elevata ($0.3 < h < 1\text{m}$ o $0.3 < h^*v < 1 \text{ m}^2/\text{s}$)
-  **P2** Area a pericolosità media ($0.1 < h < 0.3\text{m}$ e $h^*v < 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$)
-  **P1** Area a pericolosità moderata ($h < 0.1 \text{ m}$ e $h^*v < 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$)

 **Pa** Area a suscettibilità alta per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento, riconosciuta su base geomorfologica, stratigrafica e da dati storici per la presenza di conoidi attivi a composizione prevalentemente ghiaioso-sabbiosa.

 **Pa** Area di cava a suscettibilità alta per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento

 **Pm** Area a suscettibilità media per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento, riconosciuta su base geomorfologica e stratigrafica per la presenza di settori distali e di conoidi attivi a composizione prevalentemente sabbiosa.

 **Pb** Area a suscettibilità bassa di invasione per fenomeni diffusi di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento di prevalente composizione sabbioso-limosa.

 **Pb** Conche endoreiche e/o zone a falda sub-affiorante.

 Cava

 Punti/fasce di possibile crisi idraulica localizzata/diffusa dovuta a: fitta vegetazione in alveo, presenza di rifiuti solidi, riduzione di sezione, sponde danneggiate (*)

 Area ad elevata suscettibilità di allagamento ubicata al piede dei valloni (*)

 **AREA IN ESAME**

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di conoscere le caratteristiche litologiche e meccaniche del sito identificato come Area 1 si è proceduto all'esecuzione di n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo che hanno avuto lo scopo di:

- ↳ ricostruire il profilo stratigrafico mediante l'esame delle carote estratte;
- ↳ effettuare prove meccaniche in foro tipo SPT (Standard Penetration Test);
- ↳ effettuare il prelievo di campioni indisturbati di terreno.

I sondaggi, hanno raggiunto le seguenti profondità dal locale piano campagna:

SONDAGGIO	PROFONDITÀ	METODO DI PERFORAZIONE
S ₁	15.0 mt	Rotazione con carotiere semplice a secco
S ₂	15.0 mt	Rotazione con carotiere semplice a secco

Per l'esecuzione degli stessi è stata utilizzata una sonda di perforazione tipo **PSM 980 G** avente le seguenti caratteristiche:

- attrezzatura a testa di rotazione idraulica;
- velocità di rotazione di 0-600 giri-min;
- coppia massima = 420 Kgm;
- spinta sulla testa di rotazione Kg 2650;
- avanzamento idraulico testa di rotazione;
- carro cingolato;
- doppia morsa idraulica;
- argano idraulico;
- freno blocca aste;
- carotieri semplici azionati a circolazione diretta mediante batterie di aste, di diametro 101-113 mm di lunghezza pari a 3.00 m. e 1.50 m..

Le carote estratte dalle perforazioni, utilizzate per la ricostruzione stratigrafica delle verticali investigate, sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in pvc, munite di scomparti divisorii e coperchio apribile.

Ogni cassetta è stata fotografata con una macchina digitale BENQ DC C540.

Il certificato relativo alla stratigrafia, che si allega, contiene le seguenti informazioni:

- indicazioni sul cantiere;
- committente;
- numero progressivo;
- lunghezza del sondaggio;
- scala grafica;
- nominativi degli operatori e del responsabile di cantiere;
- profondità dal p.c. dei vari litotipi;
- spessori dei vari litotipi attraversati;
- descrizione litologica.



8.1 STANDARD PENETRATION TEST

Nel corso dei sondaggi geognostiche sono state eseguite prove *SPT* (*Standard Penetration Test*) secondo le metodologie previste dalle seguenti norme:

- ✓ **A.G.I.- Associazione Geotecnica Italiana (1977):**
Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ✓ **A.S.T.M.-D1586-67(74); D1586-84:**
Standard method for Penetration test and Split-Barrel Sampling of Soils.
- ✓ **ISSMFE Techn. Committee (1988):**
Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test Procedure.

All'atto del raggiungimento della quota stabilità si è provveduto alla misurazione del fondo foro con opportuno scandaglio per assicurarsi dell'avvenuta pulizia del foro. Successivamente sono state le prove con la seguente procedura:

- impiego di attrezzatura con dispositivo di sganciamento automatico di un maglio dal peso di 63,5 Kg dall'altezza di 76 cm;
- all'estremità della batteria di aste collegata al dispositivo di sganciamento del maglio è stato applicato un campionatore *Raymond* munito di valvola sommitale a sfera.

