



# Comune di San Giovanni in Persiceto

Città Metropolitana di Bologna

Area LL.PP. e Manutenzioni - Servizio Investimenti

## COLLEGAMENTO CIRCOLARE CICLABILE FRA LA STAZIONE FERROVIARIA, IL COMPARTO PRODUTTIVO "EX-ZUCCHERIFICIO", IL COMPARTO RESIDENZIALE "ACCATÀ", IL POLO SCOLASTICO E LA ZONA OSPEDALIERA

### STRALCIO 2

Via Vecchi - Via Fanin  
Via Benelli - Via Accatà  
Via Sasso - Via Palma

## PROGETTO DEFINITIVO

DATA:  
Ottobre 2019

RIFERIMENTI:

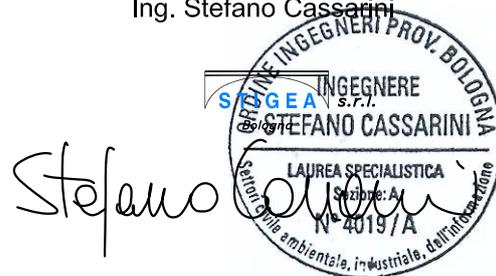
SCALA:

—

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA

IL PROGETTISTA  
Ing. Stefano Cassarini



Stefano

Il RUP:  
Geom. Daniele Cristofori

Il SINDACO:  
Dott. Ing. Lorenzo Pellegatti

TAVOLA NUMERO:

**B.1.1**

REV.	DATA	DESCRIZIONE
1	Ottobre 2019	Emissione
2	—	Revisione
3	—	Revisione



# Comune di San Giovanni in Persiceto

CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

SETTORE LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI

**LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PISTA CICLABILE  
REALIZZANTE IL COLLEGAMENTO CIRCOLARE FRA LA  
STAZIONE FERROVIARIA, IL COMPARTO PRODUTTIVO "EX  
ZUCCHERIFICIO", IL COMPARTO RESIDENZIALE "ACCATÀ",  
IL POLO SCOLASTICO E LA ZONA OSPEDALIERA**

**TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA**

**PROGETTO DEFINITVO**

**RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA**



*Dott. Ing. Stefano Cassarini*

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> <i>pag. 2</i></p>
--	--	---	--

## Sommario

1	Premesse .....	3
2	Descrizione delle opere in progetto .....	3
3	Inquadramento geologico dell'area .....	4
4	Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.....	7
4.1	Area di S.Giovanni in Persiceto.....	7

\* \* \* \* \*

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> pag. 3</p>
--	--	---	---

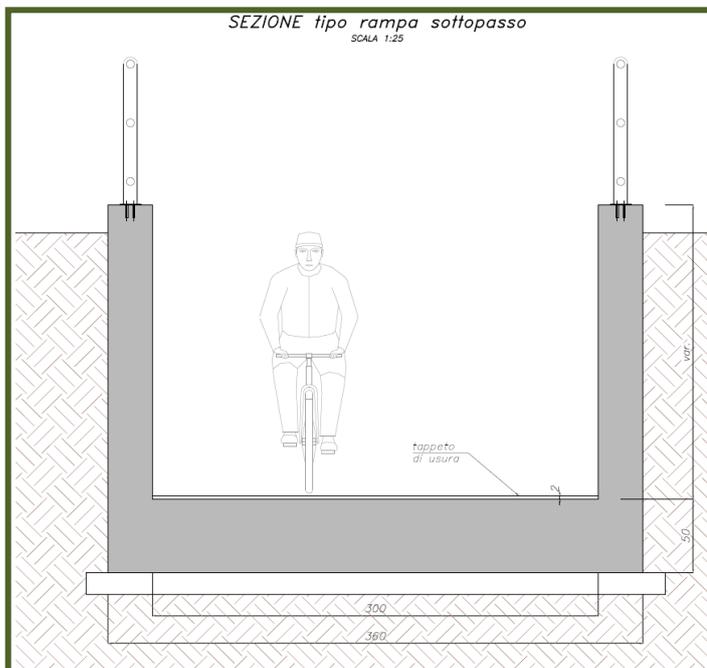
## 1 PREMESSE

La presente relazione è finalizzata all'individuazione delle problematiche geotecniche generali relative alle opere previste per la realizzazione delle lavorazioni di apertura dell'esistente sottopasso pedonale e ciclabile e per la realizzazione delle relative rampe di accesso.

