



COMUNE DI ANACAPRI

PROVINCIA DI NAPOLI

PIANO REGOLATORE GENERALE

TAVOLA
G

COMUNE DI ANACAPRI
07. DIC. 2005
174647 ARCH. _____

SIGLA
R

ZONAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE IN PROSPETTIVA SISMICA

RELAZIONE

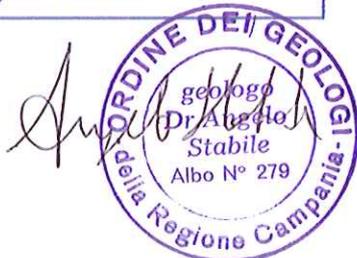
Il Geologo:



CENTRO GEOLOGIA TECNICA
dei dott. S. Palomba - A. Stabile - L. Starace
Vico 3° Rota, 30 - 80067 SORRENTO (NA)
Tel. & Fax: 0818772573 - Email: centrogeotec@libero.it
C.F.: 04180830632 P.I.: 01319101216

Geol. Angelo Stabile

Rif:CGT09904A



Sorrento, Dicembre 2005

Lavoro eseguito con la consulenza del Prof. Francesco Giordano
Ordinario di Trattamento di Segnali Geofisici dell' Università "Parthenope"
di Napoli

INDICE

1.	PREMESSA	pag. 1
2.	INDAGINI ESEGUITE	
2.1.	RILEVAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE	pag. 4
2.2.	ANALISI AEROFOTOGRAMMETRICA	pag. 5
2.3.	SONDAGGI MECCANICI, PROVE IN SITO ED ANALISI DI LABORATORIO	pag. 6
2.4.	PROSPEZIONI SISMICHE	pag. 9
2.4.1.	Profili di sismica a rifrazione	pag. 9
2.4.1.1.	Risorse impiegate	pag. 9
2.4.1.2.	Metodologia e quantità del lavoro	pag. 10
2.4.1.3.	Metodologia d'interpretazione	pag. 12
2.4.2.	Prospezione sismica down hole	pag. 14
3.	CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE	pag. 22
3.1.	CARTA GEOLITOLOGICA	pag. 22
3.1.1.	Lineamenti tettonici e strutturali del territorio Comunale	pag. 22
3.1.2.	Litologia e schema dei rapporti stratigrafici	pag. 24
3.1.3.	Caratteristiche tecniche dei terreni	pag. 41
3.2.	CARTA DELLA STABILITÀ	pag. 53
3.2.1.	Criteri generali e metodologia per l'elaborazione della carta della stabilità	pag. 53
3.2.2.	Carta degli spessori dei terreni di copertura	pag. 55
3.2.3.	Carta delle Acclività	pag. 56
3.2.4.	Carta morfologica	pag. 57
3.2.5.	Condizioni di stabilità del territorio comunale	pag. 59
3.3.	TAVOLE DEI BACINI IDROGRAFICI	pag. 61
3.3.1.	Idrologia	pag. 61
3.3.2.	Reticolo idrografico ed analisi dei bacini	pag. 68
3.4.	CARTA IDROGEOLOGICA	pag. 72
3.4.1.	Complessi e strutture idrogeologiche	pag. 72
3.4.2.	Circolazione idrica sotterranea	pag. 74
4.	LA ZONAZIONE DEL TERRITORIO IN PROSPETTIVA SISMICA	pag. 76
4.1.	LA ZONAZIONE SISMICA	pag. 76
4.1.1.	Macrozonazione	pag. 77
4.1.2.	Microzonazione	pag. 80
4.1.3.	Caratterizzazione sismica dei siti	pag. 84

4.2.	NORMATIVA	pag. 85
4.3.	METODOLOGIA	pag. 88
4.3.1.	Criteri adottati per la rilevazione dei dati	pag. 90
4.3.2.	Analisi dei dati ed elaborazione	pag. 91
4.3.2.1.	Sismicità storica	pag. 91
4.3.2.2.	Danni riportati dal patrimonio edilizio a seguito del sisma del Novembre 1980	pag. 93
4.3.2.3.	Dati geolitologici utilizzati	pag. 93
4.3.2.4.	Modello strutturale del sottosuolo ed individuazione della Formazione Lapidea di Base (FLB)	pag. 93
4.3.2.5.	Caratteristiche tecniche dei terreni	pag. 94
4.3.2.6.	Analisi ed elaborazione dei dati sismici	pag. 95
4.3.3.	Risultati	pag. 99
4.3.3.1.	Ricostruzione dei profili stratigrafici tipo; il Fattore di Amplificazione Dinamico (FAD) e relativo calcolo	pag. 99
4.4.	CALCOLO DEL COEFFICIENTE D'INTENSITÀ SISMICA C, CONSIDERANDO GLI SPESSORI DEI TERRENI DI COPERTURA	pag.106
4.5.	DETERMINAZIONE DELLA DESIGN GROUND ACCELERATION	pag.107
4.5.1.	Riferimenti generali e metodi	pag.107
4.5.2.	Valori della Design Ground Acceleration, secondo la procedura dell'EUROCODICE 8	pag.114
4.6.	CALCOLO DELLA DESIGN GROUND ACCELERATION	pag.117
4.6.	CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI CON LE DUE	
4.7.	METODOLOGIE	pag.120
4.8.	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO	pag.121
4.9.	CARTA DELLA ZONAZIONE	pag.124

1. PREMESSA

La Giunta Regionale della Campania, con deliberazione n. 5447 del 7 Novembre 2002, pubblicata sul B.U.R.C. n. 56 del 18 novembre 2002, ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania inserendo il Comune di Anacapri tra quelli classificati di 3^a categoria sismica. Di conseguenza il Comune di Anacapri è obbligato ad osservare, oltre alle disposizioni di cui alla legge 2 febbraio 1974 n.64, quelle contenute, ai fini della prevenzione dal rischio sismico, nella legge regionale 7 gennaio 1983 n. 9 in ordine agli strumenti urbanistici da adottarsi, adottati e vigenti.

L'Amministrazione Provinciale di Napoli, nella qualità di Ente delegato all'approvazione, ritenendo trascorso il tempo assegnato al Comune per l'adeguamento del P.R.G. alle normative sismiche precedentemente citate, con deliberazione della Giunta Provinciale n.264 del 26 febbraio 2004 ha nominato l'arch. Giovanni Romano Commissario ad Acta per l'adeguamento del Piano Regolatore Generale di Anacapri alle norme in materia di difesa del territorio dal rischio sismico e per gli ulteriori adempimenti necessari per la presentazione alla Provincia di Napoli del progetto di adeguamento del Piano per l'approvazione.

