

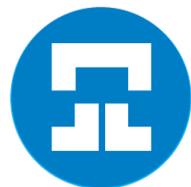


D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare Esplicativa 21 gennaio 2019
«Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
Controlli di accettazione dei materiali e verifiche su costruzioni esistenti

CAPITOLO 6

INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA **E LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Bari, 15 dicembre 2023



LABORATORIO PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE L. 1086/71
Aut. Min. Infr. e Mob. Sost. con D.M. n. 52522 del 16/12/2004 e s. r. Settore "A" circolare n. 7617/S.T.C.
LABORATORIO PER PROVE E CONTROLLI SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE SU STRUTTURE E COSTRUZIONI ESISTENTI
Aut. Min. Infr. e Mob. Sost. con D.M. n. 0000025 del 03/01/2022 Settore "A" circolare n. 633/S.T.C.

Tecno-Lab
Laboratorio Autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001

Relatore
Dott. Geol. Fabio LUPARELLI

INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

NTC 2018 – 6.2.2

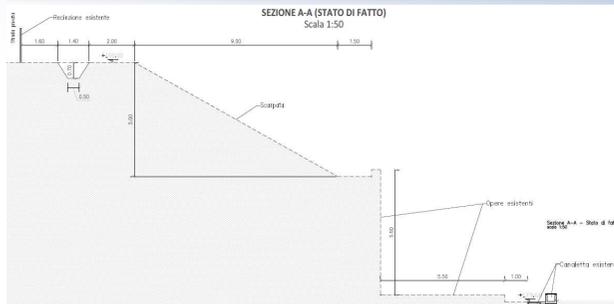
Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista.

NTC 2018 – 3.2.2

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

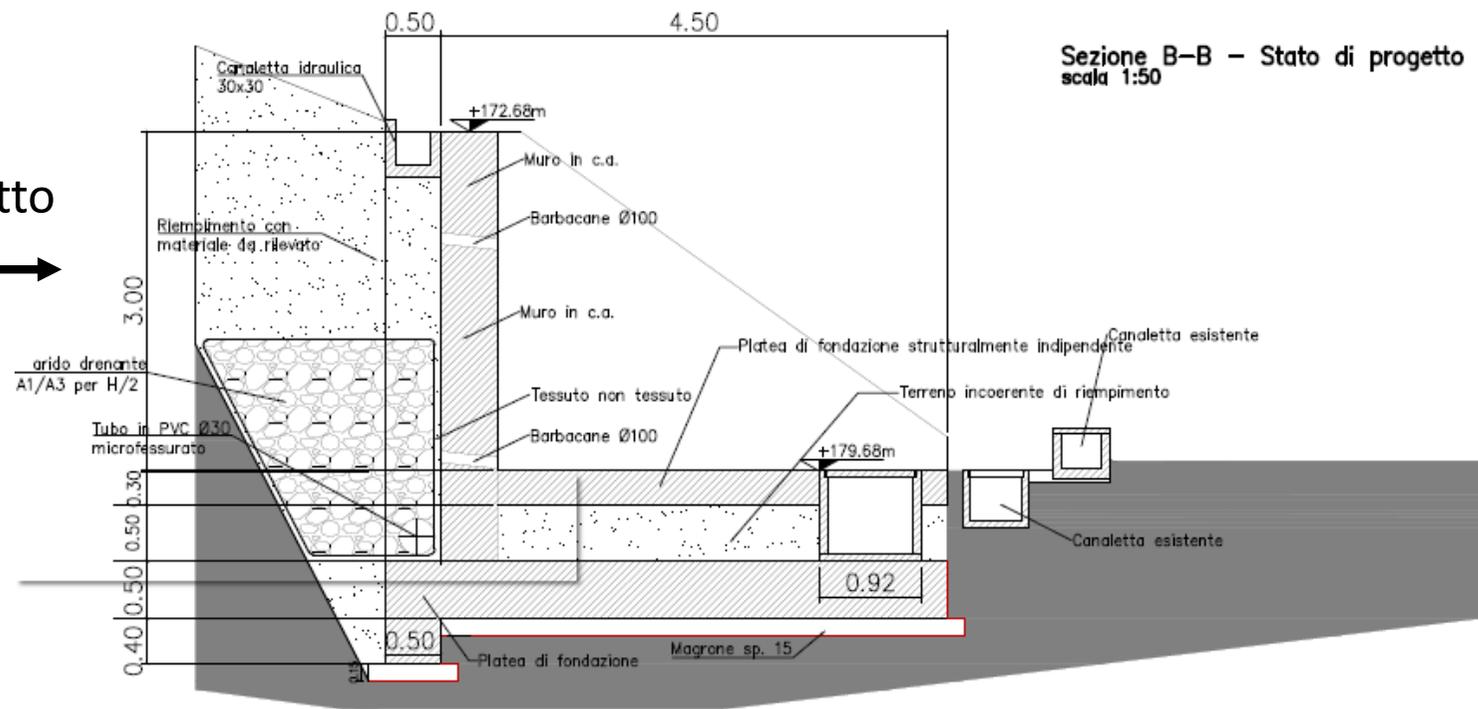
ESEMPIO 1 – Progettazione senza indagini



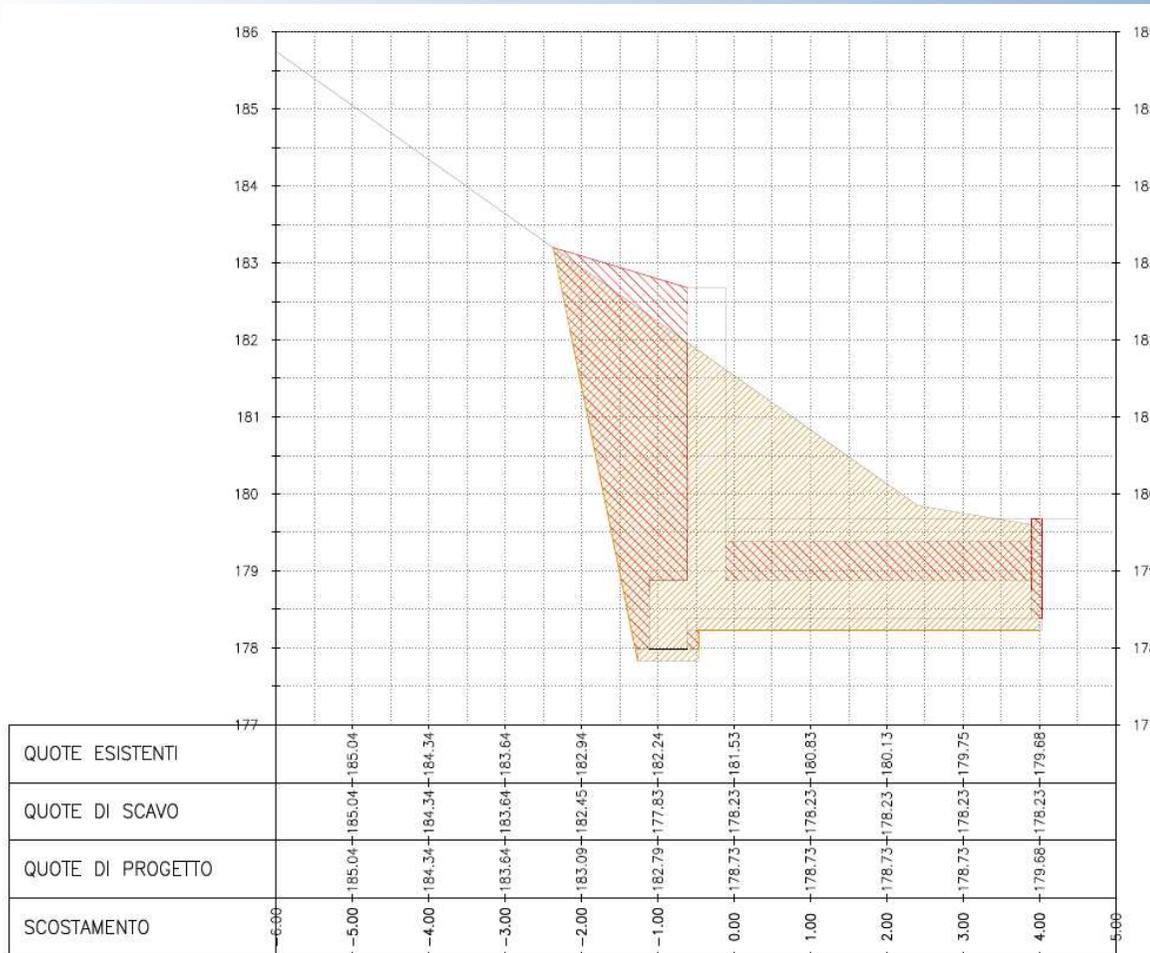
Stato di fatto

Opera di interesse pubblico
lungo un tratto di 150 km

Stato di progetto



ESEMPIO 1 – Progettazione senza indagini

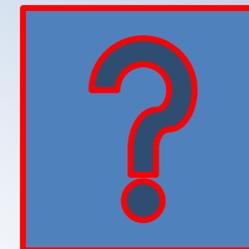


← Movimento terre,
scavi e rinterri

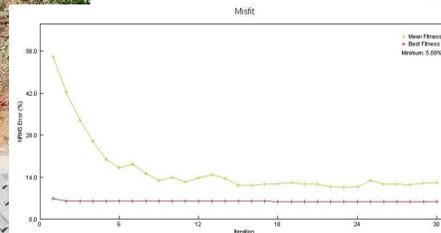
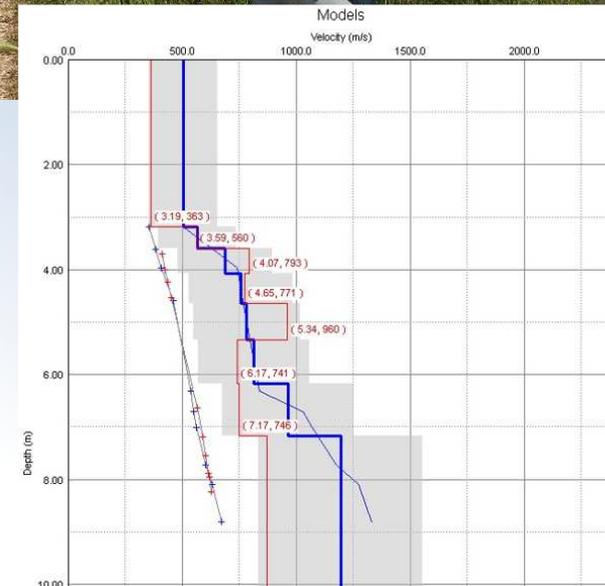
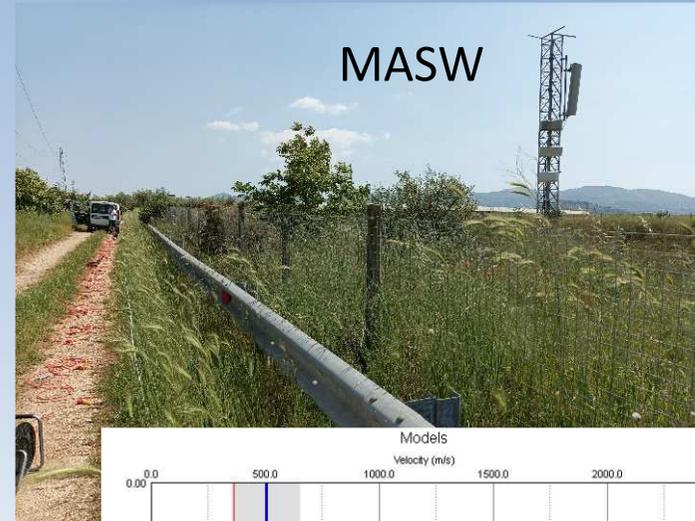
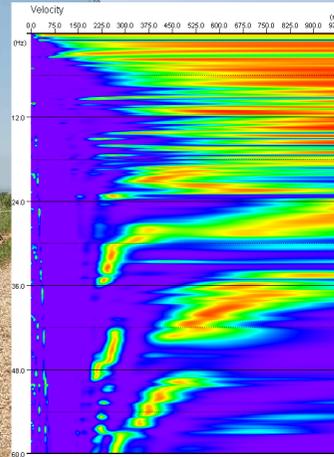
PARAMETRI DEL TERRENO

angolo di attrito	$\phi' = 33^\circ$
coesione	$c' = 0 \text{ kPa}$
peso unità di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