Si è provveduto quindi alla misurazione del numero di colpi del maglio necessari per infiggere tre tratti di 15 cm del campionatore *Raymond*, apribile longitudinalmente e avente le seguenti caratteristiche:

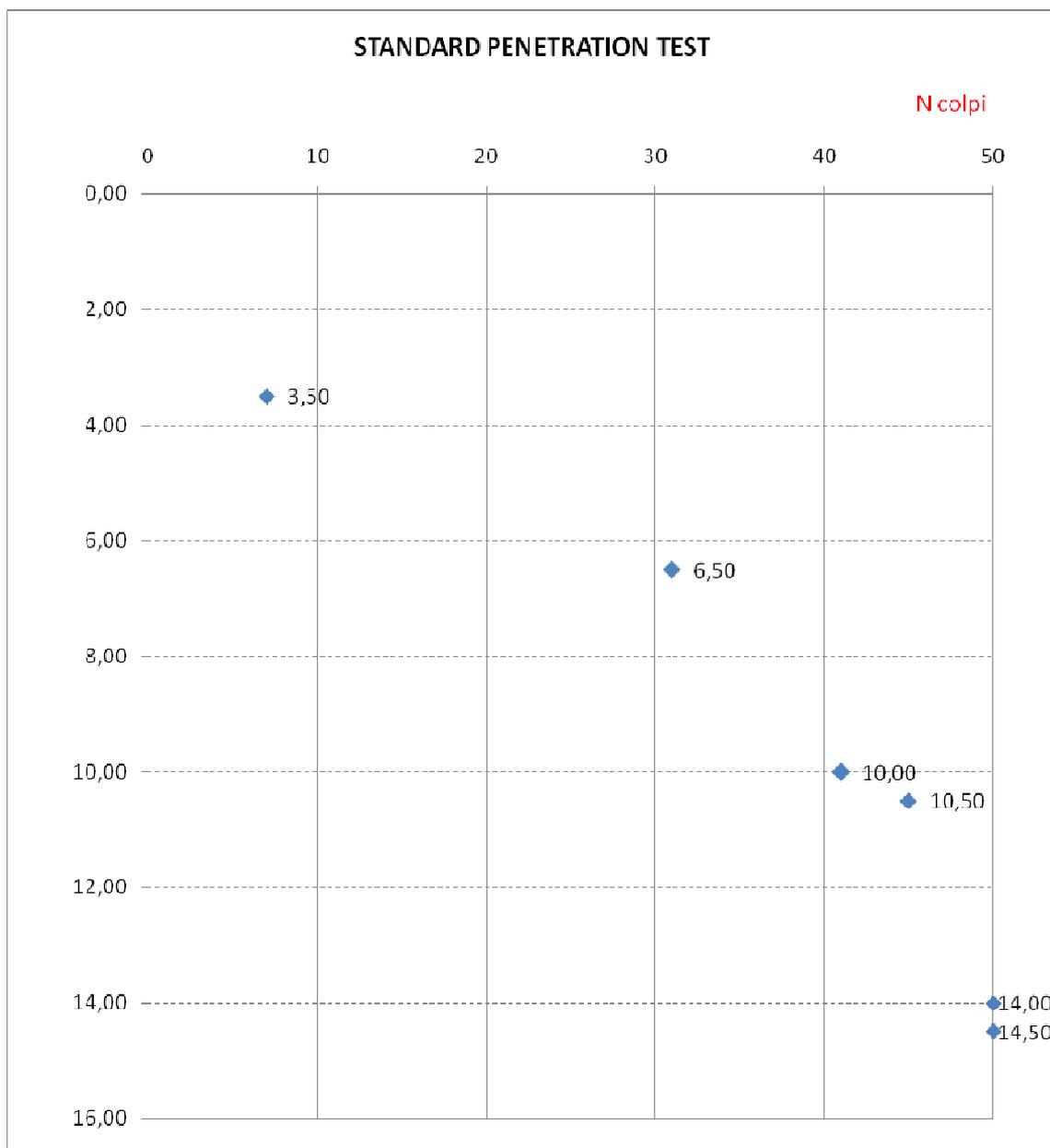
- ↳ Diametro esterno = 51 mm
- ↳ Diametro interno = 35 mm
- ↳ Lunghezza = 457 mm
- ↳ Lunghezza scarpa = 76 mm
- ↳ Angolo scarpa = 60°

L'esecuzione della prova ha seguito le seguenti fasi:

1. controllo della quota di prova con opportuno scandaglio;
2. posa in opera a fondo foro del campionatore *Raymond* collegato alla batteria di aste;
3. infissione dei tre tratti di 15 cm contando separatamente il numero di colpi occorrenti.

