

COMUNE DI ARAGONA
Provincia di Agrigento

**PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA
SISMICA ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO
DELLA SCUOLA "FONTES EPISCOPI"**
PROGETTAZIONE ESECUTIVA
(Art. 23 comma 8 Dlg 50 ss.mm.ii.)

1. ELABORATI DESCRITTIVI

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA

1.2


Il Progettista

Il RUP

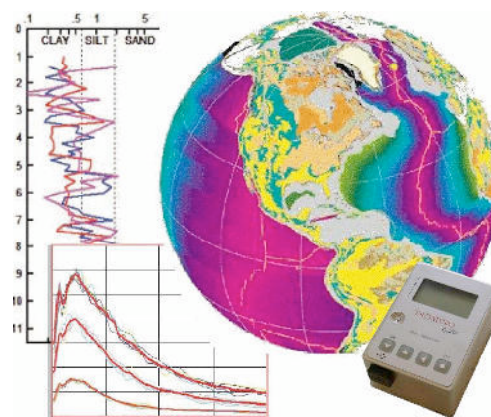
Aragona, lì
18-01-2018

Studio di Geologia e Geotecnica
Dott. Geol. Giuseppe Avenia

Consulente nello Studio di Impatto Ambientale

via Dante, 206 Agrigento
Tel. 0922 - 27367-603401

GeoLog



COMUNE DI ARAGONA
PROVINCIA DI AGRIGENTO

**CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA A SUPPORTO
DEL PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA
SISMICA E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELLA SCUOLA
"FONTES EPISCOPI"**

Bacino Idrografico : Fiume Platani (063)

Zona Sismica : 2

Comm : Amministrazione Comunale di Aragona

STUDIO GEOLOGICO ESECUTIVO

Agrigento Li

Gennaio 2018

IL GEOLOGO

Ordine Reg. le dei Geologi di Sicilia
Dott. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 664 dell'Albo

A handwritten signature in blue ink, corresponding to the name of the geologist mentioned in the adjacent text block.

COMUNE DI ARAGONA
PROVINCIA DI AGRIGENTO

**CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA A SUPPORTO
DEL PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA
SISMICA E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELLA SCUOLA
"FONTES EPISCOPI"**

- Secondo D.M. II. TT. del 14 gennaio 2008 -

Comm.: Amministrazione Comunale di Aragona

STUDIO GEOLOGICO ESECUTIVO

Premesse.

Il sottoscritto Dott. Geol. Giuseppe Avenia, iscritto all'Albo Regionale dei Geologi di Sicilia al numero 664, in seguito ad incarico affidatomi dall'Amministrazione Comunale di Aragona, ha redatto il presente studio geologico-tecnico esecutivo, secondo il D.M. II. TT. del 14 gennaio 2008, nonché secondo quanto dettato dal D.A. n. 298/41 del 21/07/2000 e suc. mod. ed integrazioni, per la tutela dell'assetto idrogeologico del bacino interessato, per la caratterizzazione sismica e geotecnica a supporto del progetto per l'adeguamento alla normativa sismica e l'efficientamento energetico della scuola "Fontes Episcopi" di Aragona.

La ricostruzione della successione stratigrafico-locale e la relativa caratterizzazione geomeccanica, sono state effettuate, prendendo in esame le sezioni naturali, le scarpate ed i tagli di terreno osservabili ad occhio nudo, nonché utilizzando i risultati ottenuti da indagini eseguite sia nel sito in studio

che per interpolazione lineare da indagini meccaniche eseguite in area limitrofa sulla stessa formazione litologica.

L'insieme dei dati ottenuti, ha permesso la ricostruzione del modello stratigrafico-locale, geomeccanico e sismico del sito, a partire dal quale è possibile, per il calcolista, procedere ai calcoli di verifica delle strutture esistenti.

Morfologia e Idrologia.

L'area in studio è ubicata nell'immediata periferia a sud-ovest della città di Aragona, essa ricade nel foglio 267 III° S.E., della carta d'Italia I.G.M.

L'orizzonte morfologico cui fa capo l'area di progetto, in generale, si presenta secondo un andamento di tipo sub-pianeggiante, con lievi pendenze degradanti in generale verso sud, costituito nelle parti più elevate, fuori rilievo, da rilievi di natura rigida a costituzione prevalentemente calcarea e calcareo gessosa intervallati da orizzonti plastici di natura argillosa che rappresentano la componente più modellabile ed erodibile e sulla quale si insediano linee di impluvio più o meno marcate, nelle aree vallive si rinvencono modesti depositi alluvionali che bordano le principali linee di impluvio.

Nel circondario fuori dall'abitato, si notano leggere creste litoidi derivanti dall'azione combinata della tettonica e dall'erosione meteorica che quasi sempre si è impostata lungo linee di debolezza strutturale, inoltre, in presenza di sedimenti argillosi in pendio, sono presenti aree di degradazione che mostrano le superfici di strato depauperate dalla copertura vegetale.

Le condizioni di stabilità complessive appaiono generalmente soddisfacenti infatti, non si riscontrano nell'area strettamente interessata zone in frana o comunque condizioni di precarietà dei pendii.

L'idrografia della zona rispecchia la situazione geostrutturale esistente, infatti la maggior parte del reticolato idrografico si sviluppa lungo gli affioramenti argillosi, mentre sui terreni rigidi prevale l'infiltrazione delle acque meteoriche lungo la fitta rete di fratturazione.

Per la larga presenza di sedimenti impermeabili, la circolazione idrica più appariscente è di tipo superficiale favorendo i deflussi superficiali a svantaggio di percolazione in sotterraneo.

L'area strettamente interessata , appartiene ad un contesto geomorfologico improntato a condizioni generali di assetto tali da garantirne la funzionalità e la stabilità dell'opera realizzata nel tempo.

Elementi geologici.

Il suolo ed il sottosuolo dell'area investigata, è occupate da rocce sedimentarie prodotte dal lento accumulo di materiali depositatesi secondo corpi stratificati orizzontalmente (successioni sedimentarie).

In particolare, nell'area vasta, sono presenti due principali complessi sovrapposti: il complesso inferiore è rappresentato dalla argille sabbiose del Miocene superiore (Serravilliano-Tortoniano) che passano verso l'alto alla serie "Gessoso-Solfifera" del Messiniano (più frequentemente e tipicamente rappresentata da calcari e da gessi) e, ancora più in alto, ai Trubi del Pliocene inferiore.

Questa successione di livelli è molto deformata e costituisce, su larga scala, una grande struttura cuneiforme fatta al suo interno da corpi tettonici sovrapposti detti embrici, i quali sono separati da faglie.

A sovrastare i materiali citati, in questa porzione di territorio, sono i depositi più recenti, costituiti dalle marne calcaree (trubi) depositatesi in

trasgressione e le argille del pliocene inferiore e del pliocene medio - pleistocene inferiore, che includono le formazioni Narbone (argille e marne, argille azzurre) in ultimo le alluvionali terrazzate ed attuali.

Da questo quadro geolitologico, prende spunto la zona oggetto di studio, costituita da una unità litologica appartenente al Miocene inferiore, attribuibile al complesso argilloso del Tortoniano.

Detta formazione, costituisce l'unità più ampiamente rappresentata della zona studiata, si presenta con notevoli spessori costituiti da frammenti marnosi ed argillosi per lo più di pochi millimetri, fra cui predominano frammenti di marne grigio-chiare con microfauna Tortoniana, immersi in una pasta argillosa grigio-scura proveniente in prevalenza dalle Argille grigio-brune a microfauna Oligocenica di tipo Batiale-Abissale.

Stratigrafia del terreno di sedime.

La stratigrafia del terreno di sedime, ottenuta dal rilevamento superficiale dell'area di studio, nonché dall'esecuzione delle indagini effettuate, correlate con i risultati stratigrafici ottenuti da terebrazioni meccaniche eseguite in area limitrofa, lascia intravedere la costituzione del suolo secondo la seguente struttura: dopo una esigua coltre di ricoprimento a struttura detritica, di 1.00 mt. circa, si riscontrano termini costituiti da argille limose di colore marrone a struttura alterata, passanti a circa 3.00 mt. di profondità ad argille grigio brune a struttura brecciata appartenenti alla deposizione Miocenica.

La struttura litologica così evidenziata, è da ritenersi di buon assetto ad a costituzione geomeccanica omogenea; in allegato viene riportata la *Tavola n.1* riassuntiva della situazione stratigrafico-geomeccanica dei terreni.

Dissesto idrogeologico.

Attraverso la sintesi operata nella lettura delle carte geologica e le reali osservazioni effettuate in campagna, di concerto con la cartografia prodotta dal P.A.I., relativa al bacino interessato, si è prodotta sia la carta *“della Pericolosità e del Rischio geomorfologico”* che quella dei *“Dissesti”*, nel rispetto del D.A. n. 298/41 del 21/07/2000 e suc. mod. ed integrazioni, per la tutela dell’assetto idrogeologico, per la parte di bacino interessata dal progetto in epigrafe.

Le pericolosità **P**, sono determinate attraverso la magnitudo del fenomeno franoso rilevato legato al suo stato di attività; la correlazione tra la pericolosità determinata e gli elementi a rischio connessi con la vulnerabilità del territorio, determinano il *“Rischio totale”* **R**.

Per la valutazione della pericolosità in termini probabilistici, sono necessarie informazioni dettagliate sulla ricorrenza temporale dei fenomeni franosi e sulle loro cause, tali informazioni, reperibili attraverso dettagliate ricerche storiche, risultano di norma frammentarie e disomogenee, pertanto si è ritenuto opportuno limitarsi alla valutazione di un grado di pericolosità relativa classificando il territorio investigato secondo classi di pericolosità generale.

Per tale zonizzazione, viene fatto riferimento al concetto di *“Area o bacino di pericolosità”*, ovvero alla zona in cui risultano riunite le condizioni che stanno alla base del meccanismo di instabilità, puntualizzando che il *“Bacino di pericolosità”*, viene limitato generalmente all’estensione del versante interessato.

Partendo quindi dalle classi di pericolosità **P**, riassunte nella *Tab.1*, si è passati all’interpretazione sulla *“Classificazione e zonizzazione del rischio R”*, essa vuole esprimere il danno atteso, il quale dipende quindi sia dal danno potenziale, che della probabilità che esso avvenga, nella *Tab.2*, vengono

riportate le classi di rischio “R” in generale e nella allegata carta le pericolosità geomorfodinamiche rilevate.

Il rischio dell’area interessata, è risultato essere nullo, si riportano di seguito le tabelle relative alle classi di pericolosità e di rischio.

Pericolosità		Descrizione
P0	bassa	Aree di bassa pericolosità per frane nelle quali i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.
P1	moderata	Aree con moderata pericolosità per frana valutabile come tale sulla base di caratteri fisici territoriali, vegetazionali e di uso del suolo, ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti, sia superficiali che profondi, riferibili a fenomeni franosi. Rientrano in questa classe anche le paleofrane e le frane relitte, non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali e le frane per le quali ci sia la certezza di una stabilizzazione naturale o artificiale.
P2	media	Aree interessate da media pericolosità per frane evidenziate da indicatori morfologici diretti.
P3	elevata	Aree interessate da elevata pericolosità per frane evidenziate da indicatori morfologici diretti, quali l’esistenza di frane quiescenti o di segni precursori di movimenti gravitativi.
P4	molto elevata	Aree interessate da pericolosità per frana estremamente elevata, in cui sono presenti movimenti di massa in atto, con una dinamica geomorfologica tendente o meno all’estensione areale della pericolosità.

Tab.1 – Classi di pericolosità

Rischio		Descrizione
R1	moderato	I danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.
R2	medio	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano le incolumità del personale, l’agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
R3	elevato	Sono possibili problemi per le incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, le interruzioni di funzionalità delle attività socio economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
R4	molto elevato	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio economiche.

Tab.2 – Classi di rischio

Normativa Sismica.

La normativa sismica è dettata dal D.M. 14/01/2008 “*Norme tecniche per le costruzioni*”, essa esprime lo spettro di risposta elastico del terreno attraverso la relazione:

$$a(g) = C \times I \times \beta \times \varepsilon \times R$$

dove :

C = Coefficiente di intensità sismica;

I = Coefficiente di protezione sismica, variabile tra 1 e 1,4;

β = Coefficiente di struttura;

ε = Coefficiente di fondazione, variabile tra 1 e 1,3;

R = Coefficiente di risposta sismica, funzione del periodo proprio T_0 .

La normativa sismica contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media (V_{S30}).

La classificazione viene effettuata principalmente sulla base del valore di V_{S30} valutato dalla seguente espressione

$$V_{S30} = 30 / \Sigma(h_i/V_i)$$

con h_i e V_i rispettivamente vengono indicati lo spessore e la velocità dello strato i -esimo degli N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B – *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT}_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero $\text{NSPT}_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E – Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi specialistici per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo

S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 – Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La normativa, divide il territorio nazionale in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale.

ZONA	VALORE DI a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

valori dell'accelerazione orizzontale

Microzonazione sismica

La valutazione del rischio sismico, viene effettuata mediante la macrozonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la microzonazione sismica.

Infatti, l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale e del substrato, presenza della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie).

Amplificazione topografica.

La realizzazione di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti, può essere influenzata da una amplificazione del fenomeno dovuto alla situazione topografica esistente, tale interferenza è corretta tramite l'utilizzo del coefficiente di amplificazione topografica ST riportato nella seguente tabella in base alle pendenze di versante.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ = i = 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Per il sito in oggetto secondo la tabella su riportata si ottiene una Categoria topografica di Tipo **T1** pendii con inclinazione media $i = 15^\circ$.

Amplificazione stratigrafica.

Il fenomeno dell'amplificazione stratigrafica ha cui può essere soggetto un sisma, è dovuta a fattori locali, geologici, morfologici e stratigrafici ecc. sia superficiali che di substrato, che possono modificare il moto sismico di base, gli effetti diventano devastanti in presenza di edificazioni.

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{\max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa.

Il valore di a_{\max} può essere ricavato dalla relazione

$$a_{\max} = S_s \times a_g,$$

dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Pertanto in considerazione di ciò, è opportuno valutare un coefficiente di amplificazione stratigrafica da inserire nei calcoli strutturali, per mitigare gli effetti prodotti da una irregolare accelerazione sismica nel sito di studio.

Caratterizzazione sismica del sito.

L'area d'interesse ricade nel territorio di Aragona, in precedenza classificato ai sensi del D.M.LL.PP. 23/09/81, tra le zone di II^a categoria con grado di sismicità $S=9$, ora **Zona 2**.

La caratterizzazione sismica del sito di studio, viene effettuata attraverso l'esecuzione di un'indagine sismica diretta utilizzando idonea apparecchiatura, operata direttamente nel sito di studio.

Dall'indagine sismica si ricava un valore medio di $V_{s30} = 237$ m/s caratteristico di un suolo di categoria tipo "C"; i risultati dell'indagine si riportano in allegato.

Frequenza di Risonanza terreno di fondazione.

La verifica della progettazione deve essere in grado di valutare il rischio di amplificazione degli effetti di un sisma su un fabbricato esistente, o di progettare in condizioni di maggiore sicurezza l'opera da realizzare.

Quanto sopra si ottiene con la determinazione in sito della frequenza fondamentale di risonanza del terreno di fondazione e con la comparazione con la frequenza di risonanza del fabbricato realizzato o da realizzare.

Quando questi due valori sono simili si ha il rischio del cosiddetto fenomeno della “*doppia risonanza*”, che si traduce in un aumento considerevole delle sollecitazioni agenti sull'edificio e quindi del danno che quest'ultimo può subire.

La pericolosità consiste nel fatto che, durante un terremoto, se la frequenza di risonanza del sottosuolo coincide con quella degli edifici presenti, può avere luogo un fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione; questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni indotti dal terremoto, anche più importante della dimensione del terremoto stesso.

Dalla verifica effettuata dall'indagine sismica eseguita con apparecchiatura (Micromed Tromino), adatto nella misurazione ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale, basato su un brevetto che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenza compreso fra 0,0 e 200 Hz., si è ottenuto un valore di frequenza di risonanza del suolo pari a :

$$Fr = 0.38 \pm 0.01 \text{ Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).}$$

Limiti di procedura e conclusioni.

La pericolosità sismica locale è rappresentata dalla misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, in funzione delle particolari condizioni geologiche e morfologiche che potrebbero generare amplificazioni locali delle onde sismiche di un possibile terremoto.

Le caratteristiche della colonna lito-stratigrafica del sito, l'andamento del sistema idrico sotterraneo, la situazione geomorfologica degli immediati dintorni ed infine la geometria del substrato roccioso (bedrock) o assimilabile ad esso (bedrock-like) hanno quindi generalmente l'effetto di amplificare l'ampiezza del moto sismico e di modificare la sua distribuzione spettrale.