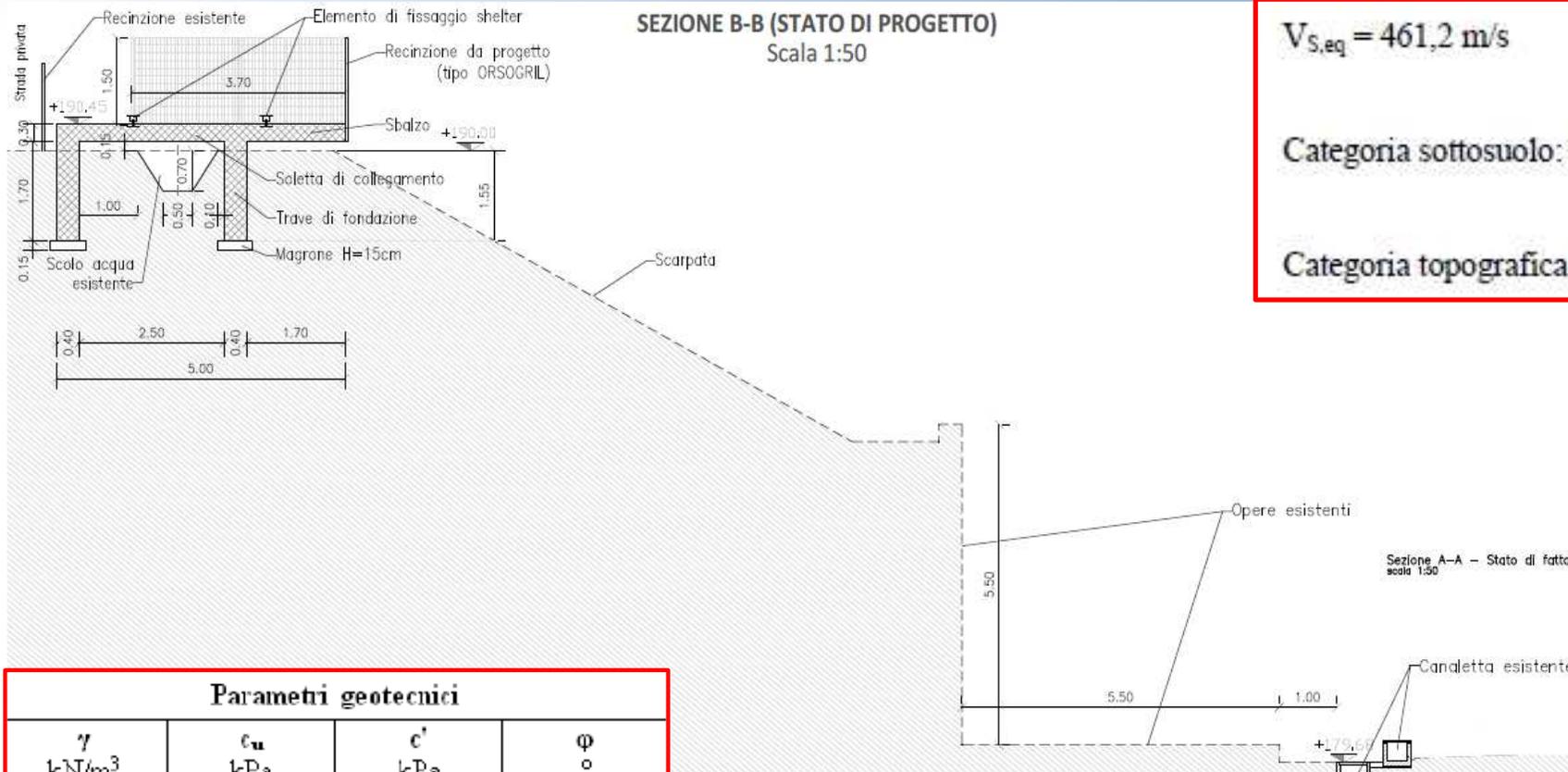
Categoria sottosuolo: D



ESEMPIO 1 – Intervento del laboratorio



ESEMPIO 1 – Progettazione dopo indagini



$$V_{S,eq} = 461,2 \text{ m/s}$$

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

VOLUME SIGNIFICATIVO DEL SOTTOSUOLO

NTC 2018 – 6.2.2

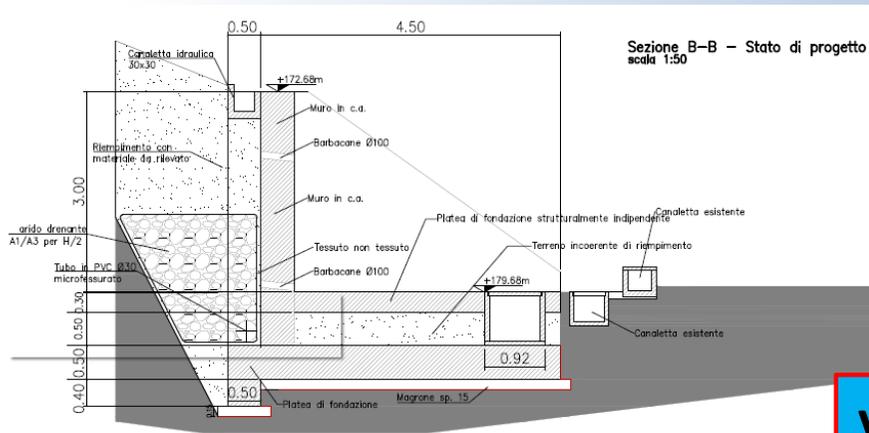
Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista.

Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per **modello geotecnico** di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i **valori caratteristici** dei parametri geotecnici.

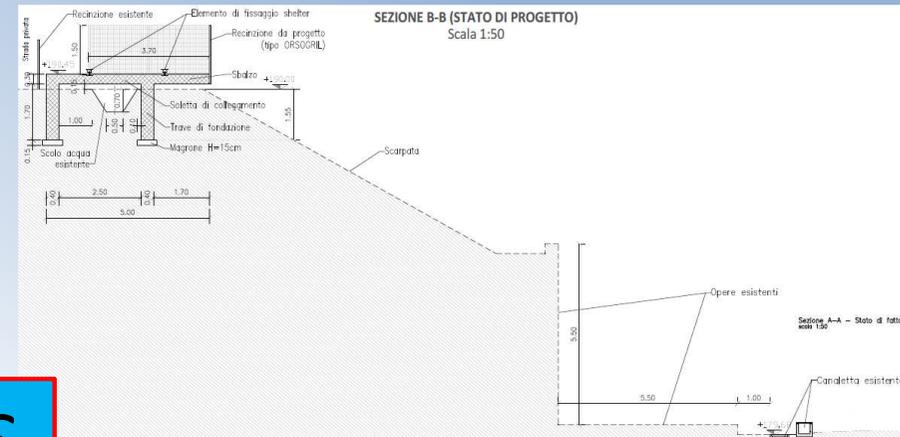


ESEMPIO 1 – Progettazione a confronto

Senza indagini



Con indagini



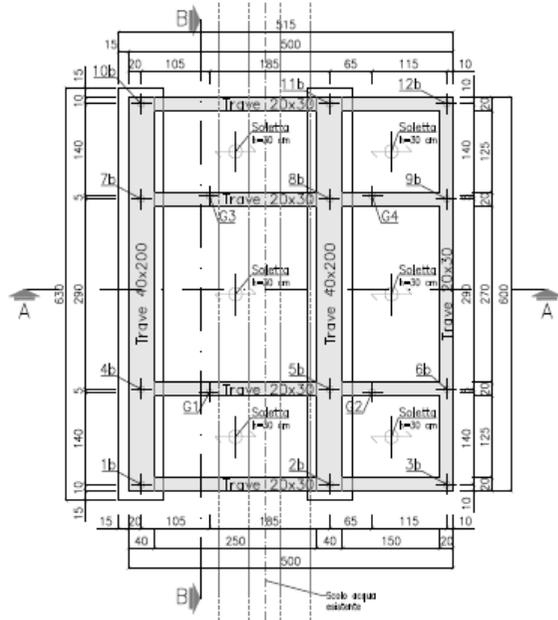
VS

Categoria sottosuolo: D
Peso di volume: 18 kN/m^3
Coesione drenata: 0 kPa
Angolo di attrito: 33°

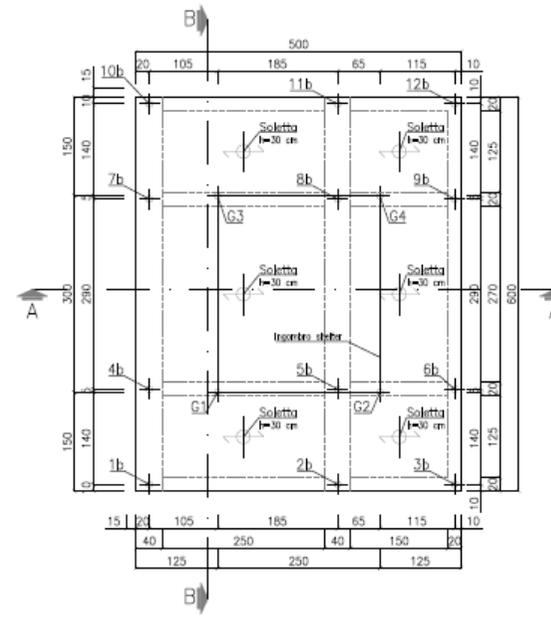
Categoria sottosuolo: B
Peso di volume: $19,93 \text{ kN/m}^3$
Coesione drenata: $28,02 \text{ kPa}$
Angolo di attrito: 46°

ESEMPIO 1 – Progettazione dopo indagini

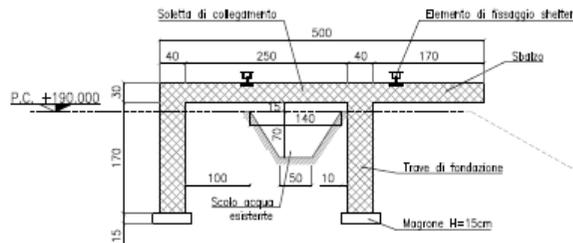
PIANTA DELLE FONDAZIONI – INTRADOSSO SOLETTA IN C.A.
scala 1:50



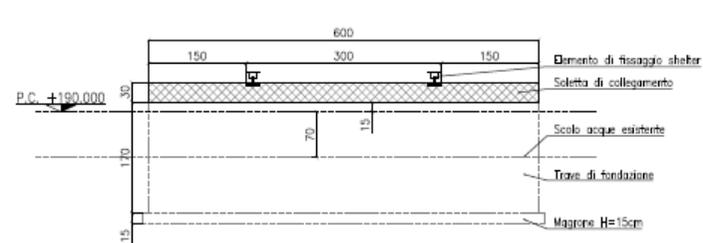
PIANTA DELLE FONDAZIONI – ESTRADOSSO SOLETTA IN C.A.
scala 1:50