Le prove sono state eseguite alle profondità che si possono evincere dalla sottostante tabella e dal relativo grafico.

Sondaggio n	Profondità m	N1	N2	N3	Nspt
S02	3.50 - 3.95	3	4	3	7
S01	6.50 - 6.95	11	15	16	31
S02	10.00 - 10.45	16	20	21	41
S01	10.50 - 10.95	16	18	27	45
S02	14.00 - 14.40	27	36	Rifiuto	R
S01	14.50 - 14.70	27	36	Rifiuto	R



8.2 PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggi continuo sono stati prelevati, tutti a pressione, n°2 campioni indisturbati consegnati successivamente al laboratorio

GEOPROVE s.a.s. con sede in S. Maria Capua Vetere (CE) alla Via Martucci.

Il prelievo dei campioni è stato realizzato adoperando un campionatore cilindrico ("fustella") montato alle aste di manovra e poi fatto penetrare nel terreno alle profondità prestabilite con la sola pressione esercitata dalla macchina perforatrice.

In questo modo il campionatore si riempie di materiale che, appena estratto, è stato paraffinato alle due estremità onde evitare che, al contatto con l'aria, perda la sua umidità naturale. Tra i diversi tipi esistenti in commercio, è stato utilizzato il campionatore "a pareti sottili" che tra tutti è quello che arreca minore disturbo al terreno.

I campioni prelevati, in modo conforme alle Raccomandazioni dell'AGI, in accordo con le procedure da noi impartite, sono stati prelevati con apposito campionatore e singolarmente sigillati con paraffina.

Sono stati annotati su ogni fustella:

- Il numero del sondaggio
- Il numero del campione
- La quota iniziale e finale di prelievo
- La lunghezza del campione

Di seguito si riporta l'elenco dei campioni consegnati al laboratorio.

Sondaggio n	Campione	Profondità
S1	C1	6.00 – 6.50
S2	C1	3.00 – 3.50

Su entrambi i campioni sono state eseguite le seguenti analisi e prove di laboratorio:

- ↳ Caratteristiche Fisiche generali
- ↳ Granulometria
- ↳ Prova di taglio diretto consolidata drenata.

In allegato sono riportati i certificati relativi alle singole prove di laboratorio mentre, di seguito, si riporta una tabella di sintesi dei parametri rilevati.

CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI	S1 C1	S2C1
Contenuto d'acqua W (%)	23.4	18.8
Peso di volume dei Grani γ_s (kN/m ³)	24.98	25.18
Peso di volume naturale medio γ_n (kN/m ³)	11.39	12.54
Peso dell'unità di volume secco γ_d (kN/m ³)	9.13	10.60
Porosità n	0.63	0.58
Rapporti dei vuoti e	1.74	1.38
Grado di saturazione S_r (%)	34	35
Peso del volume sommerso γ' (kN/m ³)	5.48	6.36
Peso del volume saturo γ_{sat} (kN/m ³)	15.35	16.28

GRANULOMETRIA	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa con tracce di argilla	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa con tracce di argilla
----------------------	---------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO	S1C1	S2C1
Angolo di attrito φ (gradi)	33.58	34.14
Coesione c (KPA)	4.38	0.76

8.3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI (DPSH)

Allo scopo di conoscere le caratteristiche meccaniche del sito si è proceduto all'esecuzione di n°2 prova penetrometriche dinamiche pesanti, spinte fino alla profondità di -15.00 mt, al fine di poter ricostruirne l'assetto geotecnico e stratigrafico del sito. La prove sono state eseguite da **SOLUZIONI GEOTECNICHE Srl con sede in Caserta alla Via Pablo Neruda n°29 – (Concessione ministeriale n°7468).**



