

---

## ***RELAZIONE GEOLOGICA***

---

## **GENERALITA'**

Le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione al di sotto del quale effettuare il tunnel di collegamento sono state desunte da indagini e prove condotte in un'area limitrofa (edificio "C") a quella di intervento ricadente tuttavia sempre all'interno del Plesso Centrale Universitario, facendo riferimento alla relazione geologica eseguita che si allega alla presente.

## **INTRODUZIONE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATA**

Si riporta di seguito la relazione geologica risultante dalle prove realizzate su un'area limitrofa a quella di intervento.

Come si desume dai risultati di tali prove in situ, ai fini sismici la categoria di sottosuolo può essere catalogata appartenente alla tipologia *C*, ovvero "*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti*" caratterizzati da una  $180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$  desunta dalla prova MASW come meglio illustrato nella relazione geologica che ha fornito in particolare il valore di  $V_{s30} = 253 \text{ m/s}$ .

## **RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATA**

Si allega alla presente la relazione geologica risultante da prove geognostiche realizzate in un'area limitrofa ricadente nella zona dell'edificio "C" del Plesso Centrale Universitario che sono state utilizzate nelle calcolazioni numeriche a corredo di un progetto esecutivo che ha interessato il medesimo edificio "C".

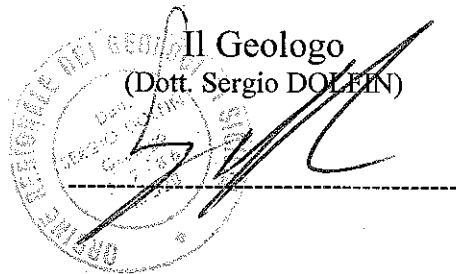
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA  
AREA SERVIZI TECNICI

\*\*\*\*\*

RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE

OGGETTO: PROGETTO ESECUTIVO DI UN PIANO INTERMEDIO DA  
REALIZZARSI NELL'EDIFICIO "C" DEL PLESSO CENTRALE  
UNIVERSITARIO.

Il Geologo  
(Dott. Sergio DOLEFIN)



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA**  
**AREA SERVIZI TECNICI**

\*\*\*\*\*

PROGETTO ESECUTIVO DI UN PIANO INTERMEDIO DA REALIZZARSI  
NELL'EDIFICIO "C" DEL PLESSO CENTRALE UNIVERSITARIO.

## **1. PREMESSE**

In ossequio alla vigente normativa sismica ed in particolare alle norme tecniche per le costruzioni di cui al NTC 2008, lo scrivente ha avuto commissionato l'esecuzione di specifiche indagini geognostiche all'interno dell'area progettuale. In particolare lo scrivente ha svolto:

- n° 1 sondaggio penetrometrico dinamico e continuo spinto sino alla massima profondità di - 7.50m. dal p.c.
- n° 1 misura "Active MASW multichannel analysis of surface waves method" (Msw)
- n° 1 basi sismiche a rifrazione (T)

Le ubicazioni di tali indagini sono riportate nell'allegata planimetria, essendone il presente rapporto parte integrante

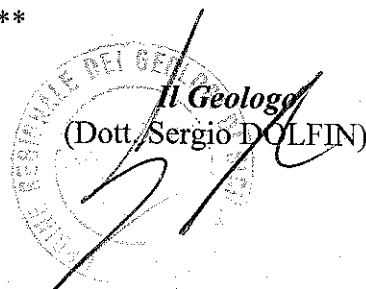
Si rimanda quindi alle relazioni ed ai grafici di seguito allegati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di sedime

Sono allegati:

- relazione relativa al sondaggio penetrometrico e relativa stratigrafia;
- relazione relativa alle indagini geofisiche eseguite e relativi allegati
- planimetria con ubicazione prove geognostiche eseguite;
- documentazione fotografica