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Si tratta della realizzazione delle rampe in scavo per l'accesso all'esistente sottovia ciclo pedonale realizzato da RFI.

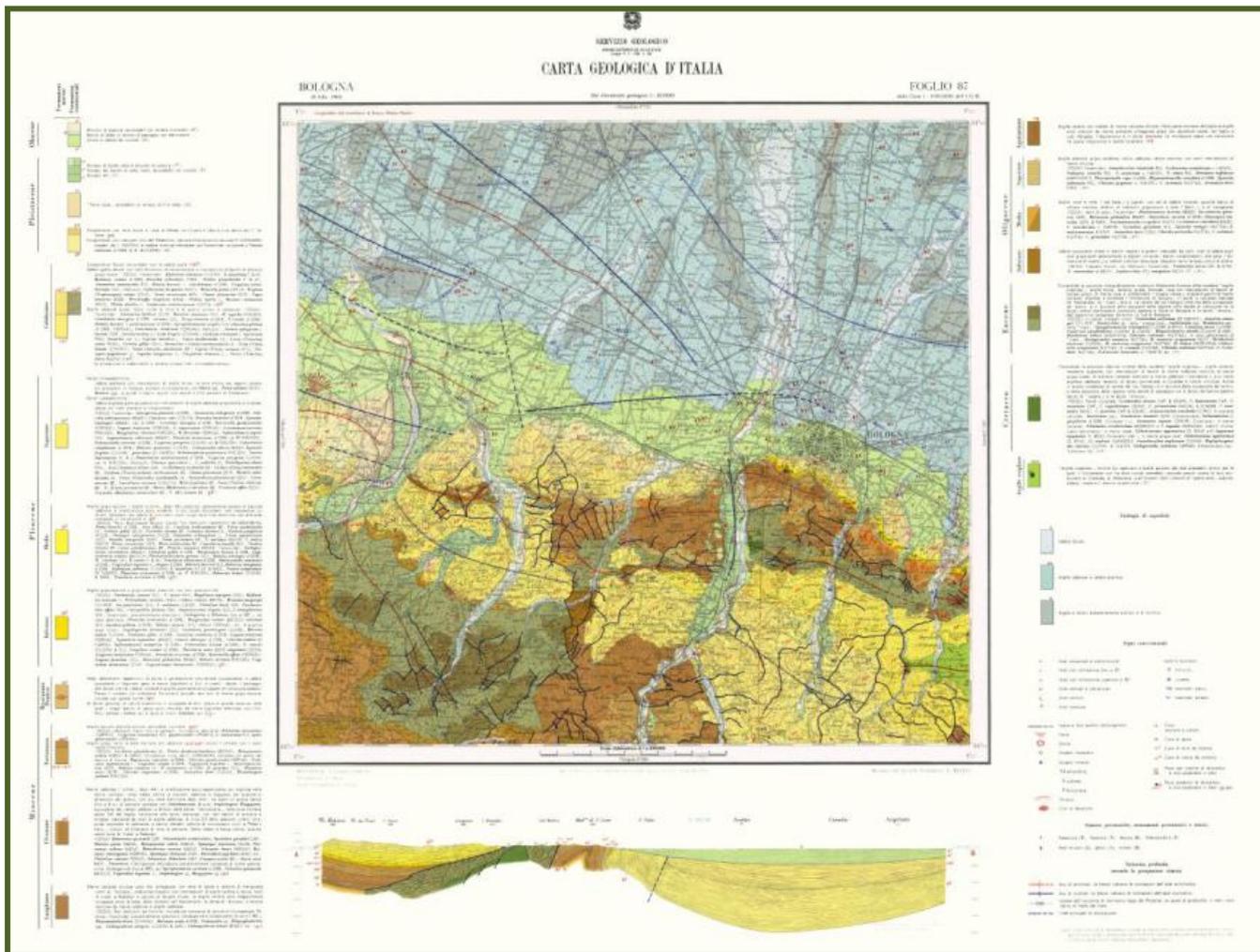
Lo schema dell'opera è il seguente :