Penetrometro PAGANI mod. TG 63-200 KN

Le Prove Penetrometriche sono state eseguite con attrezzatura autoancorante della Pagani "**Pagani TG63 (200 kN)**" conforme allo standard di riferimento **ISSMFE D.P.L. Techn. Committee (1988).**

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

Le misure vengono di norma annotate ogni 20 cm, pertanto il relativo numero di colpi va moltiplicato per 1,5 nel caso si vogliano equiparare alle prove SPT classiche. L'esecuzione di prove penetrometriche consente, nota la stratigrafia, di rilevare informazioni valide ai fini della ricostruzione dei profili geotecnici, attraverso l'identificazione di parametri quali:

- Densità relativa;
- Angolo di resistenza al taglio;
- Modulo di Young;
- Modulo edometrico;
- Peso di volume;
- Peso di volume saturo;
- Modulo di Poisson.

La strumentazione utilizzata presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

- Peso Massa Battente = 63.50 Kg
- Altezza Caduta Libera = 0.75 m
- Peso Sistema Battuta = 0.63 Kg
- Diametro Punta Conica = 50.46 mm
- Area Base Punta Conica = 20.00 cm²
- Angolo Apertura Punta = 90°
- Lunghezza della Aste = 1.00 m
- Peso Aste Per Metro = 6.30 Kg
- Prof. Giunzione 1^a Asta = 0.80 m
- Avanzamento Punta = 0.20 m

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la

suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (\square / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

I certificati e le schede relative all' indagine sono riportate in allegato alla presente e della stessa forma parte integrante.

9. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL SITO

La raccolta e l'interpretazione dei dati acquisiti attraverso il rilievo geologico di superficie e le prove in sito, nonché le informazioni bibliografiche esaminate, consentono di avere una visione d'insieme delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni investigati. Il sito in esame poggia su depositi piroclastici prodotti dal complesso vulcanico dei Campi Flegrei a granulometria prevalentemente sabbiosa con condizioni di drenaggio completamente libero.

Nella parte più alta è costituito, prescindendo dai materiali di riporto, da piroclastiti incoerenti rappresentate da strati di pozzolane rimaneggiate e da strati di pozzolana grigia e giallastra con sottili intercalazioni di pomici e lapilli lavici. Tali litotipi poggiano sui termini semilitoidi rappresentati dalla formazione del sottostante orizzonte tufaceo.

La composizione granulometrica dei terreni è alquanto variabile in relazione alla maggiore o minore percentuale delle frazioni sabbiosa limosa e ghiaiosa. La frazione ghiaiosa è rappresentata da pomici, da lapilli lavici e da scorie di lava.

AREA 1

I sondaggi geognostici hanno fatto rilevare la seguente sequenza tipo:

- **STRATO 1 - RIPORTO:** terreno di riporto costituito da sabbia limosa di origine piroclastica di colore grigio;
- **STRATO 2 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica di colore verdognola con presenza di pomici minute di forma sub arrotondata;
- **STRATO 3 - CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio con presenza di pomici minute, lo strato presenta livelli centimetrici di sabbia limosa di colore grigio verdognolo.

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	7	3,95	Schultze & Menzenbach (1961)	53,98
Strato 2	31	6,95	Schultze & Menzenbach (1961)	59,72
Strato 3	41	10,45	Schultze & Menzenbach (1961)	59,92
Strato 3	45	10,95	Schultze & Menzenbach (1961)	60,26
Strato 3	Rifiuto	14,45	Schultze & Menzenbach (1961)	62,11
Strato 3	Rifiuto	14,95	Schultze & Menzenbach (1961)	62,02

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	7	3,95	Owasaki & Iwasaki	26,83
Strato 2	31	6,95	Owasaki & Iwasaki	39,9
Strato 3	41	10,45	Owasaki & Iwasaki	43,64
Strato 3	45	10,95	Owasaki & Iwasaki	45,00
Strato 3	Rifiuto	14,45	Owasaki & Iwasaki	>45,00
Strato 3	Rifiuto	14,95	Owasaki & Iwasaki	>45,00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 2	7	3,95	Farrent 1963	4,87
Strato 2	31	6,95	Farrent 1963	21,58
Strato 3	41	10,45	Farrent 1963	28,55
Strato 3	45	10,95	Farrent 1963	31,33
Strato 3	Rifiuto	14,45	Farrent 1963	59,88
Strato 3	Rifiuto	14,95	Farrent 1963	59,88