Le modalità d'interazione dinamica suolo-struttura sono quindi condizionate da fattori legati sia alle caratteristiche proprie delle costruzioni che a quelle geolitologiche e stratigrafiche del sito di studio.

Pertanto risulta determinante poter individuare se nell'areale considerato, sono presenti degli “*scenari di pericolosità sismica potenziale*”, in grado di esaltare o incrementare gli effetti dell'onda sismica.

In relazione alla pericolosità sismica locale per l'area in esame si può affermare che:

- non sono preseti faglie che ricadono nell'area di intervento o nei suoi immediati dintorni;
- la situazione morfologica esistente non determina particolari condizioni sfavorevoli;

In considerazione di quanto delineato, non sussistono fattori ambientali incompatibili con l'opera in oggetto.

Carta della Microzonazione Sismica

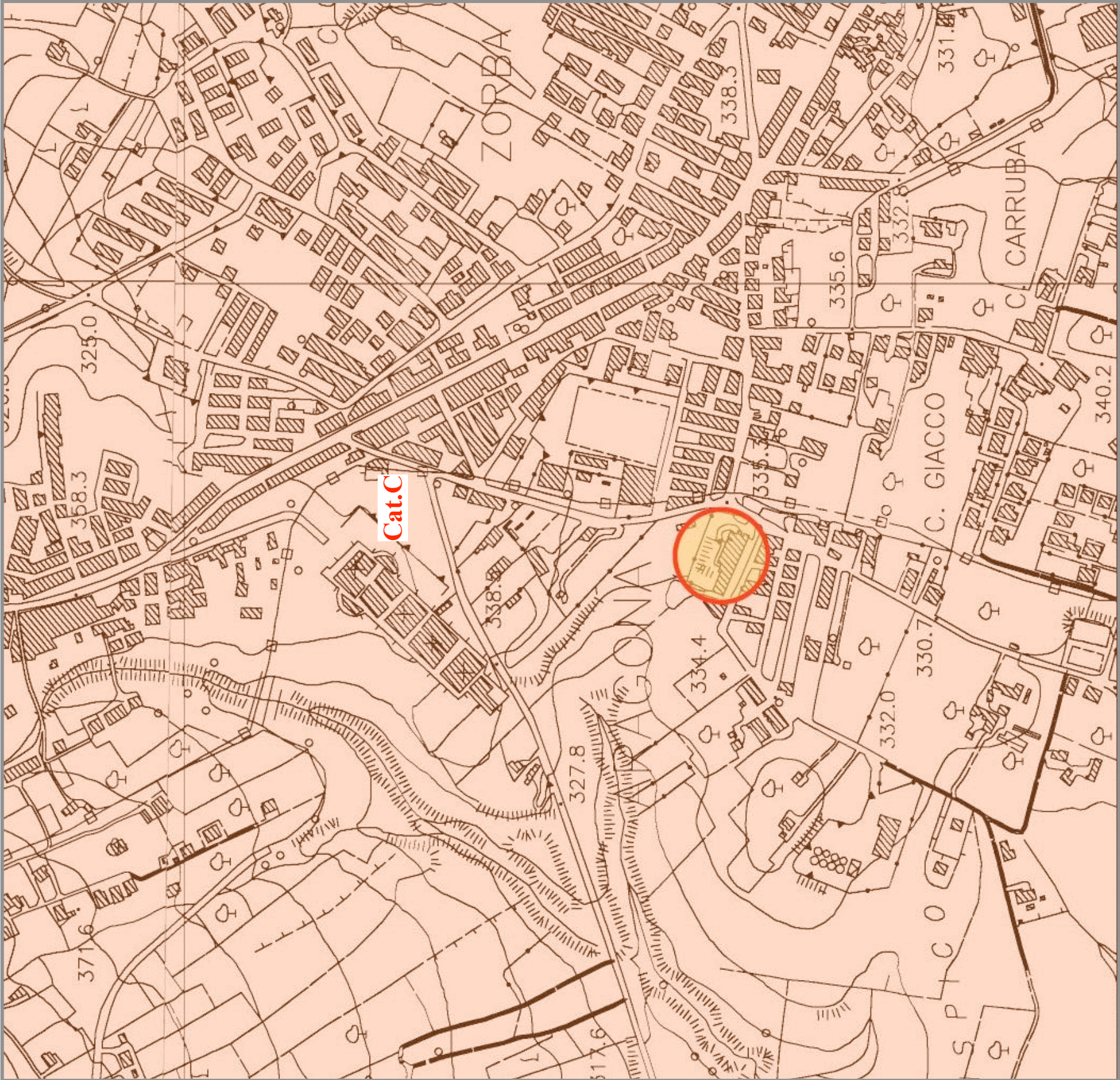
La stesura delle suddetta carta tematica, viene elaborata attraverso la sovrapposizione degli elaborati cartografici di base, dopo aver suddiviso il territorio in aree con situazioni geo-litologiche simili, si passa a suddividere l'area in esame in sottozone rappresentate da valori di V_s quanto più possibili vicini tra loro, per poi determinare le categorie di suolo che caratterizzano arealmente la zona indagata.

La carta tematica così ottenuta, riporta le aree in cui è possibile attribuire ai litotipi affioranti un determinato valore delle onde di taglio VS_{30} dei litotipi affioranti.

Per ogni categoria di suolo, la normativa indica un fattore S , variabile tra 1 e 1,35, moltiplicatore dell'accelerazione a_g relativa alla zona indagata, pertanto si ha:

- Microzone caratterizzate in media da suoli di cui alla **Categoria A**: fattore di incremento **1.00**;
- Microzone caratterizzate in media da suoli di cui alla **Categoria B**: fattore di incremento **1.25**;
- Microzone caratterizzate in media da suoli di cui alla **Categoria C**: fattore di incremento **1.25**;
- Microzone caratterizzate in media da suoli di cui alla **Categoria D**: fattore di incremento **1.35**;
- Microzone caratterizzate in media da suoli di cui alla **Categoria E**: fattore di incremento **1.25**.

L'accelerazione del suolo ipotizzabile nelle differenti zone sismiche è posta dal seguente valore **$a = 0,25$** per le **Zone 2**.



CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA

Legenda

Vs30 m/s

Categoria C

> 180-360

Complesso Argilloso Tortoniano

Area interessata

CATEGORIE SUOLO

Cat. A

Formazioni litorali o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m;
Fattore di incremento S = 1.00;

Cat. B

Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s;
Fattore di incremento S = 1.25;

Cat. C

Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s;
Fattore di incremento S = 1.25;

Cat. D

Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di Vs30<180 m/s;
Fattore di incremento S = 1.35;

Cat. E

Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litorali (granulari o coesivi), con valori di Vs30 simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con Vs30<800 m/s;
Fattore di incremento S = 1.25;

SCHEMA RIASSUNTIVO DELLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Zona Sismica : 2

$V_{S30} = 237 \text{ m/s}$

Accelerazione orizzontale : $A_g = 0,25$

Categoria suolo : Tipo C

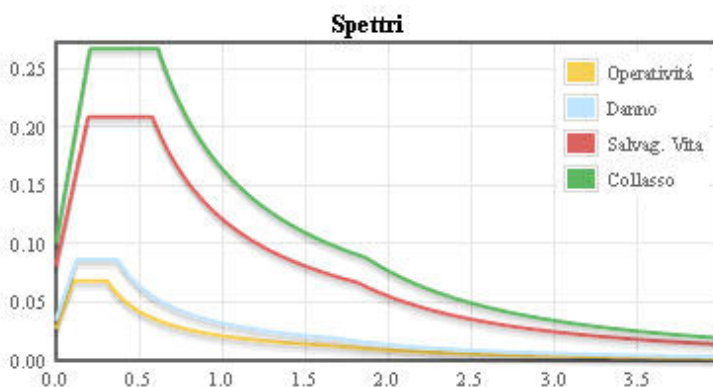
Spettro di risposta al suolo

$S = 1,25$

$T_B = 0,15$

$T_c = 0,5$

$T_D = 2$



Frequenza di risonanza suolo

$Fr = 0.38 \pm 0.01 \text{ Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).}$

Amplificazione Topografica : T1 inclinazione media = 15°

COMUNE DI ARAGONA
PROVINCIA DI AGRIGENTO

**CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA A SUPPORTO
DEL PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA
SISMICA E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELLA SCUOLA
"FONTES EPISCOPI"**

Comm : Amministrazione Comunale di Aragona

INDAGINE SISMICA

IL GEOLOGO
Ordine Reg. Is. dei Geologi di Sicilia
Dot. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 664 dell'Albo

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE RAPPORTI SPETTRALI.

Premesse.

Le considerazioni riportate di seguito sono i risultati d'indagine attraverso la sismica passiva tramite analisi realizzata con tromografo elettronico digitale TROMINO® ai fini della determinazione delle caratteristiche elastiche del terreno ottenute dalla analisi spettrale delle componenti vibrazionali del terreno, ovvero attraverso l'analisi dei rumori del terreno.

Lo scopo della seguente indagine geofisica, è dunque, la caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'individuazione delle discontinuità e la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

Tale metodo è in grado di stimare la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) nei primi 30 mt. di profondità, come esplicitamente richiesto dalla Normativa Tecnica per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

La campagna d'indagine ha previsto l'esecuzione di un rilevamento su uno spazio temporale ben definito e su una superficie opportunamente predisposta.

La presente metodologia ha permesso di evidenziare quantitativamente le geometrie del substrato identificando le discontinuità sismiche presenti legate alle variazioni litologiche.

Dalle tracce sismiche ottenute, attraverso un processo di elaborazione e pulitura dei disturbi spontanei, si è individuata la frequenza di risonanza fondamentale del terreno, confrontata successivamente con i corrispettivi spettri di ampiezza dei segnali ai vari sensori al fine di ottenere un modello stratigrafico con relativo valore della velocità sismica delle onde di taglio (V_s).

Ai sensi della Nuova Normativa Antisismica richiamata dal D.M. 14/01/2008, la definizione delle onde trasversali (S) ha permesso la determinazione del parametro V_{S30} e la caratterizzazione dei terreni.

La restituzione dei dati, con relativa interpretazione del profilo sismico, è riportata di seguito.

METODOLOGIA SISMICA PASSIVA.

L'indagine geosismica è stata realizzata avvalendosi del metodo sismico che utilizza l'acquisizione del rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione.

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre, esso viene chiamato anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, in essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossime a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito, tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibsvon Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001; solo per citarne alcune).

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato.

Considerando un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2), un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

L'onda così riflessa, interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = V_s / 4H \quad (1)$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1, ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma è interpretabile attraverso opportuni fattori di correlazione.

L'analisi H/V permette pertanto di identificare i contrasti di impedenza tra strati, la successiva determinazione della velocità delle onde S fino a profondità notevoli (ben oltre i 100 m di profondità) e strettamente dipendenti dallo spazio temporale di acquisizione; quindi l'elaborazione dei V_{S30} , avviene attraverso una formulazione specifica adottando come punto di partenza la relazione (1) mostrata in precedenza.

Per i nostri scopi, la determinazione delle onde di taglio (onde S) entro i primi 30 metri di spessore ha permesso di definire il parametro V_{s30} e di poter altresì caratterizzare i terreni in esame ai sensi del DM 14/01/2008.

STRUMENTAZIONE ADOTTATA.

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento (Tromino®, Micromed s.p.a.) con sistema di qualità in conformità ai requisiti indicati dalle direttive UNI EN ISO 9001: 2000 e UNI CEI EN ISO 13485: 2002.

E' dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, senza cavi esterni.

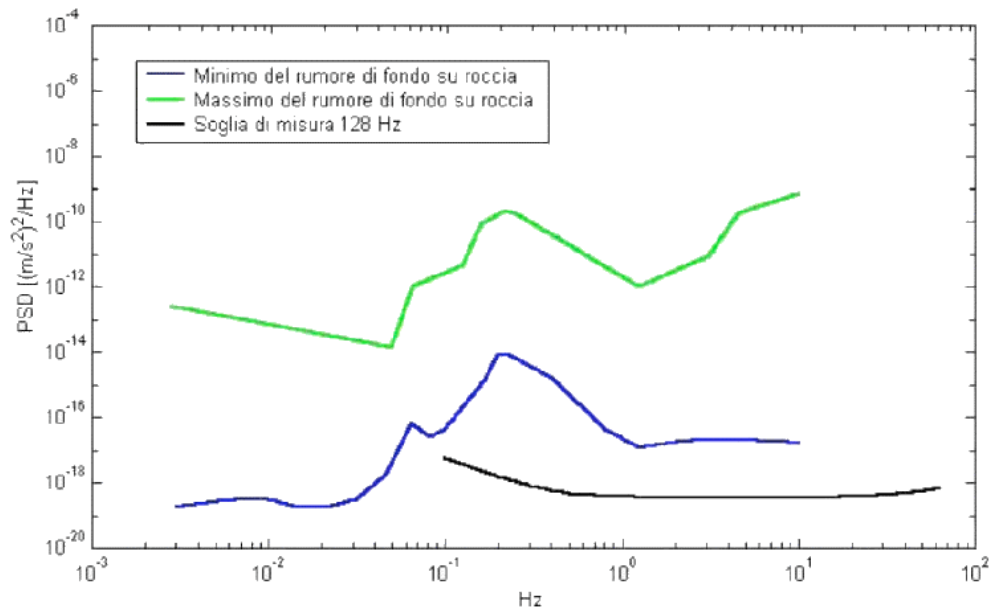
Esso rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz.

Nel particolare, lo strumento racchiude al suo interno tre sensori sismometrici costituiti da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 1024 Hz e digitalizzatore a 24 bit.

I dati acquisiti, vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

Nella figura seguente si riporta la curva di rumore ottenuta dallo strumento a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (prima curva in alto) e minimo (curva centrale) per la Terra (curva in basso).



Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero, per una durata temporale pari a 20.00 minuti, sono state ricavate le curve H/V, utilizzando i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s.;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

Successivamente alle operazioni di lisciamento e rimozione dei transienti, l'interpretazione della curva H/V viene fatta attraverso la comparativa della

stessa curva con le curve degli spettri di ampiezza delle componenti verticali e orizzontali.

Ogni qualvolta che ad un picco sulla curva H/V corrisponde, per lo stesso range di frequenza, una depressione della componente verticale rispetto alle orizzontali nelle curve degli spettri di ampiezza dei segnali, si identifica la condizione di individuazione delle discontinuità presenti nel sottosuolo.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante apposito software, fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza; per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend.

L'operazione ha riguardato le seguenti fasi:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti),
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA DENOMINATA.

La presente indagine ha previsto l'acquisizione, in corrispondenza di una superficie opportunamente predisposta, del microtremore per una finestra di acquisizione temporale pari a 20.00 minuti;

Il confronto dei picchi di frequenza H/V, con gli spettri di ampiezza del segnale ha permesso di individuare e localizzare le discontinuità presenti nel sottosuolo.

LETTURA DELLE MISURE ACQUISITE.

Ss1 : Nelle misure si riconosce un primo picco significativo a 44.97 Hz, corrispondente alla frequenza di risonanza dello strato di copertura sovrastante il substrato; proseguendo verso sinistra lungo la curva H/V si osservano un secondo picco significativo a 4.9 Hz. ed un ultimo picco a 0.63 Hz.

Ss2 : Nelle misure si riconosce un primo picco significativo a 54.84 Hz, corrispondente alla frequenza di risonanza dello strato di copertura sovrastante il substrato; proseguendo verso sinistra lungo la curva H/V si osservano un secondo picco significativo a 21.72 Hz. un ulteriore picco a 2.53 Hz. ed ultimo picco a 0.46 Hz.

Ss3 : Nelle misure si riconosce un primo picco significativo a 34.52 Hz, corrispondente alla frequenza di risonanza dello strato di copertura sovrastante il substrato; proseguendo verso sinistra lungo la curva H/V si osservano un secondo picco significativo a 8.32 Hz. ed un ultimo picco a 0.38 Hz.

DETERMINAZIONE DEL VS_{30}

Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato (VS_{30}); successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, D.M. 14/01/2008, è stato possibile classificare i terreni.

La determinazione dell'andamento dei valori delle onde di taglio entro i primi 30 metri è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza.

L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza.

Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di V_{S30} attraverso la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

con:

h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i -esima

N = Numero di strati

Il V_{S30} , in accordo con la Normativa deve essere riferito in rapporto alla profondità del piano di posa della fondazione rispetto al p.c., pertanto, si ricava un valore di V_{S30} epurato pari a:

$$Ss1 - V_{S30} = 248 \text{ m/s}$$

$$Ss2 - V_{S30} = 237 \text{ m/s}$$

$$Ss3 - V_{S30} = 308 \text{ m/s}$$

RISULTANZE.

Per i siti indagati si può affermare che la crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

Dagli spettri di risposta sismica delle componenti analizzate, di seguito riportati, si evidenzia l'assenza di discontinuità tettoniche o cavità naturali o artificiali.