Considerato che nella fattispecie occorre la consulenza di un geologo, con Deliberazione n. 1 del 26 ottobre 2004 il Commissario ad Acta arch. Giovanni Romano, affidava allo

scrivente geologo Angelo Stabile del Centro di Geologia Tecnica di Sorrento, iscritto al n.279 dell'Albo dell'Ordine dei Geologi della Regione Campania ed avente studio in Sorrento al Vico 3° Rota n. 30, l'incarico di redigere la carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica nel rispetto di quanto prescritto dalla citata normativa.

L'incarico veniva successivamente perfezionato con la sottoscrizione del relativo disciplinare in data 12 novembre 2004.

Per l'espletamento dell'incarico è sorta la necessità di procedere ad uno studio sulle caratteristiche geolitologiche, morfologiche ed idrogeologiche del territorio comunale finalizzato alla compilazione della cartografia di sintesi prevista dall'art.11 della legge Regionale n.9/1983:

- carta geolitologica;
- carta della stabilità;
- carta idrogeologica;
- carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica.

Prioritariamente, è stato necessario effettuare uno studio geologico-geotecnico prescritto dal D.M. 11 marzo 1988, punto H, a sua volta richiamato nella Circolare relativa alla strumentazione urbanistica, applicativa della Deliberazione della Giunta Regionale della Campania n. 5447 del 7 novembre 2002, non essendo stata mai precedentemente eseguita

alcuna indagine geologica sul territorio comunale alla quale poter fare riferimento.

La cartografia richiesta dalla normativa è stata redatta anche in base a carte tematiche, realizzate per lo scopo, quali:

- carta con gli spessori dei terreni di copertura;
- carta delle acclività;
- carta morfologica
- tavola dei bacini idrografici

La cartografia di base, georeferenziata, utilizzata nel presente lavoro è stata fornita dall'Amministrazione Comunale su supporto digitale.

Per lo studio inerente la zonazione del territorio in prospettiva sismica, lo scrivente si è avvalso della consulenza del prof. Francesco Giordano, ordinario di Trattamento di dati Geofisici, presso l'Università "Parthenope" di Napoli.

2. INDAGINI ESEGUITE

2.1. RILEVAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE

Le caratteristiche geolitologiche del territorio comunale sono state verificate, mediante il rilevamento dei dati effettuato in campagna, dopo aver acquisito informazioni di carattere generale attraverso l'analisi di numerosi dati bibliografici esistenti nella letteratura scientifica e tecnica.

In tal modo è stato possibile ricostruire la stratigrafia dei terreni che caratterizzano il territorio comunale di Anacapri attraverso il riconoscimento dei litotipi rinvenuti in numerosi affioramenti. I dati di campagna sono stati integrati, inoltre, con quelli desunti per mezzo di indagini geognostiche appositamente fatte eseguire dallo scrivente ed ubicate come nella Tav. G-01 – Planimetria con i siti delle indagini geognostiche.

Il rilevamento di campagna, per la particolare conformazione del territorio comunale, è risultato abbastanza agevole perché la maggior parte degli affioramenti significativi è ben esposta lungo la costa e lungo i numerosi sentieri che si diramano dal centro abitato verso la costa e verso le alture collinari. Laddove il territorio è intensamente urbanizzato, è stato possibile verificare la stratigrafia mediante perforazioni con carotaggio continuo.

Il rilevamento geologico è stato mirato al riconoscimento dei litotipi dal punto di vista prettamente tecnico, tralasciando, ad esempio, i dettagli paleontologici che hanno permesso, in precedenti studi riportati nella bibliografia specialistica, il riconoscimento di una successione carbonatica che si differenzia in modo notevole per l'età.

Particolare attenzione è stata posta nel rilevamento dei terreni di copertura, il cui spessore assume un ruolo fondamentale ai fini della zonazione del territorio in prospettiva sismica. I dati puntualmente rilevati sono stati estesi alle zone circostanti e resi il più possibile attendibili, ricorrendo anche ad indagini indirette.

2.2. ANALISI AEROFOTOGRAMMETRICA

I dati desunti dal rilevamento geolitologico di campagna sono stati ulteriormente integrati dall'analisi, in stereoscopia, di aerofotografie già disponibili, fornite dall'Amministrazione Comunale.

In particolare sono state utilizzate aerofotografie in scale diverse in funzione sia della definizione dei lineamenti tettonici e strutturali del territorio comunale, sia nel controllo degli affioramenti dei principali litotipi rinvenuti in campagna, in special modo laddove non potevano essere verificati direttamente per l'inaccessibilità dei luoghi.

L'analisi delle aerofotografie è stata molto utile nel riconoscimento dei principali elementi morfologici del territorio comunale.

2.3. SONDAGGI MECCANICI, PROVE IN SITO E PROVE DI LABORATORIO

Allo scopo di consentire, da un punto di vista geotecnico, una caratterizzazione ed una classificazione qualitativa dei terreni presenti nel sottosuolo del territorio comunale di Anacapri, anche alla luce di quanto previsto dal D.M. 11 marzo 1988, è stata programmata ed eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito ed in laboratorio, così come di seguito specificato.

- **n° 9 sondaggi geognostici** a carotaggio continuo ubicati come riportato nella tavola G-01, contraddistinti dalle sigle da S1a S8 e spinti alle seguenti profondità:

SONDAGGIO	PROFONDITA'
S1	14,00 m
S2	9,50 m
S3	15,00 m
S4	15,00 m
S5	12,00 m
S6	17,00 m
Sr2	12,00 m
S7	12,40 m
S8	8,00 m

N.B. - Il sondaggio Sr2, sebbene fatto eseguire contestualmente dal Comune di Anacapri per altri scopi, è stato utilizzato anche nella presente indagine.

TABELLA 2.1 – SONDAGGI ESEGUITI E PROFONDITA' RAGGIUNTE

Le perforazioni sono state eseguite, sotto la supervisione dello scrivente o di suo collaboratore, dalla ditta SO.GE.O.S. di Scafati (SA) che si è aggiudicata la gara d'appalto indetta dal Comune. La circolazione d'acqua è stata usata solo se indispensabile, allo scopo di rimaneggiare il meno possibile i campioni di terreno estratti. La campionatura, così ricavata e posta in cassette catalogatrici in legno, ha consentito di ricostruire le stratigrafie riportate in Appendice.