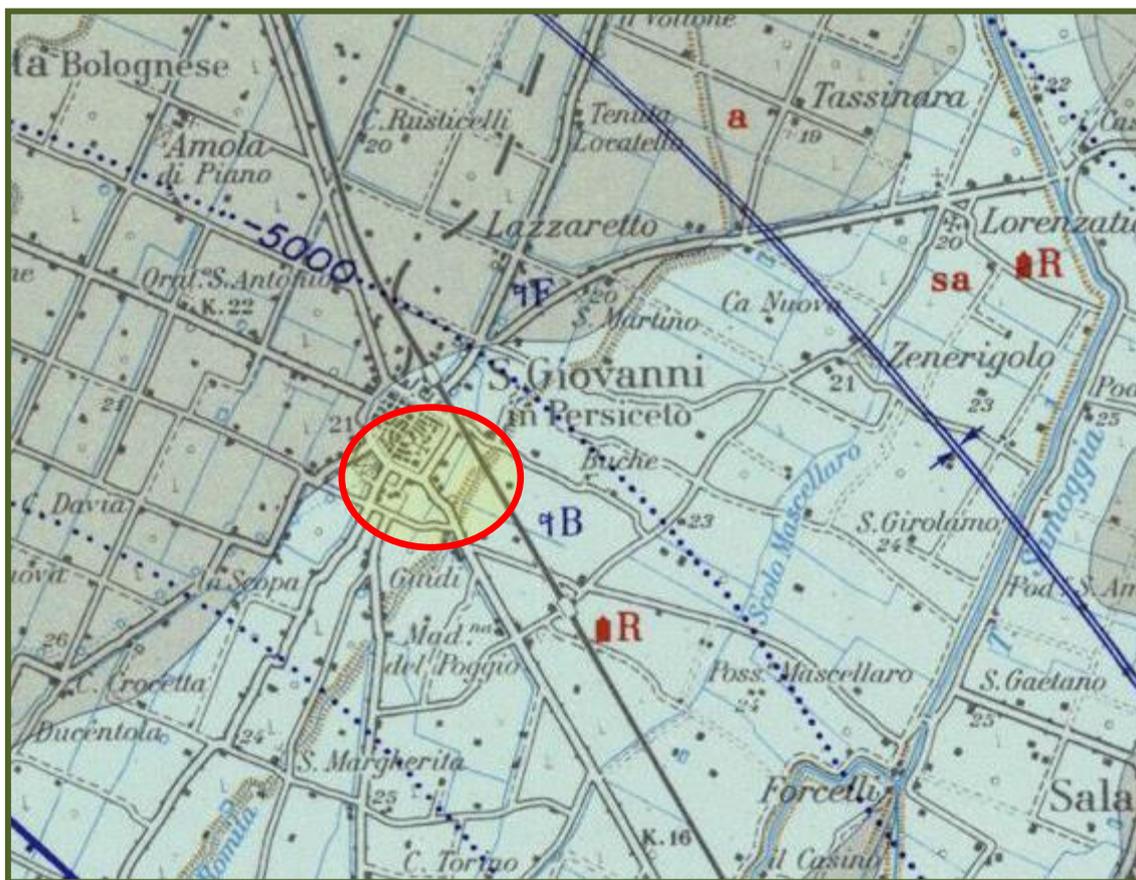
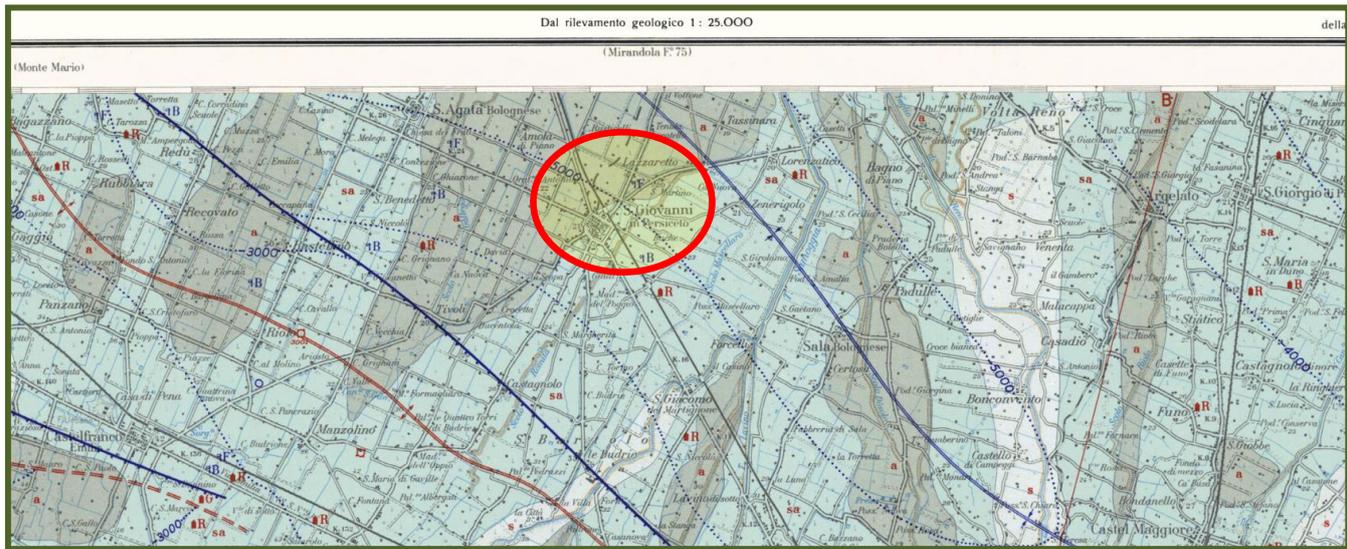