\*\*\*\*\*

**Il Geologo**  
(Dott. Sergio DOLFIN)



# CARTA UBICAZIONE INDAGINI

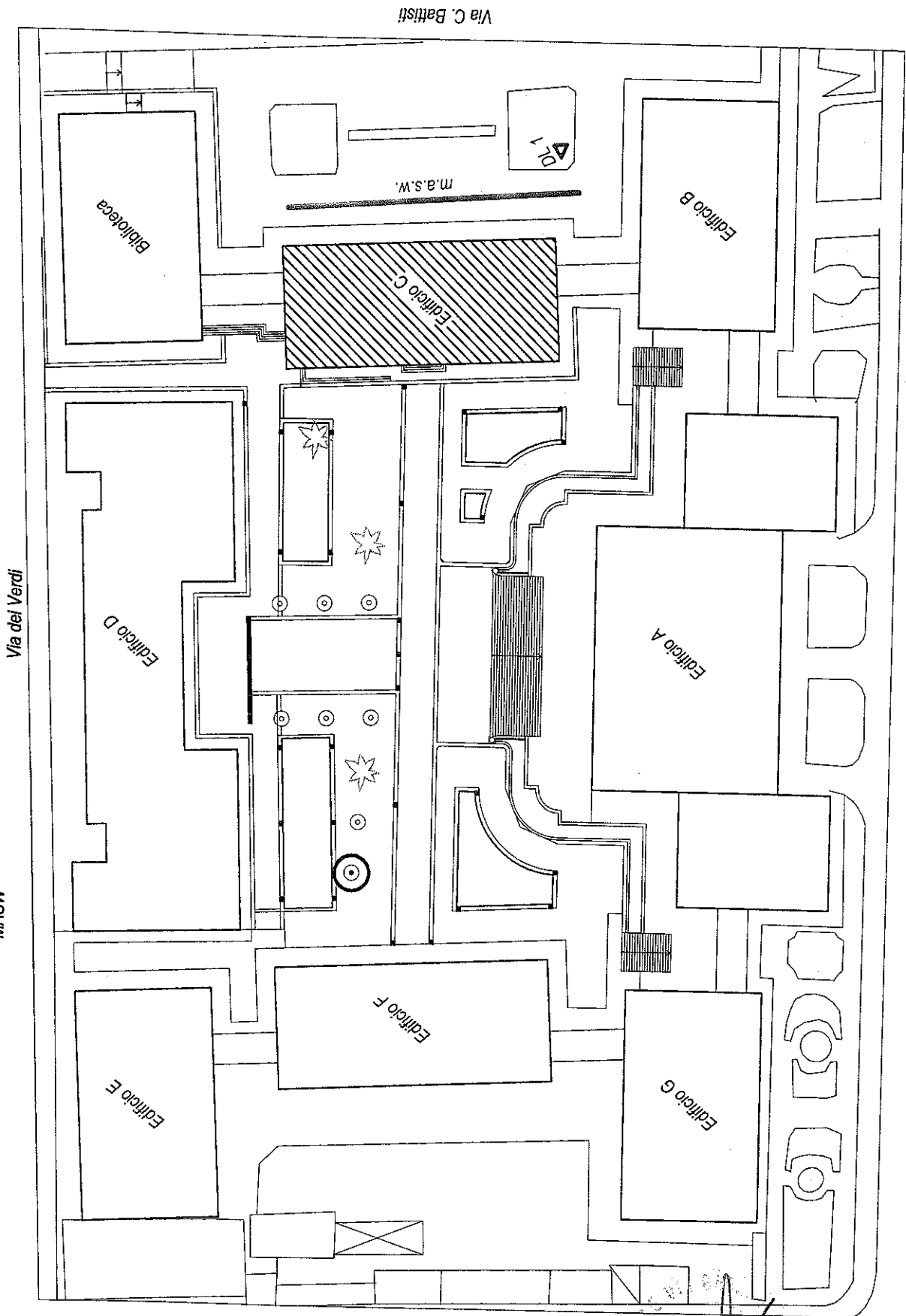
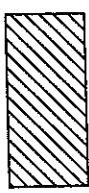
Prova penetrometrica DL1  
dinamica DL 030



Prova geofisica tipo  
MASW

m.a.s.w.

Edificio interessato  
dall'intervento



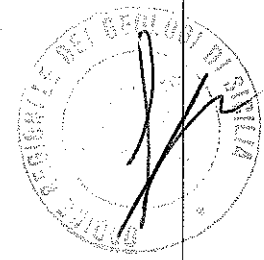
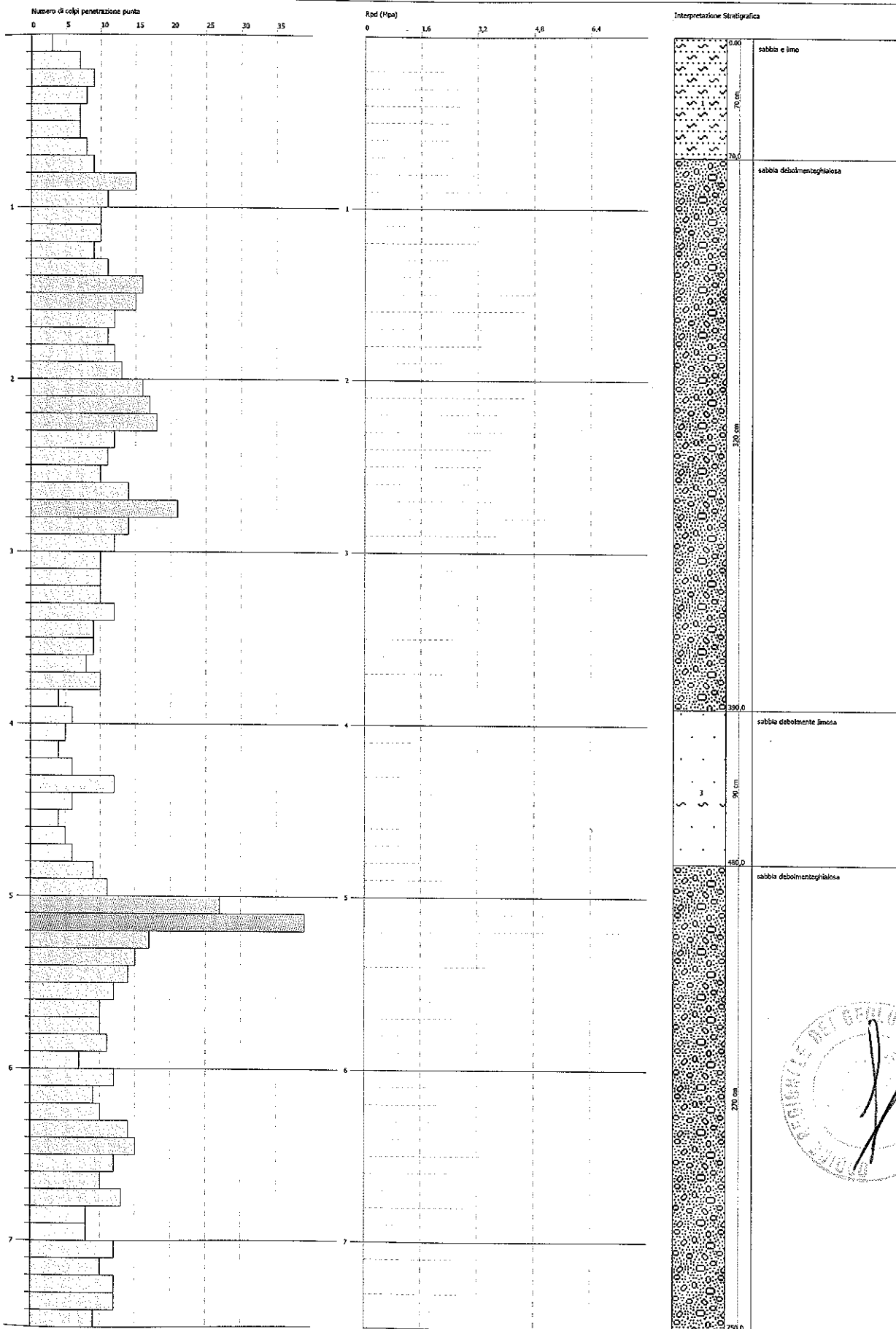
GRUPPO EDITORIALE L'ESPRESSO  
SISTEMA  
[Signature]