Adottando la classificazione vigente in materia antisismica ai sensi del D.M. 14/01/2008, si riscontra la seguente categoria di suolo:

Categoria Suolo "C", ovvero "Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s".

IL GEOLOGO
Ordine Reg. Ie dei Geologi di Sicilia
Dot. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 664 dell'Albo

FOTO SISMICA



Saggio sismico S1



Saggio sismico S2



Saggio sismico S3

PLANIMETRIA INDAGINE SISMICA



S1 Scuola "Fontes Episcopi" Aragona

Start recording: 28/02/14 10:51:54 End recording: 28/02/14 11:11:55

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

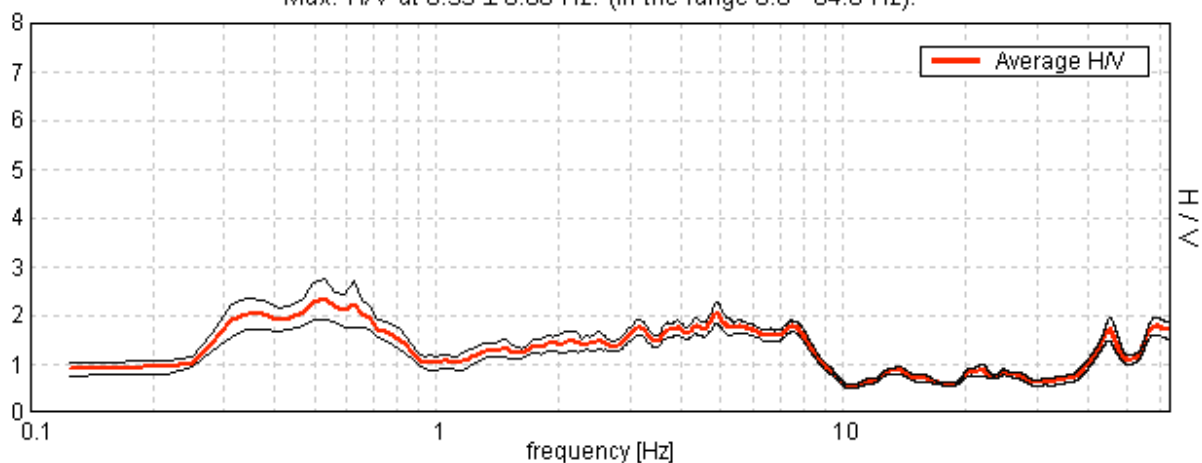
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

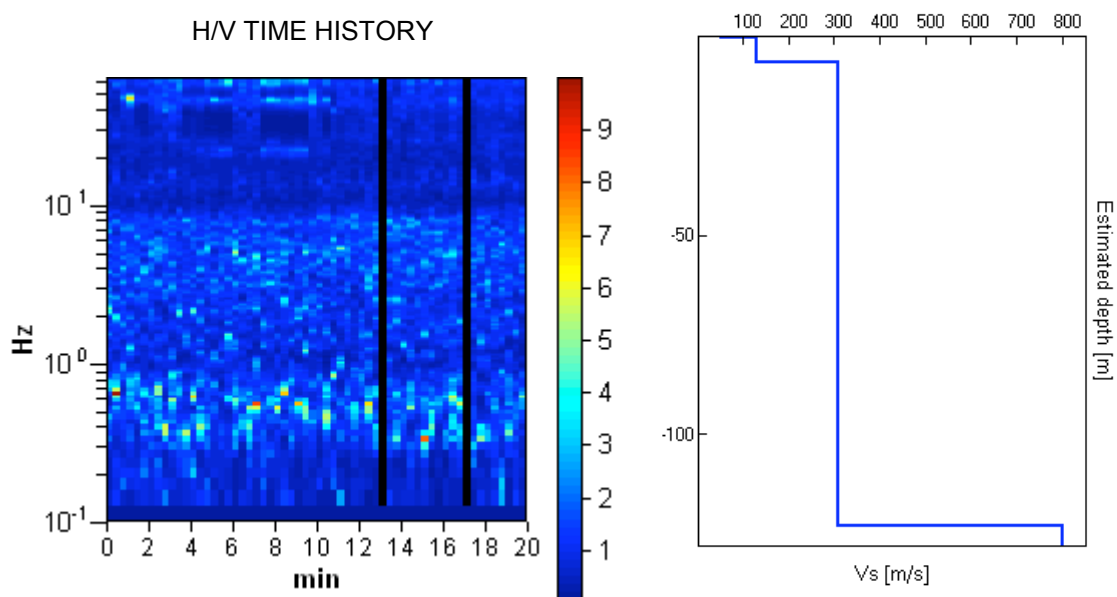
Smoothing: 5%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

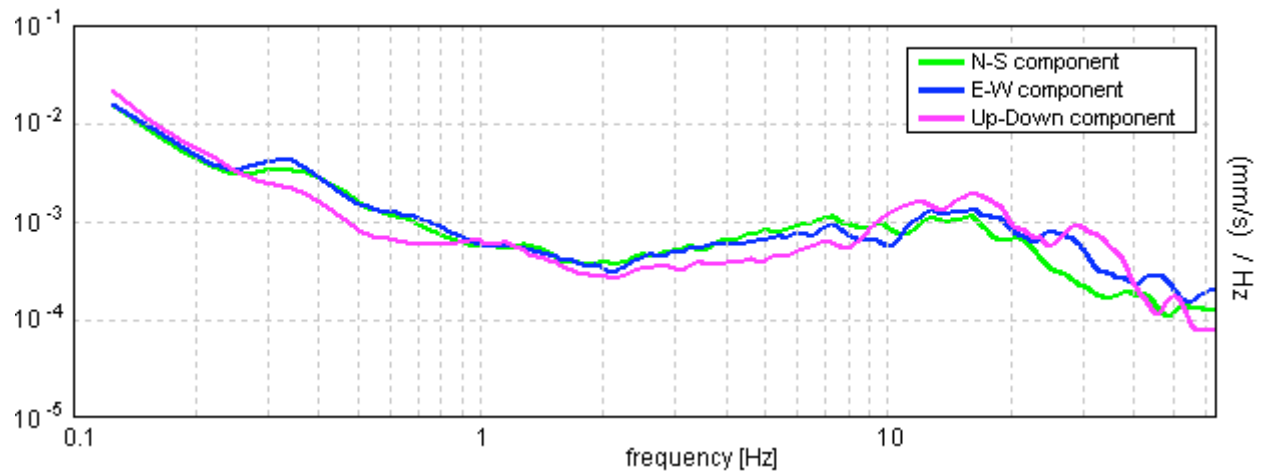
Max. H/V at 0.53 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



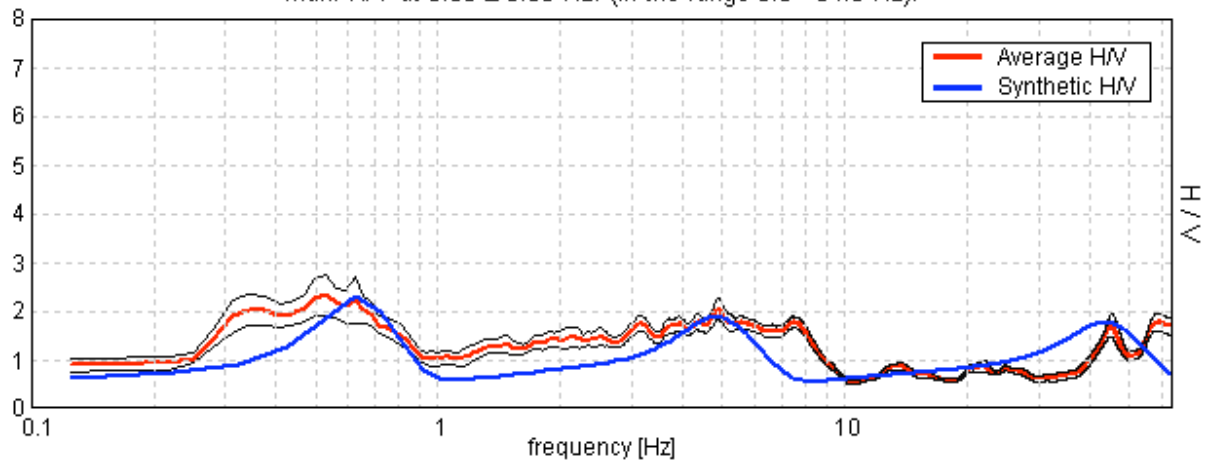
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.53 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).Depth at the bottom of the layer
[m]

0.30
6.59
122.97
inf.

Thickness [m]

0.30
6.29
116.38
inf.

Vs [m/s]

54
130
310
800

Vs(1.2-31.2)=248m/s

Max. H/V at 0.53 ± 0.06 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.53 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$616.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 26 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.32 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05738 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03048 < 0.07969$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2053 < 2.0$	OK	

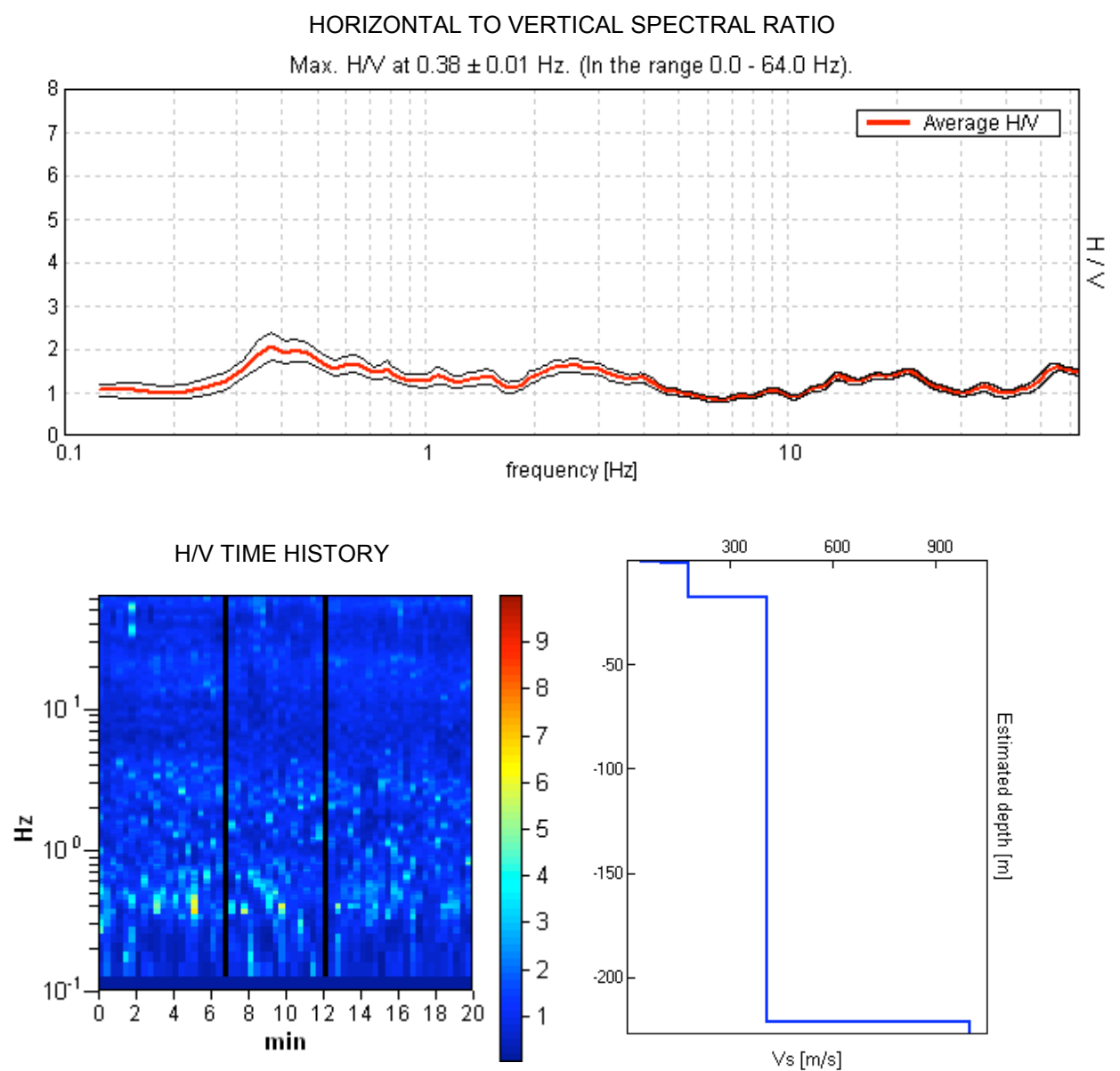
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

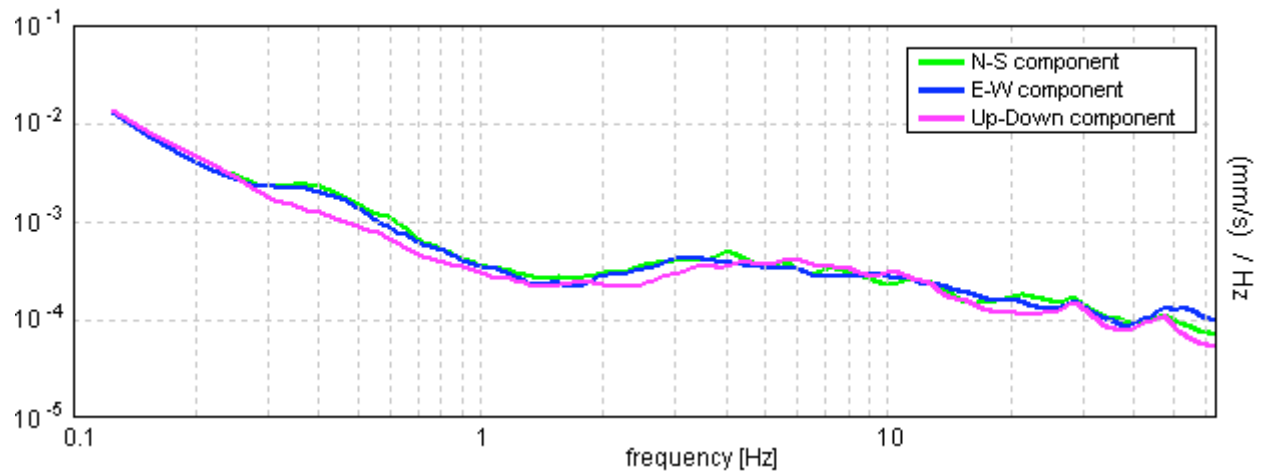
S2 Scuola "Fontes Episcopi" Aragona

Start recording: 08/11/12 09:23:04 End recording: 08/11/12 09:43:05
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)
 Sampling frequency: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing window: Triangular window
 Smoothing: 8%

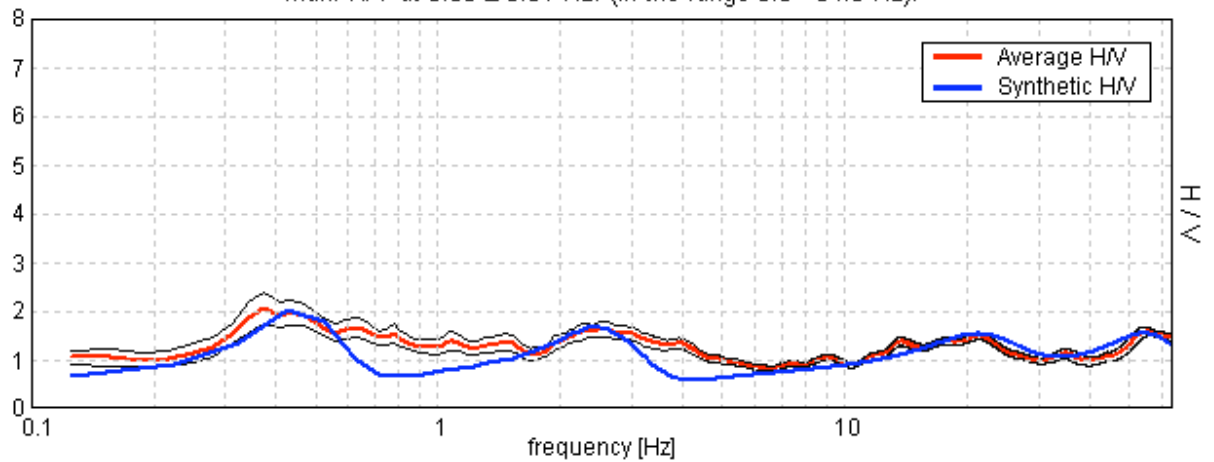


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.38 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer
[m]

0.19
1.12
17.58
221.73
inf.

Thickness [m]

0.19
0.93
16.46
204.15
inf.