Sezione A-A
scala 1:50



Sezione B-B
scala 1:50



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

NTC 2018 – 6.2.2

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

- *L'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica.*

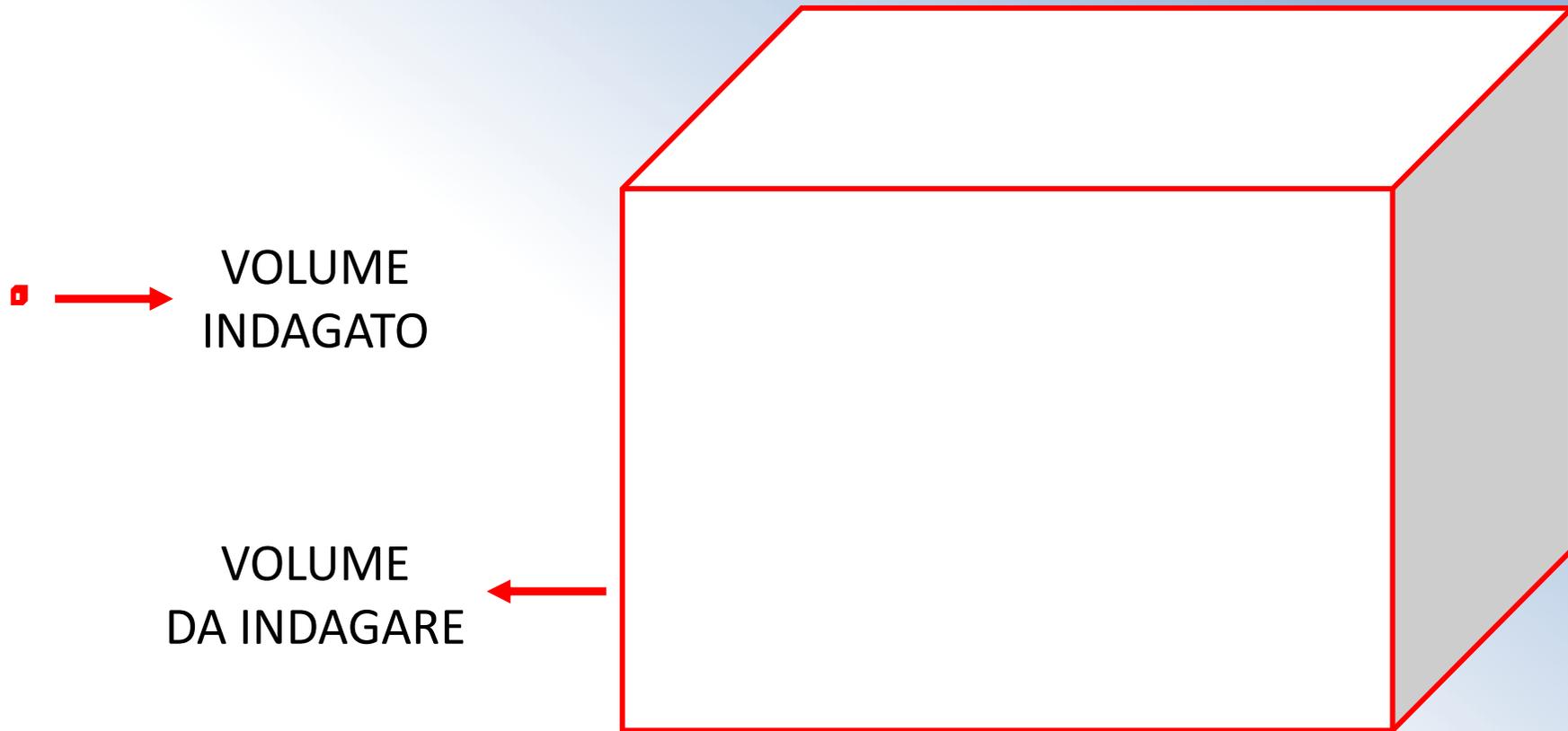
NTC 2018 – 6.2.2

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

- *Circolare esplicativa paragrafo C6.2.1 e tabella C6.2.1.*
-

LIMITI DELLE INDAGINI DIRETTE

Si stima che, mediante sondaggi diretti e relativi campionamenti, normalmente viene testato meno dello 0,01% del volume significativo



MEZZI DI INDAGINE E PROVE IN SITO

Circolare 2019 – C6.2.1

Stratigrafia		Trincee Pozzi Cunicoli Sondaggi a carotaggio continuo Prove penetrometriche Indagini di tipo geofisico (*)
Proprietà fisiche e meccaniche	Terreni a grana fine	Prove penetrometriche Prove scissometriche Prove dilatometriche Prove pressiometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio Prove di tipo geofisico (*)
	Terreni a grana grossa	Prove penetrometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio Prove di tipo geofisico (*)
	Rocce	Prove speciali in sito (prove di taglio) Prove di carico su piastra Prove di laboratorio Prove di tipo geofisico (*)

Circolare 2009 – 6.2.1

Proprietà fisiche e meccaniche	Terreni a grana fine	Prove penetrometriche Prove scissometriche Prove dilatometriche Prove pressiometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
	Terreni a grana grossa	Prove penetrometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
	Rocce	Prove speciali in sito (prove di taglio) Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
Misure di pressione interstiziale	Terreni di qualsiasi tipo	Piezometri
Permeabilità	Terreni a grana fine	Misure piezometriche Prove di laboratorio
	Terreni a grana grossa	Prove idrauliche in fori di sondaggio Prove di emungimento da pozzi
Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	Prove di carico su pali singoli Prove di carico su gruppi di pali
	Impermeabilizzazioni	Prove di permeabilità in sito e misura di altezza piezometrica prima e dopo l'intervento
	Consolidamenti	Determinazione delle proprietà meccaniche in sito prima e dopo l'intervento Prove di laboratorio
Indagini di tipo geofisico	In foro con strumentazione in profondità	Cross hole Down hole Con "suspension logger"
	Senza esecuzioni di fori, con strumentazione in profondità	Penetrometro sismico Dilatometro sismico
	Con strumentazione in superficie	Prove SASW Prove di rifrazione sismica Prove di riflessione sismica

MEZZI DI INDAGINE E PROVE IN SITO

(*) Indagini di tipo geofisico	In foro con strumentazione in profondità	Cross hole Down hole
	Senza esecuzioni di fori, con strumentazione in profondità	Penetrometro sismico Dilatometro sismico
	Con strumentazione in superficie	Prove SASW o MASW Prove di rifrazione sismica Prove di riflessione sismica

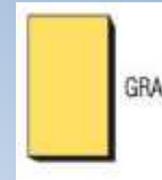
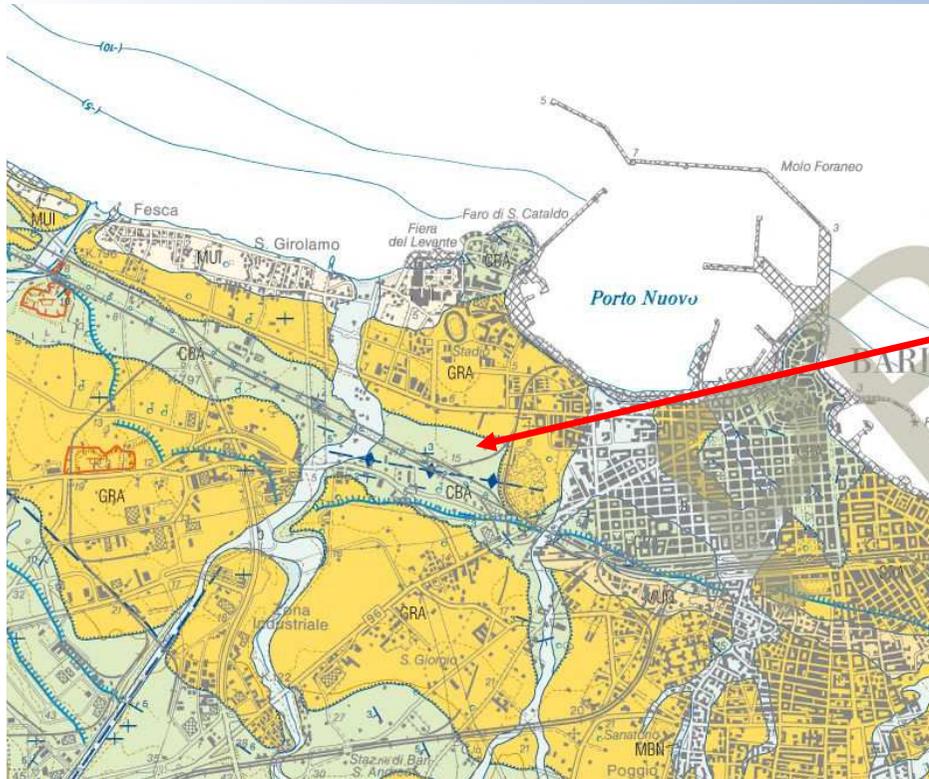
NTC 2018 – 6.2.2

Le prove di laboratorio, sulle terre e sulle rocce, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001, n. 380. I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Circolare 2019 – 6.2.2.2

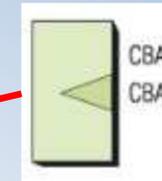
Le prove geotecniche di laboratorio integrano le prove in sito e, a seconda del tipo di terreno, permettono di ricavare alcuni valori delle grandezze fisiche e meccaniche necessarie per le verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio. La possibilità di ricavare grandezze fisiche e meccaniche da prove di laboratorio dipende dal grado di disturbo dei campioni di terreno prelevati che è funzione, a sua volta, del tipo di terreno e delle tecniche di campionamento.