Sono stati, inoltre, utilizzati i dati ottenuti nel corso di un sondaggio effettuato, in passato, nella zona antistante il Cimitero Comunale, contrassegnato in planimetria con la sigla SR1 e di un sondaggio contrassegnato con la sigla SR2, al largo Paradiso, eseguito per scopi diversi.

I sondaggi contrassegnati con le S5, S6, S7 ed S8, sono stati condizionati, con un tubo in PVC in previsione della esecuzione delle prospezioni sismiche in foro Down Hole (DH). Queste ultime, invero, eseguite solo nei fori S6 ed S8.

- **n° 18 prove penetrometriche dinamiche S.P.T.** (Standard Penetration Test) eseguite a profondità significative durante l'esecuzione dei sondaggi, con attrezzatura standardizzata a sganciamento automatico. I dati relativi alle prove e la loro elaborazione sono anch'essi riportati in Appendice. Nel corso delle prove eseguite a punta aperta

sono stati prelevati I campioni del terreno su cui sono state effettuate prove in laboratorio per la determinazione del peso specifico dei grani e della granulometria (Cfr.: Appendice – Certificati delle prove di laboratorio).

I parametri geotecnici ricavati dalle prove S.P.T. sono :

- la densità relativa (D_r) deducibile essenzialmente dalla correlazione di Gibbs – Holtz (1957) e dalle sue successive modifiche Peck – Bazaraa (1969)
 - L'angolo di attrito efficace (ϕ'), stimato alle differenti profondità, in base alle correlazioni di De Mello (1971) (tra il numero dei colpi N , la pressione litostatica effettiva σ' e l'angolo di attrito ϕ), Schmertmann (1977) (tra D_r , ϕ e la granulometria) e Meyerhof (1974) (tra la resistenza alla punta R_p e ϕ).
 - Il modulo di deformazione (Young) drenato (E') (Webb, 1970)
 - Il modulo edometrico di deformazione (M_o) (Begemann, 1974 e Webb, 1969).
- **n° 5 prelievi di campioni indisturbati** eseguito a pressione con campionatore a pareti sottili tipo “Schelby”, durante l'attraversamento dei terreni sciolti (piroclastiti). Nella tabella 2.2 sono riepilogate, per il campione prelevato, le prove su di esso effettuate.

SOND. (n°)	CAMPIONE (n°)	PROFONDITA' (m)	CARATTERISTICHE FISICHE	GRANULOMETRIA	TAGLIO DIRETTO
S3	C1	1.50 – 1.80	X	X	X
S4	C1	0.80 – 1.10	X	X	X
S5	C1	1.50 – 1.80	X	X	X
S6	C1	2.00 – 2.70	X	X	X
S6	C2	4.00 – 4.50	X	X	X

TABELLA 2.2 – CAMPIONI INDISTURBATI E PROVE ESEGUITE

Tutti i certificati delle prove di laboratorio, eseguite sempre dalla ditta SO.GE.O.S. presso il laboratorio TECNO IN di Napoli, sono riportati in Appendice.

- **n° 9 prelievi di campioni rimaneggiati** di calcare (carote estratte dai fori di sondaggio) avviati in laboratorio e sottoposti a prova di compressione assiale semplice non confinata, per la determinazione del peso di volume e della resistenza a compressione.

2.4. PROSPEZIONI SISMICHE

2.4.1. Profili di sismica a rifrazione

2.4.1.1. Risorse impiegate

Per le misure in campagna:

- * Sismografo registratore a 12 canali Geometrics ES 1225 con microprocessore ad incremento di segnali e con filtri antidisturbo;
- * Batteria di alimentazione a 12V in corrente continua;

- * 1 cavo sismico multipolare con 12 prese ciascuno, interdistanza 10 m fra le prese lunghezza max 110 m;
- * 1 prolunga multipolare con connettore compatibile con i cavi;
- * massa di Kg. 100 cadente da m 2.20 munita di dispositivo di chiusura del circuito per l'invio del time-break;
- * cavo e prolunga per l'invio del time-break dal punto di energizzazione allo strumento di misura;
- * 24 geofoni Hall-Sears HS 3 a 8 Hz speciali per sismica a rifrazione;
- * materiale e strumentazione per la manutenzione delle apparecchiature.
- * Automezzo.
- * Coppia di radio (27 Mhz).

Per l'elaborazione dei dati:

- * Computer IBM A31
- * Stampante Plotter EPSON 1520

Personale impiegato:

- 1 Geofisico
- 1 Geologo
- 1 Addetto unità energizzante

2.4.1.2. Metodologia e quantità del lavoro

Sono stati eseguiti n°5 profili sismici a rifrazione di lunghezza variabile, in funzione dello spazio disponi-

bile, tra 40 e 91 metri per complessivi di 365 metri, ubicati come indicato nella Tav. G – 01.

In tutti i profili di sismica a rifrazione per l'acquisizione dei segnali sono stati utilizzati 12 geofoni posti, in genere, a distanza di 6 m l'uno dall'altro in proiezione verticale. Alcune piccole variazioni si sono rese necessarie a causa della presenza di asperità sul terreno.

Per ogni base sono stati eseguiti 2 punti di energizzazione con relative registrazioni dei films. I punti di energizzazione sono stati ubicati secondo il seguente schema:

*											*
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12

* = punti di energizzazione; G1,G2,G3,..... = geofoni.

TABELLA 2.3

L'energizzazione è stata prodotta con i colpi di una massa di 100 Kg fatta cadere da un'altezza di 2,20 m, sopra una piastra metallica appoggiata sul terreno.

Laddove un colpo solo non è stato sufficiente a produrre impulsi visibili sul video, sono stati effettuati più colpi, essendo il sismografo in grado di sommare gli impulsi arrivati in fase.

Per minimizzare gli effetti del disturbo ambientale sono stati inseriti gli appositi filtri in dotazione allo strumento.

2.4.1.3 - Metodologia d'interpretazione

Le onde elastiche provocate dalla massa di energizzazione si propagano nel sottosuolo in ogni direzione. Nel metodo sismico a rifrazione vengono utilizzate solo le onde rilevate dal "primo impulso", cioè quelle che hanno seguito il percorso più veloce.

Questo percorso può essere:

- superficiale, per i geofoni più vicini al punto di energizzazione;
- profondo, quando le onde trovano in profondità un orizzonte ad elevata velocità di propagazione che funge così da "rifrattore".