Vs [m/s]

42
98
178
408
1000

Vs(1.0-31.0)=237m/s

Max. H/V at 0.38 ± 0.01 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.38 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$435.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 19 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		OK	
$A_0 > 2$	$2.06 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01766 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00662 < 0.075$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1638 < 2.5$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

S3 Scuola "Fontes Episcopi" Aragona

Start recording: 21/11/13 17:00:33 End recording: 21/11/13 17:20:34

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

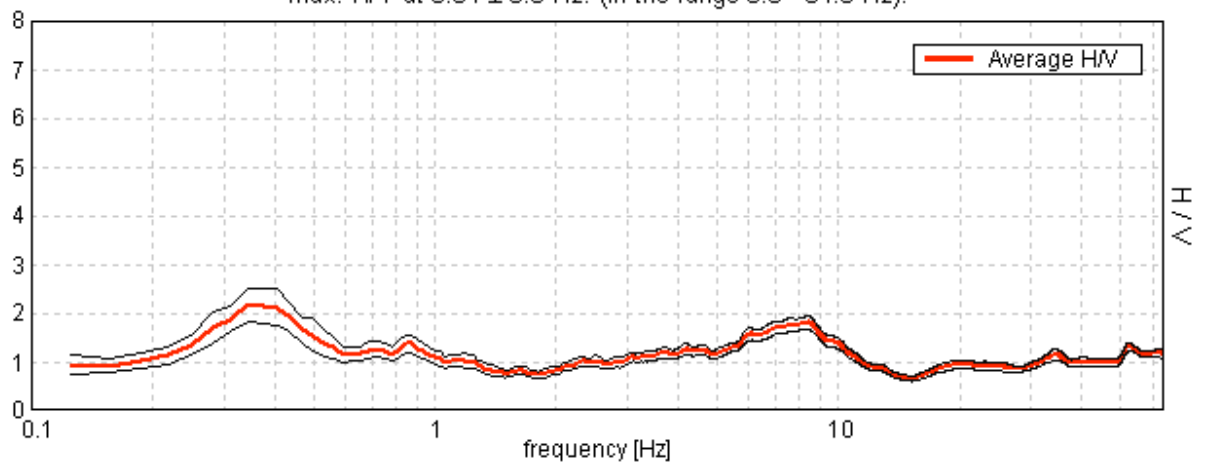
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

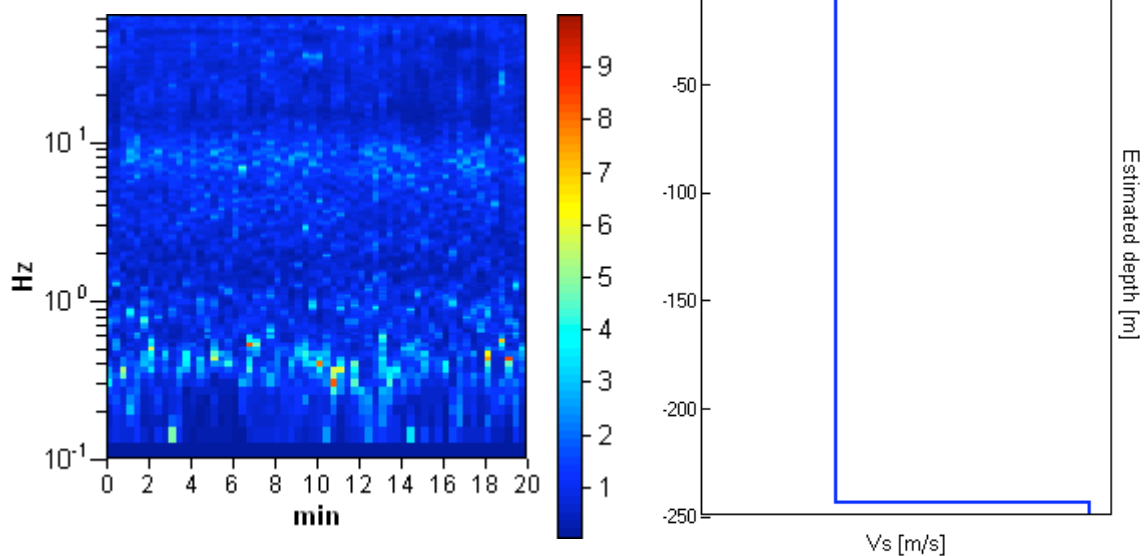
Smoothing: 5%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

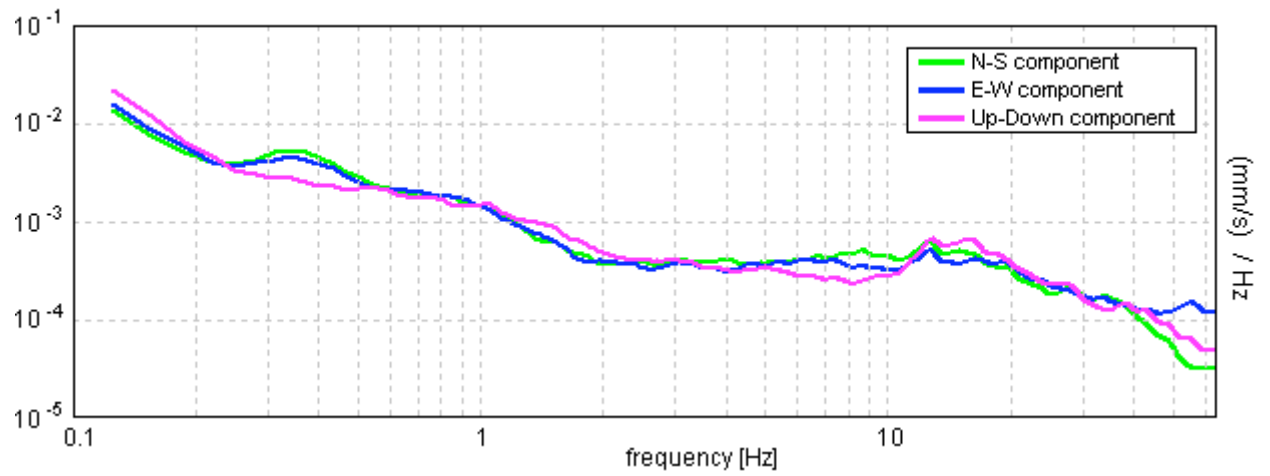
Max. H/V at 0.34 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



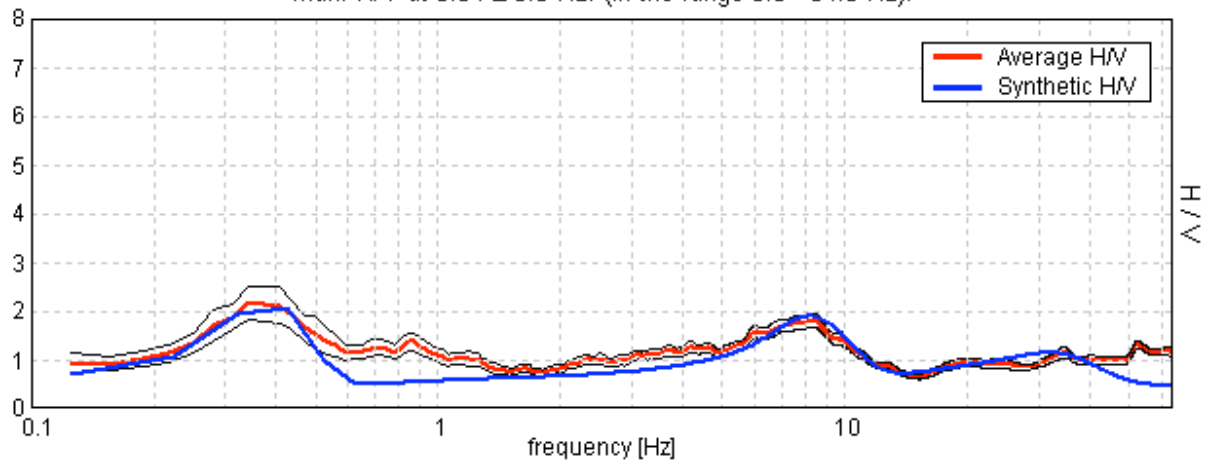
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.34 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).Depth at the bottom of the layer
[m]

0.60
4.95
243.42
inf.

Thickness [m]

0.60
4.35
238.47
inf.

Vs [m/s]

84
165
370
1000

Vs(0.4-30.4)=308m/s

Max. H/V at 0.34 ± 0.0 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$412.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 18 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.16 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00711 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00244 < 0.06875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1639 < 2.5$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Classificazione litotecnica.

Individuazione unità litologiche

Le varie unità geologiche sono state correlate , secondo quanto prescritto dalla letteratura tecnica in materia.

Stabiliti i diversi litotipi, si è proceduto all'attribuzione della classe geotecnica di appartenenza, in base a tali valutazioni, dalle caratteristiche geomeccaniche ottenute in laboratorio e ad esperienze personali maturate sul campo, sono state redatte delle schede per ogni elemento litotecnico riscontrato.

Classi Geotecniche.

La prima classe considerata è quella dei "***Terreni Sciolti (a)***", il cui comportamento meccanico può essere schematizzato secondo i principi fondamentali della Meccanica delle Terre. Nell'ambito di tale classe si individuano due sottoclassi, quella dei "***Terreni Incoerenti (a1)***" e quella dei "***Terreni Coesivi (a2)***", in genere rappresentati da depositi alluvionali.

Nella seconda classe quella dei "***Terreni Consistenti (b)***", si collocano in genere i materiali argillosi argillo marnosi, marnosi ed i terreni granulari superficiali dotati di una debole cementazione.

Segue la classe degli "***Ammassi Rocciosi (c)***" nella quale vengono raggruppate le rocce dotate di elevata resistenza, che, tuttavia, sono generalmente interessate da sistemi di discontinuità, che ne influenzano il comportamento fisico-meccanico.

In ultimo la classe "***Ammassi disomogenei (d)***", in essa si collocano tutte le deposizioni caotiche costituite da vari materiali a varia natura e dimensione.

Classe geotecnica: **b** Terreni consistenti

Sigla carta geologica litotipo: **At “Complesso Argilloso Tortoniano”**

Età: (Miocene inf.)

Descrizione Unità litotecnica b :

Argille Tortoniane:

Sono quei termini formati prima che il Mare Mediterraneo si trasformasse in un bacino evaporitico. Rappresentati da un complesso argilloso, si presentano con notevoli spessori costituiti da frammenti marnosi ed argillosi per lo più di pochi millimetri, fra cui predominano frammenti di marne grigio-chiare con microfauna Tortoniana, immersi in una pasta argillosa grigio-scura proveniente in prevalenza dalle Argille grigio-brune a microfauna Oligocenica di tipo Batiale Abissale. Trattasi di depositi terrigeni originatisi in ambiente di scarpata continentale passanti talora a colata gravitativa inglobanti olistostromi di varia natura, età e dimensioni.

Dette argille, costituiscono il complesso plastico che fa` da base alla successiva serie evaporitica della Gessoso-Solfifera.

Spessore: superiore a 200 mt.

Età: Tortoniano

In superficie, presentano locali fenomeni di erosione e instabilità.

Idrogeologicamente nel complesso risultano con caratteristiche di permeabilità scarse o nulle.

La circolazione idrica più appariscente è legata al periodo stagionale entro la coltre alterata superficiale.

Dal punto di vista del comportamento meccanico tale litotipo può essere catalogato, alla classe geotecnica dei **Terreni Consistenti [b]**.

Indagini geotecniche effettuate.

-Prova penetrometrica

Allo scopo di individuare gli spessori dei terreni di coperture e quelli di substrato ed avere una cognizione sui parametri geomeccanici delle terre, si sono eseguite delle prove penetrometriche dinamiche sui luoghi di studio, messe in correlazione tramite il metodo dell'interpolazione lineare con i risultati ottenuti da terebrazioni meccaniche eseguite in area limitrofa su termini della stessa formazione litologica.

Il principio generale delle prove penetrometriche si basa nel misurare la resistenza alla penetrazione, incontrata da un utensile di dimensioni unificate, infisso nel terreno.

Il sistema è dotato di un maglio portato in elevazione da un meccanismo provvisto di un apposito sistema di sganciamento.

La lettura dei colpi viene effettuata ogni 10 cm. di affondamento della punta portata in profondità da una batteria di aste e successivamente rappresentato in un diagramma continuo di penetrazione che fornisce un profilo di resistenza espresso in numero di colpi per 10 cm. di avanzamento della punta; per mezzo dell'andamento della misura di colpi N. con la profondità.

Per mezzo di grafici empirici è possibile risalire dal numero di colpi piede alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni in esame.

Avendo una giusta visione geologica della zona interessata, è possibile individuare, tramite le prove penetrometriche, la costituzione litologica per omogeneità geomeccanica degli strati costituenti il sottosuolo.

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche si riportano in allegato.

Conclusioni.

La presente relazione è di supporto alle verifiche da effettuare inerente l'adeguamento alla normativa sismica della Scuola "Fontes Episcopi" di Aragona.

Dalle risultanze riportate nella presente relazione, si può asserire che :

- l'area in studio non è soggetta a vincoli P.A.I;
- si raggiungono soddisfacenti condizioni di stabilità dei versanti, assenza di condizioni di precarietà significative;
- si riscontrano discrete caratteristiche sismiche e stratigrafico geomeccaniche dei terreni.

L'area di sedime, ove insiste l'edificio scolastico, dalle analisi effettuate e dalla stratigrafia evidenziata, è caratterizzata dalla presenza di termini litologici appartenenti alle argille tortoniane, di buona consistenza.

La fondazione esistente, dovrà essere verificata in relazione alla stratigrafia evidenziata ed alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, i cui risultati si riassumono nella *Tavola n.1*, nonchè in rapporto dell'effettivo carico della struttura esistente.

In ottemperanza alla normativa sismica, la fondazione esistente dovrà essere verificata in maniera tale che le condizioni di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU), debbano verificare la condizione che il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, sia \leq del valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

$$Ed \leq Rd$$

tutto ciò mantenendo tra i due valori una sufficiente fascia di sicurezza atta assorbire le incertezze e le incapacità valutative derivanti dalle metodologie utilizzate o dalle approssimazioni insite nelle misure dei parametri geotecnici.


Per i calcoli di verifica, si dovrà tenere conto della caratterizzazione sismica del sito il cui parametro V_{s30} , ricavato dalle indagini sismiche effettuate, assume una Categoria di Suolo di tipo “C” in area sismica classificata come Zona 2.

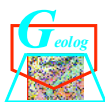
Data la realizzazione dell’edificio scolastico a suo tempo realizzato in area sottomessa rispetto il naturale piano di campagna, si evidenzia la presenza di infiltrazioni di acque in corrispondenza del piano seminterrato.

Alla luce di ciò, è consigliabile prevedere la sistemazione idraulica in sottosuolo delle acque percolanti, tramite la realizzazione di opportune opere di drenaggio che raccolgano le acque e le portino al di fuori delle strutture murarie esistenti.