ESEMPIO 2 – Caratterizzazione basata su cartografia



GRA

CALCARENITE DI GRAVINA



CBA
CBA_n

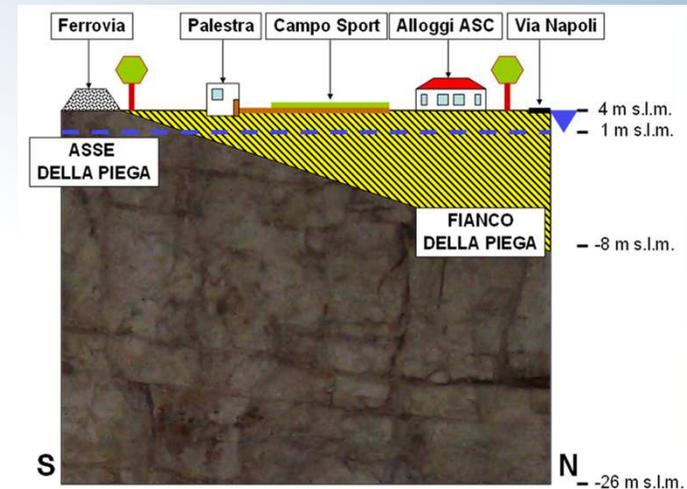
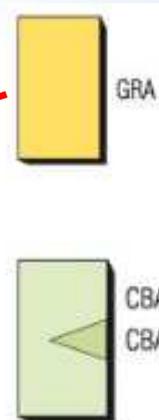
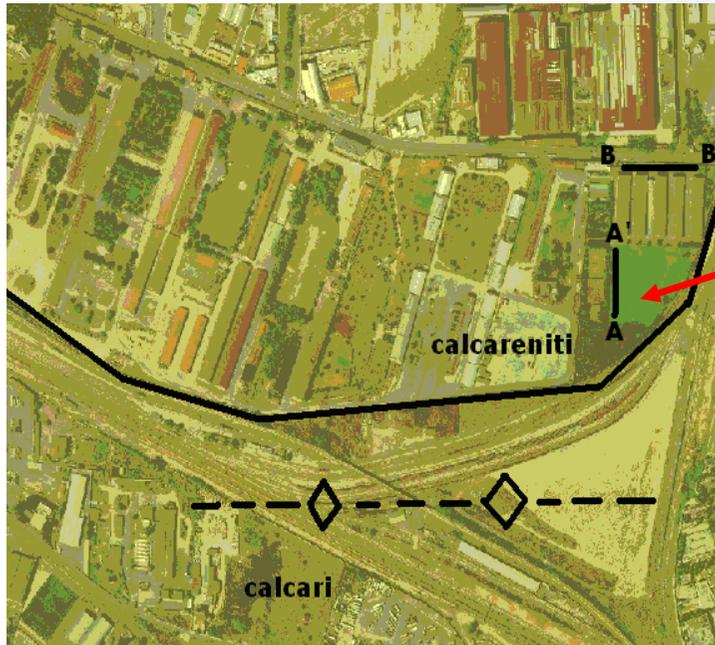
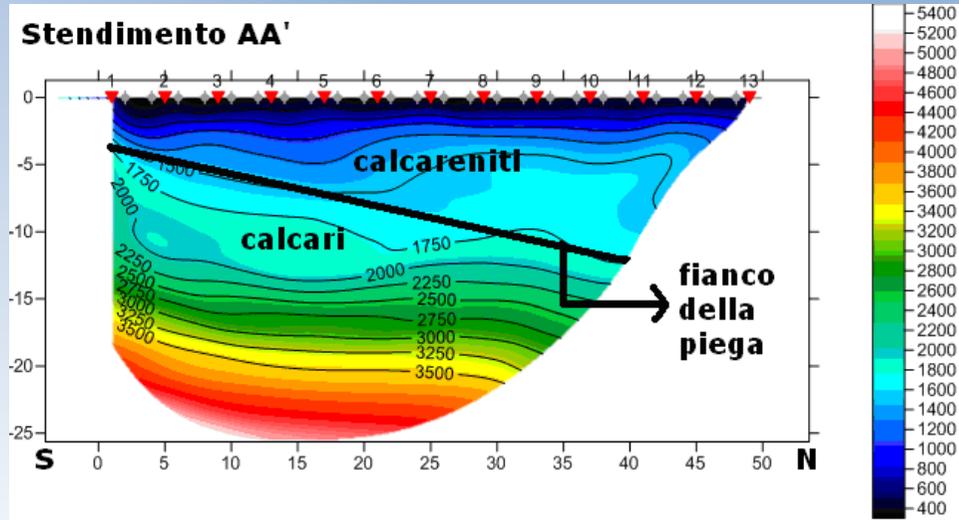
CALCARE DI BARI

Carta Geologica d'Italia
Foglio 438 Bari in scala 1:50.000

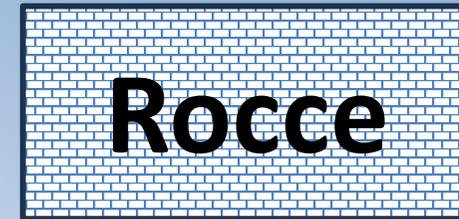
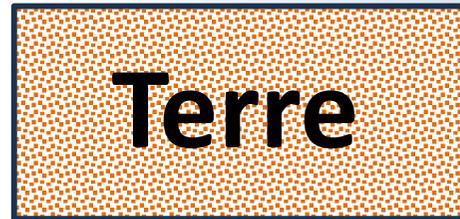


ESEMPIO 2 - Caratterizzazione basata su indagini

Sismica a rifrazione



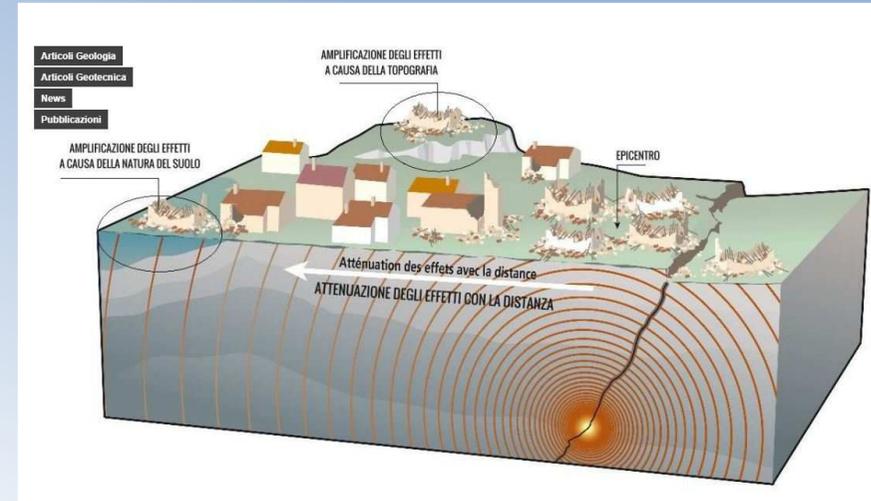
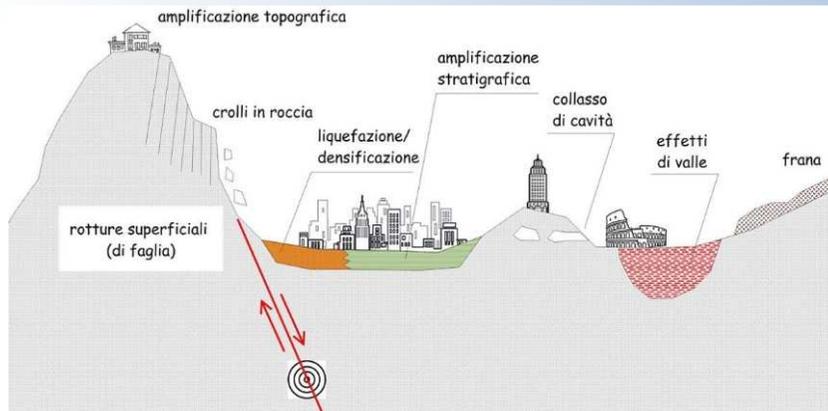
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA



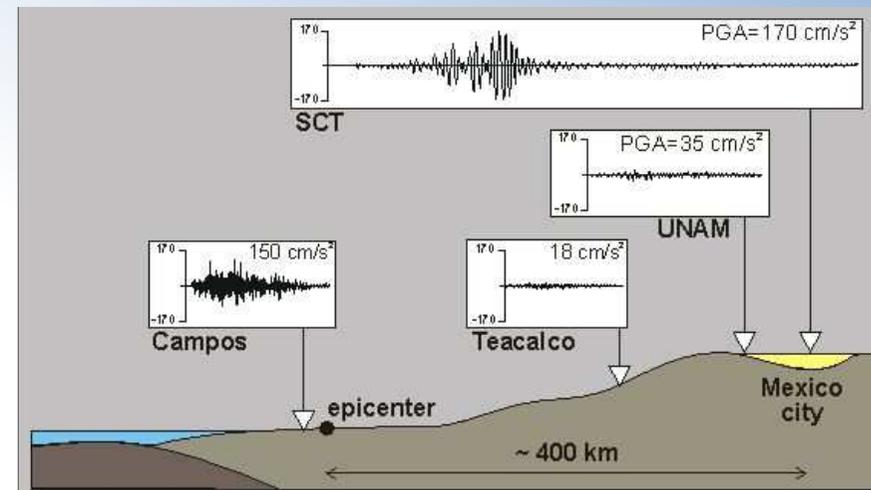
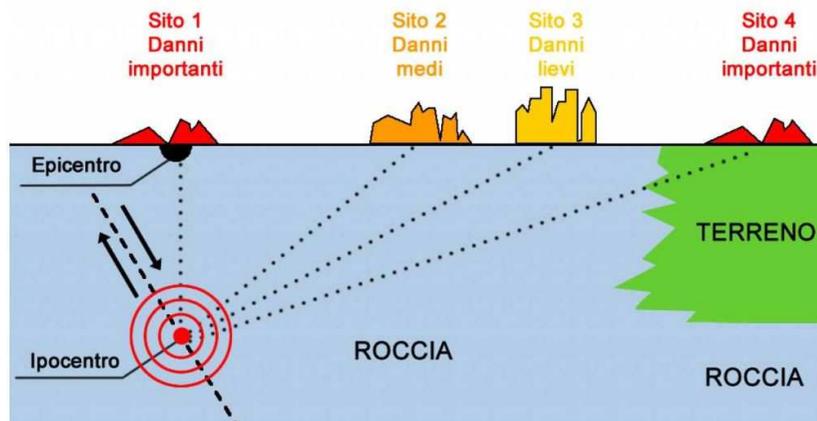
Calcareniti

Soft rocks a porosità elevata ed aperta, con bassi valori di resistenza a compressione monoassiale, flessione e trazione e con un comportamento geotecnico che può cambiare da quello classico di terreni granulari sabbiosi a quello di rocce *s.s.* a bassa resistenza meccanica *l.s.*

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA DI SITO

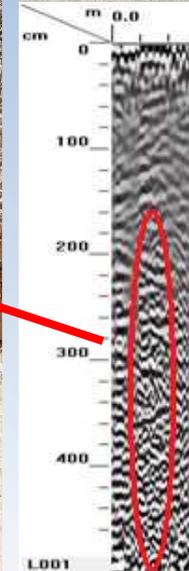
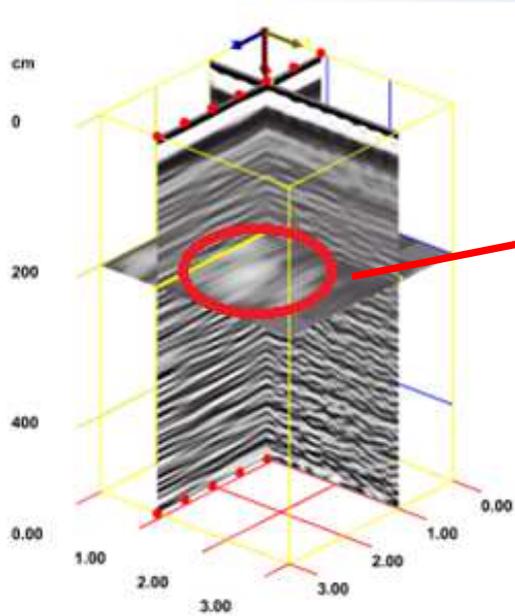


I fenomeni di amplificazione sismica possono causare danni importanti anche molto lontano dall'epicentro



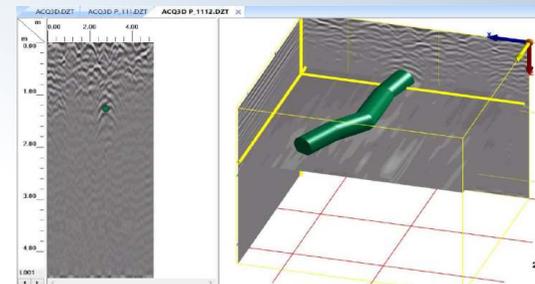
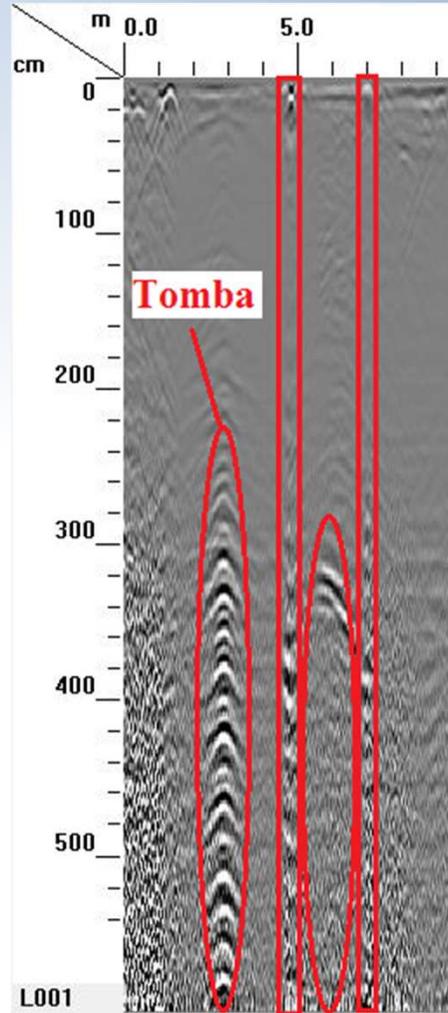
INDAGINI SOTTOSUOLO - GEORADAR