In genere un primo orizzonte rifrattore è costituito dai terreni naturali sottostanti il terreno agrario e vegetale; in questo caso la velocità è piuttosto bassa in quanto le onde si propagano in terreni vicini alla superficie, decompressi, alterati.

Una o più rifrazioni possono avvenire solo se in profondità vi sono strati compatti a velocità sismica elevata o perlomeno maggiore della precedente. La profondità a cui tali orizzonti sono individuabili è legata - oltre che ai rapporti fra le velocità dei diversi strati - alla lunghezza degli stendimenti. Per ogni punto di

energizzazione è stata eseguita una o più registrazioni, su carta elettrosensibile, delle oscillazioni provocati dalle onde elastiche sui 12 geofoni.

I tempi di arrivo delle onde ai geofoni ("primi impulsi") ricavati dai films di registrazione vengono riportati su un diagramma spazio-tempo; in tal modo si ottengono delle curve (domocrone) che visualizzano le diverse velocità e permettono l'interpretazione grafico-matematica dei dati di campagna.

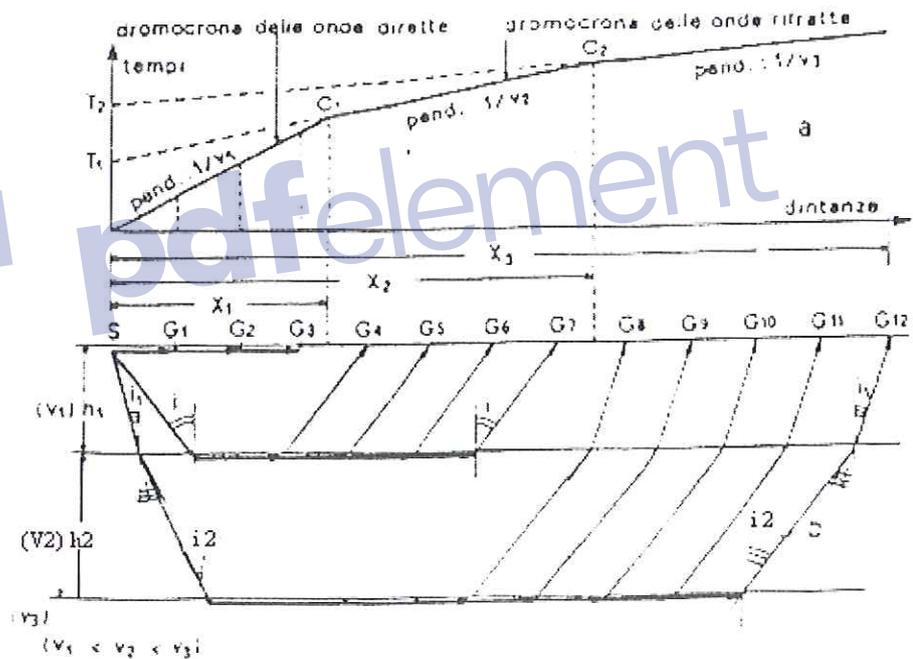


FIGURA 2.1

Con l'ausilio di un programma di calcolo sono state ottenute le velocità medie di propagazione delle onde sismiche nelle varie stratificazioni.

Una volta ottenute le velocità si è provveduto, sfruttando la tecnica del time-delay al calcolo delle profondità dei vari orizzonti sotto ciascuno dei geofoni.

In allegato si riportano le registrazioni dei profili eseguiti.

2.4.2 Prospezione sismica Down-Hole

Allo scopo di definire le velocità delle onde sismiche delle litologie tipo che caratterizzano il sottosuolo del Territorio comunale, sono state eseguite n°2 prospezioni Down Hole (DH) nei fori dei sondaggi S6 ed S8 per complessivi 25 metri.

2.4.2.1. Metodologia

La metodologia **Down-hole** è in grado di determinare la velocità e gli spessori degli strati di materiali partendo dal piano campagna fino al fondo di un perforo all'uopo predisposto. Le misure vengono eseguite attivando tre canali, di un sismografo a 12 canali, in onda P ed S a somma di impulsi ed utilizzando uno speciale sensore 3D (a tre componenti: 2 orizzontali ed una verticale).

La metodologia Down-hole viene utilizzata soprattutto a scopi di ingegneria civile in quanto, come già detto, il

geofono da pozzo è di solito costituito da una tripletta di geofoni, di cui uno di tipo verticale, per la rilevazione delle onde di compressione, e due di tipo orizzontale ortogonali fra loro, per la rilevazione delle onde di taglio. Pertanto, la rilevazione contemporanea delle citate onde di massa consente di ricavare, come si è visto, le relative velocità e quindi, se si conoscono le densità dei litotipi incontrati nella perforazione, i moduli elastici dinamici che li caratterizzano, sulla base dei quali si possono effettuare anche i calcoli di risposta sismica dei terreni, necessari in alcune metodologie di microzonazione sismica.

Dovendo rilevare onde di taglio, anche la sorgente energizzante deve essere tale da generare onde a prevalente componente di taglio. Ciò può realizzarsi, per profondità di indagine dell'ordine di 50 metri ed anche maggiori in siti a irrilevante rumore sismico, mediante l'impatto di una massa battente (martello o grave in oscillazione libera) contro la faccia di una robusta lamina bene infissa nel terreno, oppure contro una tavola di legno di adeguato spessore su cui si colloca un peso adatto a garantirne una elevata aderenza con il terreno; si simula così l'applicazione di una forza orizzontale al terreno che ha come effetto la propagazione in esso di un'onda a prevalente componente orizzontale.

Se si alterna il senso dell'impatto alla sorgente, si dovrebbe evidenziare, per uno stesso geofono, una opposizione di fase nelle onde di taglio generate; come già detto, di solito i geofoni orizzontali nel sistema di rilevazione (comunemente chiamato «**Geofono 3D da pozzo**») sono due e montati ortogonalmente, vedasi fig. 2.2, in modo da rendere meno incerta la rilevazione, dalla registrazione, dei tempi di arrivo delle onde di taglio.

Il metodo **Down-Hole** prevede come già accennato la sorgente energizzante in superficie e i sensori all'interno del perforo secondo lo schema di figura 2.2. Essendo la metodologia più economica in quanto comporta l'uso di una sorgente in superficie, più facile da gestire di una sorgente in pozzo, è quella di più diffuso impiego .