Agrigento li

IL GEOLOGO
Ordine Reg.le dei Geologi di Sicilia
Dott. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 684 dell'Albo





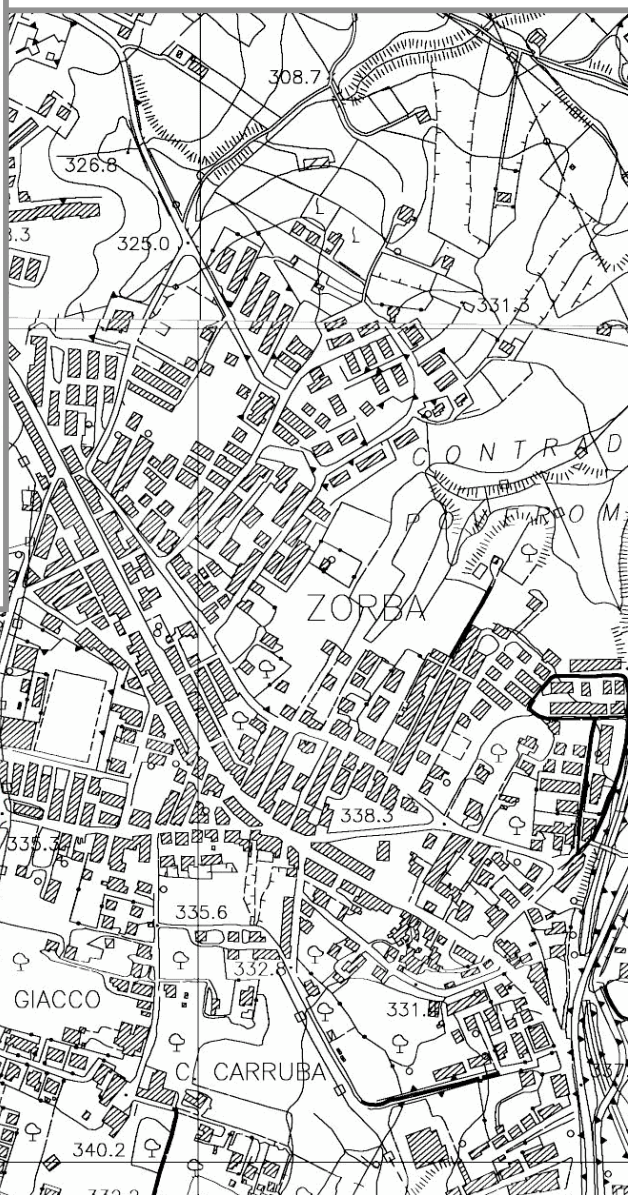
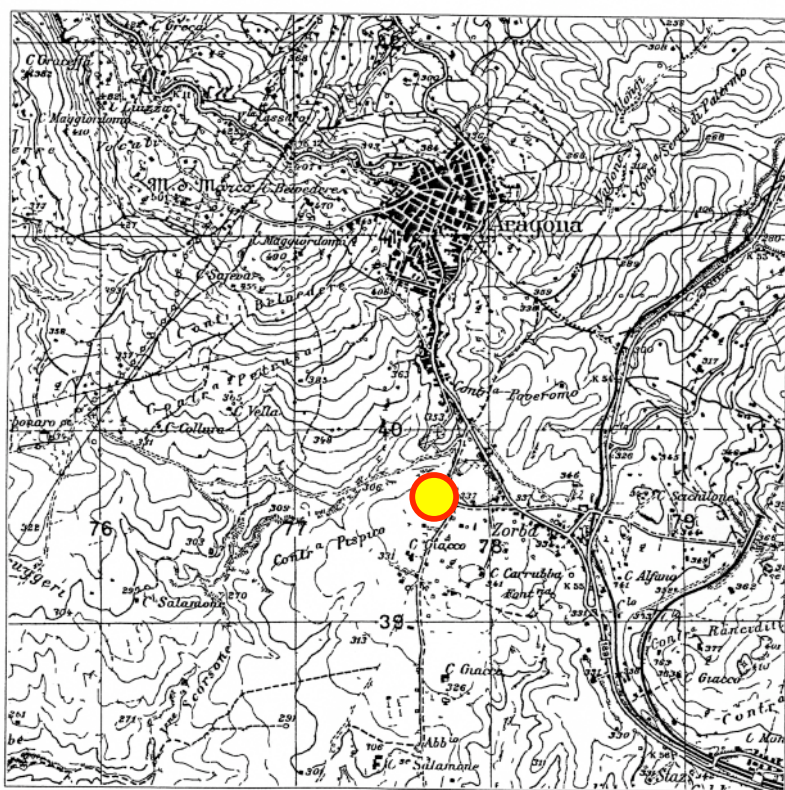
Studio di Geologia e Geotecnica Dott. Giuseppe Avenia Geologo
Via Dante, 206 Tel. 0922/27367-608364 Agrigento

COROGRAFIA



UBICAZIONE AREA DI STUDIO

STUDIO GEOLOGICO-ESECUTIVO





Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(ART.1 D.L. 19098 convertito con modifiche con la L.207/96 e ss. mm. II.)

Bacino Idrografico del Fiume Platani (063)



CARTA DEI DISSESTI N° 66

COMUNI DI:
ARAGONA FAVARA

Scala 1:10.000

LEGENDA

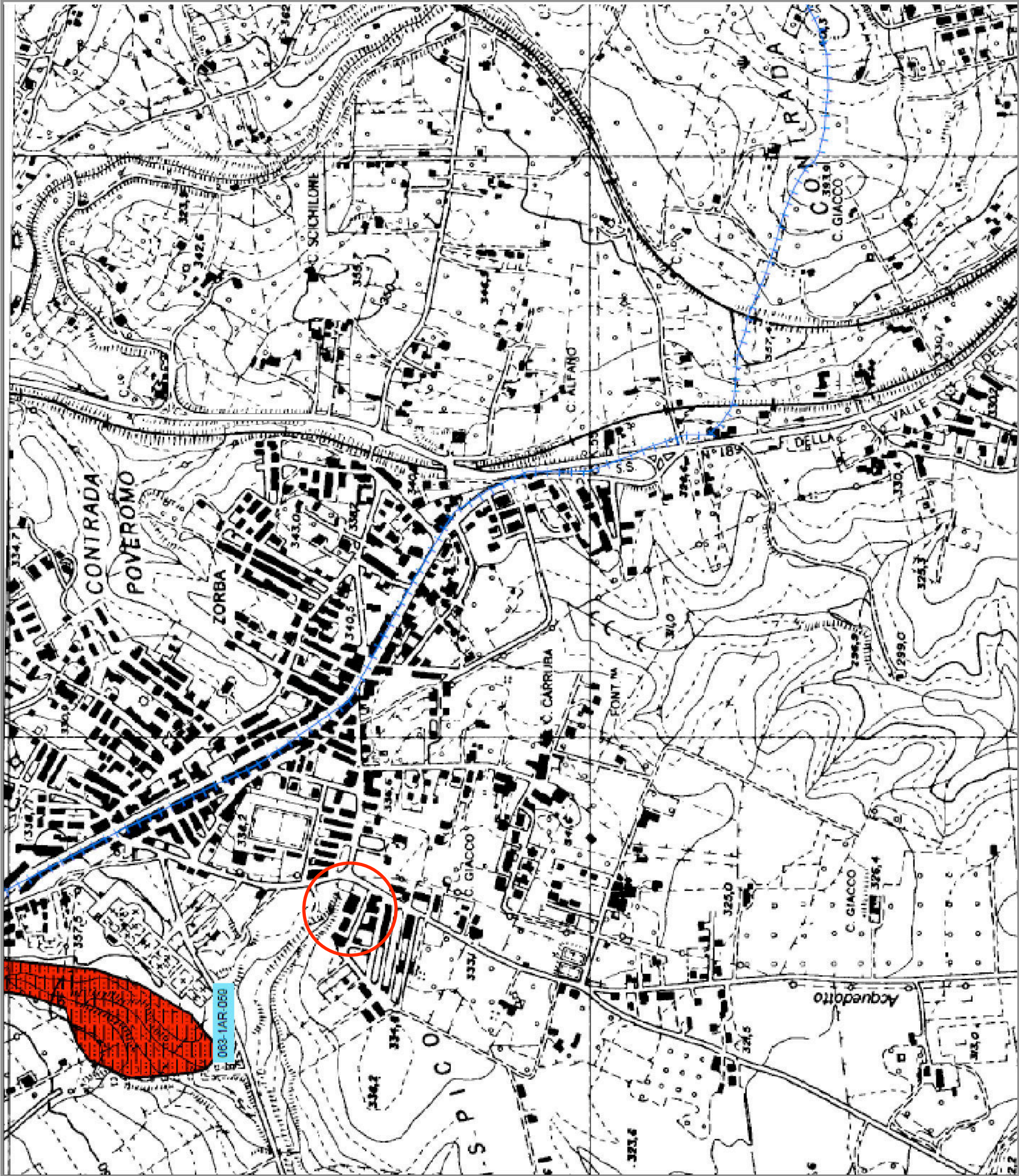
TIPOLOGIA

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti conseguenti ad erosione accelerata
- Sito di attenzione

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

Area fuori Vincolo



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) (ART.1 D.L. 180/98 convertito con modifiche con la L.267/98 e ss. mm. II.)

Bacino Idrografico del Fiume
Platani (063)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL
RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 66
COMUNI DI:
ARAGONA-FAVARA
Scala 1:10.000

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

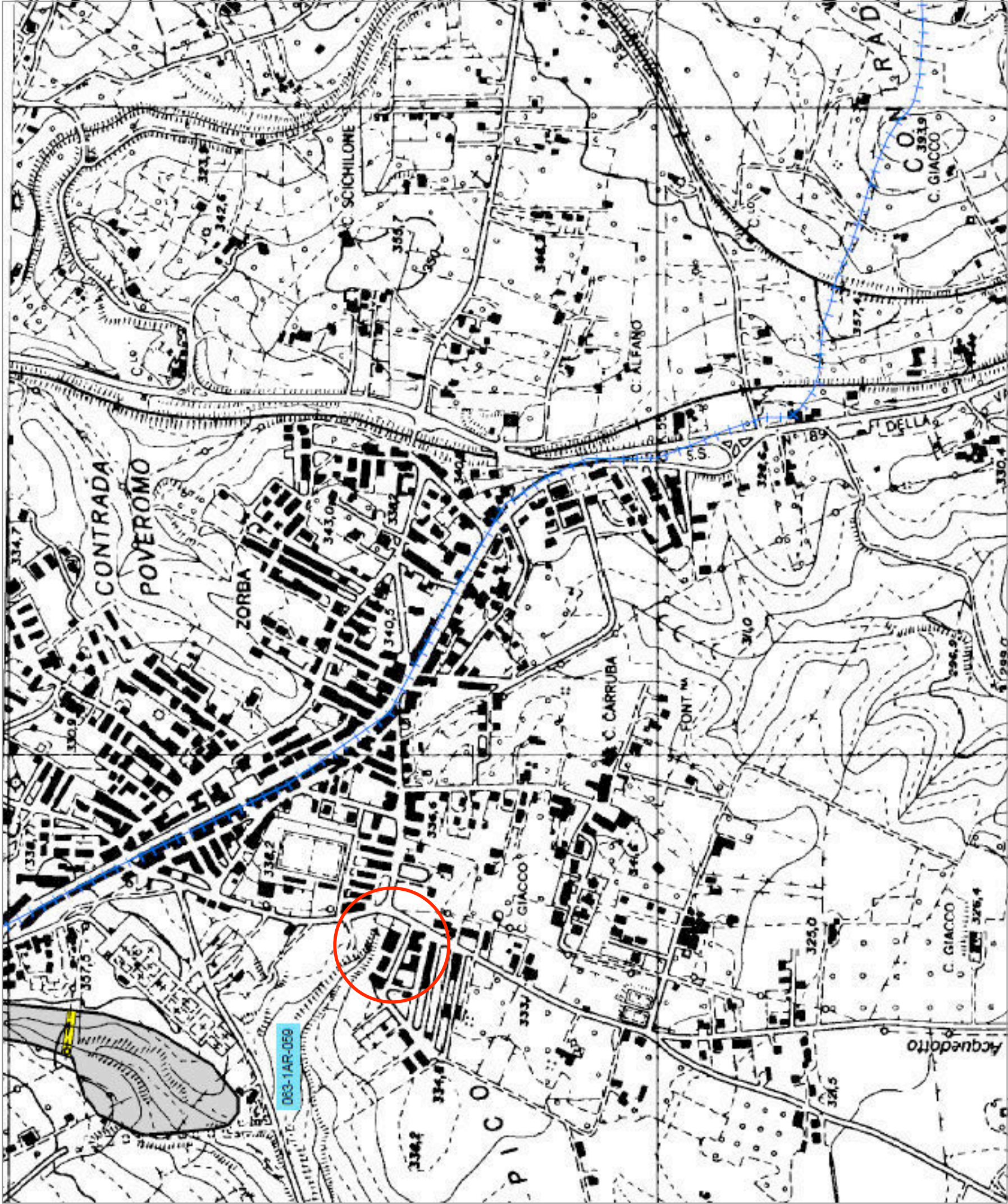
- P0 basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato
- Sito d'attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