3D

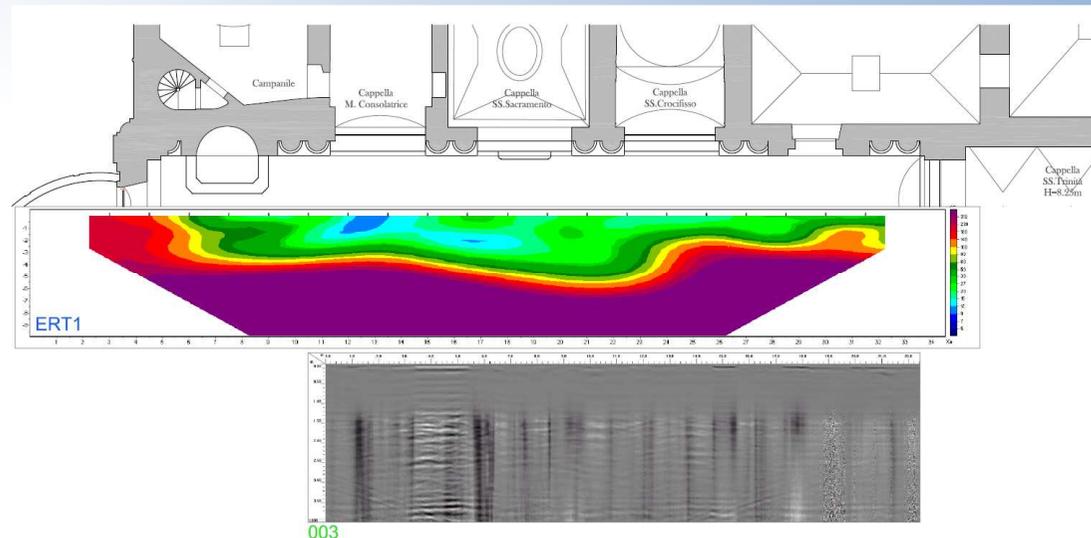
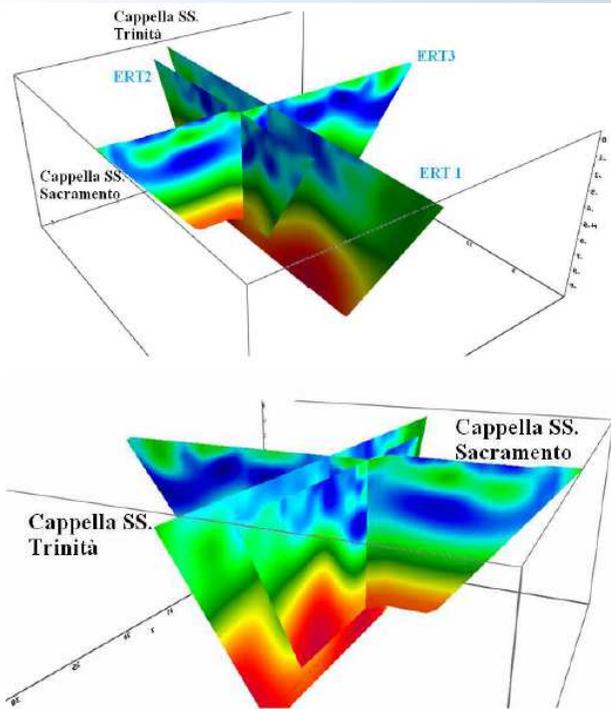


2D

GEORADAR MEDIO-BASSA FREQUENZA



ESEMPIO 3 – Cattedrale di Castellaneta



Un'attesa lunga quattro anni che terminerà giovedì prossimo quando sarà riaperta al culto la chiesa cattedrale dedicata a Santa Maria Assunta di Castellaneta (Taranto).

La riapertura avviene dopo i lavori di recupero e restauro a cui è stata sottoposta a causa della umidità emersa nel corso di indagini diagnostiche - eseguite anche con fessurimetri, video endoscopie e georadar - e propedeutiche alla cantierizzazione.



Geoelettrica + Georadar

OSSERVAZIONI

NTC 2018 – 6.2.2

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità. Deve inoltre essere specificato se la resistenza caratteristica si riferisce alle discontinuità o all'ammasso roccioso.

~~Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate,~~ ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

- Esempio 1 – Intervento di modesta rilevanza
- Esempio 2 – Zona ben conosciuta
- Esempio 3 – Edificio storico

Responsabilità del progettista



Indagini per la caratterizzazione

AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Circolare 2019 – 6.2.2.2

Le indagini sono estese ed approfondite in modo da risultare adeguate a tutte le diverse fasi di sviluppo del progetto e comprendono quanto necessario per la definizione dell'azione e l'analisi delle opere in condizioni sismiche secondo quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2.

NTC 2018 – 3.2.2

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

APPROCCIO SEMPLIFICATO

NTC 2018 – 3.2.2

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

NTC 2008 – 3.2.2

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

- Velocità equivalente riferita alla profondità del substrato
- Eliminate le categorie speciali a vantaggio dell'analisi di risposta sismica locale
- Le prove penetrometriche non sostituiscono le prove geofisiche

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

NTC 2018 – 7.11.2

Le indagini geotecniche devono essere predisposte dal progettista in presenza di un quadro geologico adeguatamente definito, che comprenda i principali caratteri tettonici e litologici, nonché l'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità del territorio. Le indagini devono comprendere l'accertamento degli elementi che, unitamente agli effetti topografici, influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e la presenza di un substrato rigido o di una formazione ad esso assimilabile.

NTC 2018 – 7.11.3

Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Circolare 2019 – C7.11.3.1.1

In aggiunta alle indagini in sito e alle prove di laboratorio necessarie per l'identificazione dei modelli geotecnici di sottosuolo in condizioni statiche, per la progettazione in presenza di azioni sismiche le indagini e le prove devono comprendere l'accertamento della profondità e della conformazione del substrato rigido o di una formazione ad esso assimilabile.

Queste analisi richiedono, inoltre, un'adeguata conoscenza delle proprietà meccaniche dei terreni in condizioni cicliche, da determinare mediante specifiche indagini in sito e prove di laboratorio, programmate dal progettista in funzione del tipo di opera e/o di intervento, e della procedura di analisi che intende adottare. In particolare, è auspicabile l'esecuzione di prove in sito per la determinazione dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio, ai fini della valutazione della rigidità a bassi livelli di deformazione. Le prove di laboratorio sono invece raccomandate per la valutazione della dipendenza della rigidità e dello smorzamento dal livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. A titolo di esempio e in maniera non esaustiva, le prove in sito possono includere le prove Cross-Hole, le prove Down-Hole, le prove SASW, le prove MASW, le prove eseguite con il dilatometro sismico (SDMT) e con il penetrometro sismico SCPT, ecc.; le prove di laboratorio possono invece consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche, ecc. Le apparecchiature di laboratorio, opportunamente strumentate, possono permettere anche la determinazione delle caratteristiche di rigidità a bassi livelli di deformazione.

INDAGINI GEOLOGICHE: SI O NO?

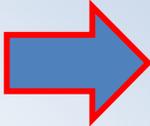
CASI STUDIO	ESEMPIO	INDAGINI
<ul style="list-style-type: none">• Costruzioni o interventi di modesta rilevanza	1	SI
<ul style="list-style-type: none">• Zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico	2	SI
<ul style="list-style-type: none">• Edifici storici e/o beni architettonici e culturali	3	SI

INDAGINI GEOLOGICHE: SI O NO?

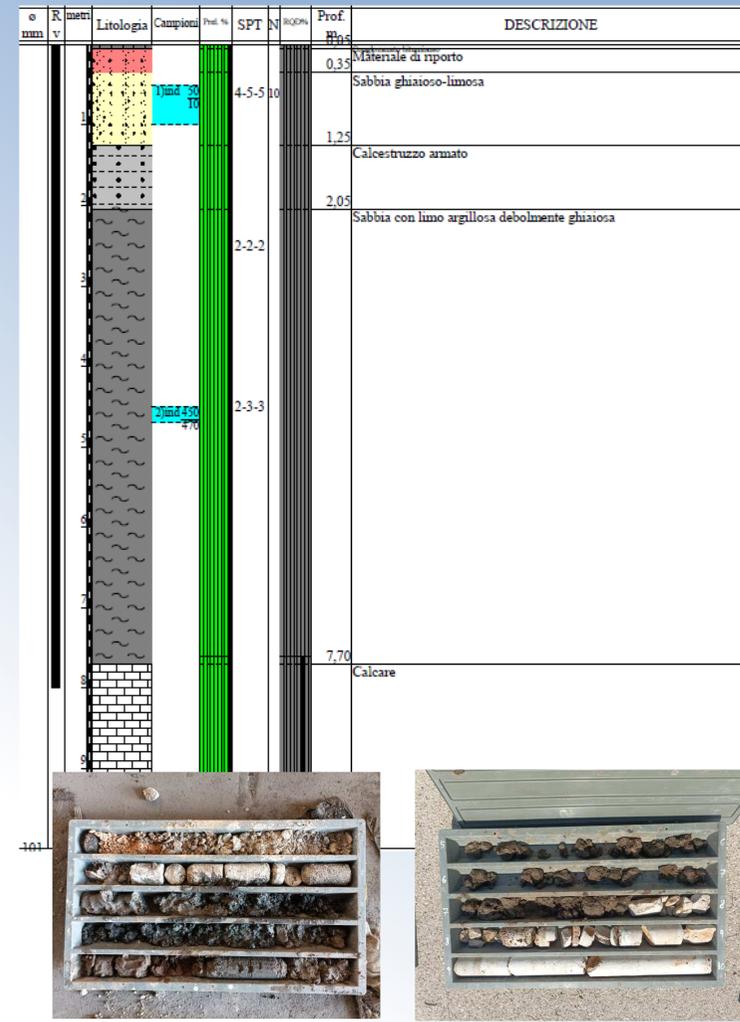
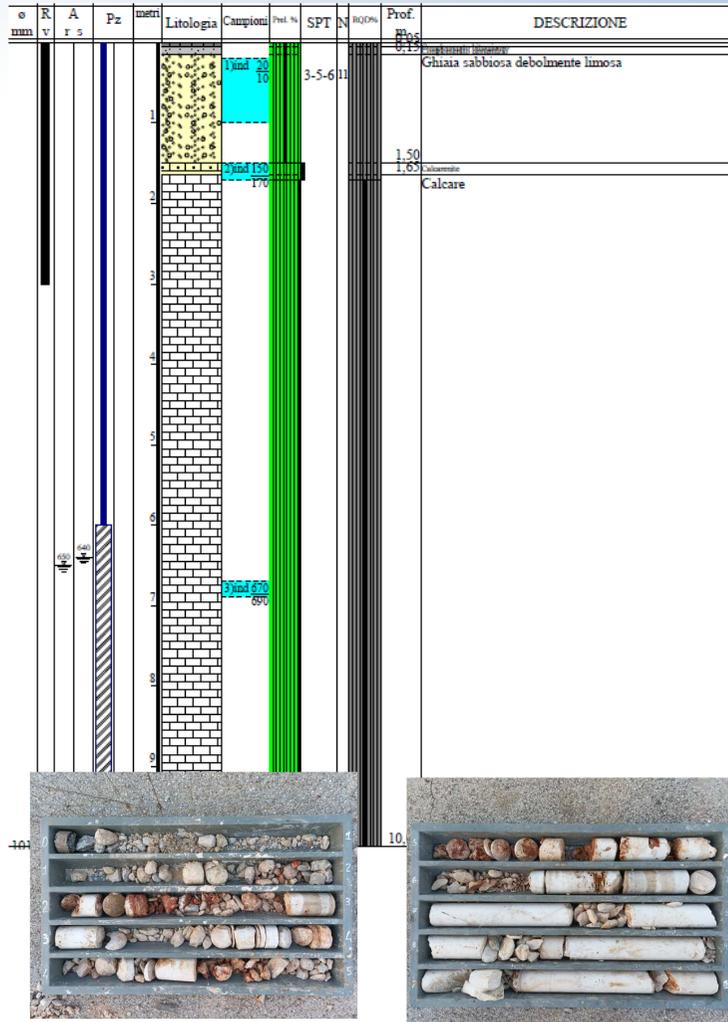
La cartografia tematica anche di dettaglio, le preesistenti indagini e prove documentate possono e devono costituire solo un punto di partenza