Il Geofono 3D da pozzo, nel seguito chiamato G, contiene 3 geofoni: due disposti tra loro a 90° e giacenti su un piano perpendicolare longitudinale all'asse del Geofono stesso ,per cui una volta calati nel perforo verticale hanno direzioni di oscillazione orizzontali (onde S); il terzo geofono è invece posizionato lungo l'asse longitudinale del Geofono 3D e quindi lavora come rivelatore di onde verticali (P), fig. 2.2. Il Geofono 3D è realizzato per essere calato e fissato a profondità via via crescenti (ogni 2 metri) contro la parete

del perforo opportunamente condizionato; energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni, si ha la possibilità di determinare la velocità verticale dei litotipi riscontrati nella perforazione e i loro moduli elastici attraverso la determinazione dei valori delle velocità P ed S. Il fronte d'onda ed il relativo raggio sismico non subiranno deviazioni, per la presenza di eventuali discontinuità elastiche in profondità, in quanto l'incidenza dei raggi è quasi normale quando la sorgente energizzante è molto prossima al perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari all'asse del perforo stesso. In genere però la sorgente energizzante viene a trovarsi, sia per motivi logistici sia perché è necessario evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, ad una distanza relativamente piccola 2-3 m ma non trascurabile dall'asse del perforo per cui è necessario correggere i tempi di arrivo in modo da ottenere i valori che si riscontrerebbero se il percorso dei raggi sismici fosse perfettamente verticale. Considerando la figura 2.2, se d è la distanza della sorgente energizzante S dall'asse del perforo, z è la profondità a cui è fissato il sistema di rilevazione G ed α è l'angolo tra la congiungente **G-S** e la verticale (corrispondente all'asse del perforo) il tempo verticale

o corretto t_v , cioè il tempo di propagazione dell'onda elastica secondo l'asse del perforo, sarà uguale a:

$$t_v = t \cos \alpha \quad (1)$$

dove t è il tempo di ricezione del primo impulso rilevato e dove:

$$\alpha = \arctan d / z \quad (2)$$

La correzione che si effettua con la (2) trascurando le deviazioni dei percorsi dei raggi generate dalla rifrazione lungo eventuali superfici di discontinuità, è chiaramente una approssimazione; questa è tanto più accettabile quanto più deboli sono i contrasti di velocità e quanto più prossima all'asse del perforo, a parità di profondità dei sensori, è la sorgente energizzante. Ovviamente va attentamente controllata, specie per rilevazioni in perfori profondi, la verticalità dell'asse del perforo allo scopo di apportare le eventuali necessarie correzioni. I tempi corretti t_v (relativi alle onde P ed S), vanno messi in grafico rispetto alle profondità z , (fig. 2.2) e si ha così modo di individuare le dromocrone, come rette interpolanti di insiemi di punti, relative ai litotipi incontrati nella perforazione, determinandone le velocità e gli spessori corrispondenti. Le velocità per ciascun grafico (onde P ed S) sono date dall'inverso dei coefficienti angolari delle rette interpolanti .

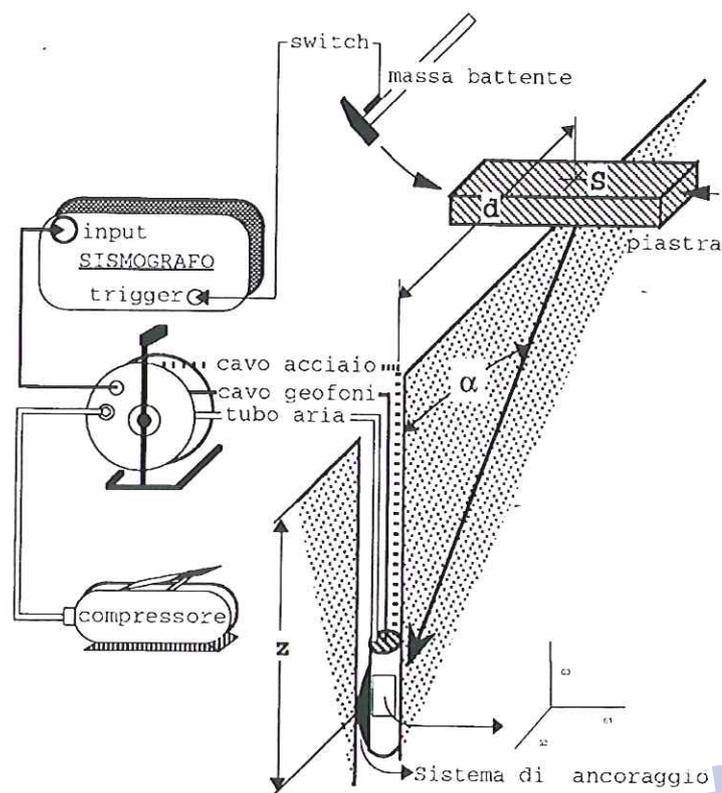


FIGURA 2.2

Schema della metodologia down-hole. S: sorgente; d: distanza tra sorgente ed asse del perforo; Z: profondità di ancoraggio; α angolo tra la congiungente il sistema di rilevazione-sorgente e la verticale. (da E.Carrara, modificata)

Il modo più semplice per calcolare le profondità delle discontinuità e quindi gli spessori, è quello di valutare graficamente i valori di profondità z_i corrispondenti ai punti di intersezione delle rette interpolanti corrispondenti alla variazione della velocità. E' da ribadire anche qui che non sempre gli spessori coincidono con quelli dei litotipi riscontrati dalla stratigrafia della perforazione perché possono individuarsi strati contrassegnati da caratteristiche elastiche mediamente costanti che possono essere comuni a litotipi simili.

La metodologia down-hole, come le altre tecniche di sismica in perforo ha, rispetto alla sismica a rifrazione, il vantaggio di non avere come condizione il necessario aumento di velocità con la profondità in quanto si valutano i tempi di arrivo delle onde elastiche via via che esse penetrano negli strati più profondi senza subire fenomeni di rifrazione; quindi è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nell'ambito del pacco di litotipi incontrati nella perforazione e inoltre, la preventiva conoscenza della stratigrafia permette di scegliere il passo di misura più idoneo a caratterizzare anche strati di debole spessore.