- R1 moderato
- R2 medio
- R3 elevato
- R4 molto elevato



Area fuori Vincolo



CARTA GEOLOGICA

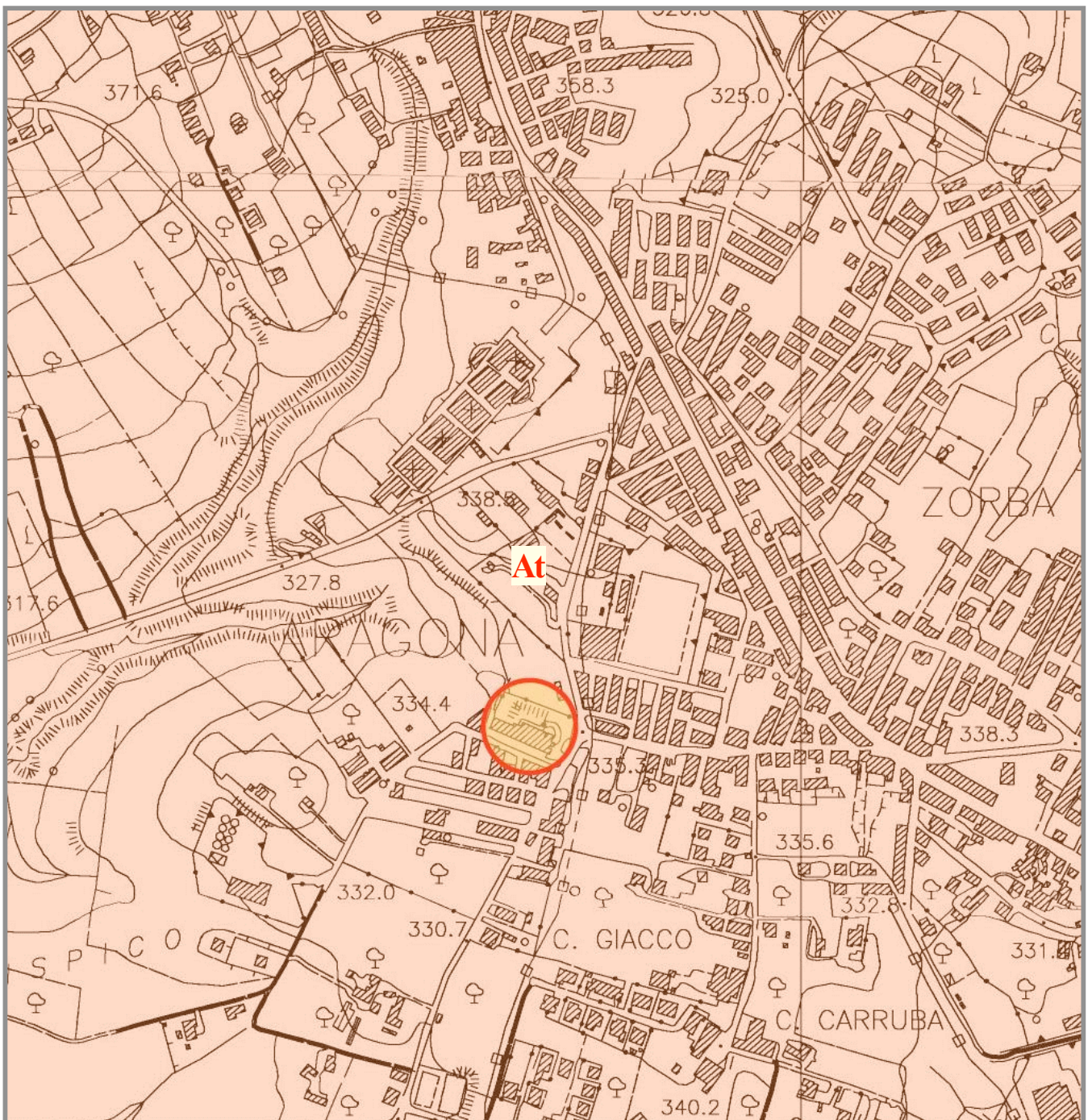
Legenda



Complesso Argilloso Tortoniano



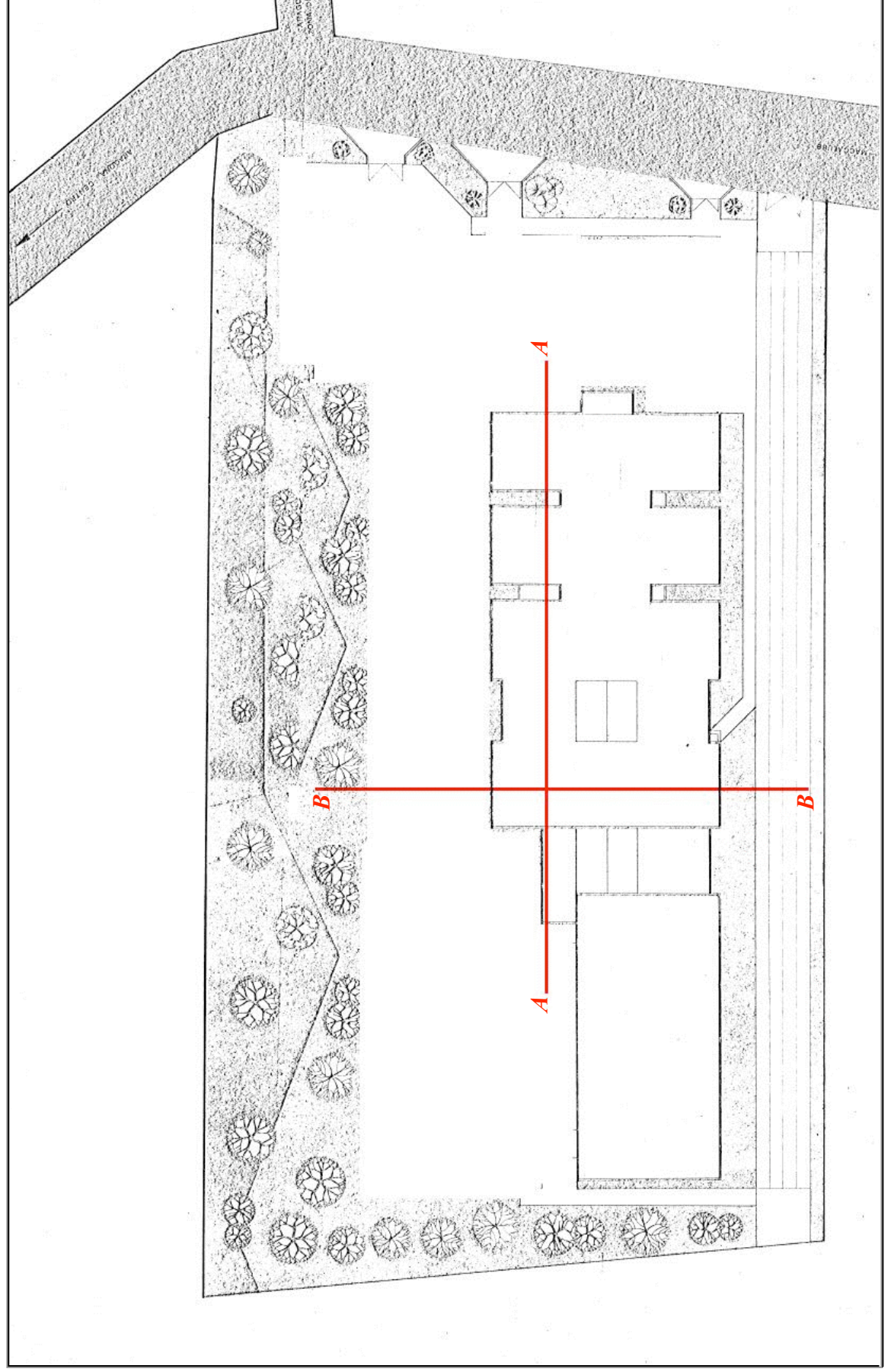
Area in studio



PLANIMETRIA

Legenda

A A Traccia profili geologici



PROFILO GEOLOGICO A-A

Legenda



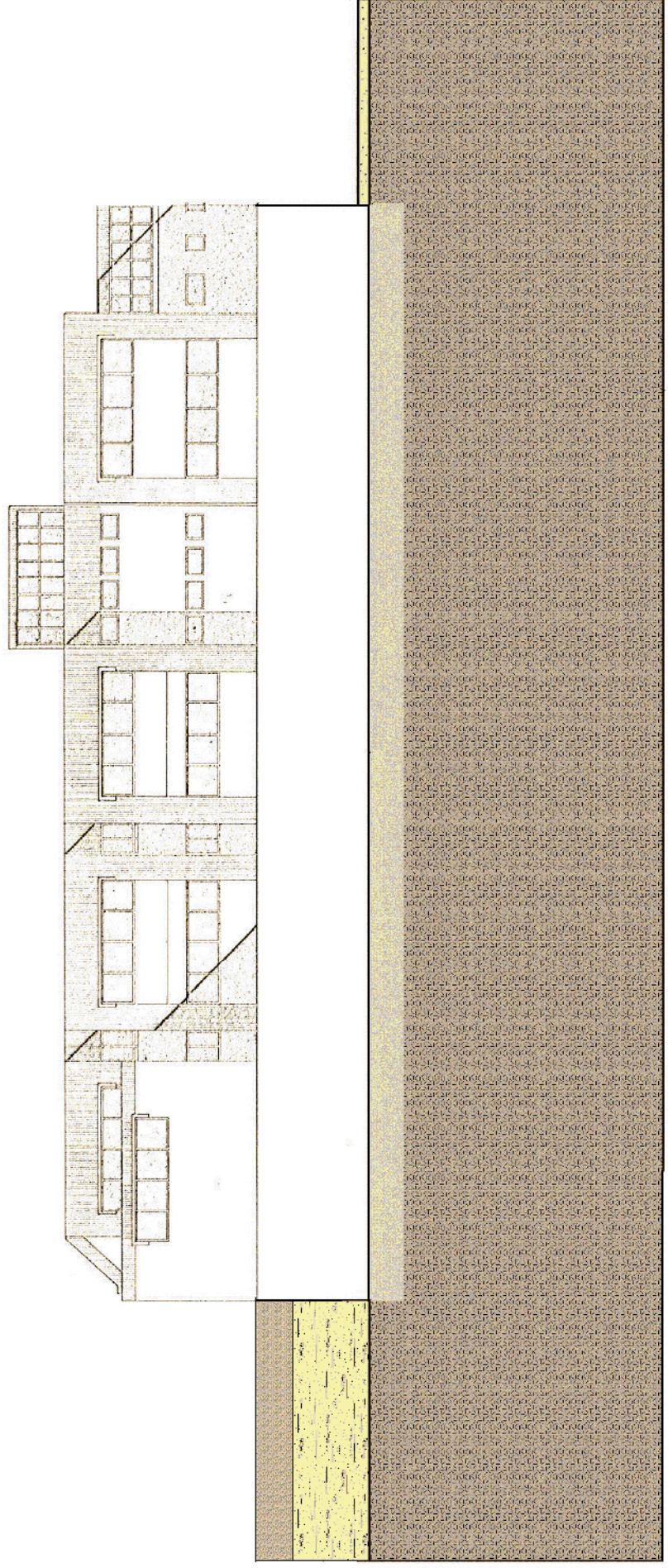
Copertura detritica



Argille alterate



Argille grigio-brune



PROFILO GEOLOGICO B-B

Legenda



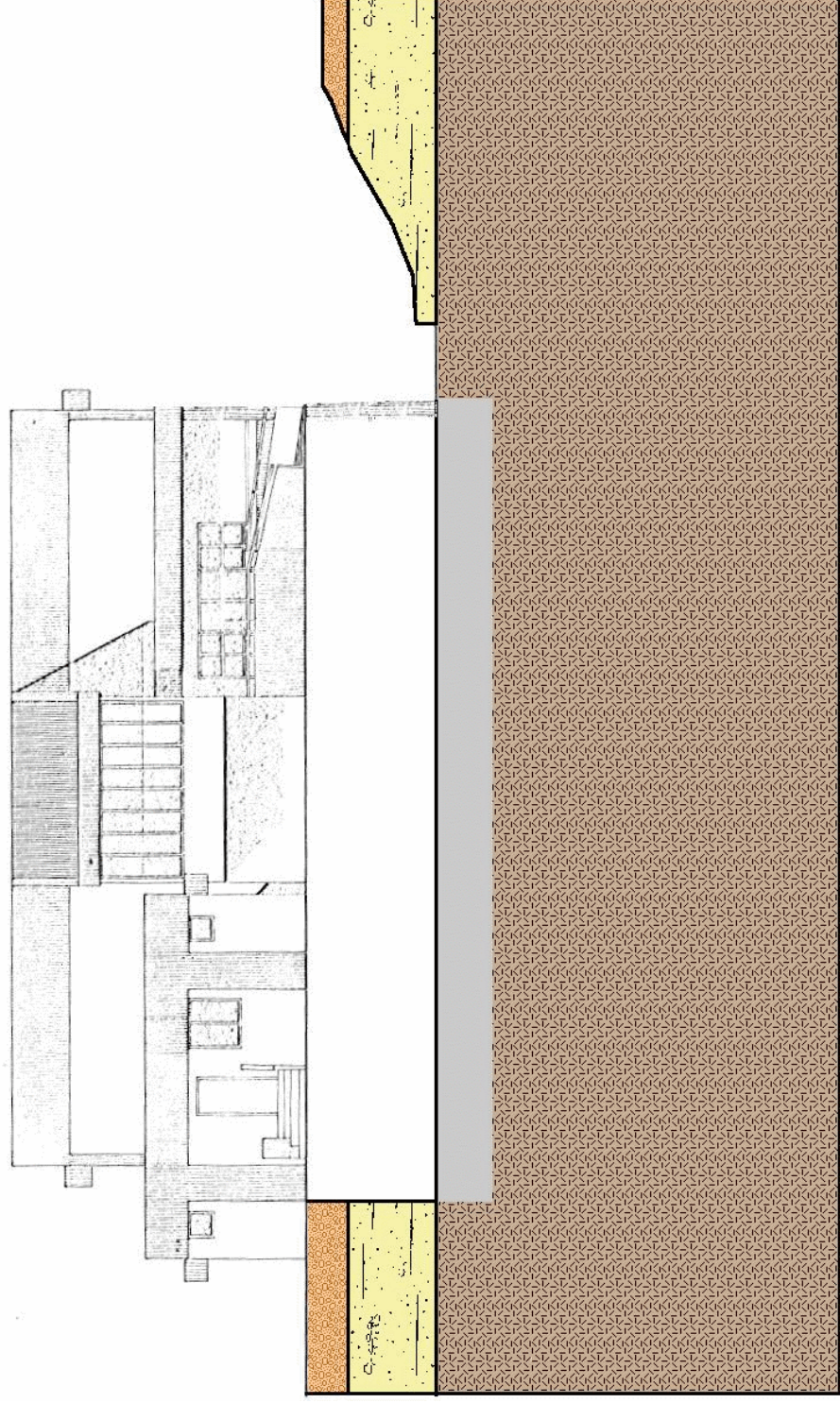
Copertura detritica



Argille alterate

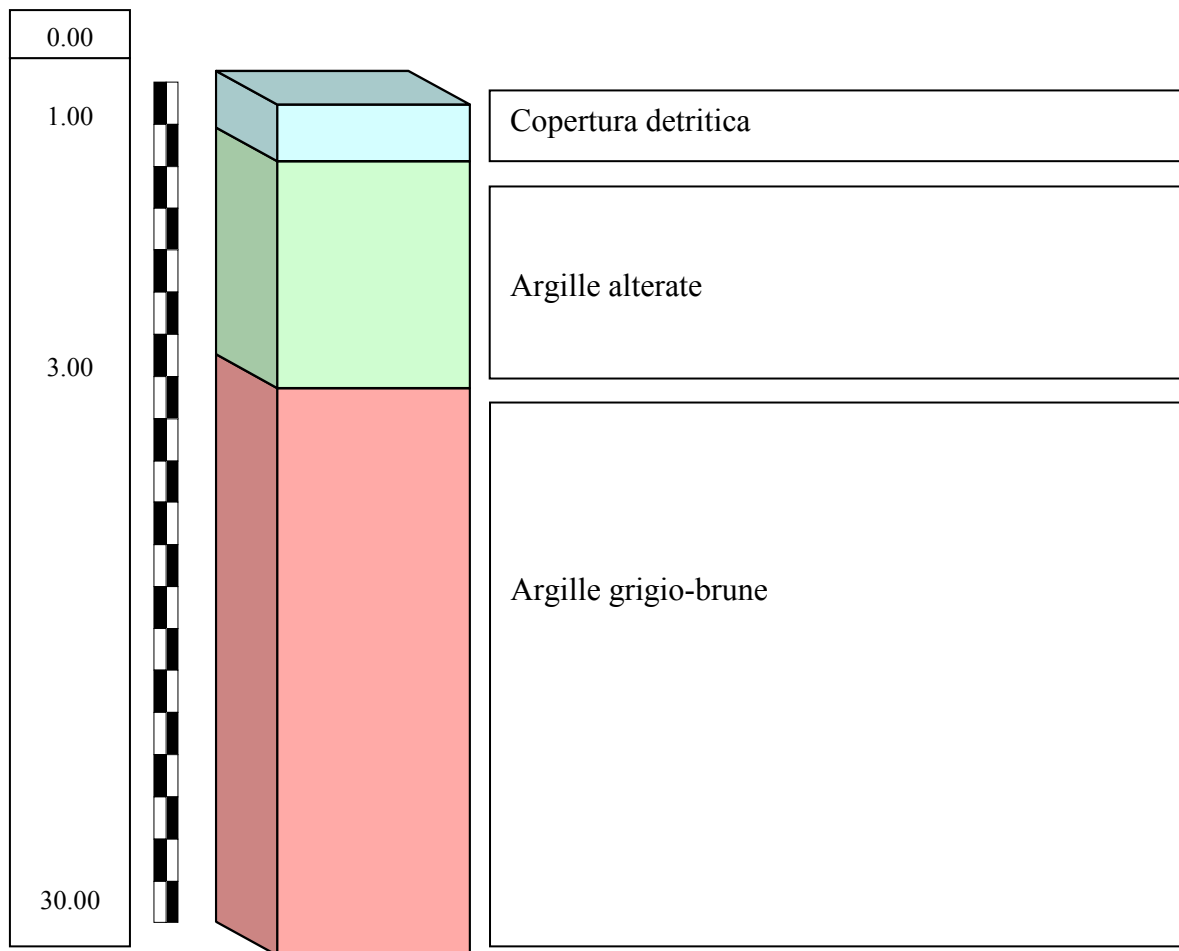


Argille grigio-brune



COLONNA STRATIGRAFICA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

profondità



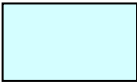
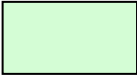

<i>Simbologia cromatica</i>	<i>Profondità ml.</i>	<i>Litologia</i>	<i>Parametri Geotecnici</i>			
			y T/mc	f' Gradi	c' Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²
	Da 0.00 a 1.00	Copertura detritica	1.60	10	0	0
	Da 1.00 a 3.00	Argille alterate	1.80	14	0.1	0.6
	Da 3.00 in poi	Argille grigio-brune	1.90	20	0.2	1.0

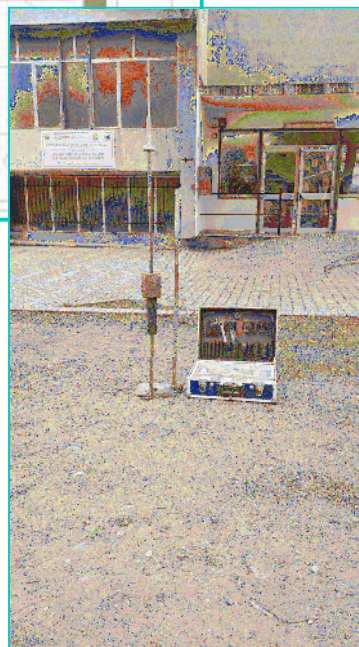
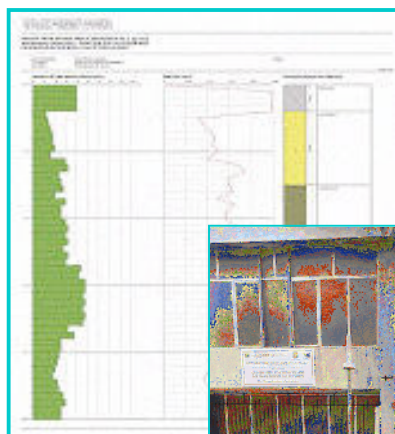
TAVOLA N.1

Studio di Geologia e Geotecnica
Dott. Geol. Giuseppe Avenia

Consulente nello Studio di Impatto Ambientale

via Dante, 206 Agrigento
Tel. 0922 - 27367-603401

GeoLog



PROVE PENETROMETRICHE

IL GEOLOGO

Ordine Reg.le dei Geologi di Sicilia
Dott. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 664 dell'Albo

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Amministrazione Comunale di Aragona
Cantiere: C/da Fontes Episcopi
Località: Aragona

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	10Kg
Altezza di caduta libera	0.58 m
Peso sistema di battuta	17Kg
Diametro punta conica	19.99 mm
Area di base punta	3.14 cm ²
Lunghezza delle aste	0.8 m
Peso aste a metro	2Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60°

IL GEOLOGO

Ordine Reg. la dei Geologi di Sicilia
Dott. Geol. GIUSEPPE AVENIA
N° 664 dell'Albo

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING)

DPSH – DPM (... sept ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M <i>(kg)</i>	prof. max indagine battente <i>(m)</i>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt 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 Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (Liao \text{ e } Whitman 1986)$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

$ER/60$ rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_R parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (– s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

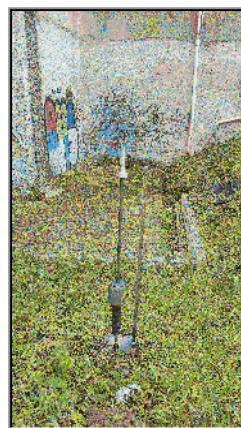
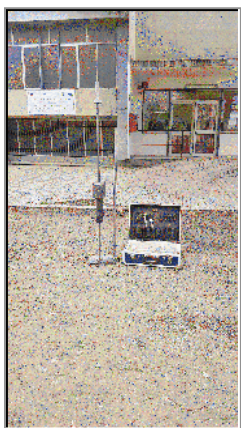
Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