ESEMPIO 4 – PIANO DI INDAGINI "VIRTUOSO"

- Perforazione verticale a rotazione a carotaggio;
 - Installazione di tubo piezometrico;
 - Prove penetrometriche;
 - Prove di permeabilità;
 - Analisi di laboratorio geotecnico;
 - Indagine GPR (Ground Probing Radar);
 - Prospezioni sismiche con metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
 - Acquisizione di dati sismici per analisi HVSR (Horizontal to Vertical Spatial Ratio);
 - Prospezione geoelettrica con metodologia ERT (Electrical Resistivity Tomography).
- 
- Ricostruire la stratigrafia del sottosuolo;
 - Rilevare il livello idrostatico della falda acquifera;
 - Ricavare lo stato di consistenza degli strati del sottosuolo;
 - Definire il comportamento idraulico;
 - Caratterizzare dal punto di vista fisico e meccanico le terre e/o rocce;
 - Rilevare la presenza di cavità dal piano di calpestio;
 - Ottenere nella posizione baricentrica il profilo verticale delle onde S (V_s);
 - Analizzare le frequenze di sito;
 - Modello tridimensionale del sottosuolo.
-

ESEMPIO 4 – Carotaggi nel sottosuolo



ESEMPIO 4 – Analisi di laboratorio geotecnico

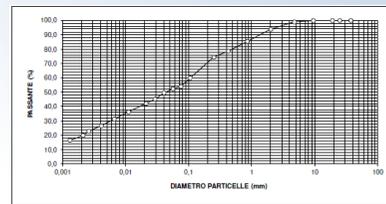
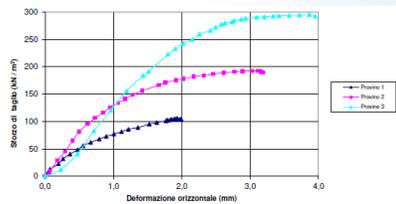
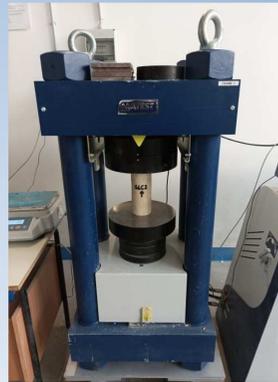


Tabella riassuntiva dei principali parametri fisico-meccanici*

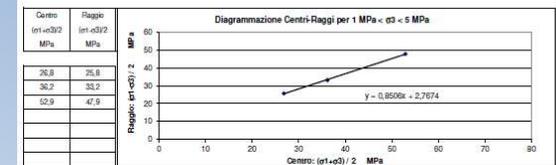
Sigla campione	Sondaggio di prelievo	Profondità dal p.c.	Strato	Limiti di Atterberg			Classificazione	Massa volumica secca	Massa volumica dei grani	Indice dei vuoti	Coesione	Angolo di attrito	Resistenza a compressione uniaxiale	Modulo elastico
				L.L. %	L.P. %	I.P. %								
S1C1a	S1a	tra -1,5 m e -1,7 m	Limo con sabbia e argilla debolmente ghiaioso	36,9a	19,7a	17,2a	A6 - 9a	1890a	2669a	0,41a	4,2a	25,4a	—	—
S1C2a	S1a	tra -4,4 m e -4,6 m	Calcareo	—	—	—	—	2565a	2710a	—	—	—	64,3a	58471a
S1C3a	S1a	tra -5,0 m e -5,5 m	Calcareo	—	—	—	—	2576a	2710a	—	—	—	53,9a	49062a
S2C1a	S2a	tra -0,2 m e -1,0 m	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	—	—	—	A1 - 9a	—	—	—	—	41,0* ^b	—	—
S2C2a	S2a	tra -1,5 m e -1,7 m	Calcareo	—	—	—	—	1680a	2710a	—	—	—	6,6a	2637a
S2C3a	S2a	tra -6,7 m e -6,9 m	Calcareo	—	—	—	—	2512a	2710a	—	—	—	69,5a	61308a
S3C1a	S3a	tra -0,5 m e -1,0 m	Sabbia ghiaioso limosa	—	—	—	A1 - 7a	—	—	—	—	41,0* ^b	—	—
S3C2a	S3a	tra -4,5 m e -4,7 m	Sabbia con limo argilloso debolmente ghiaioso	31,0a	19,7a	11,3a	A6 - 4a	1710a	2674a	0,57a	3,2a	27,9a	—	—
S3C3a	S3a	tra -9,2 m e -9,5 m	Calcareo	—	—	—	—	2564a	2710a	—	—	—	67,5a	48915a
S4C1a	S4a	tra -0,3 m e -0,6 m	Ghiaia sabbiosa limosa	—	—	—	A1 - 9a	—	—	—	—	42,0* ^b	—	—
S4C2a	S4a	tra -2,0 m e -2,3 m	Calcareo	—	—	—	—	2426a	2710a	—	—	—	44,1a	35629a
S4C3a	S4a	tra -6,3 m e -6,4 m	Calcareo	—	—	—	—	2499a	2710a	—	—	—	56,4a	42781a

*Valore desunto da prove SPT

Prov. n°	Caratteristiche fisiche del campione provato				Storzo principale massimo e1	Storzo totale di rottura e3	Storzo deviatorico a rottura (e1-e3)
	Diametro cm	Altezza cm	Peso g	Peso volumico g/cm³			
1	5,45	10,0	592	2,54	32,6	1	51,6
2	5,45	10,0	596	2,56	69,3	3	66,3
3	5,45	10,3	614	2,56	100,8	5	96,8

ELABORAZIONE PROVA

Allo scopo di poter individuare l'equazione della retta tangente che meglio approssima i cerchi di Mohr è opportuno rappresentare i dati sperimentali nel diagramma avente, in ascissa i centri dei cerchi ed in ordinata i rispettivi raggi.



E' possibile individuare l'equazione della retta dei minimi quadrati interpolante:

$$\text{Raggio} = \tan(\alpha) \cdot \text{Centro} + d$$

essendo $\tan(\alpha) = 0,8506$, si ottiene $\alpha = 40,4^\circ$ e $d = 2,7674$

Poiché la relazione tra il diagramma τ / σ ed il diagramma Raggio / Centro è data da:

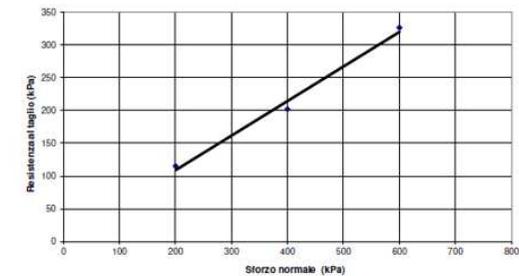
$$\sigma = \frac{c}{\sin(\alpha)} + \frac{\tau}{\cos(\alpha)} \quad c = d / \cos(\alpha)$$

si ottiene $\sigma = 58,3\sigma + c = 5,36 \text{ MPa}$,

per tanto l'equazione della tangente che meglio interpola i cerchi di Mohr può essere così rappresentata:

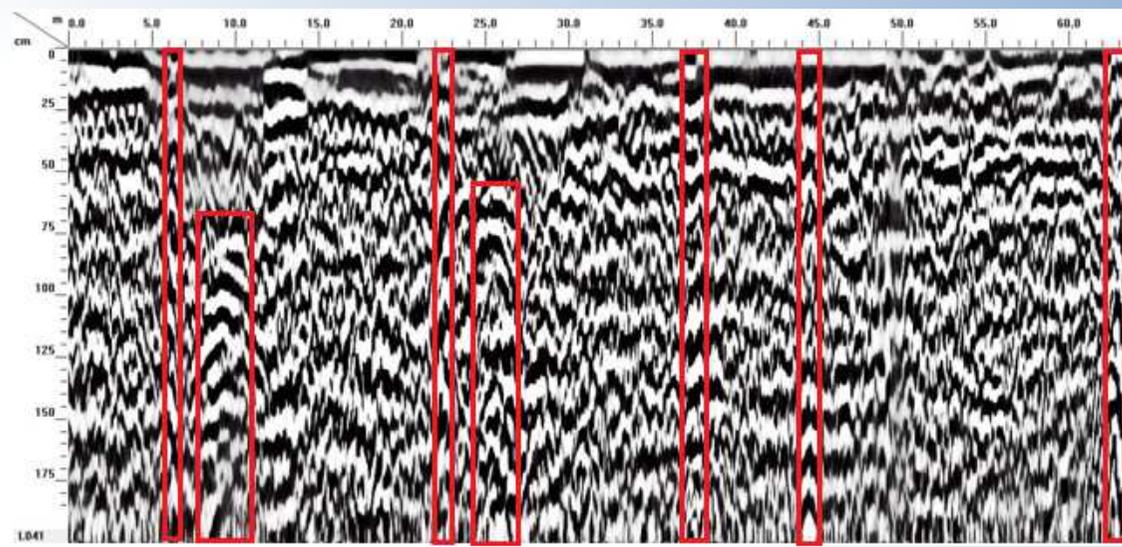
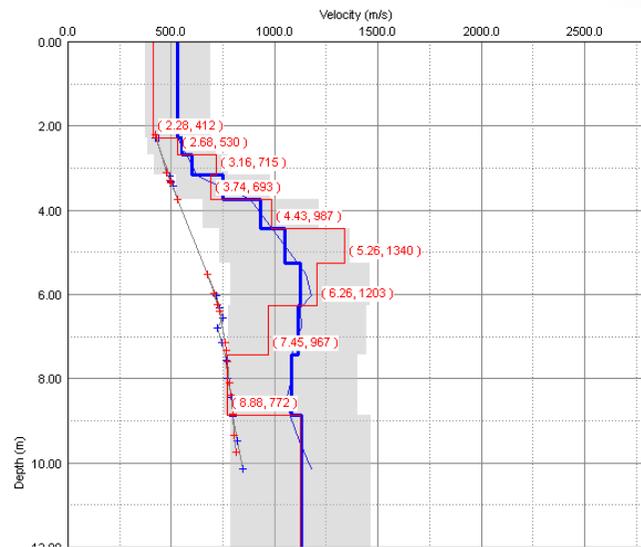
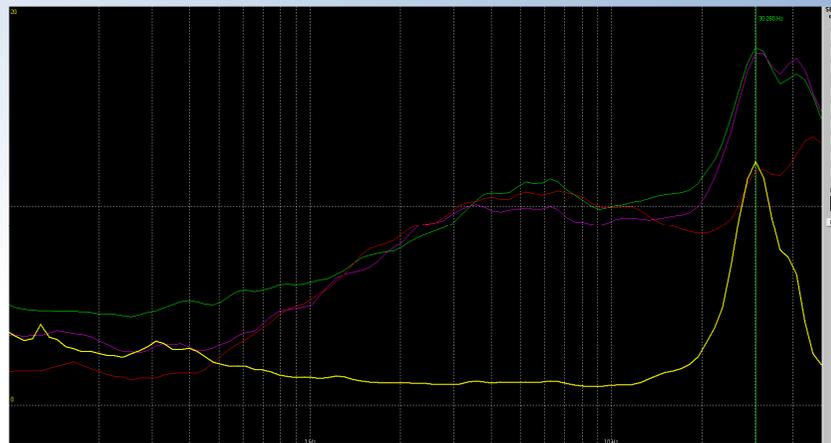
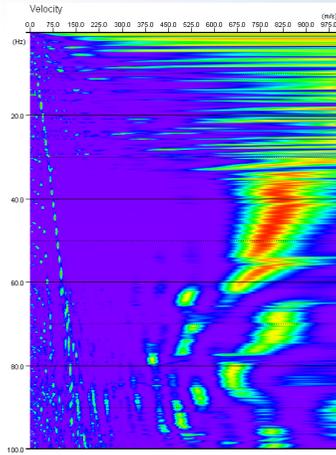
$$\tau = \tan(38,3^\circ) \sigma + 5,26$$