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
 Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Comitente: UNIBE  
 Cantiere: Rettorato

Data: 01/09/2010

Scala 1:1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA  
 Cantiere: PLESSO CENTRALE UNIVERSITARIO  
 Località: EDIFICIO "C"

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

OPERATORE

RESPONSABI

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH - DPM (... sct ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) 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  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- 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 (kg)	prof.max indagine battente (m)
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  $A=10$  cm<sup>2</sup> 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  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> 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  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con N<sub>spt</sub>

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 N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

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

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

- $M$  = peso massa battente;
- $M'$  = peso aste;
- $H$  = altezza di caduta;
- $A$  = area base punta conica;
- $\delta$  = passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub>

Formula Olandesi

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

- $R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (area  $A$ );
- $e$  = infissione media per colpo ( $\delta/N$ );
- $M$  = peso massa battente (altezza caduta  $H$ );
- $P$  = peso totale aste e sistema battuta.

### 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 resistenze 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.

## Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immorsamento  $d = 1$  mt..

## Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

### *Liquefazione*

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### *Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda*

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

Nspt è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young ( $E_y$ )

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

**Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

**Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio Vs (m/sec)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki - elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione (Ko)**

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)**

- Robertson 1983 Qc

**Correlazioni geotecniche terreni coesivi****Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)**

- Robertson 1983 Qc

**Modulo Edometrico-Confinato (Mo)**

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( Nspt <30) medie e molli ( Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

*Modulo Di Young (E<sub>y</sub>)*

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

*Stato di consistenza*

- Classificazione A.G.I. 1977

*Peso di Volume Gamma*

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

*Peso di volume saturo*

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

## PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

DL-30 (60°)  
 01/09/2010  
 7,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	3	0,857	1,05	1,22	52,26	61,01
0,20	7	0,855	2,43	2,85	121,66	142,35
0,30	9	0,853	3,12	3,66	156,07	183,03
0,40	8	0,851	2,77	3,25	138,41	162,69
0,50	7	0,849	2,42	2,85	120,84	142,35
0,60	7	0,847	2,41	2,85	120,58	142,35
0,70	8	0,845	2,75	3,25	137,50	162,69
0,80	9	0,843	3,09	3,66	154,35	183,03
0,90	15	0,792	4,58	5,78	228,80	289,06
1,00	11	0,840	3,56	4,24	178,01	211,98
1,10	10	0,838	3,23	3,85	161,49	192,71
1,20	10	0,836	3,22	3,85	161,15	192,71
1,30	9	0,835	2,89	3,47	144,74	173,44
1,40	11	0,833	3,53	4,24	176,55	211,98
1,50	16	0,781	4,82	6,17	240,87	308,33
1,60	15	0,780	4,51	5,78	225,34	289,06
1,70	12	0,828	3,83	4,62	191,46	231,25
1,80	11	0,826	3,50	4,24	175,16	211,98
1,90	12	0,825	3,62	4,39	181,22	219,73
2,00	13	0,773	3,68	4,76	184,05	238,05
2,10	16	0,772	4,52	5,86	226,08	292,98
2,20	17	0,770	4,79	6,23	239,73	311,29
2,30	18	0,769	5,07	6,59	253,34	329,60
2,40	12	0,817	3,59	4,39	179,55	219,73
2,50	11	0,816	3,29	4,03	164,30	201,42
2,60	10	0,814	2,98	3,66	149,10	183,11
2,70	14	0,763	3,91	5,13	195,55	256,36
2,80	21	0,711	5,47	7,69	273,57	384,53
2,90	14	0,760	3,71	4,88	185,60	244,20
3,00	12	0,809	3,39	4,19	169,27	209,31
3,10	10	0,807	2,82	3,49	140,82	174,43
3,20	10	0,806	2,81	3,49	140,59	174,43
3,30	10	0,805	2,81	3,49	140,36	174,43
3,40	12	0,803	3,36	4,19	168,16	209,31
3,50	9	0,802	2,52	3,14	125,92	156,98
3,60	9	0,801	2,51	3,14	125,72	156,98
3,70	8	0,800	2,23	2,79	111,58	139,54
3,80	10	0,798	2,79	3,49	139,26	174,43
3,90	4	0,797	1,06	1,33	53,10	66,61
4,00	6	0,796	1,59	2,00	79,54	99,92
4,10	5	0,795	1,32	1,67	66,18	83,26
4,20	4	0,794	1,06	1,33	52,87	66,61
4,30	6	0,793	1,58	2,00	79,19	99,92
4,40	12	0,791	3,16	4,00	158,16	199,83
4,50	6	0,790	1,58	2,00	78,97	99,92
4,60	4	0,789	1,05	1,33	52,57	66,61
4,70	5	0,788	1,31	1,67	65,63	83,26
4,80	6	0,787	1,57	2,00	78,64	99,92
4,90	9	0,786	2,25	2,87	112,71	143,38
5,00	11	0,785	2,75	3,50	137,57	175,25
5,10	27	0,684	5,88	8,60	294,22	430,15
5,20	39	0,583	7,24	12,43	362,23	621,32
5,30	17	0,732	3,97	5,42	198,25	270,83
5,40	15	0,731	3,49	4,78	174,70	238,97
5,50	14	0,730	3,26	4,46	162,84	223,04