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	7	3,95	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	31	6,95	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 3	41	10,45	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 3	45	10,95	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 3	Rifiuto	14,45	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO
Strato 3	Rifiuto	14,95	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 2	7	3,95	Meyerhof ed altri	15,89
Strato 2	31	6,95	Meyerhof ed altri	20,99
Strato 3	41	10,45	Meyerhof ed altri	21,67
Strato 3	45	10,95	Meyerhof ed altri	21,77
Strato 3	Rifiuto	14,45	Meyerhof ed altri	27,65
Strato 3	Rifiuto	14,95	Meyerhof ed altri	27,65

AREA 2

La prova penetrometrica P1 ha fatto rilevare la seguente sequenza tipo:

- **STRATO 1 - RIPORTO:** terreno di riporto
- **STRATO 2 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica poco addensata
- **STRATO 3 - CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio molto addensata

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	48,13	0,80	Schultze & Menzenbach (1961)	67,41
Strato 2	8,66	4,20	Schultze & Menzenbach (1961)	54,92
Strato 3	75,2	4,60	Schultze & Menzenbach (1961)	64,8

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	48,13	0,80	Owasaki & Iwasaki	>45°
Strato 2	8,66	4,20	Owasaki & Iwasaki	28,16
Strato 3	75,2	4,60	Owasaki & Iwasaki	>45°

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 1	48,13	0,80	Farrent 1963	33,51
Strato 2	8,66	4,20	Farrent 1963	6,03
Strato 3	75,2	4,60	Farrent 1963	52,36

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	48,13	0,80	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 2	8,66	4,20	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 3	75,2	4,60	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 1	48,13	0,80	Meyerhof ed altri	21,87
Strato 2	8,66	4,20	Meyerhof ed altri	16,48
Strato 3	75,2	4,60	Meyerhof ed altri	24,52

AREA 3

La prova penetrometrica P3 ha fatto rilevare la seguente sequenza tipo:

- STRATO 1 – **TERRENO VEGETALE**
- STRATO 2 - **SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica poco addensata
- STRATO 3 - **SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica mod.te addensata
- STRATO 4 - **CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio molto addensata

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	17,04	0,60	Schultze & Menzenbach (1961)	63,73
Strato 2	4,21	1,60	Schultze & Menzenbach (1961)	54,15
Strato 3	11,42	7,00	Schultze & Menzenbach (1961)	54,71
Strato 4	Rifiuto	7,20	Schultze & Menzenbach (1961)	63,64

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	17,04	0,60	Owasaki & Iwasaki	33,46
Strato 2	4,21	1,60	Owasaki & Iwasaki	24,18
Strato 3	11,42	7,00	Owasaki & Iwasaki	30,11
Strato 4	Rifiuto	7,20	Owasaki & Iwasaki	>45°

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 1	17,04	0,60	Farrent 1963	11,86
Strato 2	4,21	1,60	Farrent 1963	2,93
Strato 3	11,42	7,00	Farrent 1963	7,95
Strato 4	Rifiuto	7,20	Farrent 1963	52,36

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	17,04	0,60	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	4,21	1,60	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 3	11,42	7,00	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 4	75,2	7,20	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 1	17,04	0,60	Meyerhof ed altri	18,93
Strato 2	4,21	1,60	Meyerhof ed altri	14,71
Strato 3	11,42	7,00	Meyerhof ed altri	17,46
Strato 4	75,2	7,20	Meyerhof ed altri	24,52

10. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Dalla stratigrafia dell'area, interpretata sulla base dei dati ricavati dall'analisi quantitativa delle indagini eseguite, si determina il tipo profilo stratigrafico del suolo di fondazione a cui è associato uno spettro di risposta elastico. L'indagine è stata condotta sulla base dei risultati di tre profili sismici (**Re.Mi.1- Re.Mi.2 – Re.Mi.3**) eseguiti, nella area in esame ,nel corso della campagna di indagini – **giugno 2013**.