Allo scopo di avere una valutazione del grado di disomogeneità dei sismostrati riscontrati nella perforazione che, come già detto, possono o non coincidere con i litotipi, si determinano in genere, anche le «velocità intervallo» v_i , cioè le velocità con cui viaggerebbe il fronte d'onda, lungo l'asse verticale, tra due posizioni consecutive dell'apparato geofonico; calcolando le distanze parziali $\delta z = z_n - z_{n-1}$ ed i tempi verticali parziali $\delta t_v = t_{vn} - t_{v(n-1)}$, le velocità intervallo sono chiaramente date da

$$v_i = \delta z / \delta t_v$$

Infine, tabulando i valori dei tempi rilevati, sia per le onde di compressione che di taglio, i valori dei tempi corretti o verticali e le relative profondità, si può co-

struire un diagramma con i valori delle velocità intervallo tracciati fino all'estremo inferiore dell'intervallo considerato, in funzione della profondità; si ottiene così un grafico, come quello che si mostra in figura 2.3, che evidenzia e dà un'idea delle variazioni di omogeneità dei litotipi presenti nel sottosuolo indagato, le cui cause vanno attentamente valutate anche sulla scorta di tutte le informazioni di altro tipo disponibili.

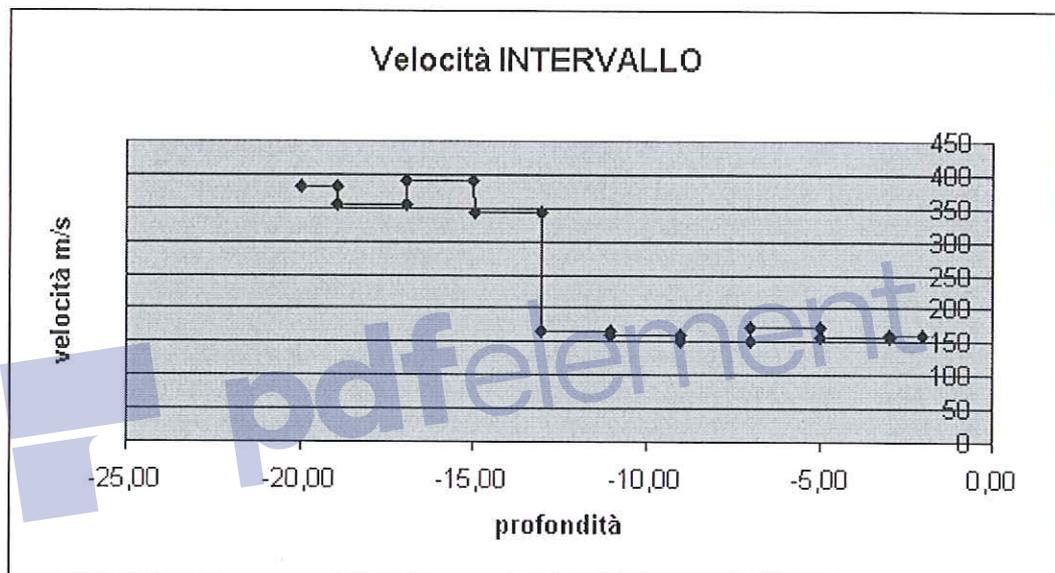


FIGURA 2.3

Il programma iniziale delle indagini in sito è stato modificato nel corso delle indagini stesse, in relazione a quanto veniva di continuo rilevato e con lo scopo di ottimizzare le risorse impegnate. Rispetto a quanto preventivato, in particolare, si è preferito ridurre le profondità ed aumentare il numero di sondaggi, considerata l'uniformità del substrato carbonatico.

3. CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE

3.1. CARTA GEOLITOLOGICA

3.1.1. Lineamenti tettonici e strutturali del territorio comunale

Le caratteristiche geologiche dell'Isola di Capri, nel cui contesto geografico si colloca il Territorio Comunale di Anacapri che ne occupa la porzione occidentale, sono state oggetto di numerosi studi i cui risultati sono stati resi noti in diverse pubblicazioni scientifiche.

A queste si è fatto riferimento per le conoscenze di base, dettagliate successivamente a livello locale e finalizzate all'espletamento del presente studio.

I lineamenti tettonici e strutturali dell'Isola di Capri, che risultano essere particolarmente complessi, sono stati interpretati in vario modo dai diversi studiosi che si sono cimentati nel trattarli, nel corso degli anni. Il lavoro di Castelluccio e Napolitano dal titolo "*Nuovi dati sulla struttura dell'Isola di Capri*", riportato nei Rendiconti della Società Geologica Italiana n. 12, 1989, riassume le precedenti conoscenze e fornisce nuovi e più recenti dati sulla struttura dell'Isola di Capri.

Nel corso del rilevamento geolitologico e delle ripetute verifiche mediante aerofotografie, la complessità strutturale si è tradotta nel riconoscimento di lineamenti tettonici ri-

conducibili, in modo preponderante, a movimenti compressivi, prevalentemente trascorrenti, obliterati, a scala maggiore, da faglie di tipo distensivo.

In definitiva il territorio comunale si identifica con un'enorme monoclinale carbonatica, che ne costituisce il substrato, dissecata da faglie variamente orientate. Di particolare interesse, oltre quelle di bordo che delimitano geograficamente l'Isola, sono:

- La faglia inversa che delimita a Nord Est il territorio comunale;
- le faglie che ribassano la parte occidentale del territorio comunale rispetto ai rilievi collinari di Monte Barbarossa, Monte Cappello e Monte Solaro;
- i sistemi di faglia che dissecano la porzione sud-occidentale dell'Isola, rendendo colà notevole lo stato di fratturazione

Ai fini della incidenza della tettonica sullo scopo del presente lavoro, si rimarca l'estrema fratturazione del substrato carbonatico che incide prevalentemente sulle condizioni di stabilità dei versanti molto acclivi ed in particolar modo di quelli che si identificano con le falesie costiere.

Nella Carta geolitologica, Tav. G-02, sono evidenziate le principali discontinuità tettoniche e la giacitura degli strati carbonatici, quest'ultima laddove è stato possibile ri-

levarla, considerato che gli stessi sono stati fortemente disturbati dalle notevoli sollecitazioni tettoniche.