5,60	12	0,779	2,98	3,82	148,95	191,18
5,70	10	0,778	2,48	3,19	123,98	159,31
5,80	10	0,777	2,48	3,19	123,83	159,31
5,90	11	0,776	2,61	3,36	130,41	167,97
6,00	7	0,775	1,66	2,14	82,89	106,89
6,10	12	0,775	2,84	3,66	141,94	183,24
6,20	9	0,774	2,13	2,75	106,33	137,43
6,30	10	0,773	2,36	3,05	118,02	152,70
6,40	14	0,722	3,09	4,28	154,35	213,78
6,50	15	0,721	3,30	4,58	165,19	229,05
6,60	12	0,770	2,82	3,66	141,16	183,24
6,70	10	0,770	2,35	3,05	117,51	152,70
6,80	13	0,719	2,85	3,97	142,68	198,51
6,90	8	0,768	1,80	2,35	90,07	117,29
7,00	8	0,767	1,80	2,35	89,98	117,29
7,10	12	0,766	2,70	3,52	134,84	175,93
7,20	10	0,766	2,25	2,93	112,25	146,61
7,30	12	0,765	2,69	3,52	134,57	175,93
7,40	12	0,764	2,69	3,52	134,44	175,93
7,50	9	0,763	2,01	2,64	100,73	131,95

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata (KPa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertm ann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	4,1	0,70	25,11	50,21	24,52	16,38	39,03	-50,11	36,48	72,47	20,10	63,45	50,21

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	4,1	0,70	Robertson (1983) 0,80

## Modulo Edometrico (Mpa)

Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	4,1	0,70	1,84	6,03	4,28 5,03

## Modulo di Young (Mpa)

Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	4,1	0,70	2,62 4,02

## Classificazione AGI

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	4,1	0,70	Classificaz. A.G.I. (1977) MODERAT. CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	4,1	0,70	Meyerhof ed altri 16,77

## Peso unità di volume saturo

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	4,1	0,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967 18,34

## TERRENI INCOERENTI

## Densità relativa

Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Hoitz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 2	6,74	3,90	25,54	52,53 53,81	25,33
Strato 3	2,93	4,80	7,35	30,38	48,1 15,1
Strato 4	5,11	7,50	13,35	36,7	49,97 21,13

## Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 2	6,74	3,90	6,74	28,93	21,93	29,89	30,61	32,39	0	<30	25,05	29,02	35,54	26,61
Strato 3	2,93	4,80	2,93	27,84	20,84	28,82	29,03	30,78	0	<30	21,63	27,88	28,25	22,66
Strato 4	5,11	7,50	5,11	28,46	21,46	29,43	28,83	31,72	0	<30	23,75	28,53	33,02	25,11

## Modulo di Young (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 2	6,74	3,90	6,74	---	5,29	---	---	---
Strato 3	2,93	4,80	2,93	---	2,30	---	---	---
Strato 4	5,11	7,50	5,11	---	4,01	---	---	---

## Modulo Edometrico (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 2	6,74	3,90	6,74	---	4,05	4,69	6,67
Strato 3	2,93	4,80	2,93	---	3,28	2,04	5,01
Strato 4	5,11	7,50	5,11	---	3,72	3,56	5,96

## Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	6,74	3,90	6,74	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 3	2,93	4,80	2,93	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
Strato 4	5,11	7,50	5,11	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

## Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (KN/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,74	3,90	6,74	Meyerhof ed altri	15,79
Strato 3	2,93	4,80	2,93	Meyerhof ed altri	14,22
Strato 4	5,11	7,50	5,11	Meyerhof ed altri	15,10

## Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,74	3,90	6,74	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,63
Strato 3	2,93	4,80	2,93	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,34
Strato 4	5,11	7,50	5,11	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53





- Prove non distruttive
- Prospezione sismiche - Masw
- Rilievi topografici e Laserscanning
- Rilievi termografici
- GPS e GIS

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si espongono i risultati di una campagna di indagini geofisiche nell'area interessata dal "progetto esecutivo di un piano intermedio da realizzarsi nell'edificio "C" del Plesso Centrale Universitario".

Scopo dell'indagine era determinare le caratteristiche elastiche dell'area e la categoria dei suoli interessati dall'edificio secondo la normativa sismica italiana (VS30).

A tale scopo è stata eseguita n° 1 misura "Active MASW multichannel analysis of surface waves method" (Msw) e n° 1 basi sismiche a rifrazione (T) le cui ubicazioni sono riportate nell'allegata planimetria, essendone il presente rapporto parte integrante.

## 2. METODOLOGIA "ACTIVE MASW"

L'indagine è stata eseguita con un sismografo, modello A6000S della M.A.E. (molisana apparecchiature elettroniche) a **24 canali**.

La metodologia MASW permette di eseguire indagini per identificare le caratteristiche dinamiche dei suoli e quindi anche il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  con metodologie finalizzate alla progettazione e/o previsione del comportamento delle opere soggette ad azioni dinamiche (sisma, vibrazioni, esplosioni, etc.)