Profilo Re.Mi. 1		Profilo Re.Mi. 2		Profilo Re.Mi. 3	
Profondità	Vs m/s	Profondità	Vs m/s	Profondità	Vs m/s
0	132.64	0	146.42	0	143.66
1.32	132.64	2.16	146.42	2.04	143.66
1.32	231.82	2.16	209.78	2.04	209.78
2.88	231.82	4.68	209.78	4.56	209.78
2.88	297.93	4.68	311.71	4.56	308.95
4.80	297.93	6.59	311.71	6.47	308.95
4.80	324.38	6.59	372.31	6.47	369.56
7.31	324.38	9.11	372.31	8.99	369.56
7.31	340.91	9.11	416.39	8.99	413.64
9.83	340.91	11.63	416.39	11.51	413.64
9.83	370.66	11.63	432.92	11.51	427.41
12.71	370.66	14.51	432.92	14.39	427.41
12.71	387.19	14.51	443.94	14.39	452.20
15.95	387.19	17.75	443.94	17.63	452.20
15.95	403.72	17.75	454.96	17.63	460.47
19.54	403.72	21.34	454.96	21.22	460.47
19.54	410.33	21.34	463.22	21.22	477.00
22.78	410.33	24.58	463.22	24.46	477.00
22.78	416.94	24.58	477.00	24.46	482.51
26.14	416.94	27.94	477.00	27.82	482.51
26.14	433.47	27.94	488.02	27.82	493.53
28.90	433.47	30.70	488.02	30.58	493.53
28.90	433.39	30.70	493.53	30.58	504.55
31.06	443.39	33.09	493.53	32.97	504.55
31.06	456.61	33.09	501.79	32.97	512.81
33.45	456.61	35.00	501.79	35.00	512.81
33.45	466.53				
35.00	466.53				
Vs₃₀ = 341 m/sec		Vs₃₀ = 350 m/sec		Vs₃₀ = 352 m/sec	

Per quanto concerne la classificazione sismica del suolo in relazione al D.M. 14.01.2008, tenuto conto dei risultati dai profili sismici, è possibile affermare che il sito oggetto d'intervento rientra nella **Categoria "C" di Suolo di Fondazione**.

Quindi si dovrà prevedere il corrispondente spettro di risposta elastico i cui parametri sono:

Componente orizzontale:

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1.00	0.15	0.40	2.00
B, C, E	1.25	0.15	0.50	2.00
D	1.35	0.20	0.80	2.00

Componente verticale:

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A B, C, E, D	1.00	0.05	0.15	1.00

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

11. CONCLUSIONI

Gli elaborati redatti permettono di rispondere in modo esauriente alle richieste formulate dalla Legge n. 64/74, del D.M. 11.03.1988 e del D.M. 14.01.2008 in materia di prevenzione del territorio dal rischio geologico e sismico.

In particolare il rilevamento geologico di superficie, associato ai risultati della indagini geognostiche, ha consentito di individuare le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni del sottosuolo, nonché le loro proprietà fisico-meccaniche.

Dallo studio eseguito è stato possibile trarre le seguenti valutazioni:

Modello Geologico

Le indagini in sito hanno fatto registrare una situazione geolitologica e geomeccanica tipica dei terreni di origine piroclastica, a tratti alterati, quali quelli formanti il substrato dell'area in studio.

Il sito in esame poggia su depositi ignimbrici prodotti dal vulcanesimo campano a granulometria prevalentemente sabbiosa con condizioni di drenaggio completamente libero.

Nella parte più alta è costituito, prescindendo dai materiali di riporto, da piroclastiti incoerenti rappresentate da strati sabbie e limi con sottili intercalazioni di pomici e lapilli lavici.

Le indagini in sito hanno permesso di individuare la seguente successione stratigrafica:

Area 1

- **STRATO 1 - RIPORTO:** terreno di riporto costituito da sabbia limosa di origine piroclastica di colore grigio;
- **STRATO 2 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica di colore verdognola con presenza di pomici minute di forma sub arrotondata;
- **STRATO 3 - CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio con presenza di pomici minute, lo strato presenta livelli centimetrici di sabbia limosa di colore grigio verdognolo.