3.1.2. Litologia e schema dei rapporti stratigrafici

Le varie Formazioni litologiche che formano il territorio comunale, meglio dettagliate nella Cartografia Geologica redatta a cura dell'Autorità di Bacino del Sarno alla quale si rimanda per approfondimenti di carattere scientifico, sono state raggruppate, ai fini del presente studio, tenendo conto delle caratteristiche tecniche che incidono in modo rilevante sulla propagazione delle onde elastiche:

Denominazione	Descrizione	Sigla di riferimento nella Cartografia Geologica Autorità di Bacino del Sarno
A. Terreni di copertura	<p><u>Terreni di riporto.</u> Sono rappresentati essenzialmente da terreni di origine piroclastica, con inclusi litici eterogenei, provenienti da sbancamenti, tagli e riporti realizzati essenzialmente in concomitanza dei periodi di maggiore urbanizzazione del territorio comunale.</p> <p><u>Depositi incoerenti,</u> costituiti da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Piroclastiti sciolte, poco coesive, raramente in giacitura primaria, a luoghi stratificate, formate da alternanze di lapilli, pomici e ceneri vulcaniche. Spesso si rinvencono frammenti a litici eterogenei, prevalentemente carbonatici, di varie dimensioni. - Piroclastiti pseudocoerenti, scarsamente litificate, prevalentemente in giacitura primaria. 	
B. Depositi detritici	<p><u>Depositi di versante eluvio-colluviali, detriti ed accumuli di frana.</u> Sono costituiti da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Depositi eluvio-colluviali incoerenti costituiti in prevalenza da litici eterometrici in matrice piroclastica più o meno abbondante. - Detrito di falda costituito da brecce e 	

	<p>blocchi carbonatici in scarsa matrice sabbiosa, spesso di natura piroclastica.</p> <p>- Cumuli di frana costituiti in prevalenza da breccie carbonatiche con abbondante matrice piroclastica.</p>	
C. Depositi detritici cementati	<p><u>Depositi detritici ben cementati</u>, formati da:</p> <p>- Depositi di conoide alluvionale e di falde detritiche, costituite da conglomerati e clasti carbonatici talvolta arrotondati con scarsa matrice ed abbondante cemento calcitico. Breccie e clasti carbonatici ben cementati e clinostratificati.</p> <p>- Depositi di spiagge antiche costituiti da calcareniti e puddinghe calcaree.</p>	<p>AGE</p> <p>G2₁</p>
D. Substrato Carbonatico	<p><u>Depositi calcarei, calcareo-dolomitici e dolomie</u>. Sono stati così raggruppati:</p> <p>- Conglomerati di P.ta Carena costituiti da conglomerati carbonatici poligenici, ben cementati.</p> <p>- Ruditi di Tiberio, costituite da breccie calcaree con scarsa matrice, spesso gradate.</p> <p>- Calcari bioclastici costituiti da calcareniti e calcilutiti bioclastiche, talora dolomitizzate e stratificate.</p> <p>- Calcari del Limmo, formati da calciruditi e calcareniti bianche con stratificazione non ben evidente.</p> <p>- Calcari ad Ellipsactinie di Capri, costituiti da calciruditi e calcareniti grigie o biancastre, massicce o mal stratificate.</p> <p>- Calcari ad ooidi costituiti da calcareniti grigiastre e avana, oolitiche, stratificate.</p> <p>- Calcari con selce della Migliara, costituiti da calcilutiti e dolomie grigie e nocciola, stratificate, con liste e noduli di selce.</p> <p>- Calcari con selce di P.ta Sbruffo formati da calcareniti e calcilutiti giallastre ben stratificate con liste e noduli di selce grigio-chiaro e calcari bianchi.</p> <p>- Scaglia di P.ta Carena, formata da calcari e calcari marnosi con liste e noduli di selce.</p>	<p>CPC</p> <p>RT</p> <p>CB</p> <p>CBL</p> <p>CC</p> <p>CO</p> <p>CSM</p> <p>CSS</p> <p>SPC</p>

I rapporti stratigrafici tra le litologie descritte in precedenza variano localmente.

I terreni di copertura sono caratterizzati da spessori molto variabili, dipendenti dalla conformazione del substrato preesistente al momento della deposizione. Essi colmano le depressioni morfologiche e strutturali del substrato carbonatico sovrapponendosi, a luoghi, anche ai depositi detritici, in altri, intercalandoli. I terreni di copertura si identificano sostanzialmente con le Piroclastiti Rimaneggiate con incluse breccie e blocchi carbonatici. Tra i terreni di copertura si considera anche il Tufo Grigio, riportato in diverse cartografie geolitologiche ufficiali ma non rinvenuto in affioramento durante le fasi di rilevamento di campagna. Esso, invero, è stato rinvenuto solo attraverso il sondaggio SR2, peraltro con spessori esigui ed in profondità, e pertanto non è stato cartografato nella Carta Geolitologica Tav. G2.

Più complessi sono i rapporti stratigrafici esistenti tra le diverse litologie carbonatiche. Generalmente è rispettata la sequenza cronologica del deposito, ad eccezione di alcune zone ove movimenti tettonici compressivi hanno portato terreni più antichi a sovrascorrere su altri più recenti.

Nel dettaglio, sono di seguito riportate le stratigrafie ottenute nel corso dei sondaggi geognostici, che mettono in

risalto i rapporti stratigrafici esistenti in corrispondenza della parte superiore della successione.

Nelle figure 3.2 e 3.3, invece, sono schematizzate due sezioni geolitologiche, le cui tracce sono riportate in figura 3.1, che meglio dettagliano la stratigrafia del sottosuolo.



Legenda campioni:		<input type="checkbox"/> rimaneggiato	<input type="checkbox"/> S.P.T.	<input type="checkbox"/> da vane test	<input type="checkbox"/> a percussione	<input type="checkbox"/> indisturbato a pressione	<input type="checkbox"/> indisturbato rotativo		
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE				Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.
2,00	2,00		1,50	TERRENI DI COPERTURA					1,5 4-4-5
1,00	3,00			Pavimentazione e sottofondo, materiali di riporto					
			4,50	Impasto caotico di piroclastiti rimaneggiate e brecce					4,5 40-R
10,00			7,50	SUBSTRATO: Breccie di dimensioni variabili, prevalentemente con spigoli arrotondati con incrostazioni di calcite e di argille residuali; da m. 11,50: dolomitizzate					7,5 20-35-65
			10,50						10,5 50-R
13,00	14,00		13,87	Calcare fratturato (lunghezza massima carote: 13 cm)				100/14,0	
				Cassette 4					

Legenda campioni:		=rimaneggiato	=S.P.T.	=da vano test	=a percussione	=indisturbato a pressione	=indisturbato rotativo		
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pi oni	DESCRIZIONE				Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.
1,50	1,50			TERRENI DI COPERTURA: Pavimentazione e sottofondo di natura piroclastica					
				SUBSTRATO: Calcarei fratturati, a luoghi molto fratturati, con inclusi brecciolino calcareo in abbondante matrice di argilla residuale. Fratture con venature calcifiche. Lungh. massima delle carote: 30 cm.					1,5 5-6-8
8,00			4,00 □ 6,00 □						
9,50								100 9,5	
				Cassette 4					