L'analisi permette di determinare la risposta sperimentale del sito e l'individuazione del profilo delle onde di taglio verticali  $V_s$ , sulla base del quale valutare la velocità equivalente delle onde di taglio verticali nei primi 30 mt di profondità  $V_{s,30}$  e quindi la categoria di suolo sismico, secondo quanto indicato dalla nuova normativa sismica e dall'Eurocodice.

Il metodo MASW è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo.

Rispetto alla sismica a rifrazione il metodo MASW presenta i vantaggi di superare i problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici; o nel caso di sismica a rifrazione con onde P alla presenza della falda superficiale, che nasconde gli strati di terreno con velocità delle onde P inferiore alla velocità delle onde nell'acqua. Il



- Prove non distruttive
- Prospezione sismiche - Masw
- Rilievi topografici e Laserscanning
- Rilievi termografici
- GPS e GIS

metodo MASW consente di individuare il profilo di velocità  $V_s$  anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a  $20^\circ$ . Nella pratica è stato osservato che, se si esegue la prova con lo stendimento dei sensori lungo la direzione di massima pendenza, la presenza di forti acclività comporta una traslazione della curva di dispersione sperimentale. Il problema è mitigato disponendo lo stendimento dei sensori lungo una curva di livello in direzione perpendicolare alla direzione di massima pendenza.

### 3. INDAGINI ESEGUITE METODOLOGIA "ACTIVE MASW"

#### 3.1 Misura $M_{SW1}$

La misura  $M_{SW1}$  è stata eseguita lungo una linea rettilinea di **18,00 metri**.

Sono stati adoperati **24 geofoni** con frequenza di **4,5 Hz** collocati nel terreno lungo una linea rettilinea con interdistanza di **2,00 metri**.

Nella prima registrazione il punto di energizzazione è stato posto a **-2,00 metri** di distanza dal geofono n. 1 e sullo stesso allineamento.

Nelle tavole allegate sono riportati i sismogrammi e le schermate prodotte dal software durante il processo di elaborazione.

Il software elabora e definisce il valore medio delle velocità delle onde trasversali  $V_s$  relativo ad uno spessore di **30 metri**.

Strato (m)	$V_{s,i}$
0 - 2	230.130
2 - 5	271.570
5 - 30	253.470

#### Valori del parametro $V_{s30}$

Secondo i dettami delle ultime normative di legge abbiamo calcolato la  $V_{s30}$  con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \sum h_i / \sum (h_i / V_{s,i})$$

Essendo:

$h_i$  = spessore  $i$ esimo del livello con velocità delle onde di taglio  $v_i$

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nel tratto  $i$ esimo



- Prove non distruttive
- Prospezione sismiche - Masw
- Rilievi topografici e Laserscanning
- Rilievi termografici
- GPS e GIS

Il valore calcolato per la misura  $M_{SW1}$  è:

$$V_{s30} = 253 \text{ m/sec}$$

In base al valore di  $V_{s30}$  possiamo affermare che l'area oggetto d'indagine appartiene alla categoria "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  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu,30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

\* \* \* \* \*

Vista la categoria di sottosuolo definita con indagine geofisica indiretta che misura le  $V_{s,30}$  il tecnico geologo redattore dello studio geologico valuterà, in riferimento agli spessori stratigrafici dei litotipi in sito, alla quota di posa delle fondazioni della struttura e nell'esaustiva interpretazione della normativa sismica vigente, l'eventualità di riferimento del sito a categoria diversa.

#### 4 SISMICA A RIFRAZIONE

L'indagine è stata eseguita con un sismografo modello A6000S della M.A.E. (molisana apparecchiature elettroniche) a 24 canali.

La metodologia d'indagine consiste nel provocare una perturbazione elastica in un punto e nel registrare le oscillazioni elastiche che ne scaturiscono in altri punti del terreno dove sono stati piazzati dei geofoni ad intervallo regolare, disposti su un allineamento superficiale alla medesima quota.

L'indagine è stata eseguita utilizzando 12 geofoni ad una certa interdistanza, con definizione dello stendimento ed effettuando n° 3 misure  $T_a$ ,  $T_c$  e  $T_b$  con punto di sparo rispettivamente esterno rispetto al 1° geofono, centrale tra il 6° e 7° geofono ed esterno rispetto al geofono n° 12.

I segnali provenienti dalle varie perturbazioni elastiche provocate dall'impatto di una mazza battente su una piastra metallica appoggiata sulla superficie del suolo, sono stati memorizzati dal sismografo e successivamente trasferiti sul computer.

L'interpretazione è stata eseguita utilizzando un software specializzato PSLab 2008 (seismic data elaboration software) della M.A.E. (molisana apparecchiature elettroniche).

Il programma elabora i dati acquisiti con ricerca dei primi arrivi e ricostruzione delle dromocrone. Quindi si definisce la stratigrafia di propagazione sismica delle  $V_p$  in un piano z.



- Prove non distruttive
- Prospezione sismiche - Masw
- Rilievi topografici e Laserscanning
- Rilievi termografici
- GPS e GIS

La profondità di indagine sarà circa  $\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$  della lunghezza del profilo di stendimento dei geofoni. Si eseguono energizzazioni esterni ed interni al profilo di stendimento al fine di avere arrivi da ogni probabile rifrattore.

#### 4.1 Misura $T_1$

L'indagine è stata eseguita utilizzando 24 geofoni interdistanti di **1,50 metri**, con stendimento di **23,50 metri** ed esecuzione per ogni prova n° 3 misure  $T_a$ ,  $T_c$  e  $T_b$  con punto di sparo rispettivamente a **-1,50 m**, **+11,75 m** e **+23,50 m** dal geofono n° 1.