PLANIMETRIA INDAGINE



Prova penetrometrica 1 Prova penetrometrica 2 Prova penetrometrica 3 Prova penetrometrica 4 Prova penetrometrica 5

Legenda

① *Prove penetrometriche*



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Prova eseguita in data 11/02/2008 09:00:20

Profondità prova 3.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0.10	1	0.857	5.41	6.31
0.20	2	0.855	10.79	12.63
0.30	4	0.853	21.54	25.26
0.40	5	0.851	26.86	31.57
0.50	7	0.849	37.52	44.20
0.60	8	0.847	42.79	50.52
0.70	8	0.845	42.69	50.52
0.80	7	0.843	37.28	44.20
0.90	6	0.842	29.83	35.44
1.00	8	0.840	39.68	47.26
1.10	12	0.838	59.40	70.89
1.20	15	0.786	69.67	88.61
1.30	14	0.785	64.88	82.70
1.40	14	0.783	64.74	82.70
1.50	15	0.781	69.22	88.61
1.60	16	0.780	73.68	94.51
1.70	14	0.778	60.44	77.69
1.80	14	0.776	60.31	77.69
1.90	15	0.775	64.49	83.24
2.00	14	0.773	60.07	77.69
2.10	16	0.772	68.51	88.79
2.20	15	0.770	64.10	83.24
2.30	14	0.769	59.71	77.69
2.40	14	0.767	59.60	77.69
2.50	15	0.766	60.09	78.48
2.60	16	0.764	63.98	83.71
2.70	17	0.763	67.85	88.94
2.80	15	0.761	59.76	78.48
2.90	16	0.760	63.62	83.71
3.00	21	0.709	77.86	109.87
3.10	22	0.707	81.42	115.10
3.20	24	0.706	88.65	125.57

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille alterate	14.79	1.00-2.90	Terzaghi-Peck	0.61

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille alterate	14.79	1.00-2.90	Robertson (1983)	29.58

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille alterate	14.79	1.00-2.90	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) Argille alterate	14.79	1.00-2.90	Meyerhof	1.82

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Copertura detritica	5.6	0.00-1.00	5.6	Meyerhof 1957	56.6

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Copertura detritica	5.6	0.00-1.00	5.6	Meyerhof (1956)	10.6

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Copertura detritica	5.6	0.00-1.00	5.6	Classificazione A.G.I.	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Copertura detritica	5.6	0.00-1.00	5.6	Meyerhof ed altri	1.62

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
Strato (1) Copertura detritica	5.6	0.00-1.00	5.6	Navfac 1971-1982	1.13

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)
 Prova eseguita in data 11/02/2008 09:00:20
 Profondità prova 2.30 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	5.41	6.31
0.20	2	0.855	10.79	12.63
0.30	4	0.853	21.54	25.26
0.40	4	0.851	21.49	25.26
0.50	5	0.849	26.80	31.57
0.60	6	0.847	32.09	37.89
0.70	5	0.845	26.68	31.57
0.80	7	0.843	37.28	44.20
0.90	5	0.842	24.86	29.54
1.00	7	0.840	34.72	41.35
1.10	8	0.838	39.60	47.26
1.20	12	0.836	59.28	70.89
1.30	14	0.785	64.88	82.70
1.40	14	0.783	64.74	82.70
1.50	15	0.781	69.22	88.61
1.60	16	0.780	73.68	94.51
1.70	15	0.778	64.75	83.24
1.80	14	0.776	60.31	77.69
1.90	12	0.825	54.92	66.59
2.00	14	0.773	60.07	77.69
2.10	15	0.772	64.23	83.24
2.20	13	0.770	55.56	72.14
2.30	17	0.769	72.51	94.34

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (2) Argille alterate	14.25	1.10-2.30	Terzaghi-Peck	0.59

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (2) Argille alterate	14.25	1.10-2.30	Robertson (1983)	28.50

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille alterate	14.25	1.10-2.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) Argille alterate	14.25	1.10-2.30	Meyerhof	1.80

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Copertura Detritica	4.91	0.00-1.10	4.91	Meyerhof 1957	52.77

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Copertura Detritica	4.91	0.00-1.10	4.91	Meyerhof (1956)	10.2

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Copertura Detritica	4.91	0.00-1.10	4.91	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) Copertura Detritica	4.91	0.00-1.10	4.91	Meyerhof ed altri	1.60

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K_0
Strato (1) Copertura Detritica	4.91	0.00-1.10	4.91	Navfac 1971-1982	0.97

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)
 Prova eseguita in data 11/02/2008 09:00:20
 Profondità prova 2.40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	5.41	6.31
0.20	3	0.855	16.19	18.94
0.30	3	0.853	16.15	18.94
0.40	4	0.851	21.49	25.26
0.50	5	0.849	26.80	31.57
0.60	8	0.847	42.79	50.52
0.70	8	0.845	42.69	50.52
0.80	6	0.843	31.95	37.89
0.90	7	0.842	34.80	41.35
1.00	10	0.840	49.61	59.07

1.10	11	0.838	54.45	64.98
1.20	12	0.836	59.28	70.89
1.30	13	0.785	60.25	76.79
1.40	15	0.783	69.37	88.61
1.50	14	0.781	64.61	82.70
1.60	16	0.780	73.68	94.51
1.70	15	0.778	64.75	83.24
1.80	14	0.776	60.31	77.69
1.90	17	0.775	73.09	94.34
2.00	18	0.773	77.23	99.88
2.10	14	0.772	59.95	77.69
2.20	15	0.770	64.10	83.24
2.30	14	0.769	59.71	77.69
2.40	18	0.767	76.63	99.88

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (2) Argille alterate	14.4	0.90-2.40	Terzaghi-Peck	0.60

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (2) Argille alterate	14.4	0.90-2.40	Robertson (1983)	28.80

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille alterate	14.4	0.90-2.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) Argille alterate	14.4	0.90-2.40	Meyerhof	1.81

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Copertura detritica	5	0.00-0.90	5	Meyerhof 1957	53.74

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Copertura detritica	5	0.00-0.90	5	Meyerhof (1956)	10.3

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Copertura detritica	5	0.00-0.90	5	Classificazione A.G.I.	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) Copertura detritica	5	0.00-0.90	5	Meyerhof ed altri	1.61

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K_0
Strato (1) Copertura detritica	5	0.00-0.90	5	Navfac 1971-1982	0.99

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)
 Prova eseguita in data 11/02/2008 09:00:20
 Profondità prova 3.00 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)
0.10	2	0.857	10.82	12.63
0.20	8	0.855	43.17	50.52
0.30	9	0.853	48.46	56.83
0.40	10	0.851	53.72	63.15
0.50	9	0.849	48.24	56.83
0.60	10	0.847	53.48	63.15
0.70	18	0.795	90.38	113.66
0.80	17	0.793	85.16	107.35
0.90	18	0.792	84.16	106.33
1.00	16	0.790	74.64	94.51
1.10	17	0.788	79.13	100.42
1.20	19	0.786	88.25	112.24
1.30	21	0.735	91.12	124.05
1.40	21	0.733	90.91	124.05
1.50	20	0.781	92.29	118.14
1.60	20	0.780	92.10	118.14
1.70	21	0.728	84.83	116.53
1.80	22	0.726	88.67	122.08
1.90	22	0.725	88.48	122.08
2.00	23	0.723	92.30	127.63
2.10	22	0.722	88.10	122.08
2.20	23	0.720	91.91	127.63
2.30	22	0.719	87.73	122.08
2.40	24	0.717	95.51	133.18
2.50	24	0.716	89.87	125.57
2.60	23	0.714	85.95	120.34
2.70	23	0.713	85.78	120.34
2.80	24	0.711	89.33	125.57
2.90	24	0.710	89.16	125.57
3.00	25	0.709	92.70	130.80

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille grigio brune	21.21	0.60-3.00	Terzaghi-Peck	1.00

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Argille grigio brune	21.21	0.60-3.00	Robertson (1983)	42.42

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille grigio brune	21.21	0.60-3.00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) Argille grigio brune	21.21	0.60-3.00	Meyerhof	1.90

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Argille alterate	8.0	0.00-0.60	Terzaghi-Peck	0.54

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argille alterate	8.0	0.00-0.60	Robertson (1983)	42.42

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argille alterate	8.0	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Argille alterate	8.0	0.00-0.60	Meyerhof	1.78

PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)
 Prova eseguita in data
 Profondità prova 2.80 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	5.41	6.31
0.20	6	0.855	32.38	37.89
0.30	8	0.853	43.07	50.52
0.40	9	0.851	48.35	56.83
0.50	11	0.849	58.96	69.46
0.60	17	0.797	85.56	107.35
0.70	18	0.795	90.38	113.66
0.80	18	0.793	90.17	113.66
0.90	19	0.792	88.84	112.24
1.00	17	0.790	79.31	100.42
1.10	18	0.788	83.79	106.33
1.20	20	0.786	92.89	118.14
1.30	20	0.785	92.69	118.14
1.40	21	0.733	90.91	124.05
1.50	21	0.731	90.71	124.05
1.60	22	0.730	94.81	129.96
1.70	23	0.728	92.91	127.63
1.80	23	0.726	92.70	127.63
1.90	24	0.725	96.52	133.18
2.00	24	0.723	96.31	133.18
2.10	23	0.722	92.10	127.63
2.20	23	0.720	91.91	127.63
2.30	24	0.719	95.71	133.18
2.40	22	0.717	87.55	122.08
2.50	23	0.716	86.12	120.34
2.60	23	0.714	85.95	120.34
2.70	24	0.713	89.51	125.57
2.80	26	0.711	96.78	136.03

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.5

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (2) Argille grigio brune	21.43	0.50-2.80	Terzaghi-Peck	1.10

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (2) Argille grigio brune	21.43	0.50-2.80	Robertson (1983)	42.86

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Argille grigio brune	21.43	0.50-2.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) Argille grigio brune	21.43	0.50-2.80	Meyerhof	2.10

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) Argille alterate	7	0.00-0.50	Terzaghi-Peck	0.55

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) Argille alterate	7	0.00-0.50	Robertson (1983)	42.86

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argille alterate	7	0.00-0.50	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

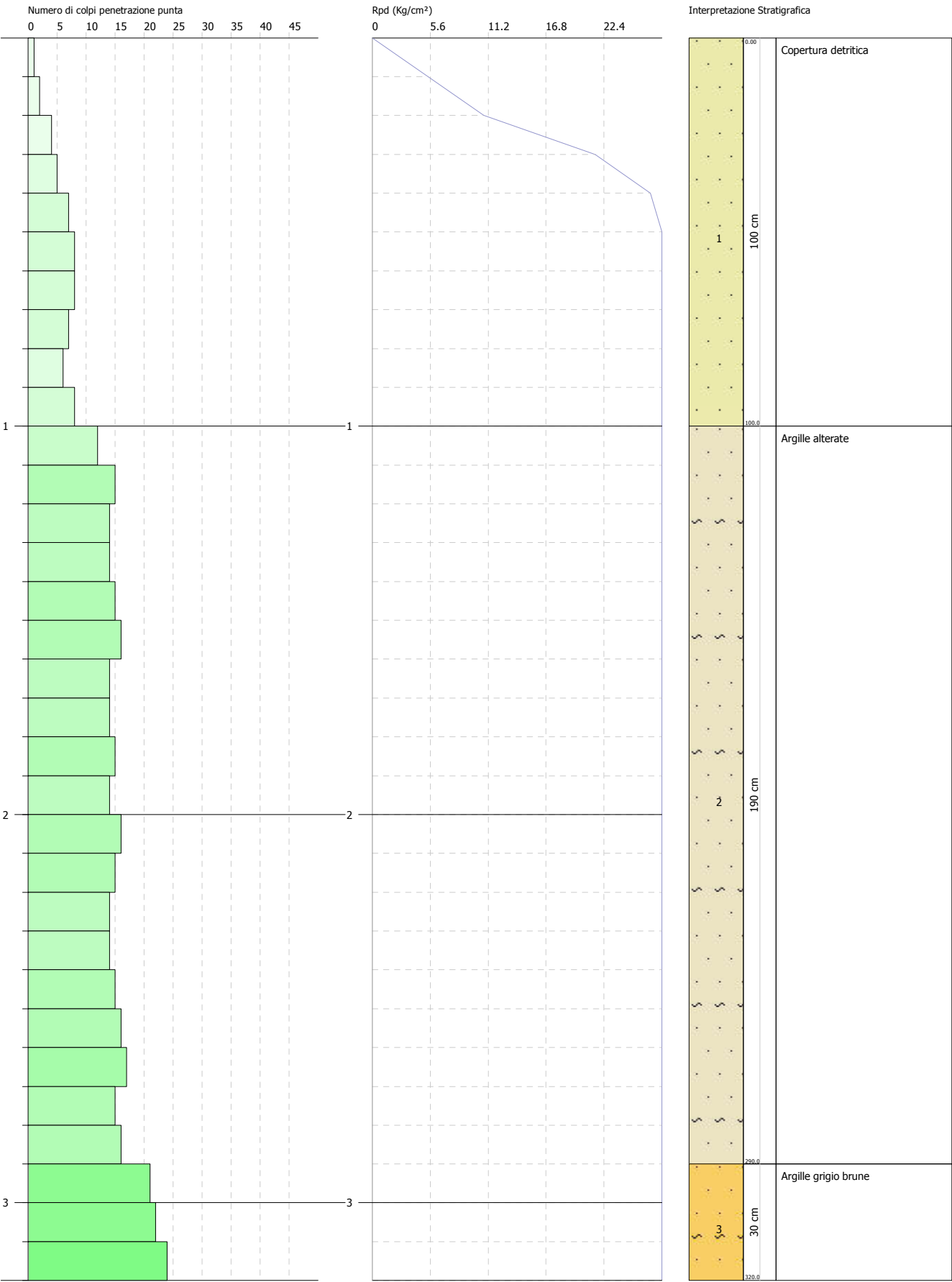
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) Argille alterate	7	0.00-0.50	Meyerhof	1.79

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Committente: Amministrazione comunale di Aragona
Cantiere: C/da Fontes Episcopi
Località: Aragona

Data:

Scala 1:14

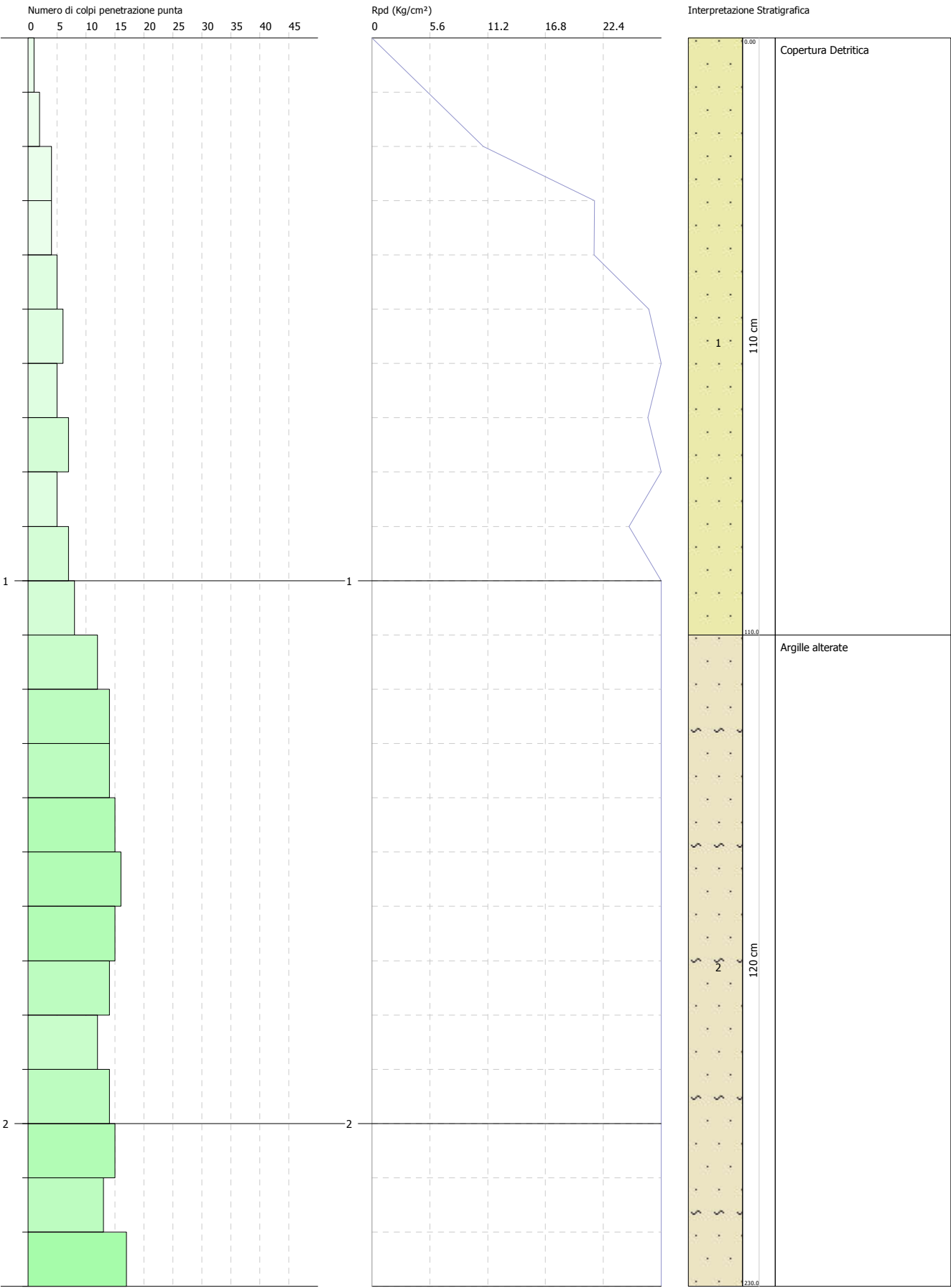


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Committente: Amministrazione comunale di Aragona
Cantiere: C/da Fontes Episcopi
Località: Aragona