Storzo normale	Resistenza al taglio
kPa	kPa
200	115,1
400	201,9
600	326,5



Coesione (kPa)	3,2	Angolo di attrito *	27,9
----------------	-----	---------------------	------

ESEMPIO 4 – Prove geofisiche



ESEMPIO 4

Tipo di opera

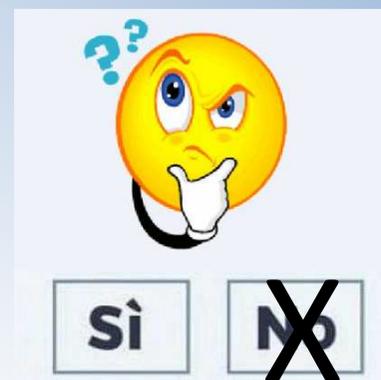


Parcheggio terminal bus

Piano di indagini



ESAGERATO?



Sì

No

RELAZIONE GEOTECNICA

Circolare 2019 – C6.2.2.5

La relazione geotecnica contiene i principali risultati ottenuti dalle indagini e prove geotecniche, descrive la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera e riassume i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e la valutazione delle prestazioni nelle condizioni d'esercizio del sistema costruzione-terreno.

I contenuti della relazione geotecnica, modulati in relazione alla fase progettuale, al tipo di opera ed al contesto in cui essa si inserisce, sono indicativamente i seguenti:

- descrizione del sito, delle opere e degli interventi;
 - valutazione della pericolosità ambientale (stabilità del territorio in condizioni statiche e sismiche);
 - risposta sismica locale;
 - problemi geotecnici e scelte tipologiche;
 - identificazione degli stati limite per le opere in progetto e metodi di analisi;
 - descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche;
 - caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
 - modelli geotecnici di sottosuolo con indicazione dei valori caratteristici e di progetto dei parametri geotecnici;
 - risultati delle analisi;
 - confronto dei risultati con le prestazioni previste per le opere;
 - prescrizioni sulle modalità costruttive;
 - eventuale piano di monitoraggio in corso d'opera e in esercizio.
-

RELAZIONE GEOTECNICA

Circolare 2019 – C6.2.2.5

La relazione geotecnica contiene i principali risultati ottenuti dalle indagini e prove geotecniche, descrive la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera e riassume i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e la valutazione delle prestazioni nelle condizioni d'esercizio del sistema costruzione-terreno.

I contenuti della relazione geotecnica, modulati in relazione alla fase progettuale, al tipo di opera ed al contesto in cui essa si inserisce, sono indicativamente i seguenti:

- descrizione del sito, delle opere e degli interventi;
 - valutazione della pericolosità ambientale (stabilità del territorio in condizioni statiche e sismiche);
 - risposta sismica locale;
 - problemi geotecnici e scelte tipologiche;
 - identificazione degli stati limite per le opere in progetto e metodi di analisi;
 - descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche;
 - caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
 - modelli geotecnici di sottosuolo con indicazione dei valori caratteristici e di progetto dei parametri geotecnici;
 - risultati delle analisi;
 - confronto dei risultati con le prestazioni previste per le opere;
 - prescrizioni sulle modalità costruttive;
 - eventuale piano di monitoraggio in corso d'opera e in esercizio.
-

AZIONI E RESISTENZE DI PROGETTO

Ingegneria strutturale

E_d

- Definizione e qualità dei materiali
- Geometria

PIANO DI
FONDAZIONE

Geotecnica

R_d

- Caratterizzazione e modellazione geotecnica
- Azione sismica

VOLUME
SIGNIFICATIVO
DEL
SOTTOSUOLO

VERIFICHE DELLA SICUREZZA

NTC 2018 – 6.2.4.1.2

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

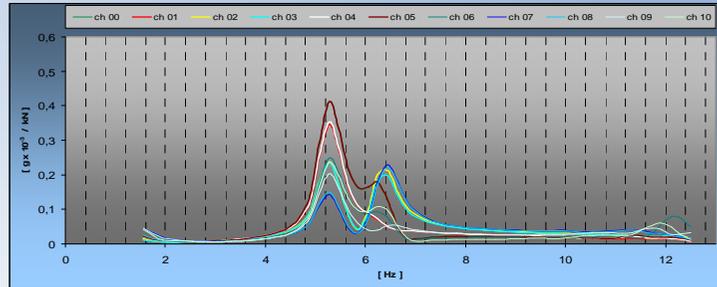
- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

$$E_d \leq R_d$$

NTC 2018 – 6.2.II

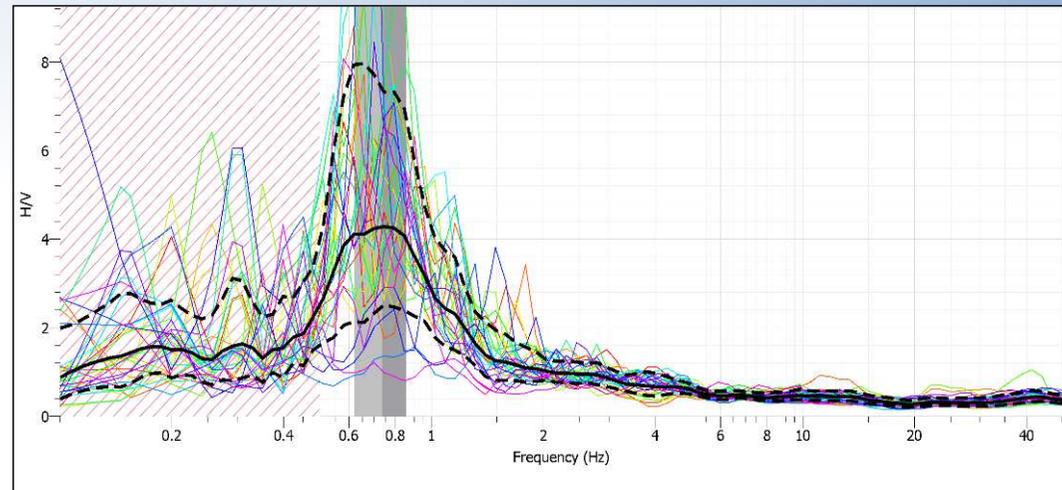
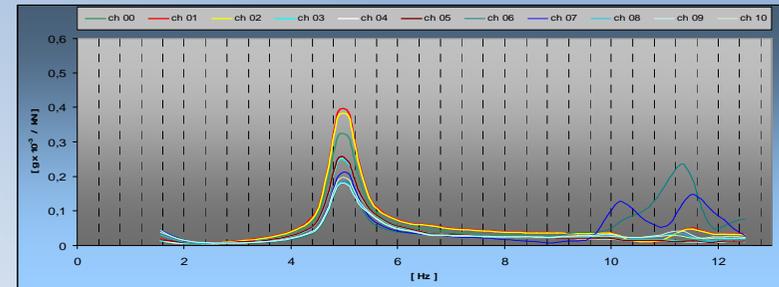
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_γ	1,0	1,0

HVSR SU STRUTTURA E TERRENO



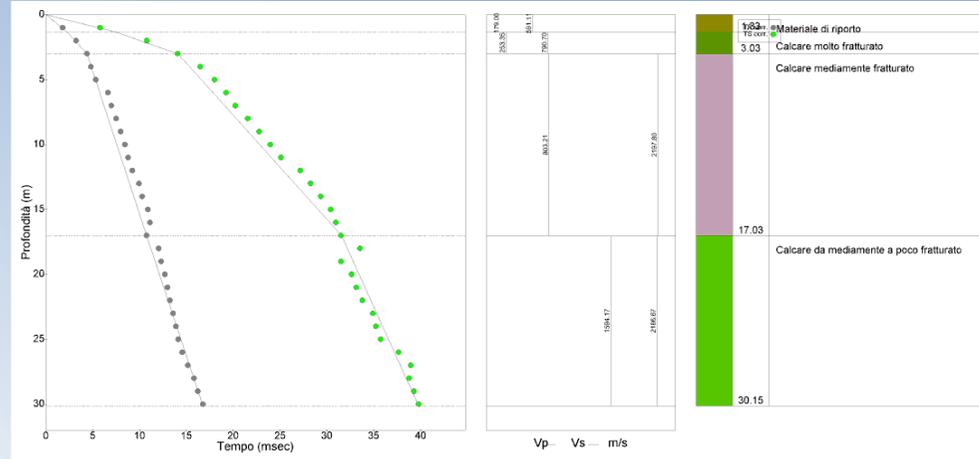
Direzione longitudinale

Direzione trasversale



La differenza tra il valore di frequenza di risonanza del terreno 0,76 Hz e quelle della struttura nella prima frequenza in direzione x paria a 5,08 Hz, la differenza in percentuale è ben al di sopra del 25%, limite al quale viene considerato basso il pericolo di risonanza terreno-struttura [A. Gosar, —Site effects and soil-structure resonance study in the Kobarid basin (NW Slovenia) using microtremors, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 761–772, 2010]

PROSPEZIONE SISMICA DOWN-HOLE



Committente:	ITALFERR SPA	
Località:	RILEVATO FERROVIARIO PK 13-960	Comune: BITETTO Prov. BA
Quota basefora:	125 s.l.m.	Quota fondazione: 115,00 (m)
Coordinate N:	545303.00366 N	Profondità Totale: 10,00
Coordinate E:	646816.58726 E	Amplificazione di velocità: 25 [-]
Iniziante:	11032019	Terminante: 11032019
		Prof. Max: 2/m



Metodo di misura di circolazione	Corona di diamant.	Profondità [m]	Profilo stratigrafico	Carotaggio totale N di recupero	R.E.D.R.	Descrizione	Grado di alterazione	Grado di fratturazione	Grado di fratturazione discontinua	Prove di permeabilità		Stratificazione
										Lugoni	Lefranc	
		0										
		1										
		2										
		3										
		4										
		5										
		6										
		7										
		8										
		9										
		10										