I grafici, quale risultato delle elaborazioni, definiscono le dromocrone ed il corrispondente andamento stratigrafico di tipo sismico ed assimilazione a condizioni di similarità di propagazione delle  $V_p$ . Il limite di strato è definito considerando i tempi di arrivo dai rifrattori (primi arrivi) e registrati ai geofoni dislocati su un allineamento.

#### 5. Moduli elastici

Nella tabella seguente sono riportati i moduli elastici dinamici corrispondente ai litotipi interessati dalle indagini e calcolati in funzione di  $V_p$ ,  $V_s$  e  $\rho$  secondo i seguenti algoritmi:

$$\begin{aligned} \mu &= (V_p^2 - 2V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)/2 \\ E &= V_p^2 \rho (1 + \mu) (1 - 2\mu)/(1 - \mu) \\ G &= E/2/(1 + \mu) \\ K &= E/3/(1 - 2\mu) \end{aligned}$$

essendo:

- H = profondità
- $\rho$  = Densità
- $V_p$  = Velocità onde longitudinali
- $V_s$  = Velocità onde trasversali
- $\mu$  = coefficiente di Poisson
- E = Modulo di elasticità longitudinale
- $E_{ed}$  = Modulo elastico normale
- G = Modulo di taglio o di elasticità trasversale
- K = Modulo di compressibilità

H	$\rho$	$V_p$	$V_s$	$\mu$	E	G	K	$E_{ed}$ o $E_N$
m	kg/m <sup>3</sup>	m/sec	m/sec		Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq
2,00	1900,00	763,255	230,13	0,450	2975,635	1026,08	9918,78	112,87
5,00	1900,00	900,696	271,57	0,450	4143,780	1428,89	13812,60	157,18
30,00	1900,00	840,665	253,47	0,450	3609,826	1244,77	12032,75	136,92

Messina, li .....

Edil Prof  
Il Tecnico  
Il Presidente  
(dott. Sergio Dolfin)

file dati

Le tracce sperimentali possono essere date nei formati TXT, SEG2, SEGY, 5U, XLS o DRM.

D:\STUDIO GEOLOGIA\Provvvisorio\Masw(me)  
(24 ricevitori, 5120 campioni temporali)

Distanza tra 2 ricevitori

Indicare la distanza tra 2 ricevitori.

Distanza tra 2 ricevitori

Posizione sorgente

Cliccare se la sorgente è vicina all'ultimo ricevitore.

Tempo campionamento

E' richiesto il tempo di campionamento

Tempo di campionamento [ms]

Selezione ricevitori

Scegli i ricevitori da considerare nelle analisi.