Data:

Scala 1:10

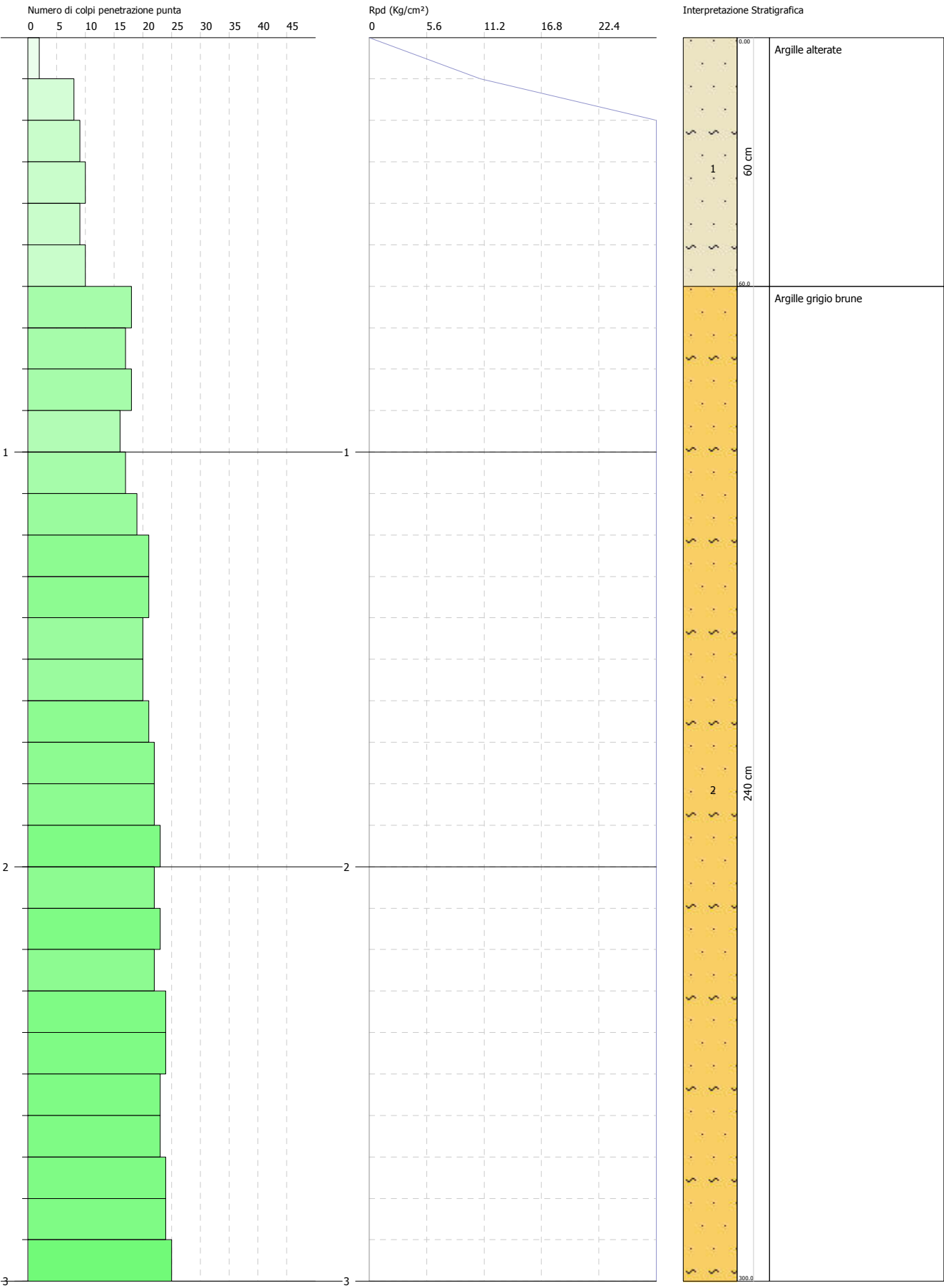


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Committente: Amministrazione comunale di Aragona
Cantiere: C/da Fontes Episcopi
Località: Aragona

Data:

Scala 1:13

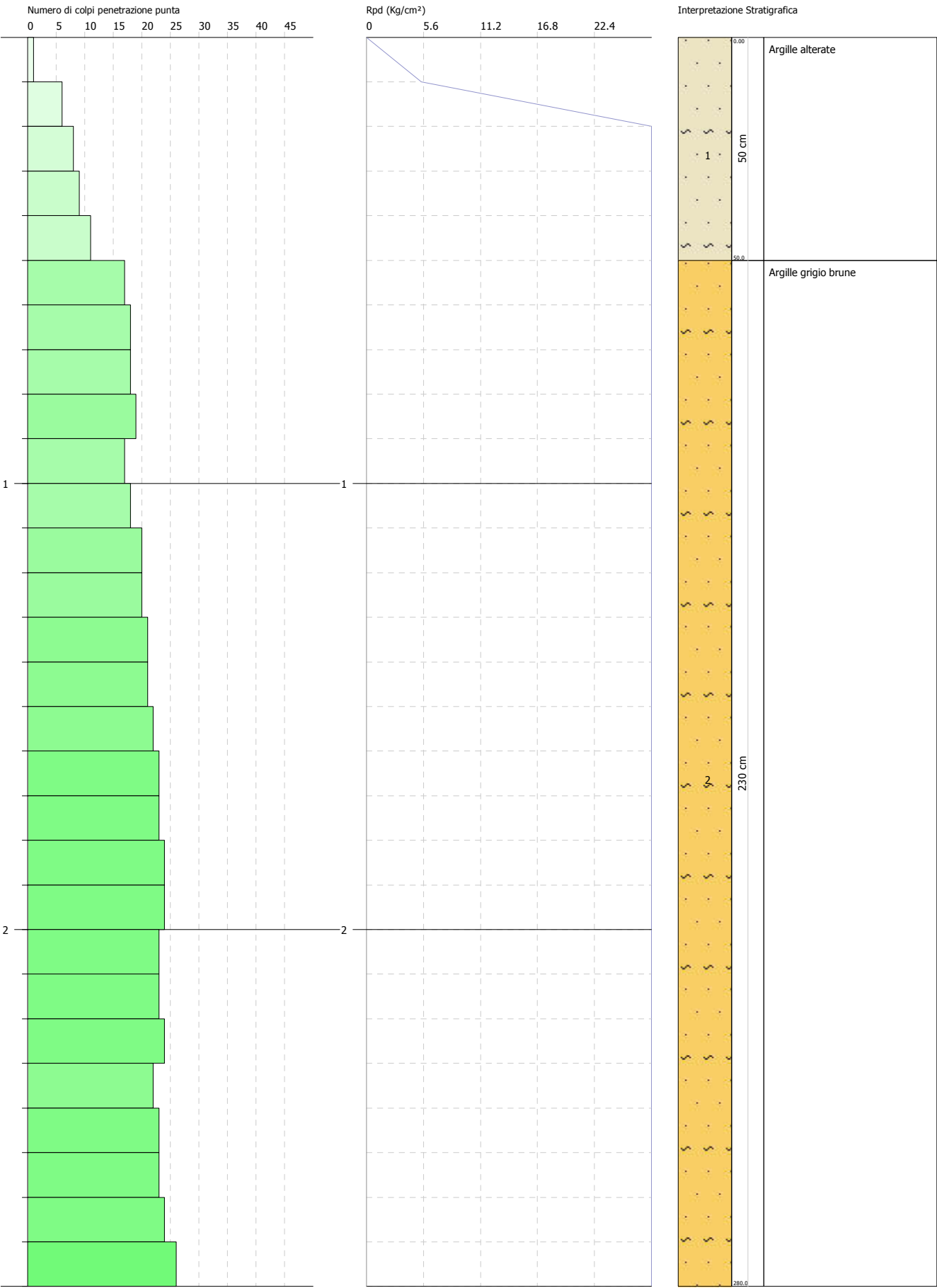


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DCP (Penetrometro Dinamico a Cono)

Committente: Amministrazione comunale di Aragona
Cantiere: C/da Fontes Episcopi
Località: Aragona

Data:

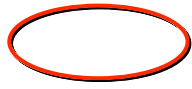
Scala 1:12



**INDAGINI EFFETTUATE
IN AREA LIMITROFA**

PLANIMETRIA INDAGINI IN AREA LIMITROFA

Legenda



Scuola



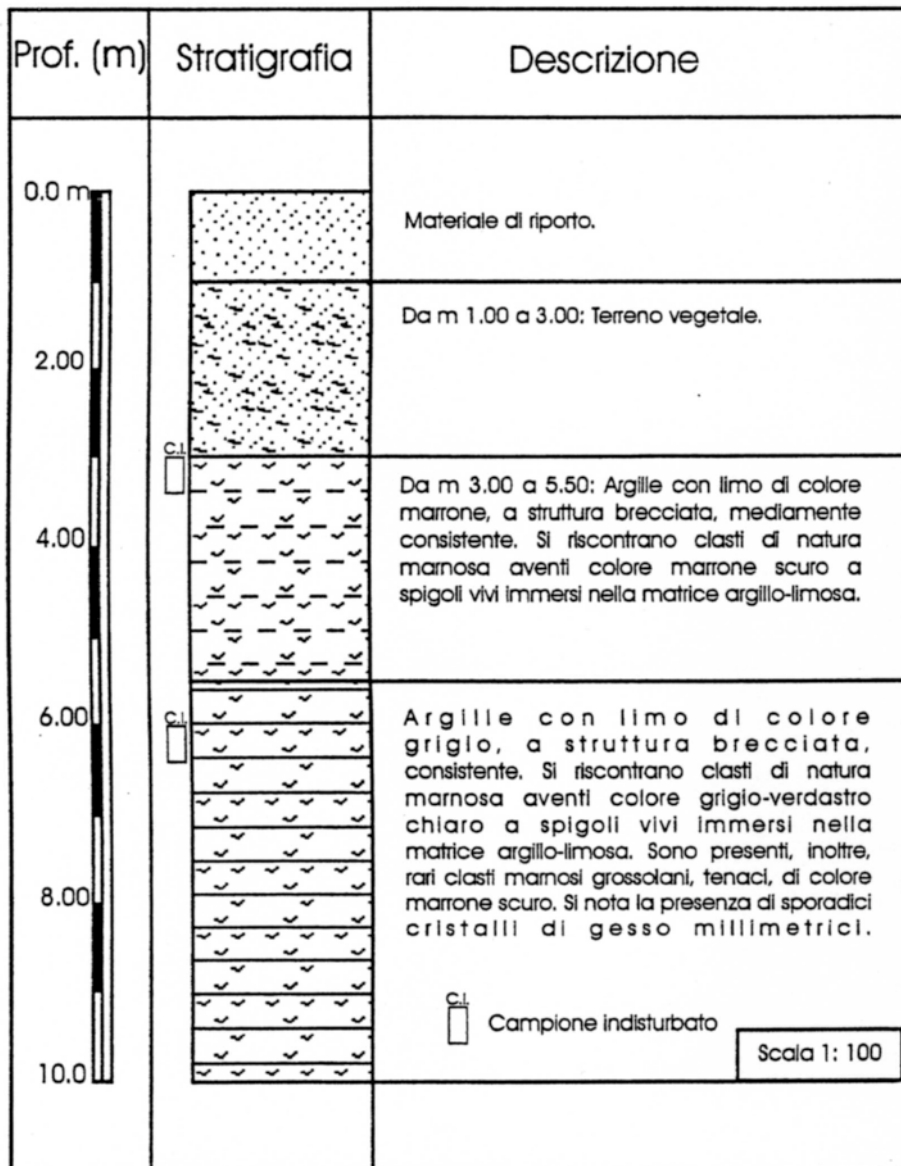
Sondaggi geognostici effettuati in area limitrofa



SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1

Profondità: 10,0 m dal p.c.

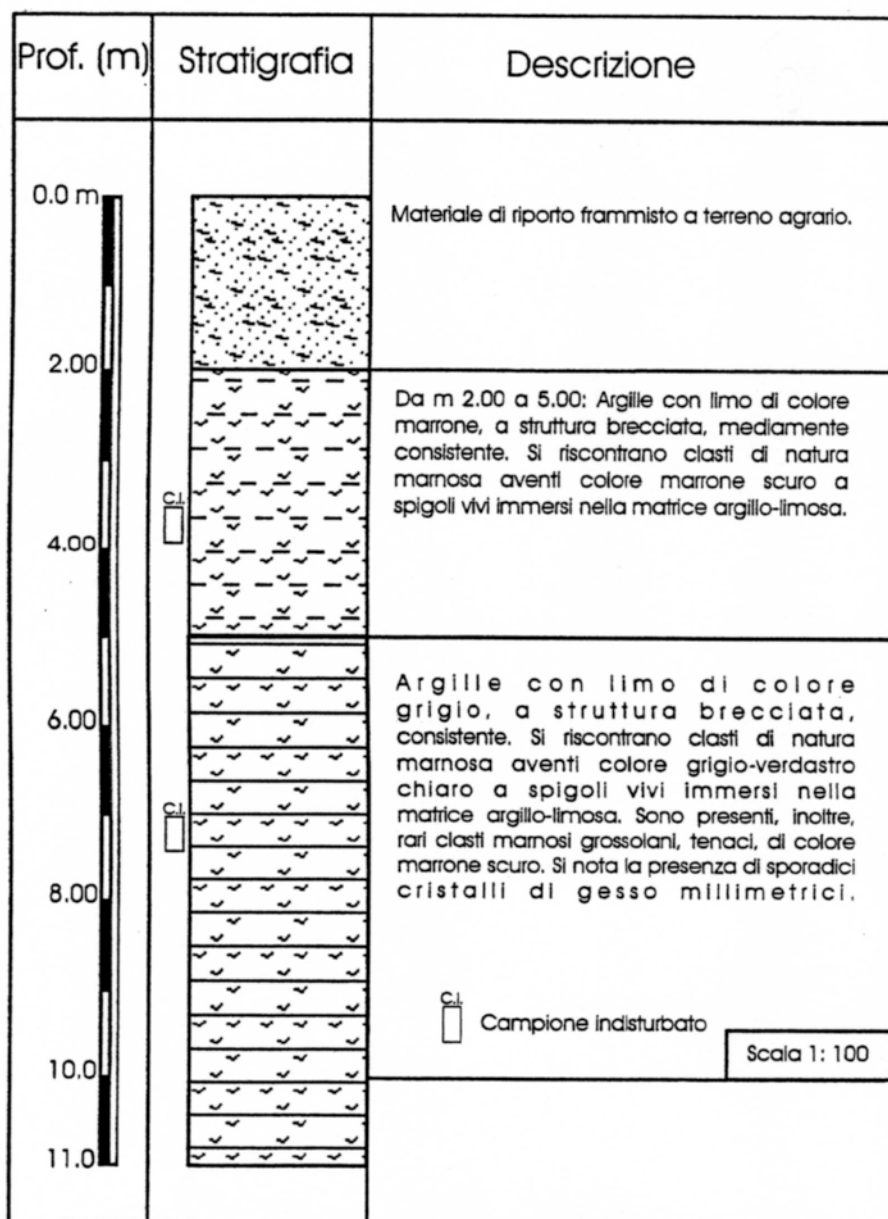
Quota s.l.m.: 338 m



SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2

Profondità: 11,0 m dal p.c.

Quota s.l.m.: 338 m



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SAGGI LIMITROFI



Foto 1 - Sonda in postazione S1





Foto 3 - Sonda in postazione S 2