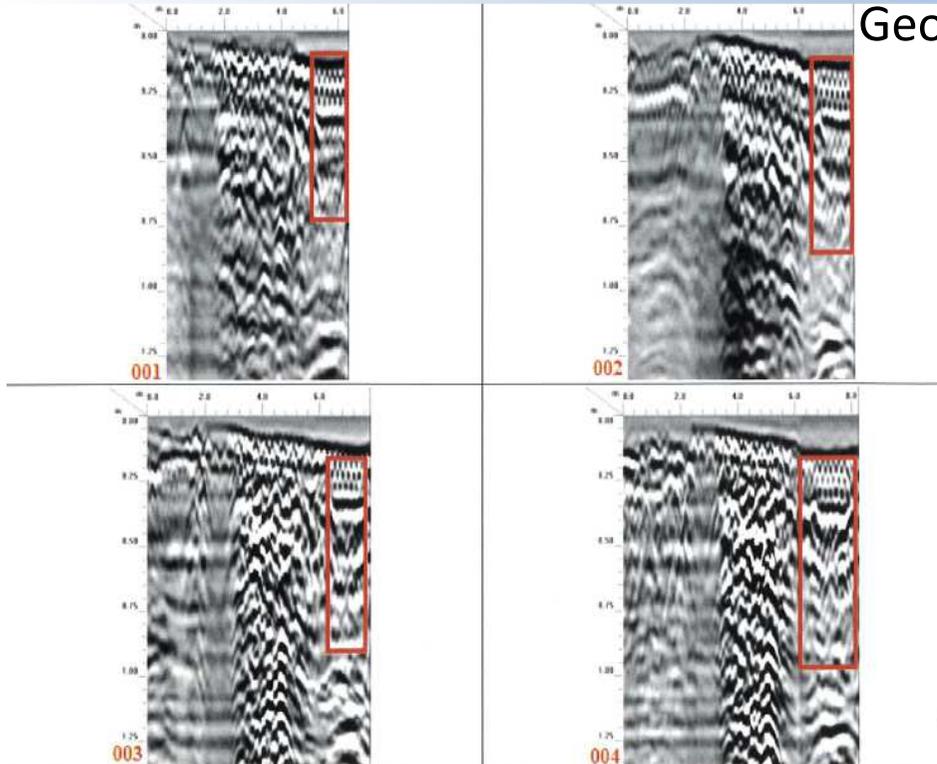


BASE SISMICA 01 (onde P) / DOWN HOLE 01 (onde S) - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	550	730	2187
Velocità onde S (m/s):	375	253	1100
V _{SH} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	5000	5000	5000
SPESORE MEDIO STRATO (m):	1,50	1,50	27,00
Profondità Media Strato (m):	0,75	2,25	16,50
Modulo di Poisson (ν):	0,44	0,43	0,33
Densità naturale (γ _{nat} in g/cm ³):	1,50	1,61	2,12
Porosità (%):	45,61%	43,93%	30,21%
MOD. DI YOUNG DINAMICO (E _{dyn} in Mpa o N/mm ²):	135	229	5702
MOD. DI TAGLIO DINAMICO (G _{dyn} in Mpa o N/mm ²):	47	101	2515
MOD. DI BULK (K) (Mpa o N/mm ²):	382	706	6678
MOD. DI YOUNG STATICO (E _{stat} in Mpa o N/mm ²):	16	35	807
MOD. DI TAGLIO STATICO (G _{stat} in Mpa o N/mm ²):	6	12	303
MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²):	453	857	10229
MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²):	542	1030	12322
Rigidità Statica (γ _{st} in Ton/m ² /sec):	268	467	2351
Frequenza dello strato:	30	42	16
Periodo dello strato:	0,03	0,02	0,10
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE TERRE (NON VALIDO PER LE ROCCE)			
SPT (N) VALORI (Imai and Yoshimura, 1977):	13	38	>50
Coeficiente di dilatazione (ν ₀) (Imai and Yoshimura, 1977):	0,77	1,38	25,94
Coeficiente di dilatazione (ν ₀) (Imai and Yoshimura, 1977):	0,63	0,91	4,50
Coeficiente di dilatazione (ν ₀) (Imai and Yoshimura, 1977):	1,44	2,48	25,82
Coeficiente di dilatazione (ν ₀) (Imai and Yoshimura, 1977):	0,51	2,30	115,44
Coeficiente di dilatazione (ν ₀) (Imai and Yoshimura, 1977):	0,65	1,25	22,31
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR (Bisliawsky) (valido solo per le rocce da E statico):	NA	18	70
φ (angolo di attrito in °):	27	28	31
c (coesione in Kg/cm ²):	NA	0,8	3,6
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle vp in laboratorio 5000m/sec):	NA	0,122	0,366
Rapporto di velocità al quadrato (VR ²):	NA	0,015	0,134
RQD (Rif. ITG/VALP/1990):	NA	1,0%	33,0%
RQD (relazione empirica sul calcar - F. Zucca 1976):	NA	6,5%	29,8%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (poteri) dimensione fondazione superficiale (in cm):	100	100	100
D (poteri) diametro palo (in m):	0,50	0,50	0,50
k (Coeff. di Winkler in Kg/cm ³ -VEGIC 1961) k=E/(B(1-ν ²)):	2,05	4,38	32,58
k = 17,2·V _{SH} ³ Kg/cm ³ (Bowles 1987, Kocalt, Imai e Yoshimura 2012):	1,15	1,77	11,11
K _v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm ³ → K _v = ν ² ·E _{stat} ·dove ν ² =2·(1+ν ₀)·(1-2ν ₀)):	6,53	12,40	428,88
K _h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm ³ - Chiarugi-Mata):	6,16	34,86	3157,46
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fa (Fattore di sicurezza= Vp/V _{SH}):	3,1	2,9	2,0
Q _{ult} (Kg/cm ²) = ν ₀ ·WR(1) (Kocalt 2012):	2,68	4,07	23,31
Q _{ult} =Q _{ult} /Fa:	0,87	1,41	11,67

GEORADAR MEDIO-BASSA FREQUENZA

Geometria fondazioni

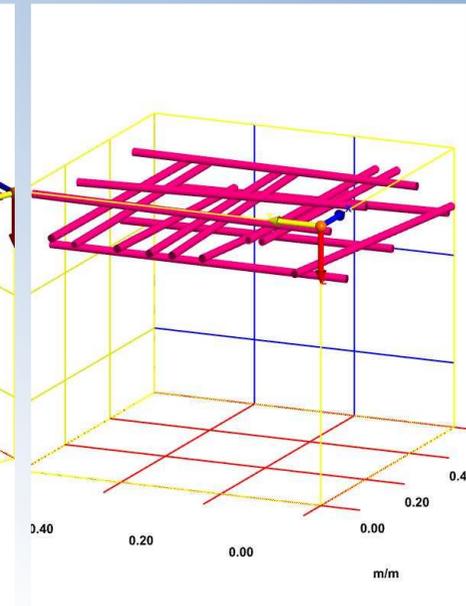
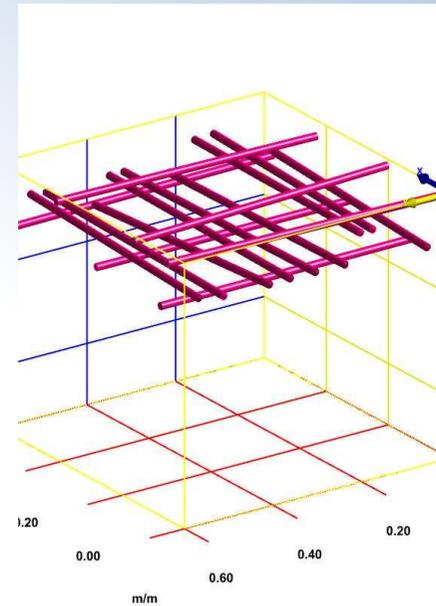
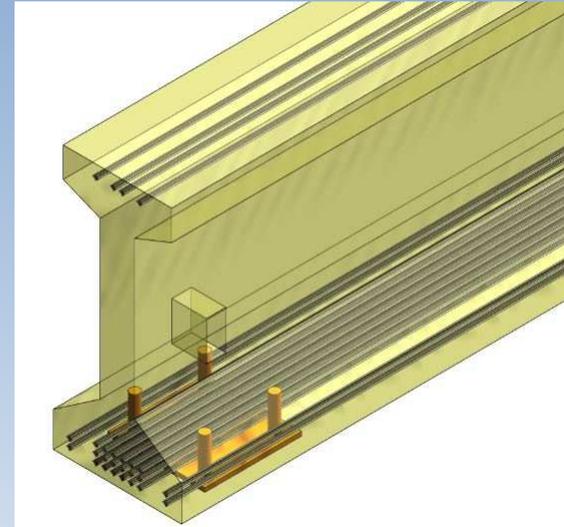
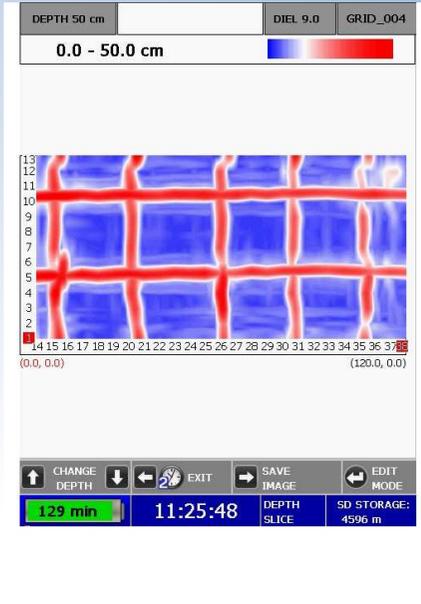


- Anomalia A
- Anomalia B
- Anomalia C

Nelle tracce 1, 2, 3 e 4 le anomalie di tipo C corrispondono alla fondazione in calcestruzzo armato.



GEORADAR STRUTTURALE AD ALTA FREQUENZA



VANTAGGI DELLE PROVE GEOFISICHE

- **Volume maggiore di indagine - rappresentatività**
 - **Ricostruzione stratigrafica - modellazione**
 - **Analisi di risposta sismica locale – approccio semplificato**
 - **Affidabilità dei risultati – taratura con prove dirette**
 - **Economicità e celerità**
 - **Individuazione di eventuali anomalie**
 - **Impiego in contesti urbani e/o storici e di infrastrutture esistenti**
-

CONCLUSIONI



Le norme tecniche costituiscono uno strumento ma anche un buon motivo di crescita culturale e professionale. (Ordini professionali, formazione, qualificazione del personale).



D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare Esplicativa 21 gennaio 2019
«Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
Controlli di accettazione dei materiali e verifiche su costruzioni esistenti

Grazie per l'attenzione

Dott. Geol. Fabio LUPARELLI

Per slide, informazioni e consulenze,
contattare il laboratorio ai seguenti recapiti

Via del Tabacco, 64
70022 Altamura (BA)
Tel. 080 3147018



LABORATORIO PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE L. 1086/71
Aut. Min. Infr. e Mob. Sost. con D.M. n. 52522 del 16/12/2004 e s. n. Settore "A" circolare n. 7617/S.T.C.
LABORATORIO PER PROVE E CONTROLLI SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE SU STRUTTURE E COSTRUZIONI ESISTENTI
Aut. Min. Infr. e Mob. Sost. con D.M. n. 0000025 del 03/01/2022 Settore "A" circolare n. 633/S.T.C.
Tecno-Lab
Laboratorio Autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001

E-mail: info@tecno-lab.com
Pec: tecno-labsrl@pec.it
www.tecno-lab.com

Bari, 15 dicembre 2023