Usa i ricevitori fino al

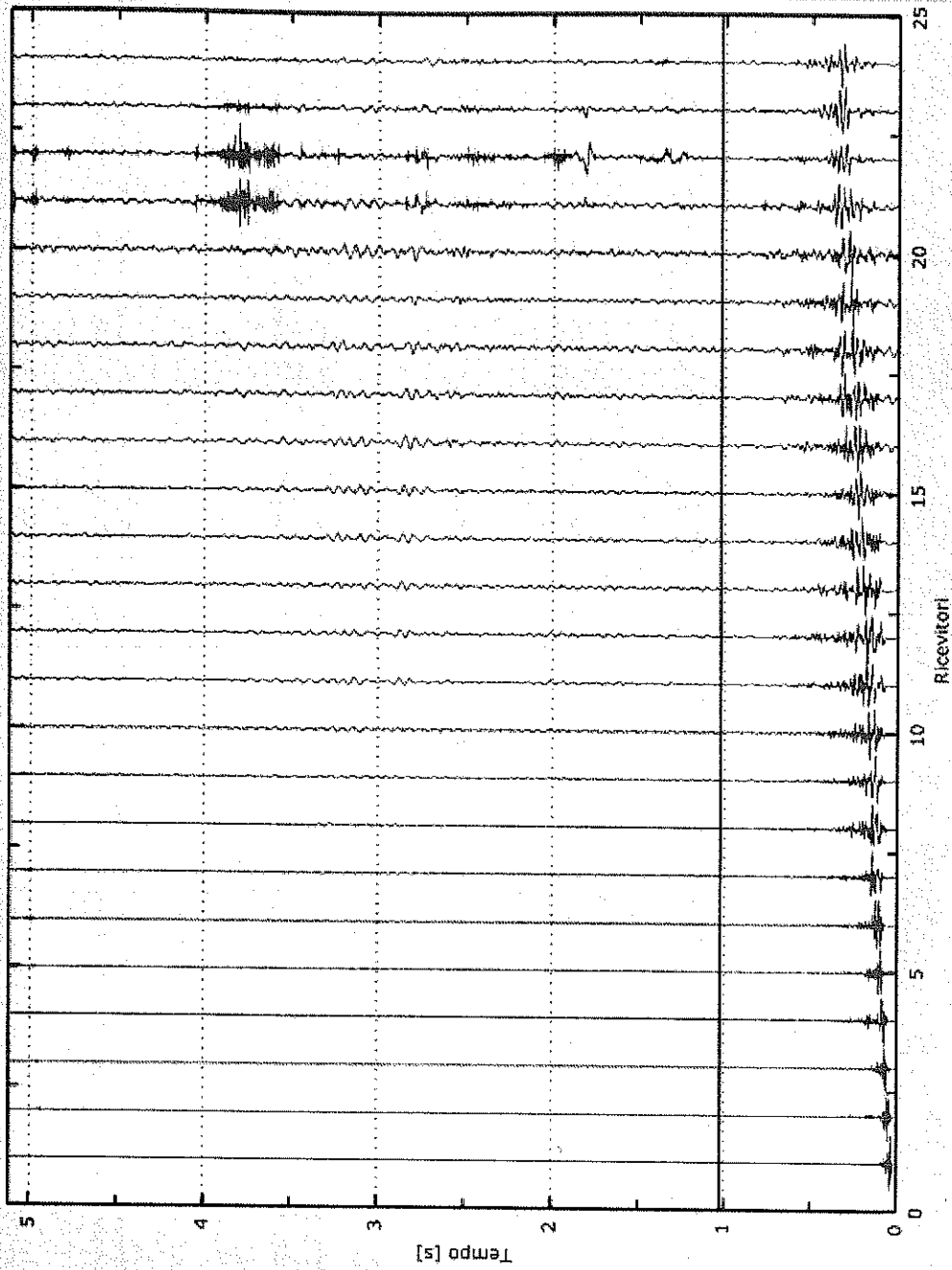
Intervallo temporale

La finestra di acquisizione temporale deve contenere il segnale generato. L'intervallo temporale può essere modificato dal software per ridurre i tempi di calcolo.