Area 2:

- **STRATO 1 - RIPORTO:** terreno di riporto
- **STRATO 2 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica poco addensata
- **STRATO 3 - CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio molto addensata

AREA 3

- **STRATO 1 – TERRENO VEGETALE**
- **STRATO 2 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica poco addensata
- **STRATO 3 - SABBIA:** sabbia limosa di origine piroclastica mod.te addensata
- **STRATO 4 - CINERITE:** cinerite sabbiosa di colore grigio molto addensata

Idrogeologia

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea dell'area oggetto di studio, data l'alternanza di livelli a varia litologia e granulometria che si rinvencono nel sottosuolo, risulta limitata ai terreni più permeabili.

L'effimera presenza di questa falda superficiale è confermata dal mancato rinvenimento della stessa durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici.

In generale, la falda di base della zona è collocata in zona prossima al livello del mare, data la sua estrema vicinanza, ed ha una direzione di deflusso globale verso lo stesso.

Morfologia

L'impianto in progetto si sviluppa su n°3 aree ubicate lungo il versante occidentale della caldera vulcanica dei Campi Flegrei. I tre siti sono ubicati su aree terrazzate alle seguenti quote topografiche:

Area 1 – con accesso da Via Antiniana - 68.60 mt s.l.m.

Area 2 – con accesso da Via Antiniana – 122.40 mt s.l.m.

Area 3 – con accesso da Via Pisciarelli – 54.30 mt s.l.m.

Stabilità

Con riferimento alle aree prese in esame, analizzando la carta del rischio da frana, si nota come i siti in oggetto ricadono quasi completamente nelle aree a pericolosità nulla con conseguente non collocazione nell'ambito delle aree a rischio frane. Soltanto una porzione del sito identificato come **Area 1** ricade nell'ambito del rischio da frana **R1 (Rischio frana moderato) e a suscettibilità bassa (P1)** indicata come: *Area a suscettibilità bassa all'innescò, al transito e/o all'invasione da frana.*

Tale collocazione, nella prima delle quattro classi di rischio, evidenzia come i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale risultano essere marginali ai fini progettuali.

Per quel che concerne il rischio idraulico soltanto l'**Area 3** ricade nella fascia definita: *Area ad elevata suscettibilità di allagamento ubicata al piede dei valloni.*

L'intervento di progetto **non provocherà alterazione della conformazione, né modificherà l'assetto idrogeologico del sito.**

Si consiglia, comunque, di effettuare una buona regimentazione e canalizzazione sia delle acque meteoriche che di quelle di ruscellamento.

Geotecnica

Area 1

I valori di Nspt evidenziano terreni con caratteristiche meccaniche modeste fino alla profondità massima di - 3,95 dal p.c. (strato 1), mentre da tale profondità in poi i valori di resistenza aumentano in modo crescente evidenziando litotipi dalle buone caratteristiche meccaniche.

Area 2

I valori di Nspt evidenziano terreni con caratteristiche meccaniche modeste fino alla profondità massima di - 4.20 dal p.c. (strato 2), mentre da tale profondità in poi i valori di resistenza aumentano in modo crescente evidenziando litotipi dalle buone caratteristiche meccaniche.

Area 3

I valori di N_{spt} evidenziano terreni con caratteristiche meccaniche modeste fino alla profondità massima di – 1.60 dal p.c. (strato 2), mentre da tale profondità in poi i valori di resistenza aumentano in modo crescente evidenziando litotipi dalle buone caratteristiche meccaniche.

Sismicità dell'area

La Frazione di Agnano, territorio comunale di Pozzuoli, ricade nelle aree dichiarate sismiche che non hanno subito un incremento di classificazione rimanendo nella vecchia II^a Categoria con S pari a 9 (accelerazione pari a $0,07 \text{ m/sec}^2$).

Per quanto concerne la classificazione sismica del suolo in relazione al D.M. 14.01.2008, tenuto conto dei risultati di tre profili sismici (**Re.Mi.1 - Re.Mi.2 - Re.Mi.3**), è possibile affermare che il sito oggetto d'intervento rientra nella **Categoria " C " di Suolo di Fondazione.**

Alla luce di quanto sopra esposto, avendo riportato tutti i dati disponibili relativi ai terreni oggetto d'indagine, si rimanda ai tecnici incaricati la scelta delle opere da eseguire nel rispetto delle indicazioni fornite.

Tanto per incarico ricevuto.

IL TECNICO
Dr. Antonio Compagnone
Antonio
COMPAGNONE
Geologo
AIBO 12/006
Ordine degli Geologi della Regione Campania