Legenda campioni:		rimaneggiato	S.P.T.	da vane test	a percussione	indisturbato a pressione	indisturbato rotativo				
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pi oni	DESCRIZIONE						Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.
1,00	1,00			TERRENI DI COPERTURA:							
				Pavimentazione e sottofondo stradale							
			1,50								
			2,00							2,0 10-12-13	
				Piroclastite rimaneggiata, a luoghi humificata con rare e minute pomici. Sabbia limosa a luoghi debolmente argillosa. Colore da bruno giallastro a bruno.							
5,00			4,00							4,0 9-13-14	
			5,50							5,5 15-20-21	
6,00				SUBSTRATO CARBONATICO:							
			10,00	Calcarei fratturati, a luoghi molto fratturati. Lung. massima delle carote: 28 cm. Fratture prevalentemente pulite; diverse superfici con incrostazioni calcifiche.							
9,00											
15,00									100/15,0		
				Cassette 4							



Legenda campioni:		rimaneggiato	S.P.T.	da vane test	a percussione	indisturbato a pressione	indisturbato rotativo				
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pion	DESCRIZIONE						Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.
0,300	0,30		0,80	TERRENI DI COPERTURA:							
0,60	0,90		4,50	Pavimentazione e sottofondo di natura piroclastica							
				Piroclastiti rimaneggiate di colore bruno-giallastro: sabbia limosa							
			3,50								
			8,00	SUBSTRATO:							
				Calcarei fratturati, a luoghi molto fratturati, con fratture prevalentemente pulite, a luoghi con diverse incrostazioni calcitiche.							80 5-6-6
			10,00								10,0 10-15-20
			15,00							100/15,0	
				Cassette 4							

Località: Casa Comunale

Scala 1:100

Data inizio/fine: Luglio - Agosto 2005

Sigla: S5

Attrezzatura: Sonda automontata K400

Quota dal p.c.(m): 274,1

Lunghezza perforazione (m): 12,0

Legenda campioni: =rimaneggiato =S.P.T. =da vane test =a percussione =indisturbato a pressione =indisturbato rotativo

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE		
1,50	1,50		TERRENI DI COPERTURA: Piroclastiti rimaneggiate con rare e minute pomici. Sabbia limosa, colore bruno-giallastro.		
1,50	1,50		SUBSTRATO: Brecce di natura calcarea di dimensioni variabili, con matrice di argilla residuale mista a piroclastiti, a luoghi molto abbondanti.		
1,20	2,70				1,8 14-16-23
3,80	6,50		Calcarei a luoghi dolomitizzati, molto fratturati. Lunghezza massima carote: 5 cm. Spertici di fratturazioni prevalentemente pulite.		
6,50	7,50		Calcarei compatti, lunghezza massima carote: 65 cm		
3,50	12,00				
					100/12,0
			Cassette 3		

Legenda campioni: rimaneggiato S.P.T. da vano test =a percussione =indisturbato a pressione =indisturbato rotativo

Spessore (cm) Profondità (m)	Stratigrafia	Cam pi oni	DESCRIZIONE	Carotiere diam.mm/ prof.m	S.P.T.
0,80			TERRENI DI COPERTURA: Pavimentazione e sottofondo stradale		
0,80					
		2,00			
		2,70			2,7 4-10-11
		4,00			
		4,50			4,5 12-15-15
3,60		6,00	Piroclastite rimaneggiata, a luoghi humificata con pomici con diametro massimo; 1 cm. Sabbia limosa, a luoghi debolmente argillosa. - da m. 8,50 a m. 9,10: argillificata, di colore bruno giallastro.		6,0 4-5-7
		8,00			
9,40					8,0 10-12-16
7,60			SUBSTRATO: Calcarei molto fratturati con fratture riempite di argilla residuale.		
17,00				100/17,0	
			Cassette 4		



Località: P.ta Barile

Scala 1:100

Data inizio/fine: Luglio - Agosto 2005

Sigla: S8

Attrezzatura: Sonda automontata K400

Quota dal p.c.(m): 280,3

Lunghezza perforazione (m): 8,0

Legenda campioni: [] =rimaneggiato [] =S.P.T. [] =da vane test [] =a percussione [] =indisturbato a pressione [] =indisturbato rotativo

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE		
0,00	0,60	[Pattern]	TERRENI DI COPERTURA: Pavimentazione e sottofondo		
	1,50	[Pattern]			1,5 2-3-6
	3,90	[Pattern]	Piroclastite rimaneggiata con rare e minute pomici, di colore giallastro. Sabbia limosa		3,0 3-3-4
	4,70	[Pattern]			4,0 4-5-5
	8,30	[Pattern]	SUBSTRATO: Breccie calcaree in scarsa matrice; a luoghi in abbondante cemento calcifico.		
	8,00				100/8,0
			Cassette 2		



Legenda campioni: =rimaneggiato | =S.P.T. | =da vane test | =a percussione | =indisturbato a pressione | =indisturbato rotativo

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	
0,00	0,80		TERRENI DI COPERTURA: Pavimentazione stradale e sottofondo.	
7,70			Piroclastite rimaneggiata, con pomici. Colore da bruno giallastro a grigio.	
8,50			SUBSTRATO: Blocchi e breccie calcaree con matrice argillosa rossastra.	
15,00				100/15,0
			Cassette 5	

Località: Largo Paradiso

Scala 1:100

Data inizio/fine: Luglio - Agosto 2005

Sigla: SR2

Attrezzatura: Sonda automontata K 400

Quota dal p.c.(m): 275,7

Lunghezza perforazione (m): 12,0

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	
1,20	1,20		TERRENI DI COPERTURA: Sottofondo e pavimentazione stradale	
7,10	8,30		Piroclastite rimaneggiata, con rare e minute pomici, colore da bruno a bruno-giallastro. Sabbia limosa.	
1,20	9,50		Tufo Grigio cineritico	
1,70	11,20		Piroclastite rimaneggiata con pomici alterate, di colore bruno rossastro. Limo con sabbia.	
0,80	12,00		SUBSTRATO: Brecce calcaree di dimensioni molto variabili, in scarsa matrice piroclastica.	100/12,0
			Cassette 2	