Considera l'intervallo  a  ms



Misure



Seleziona il range di frequenze  
 Limita la ricerca da  Hz a  Hz Calcola



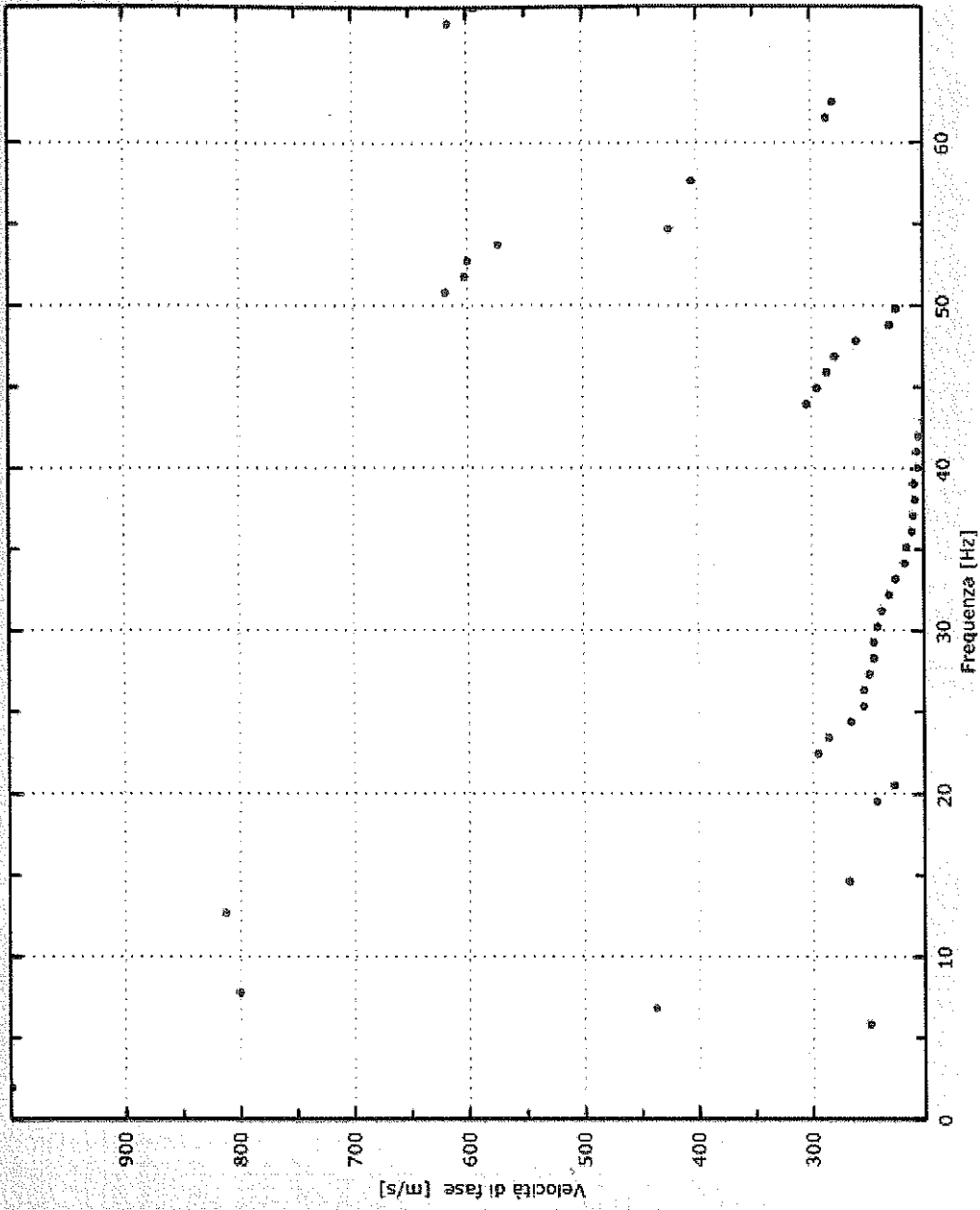
Spettro f-k



min  MAX



Curva dispersione sperimentale



Profilo di vs finale

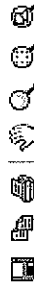
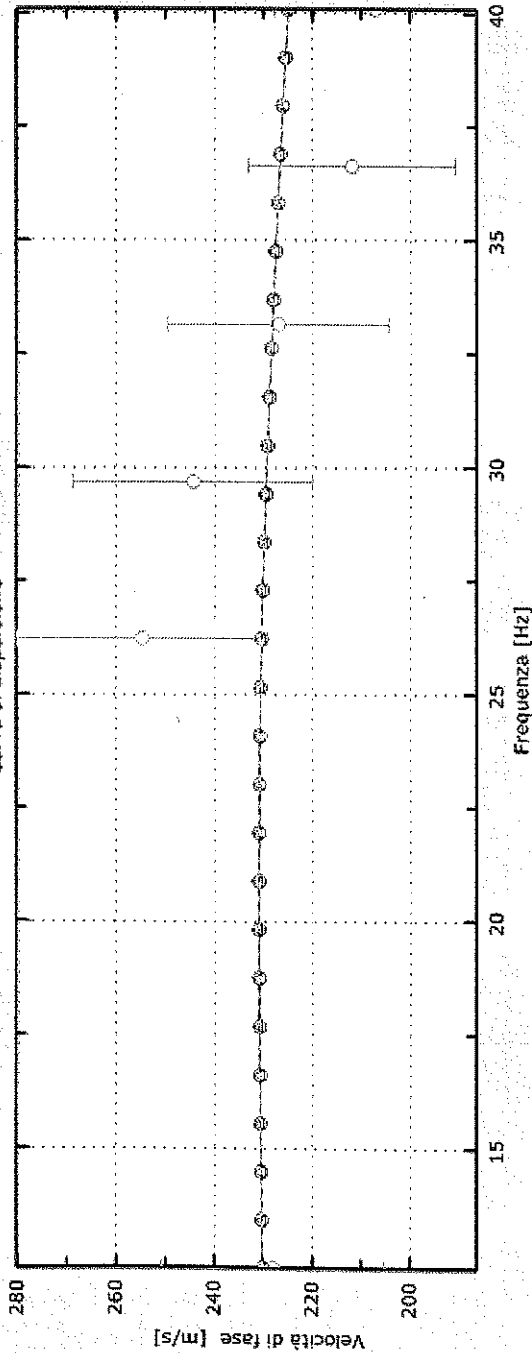
Numero di strati (escluso semispazio)   
 Spaziatura ricevitori [m]   
 Numero ricevitori   
 Numero modi   
 Soluzione manuale  
 Numero iterazioni   
 Massimo errore [%]   
 Consentiti forti contrasti di rigidità  
 Inversione automatica



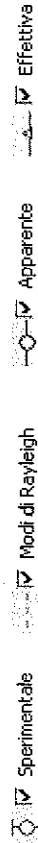
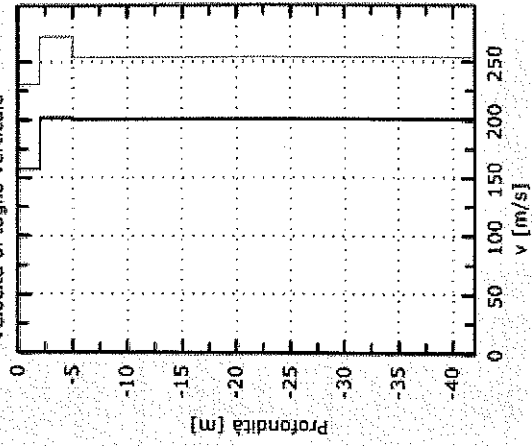
strato	Descrizione	h [m]	z [m]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Falda	Poisson	vs [m/s]	vs fixed	vs min [m/s]	vs max [m/s]	vp [m/s]	Alluvionale
1		2	-2	1800	NO	0.2	230.13	NO	115.06	460.25	375.79	NO
2		3	-5	1800	NO	0.2	271.57	NO	135.79	543.15	443.48	NO
3		3	-6	1800	NO	0.2	253.47	NO	126.74	506.94	413.92	NO
4		4	-12	1800	NO	0.2	253.47	NO	126.74	506.94	413.92	NO
5		4	-16	1800	NO	0.2	253.47	NO	126.74	506.94	413.92	NO
6		5	-21	1800	NO	0.2	253.47	NO	126.74	506.94	413.92	NO



Curva di dispersione



Velocità di taglio verticale



risultati finali

Unità geotecnica	Descrizione	h [m]	z [m]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	livello fald.	Poisson	Vs [m/s]	Vs fixed	Vp [m/s]	Alluvionale
1										
2		2	-2	1800	NO	0.2	230.130	NO	375.80	NO
3		3	-5	1800	NO	0.2	271.570	NO	443.47	NO
4		3	-8	1800	NO	0.2	253.470	NO	413.91	NO
5		4	-12	1800	NO	0.2	253.470	NO	413.91	NO
6		4	-16	1800	NO	0.2	253.470	NO	413.91	NO
7		5	-21	1800	NO	0.2	253.470	NO	413.91	NO
		5	-26	1800	NO	0.2	253.470	NO	413.91	NO

- Si vuole usare la nuova normativa (DM 14 gennaio 2008)?
- Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia)?
- Il sito è suscettibile di liquefazione o è argilla sensitiva?
- E' presente uno strato di almeno 6 m di terreno a grana fina di classe consistente?
- E' presente uno strato di almeno 3 m di terreno a argilla allentata o argilla?
- Esiste uno strato di alterazione di spessore maggiore di 2m?
- Confermare l'unità geotecnica dello strato rigido

Tipo di suolo

Sito	Descrizione geotecnica	Vs30 [m/s]
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 Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a granagrossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	360-800
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 NSPT30 > 50 nei terreni a granagrossa e cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	180-360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana 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 NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni	<180