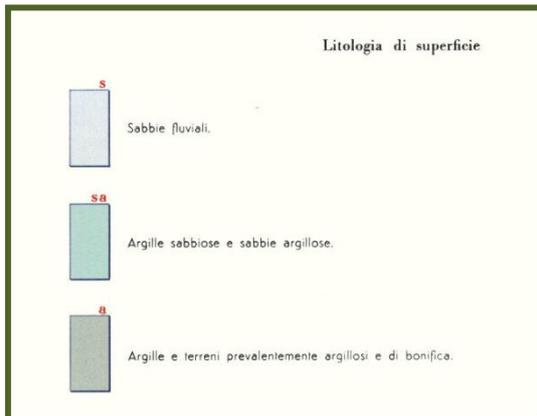
### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Nel seguito si riportano gli estratti da Foglio 87 "Bologna" della Carta Geologica Nazionale.





	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> <i>pag. 6</i></p>
--	--	---	--



L'area in esame ricade in gran parte nella Pianura Padana. Il bacino della Pianura Padana ha avuto origine quando, dopo l'orogenesi alpina cominciata nell'Oligocene, è iniziata nel Miocene la formazione della catena appenninica. In questa fase i sedimenti provenienti dalle catene montuose circostanti hanno cominciato a riversarsi nell'area dell'attuale pianura, iniziando il riempimento del mare padano. La fase di deposizione marina è continuata durante tutto il Pliocene, fino all'inizio del Pleistocene quando gran parte della Pianura Padana era ancora sommersa dal mare. Solo alla fine del Pleistocene si ebbe una regressione marina molto accentuata, alla fine della quale l'area della Pianura Padana risultava tutta emersa. Da questo momento, e per tutto l'Olocene, ha avuto luogo la fase di deposizione in ambiente alluvionale dovuta all'attività del Po e dei suoi affluenti alpini e appenninici. I terreni attualmente affioranti nella Pianura Padana sono principalmente da ricondurre al periodo olocenico.

I terreni presenti nella parte più superficiale del deposito sono costituiti prevalentemente da limi e argille e da lenti di terreno sabbioso. I terreni a grana fina sono prevalenti soprattutto nelle zone lontane dai grandi fiumi dove l'effetto delle piene andava diminuendo. Al di sotto, come è risultato dalle indagini geofisiche (rilievo elettrico tomografico), sono presenti terreni a grana grossa fino ad elevate profondità.

Dal punto di vista morfologico, l'intera Pianura padana è caratterizzata da una topografia sostanzialmente pianeggiante, anche se la superficie del piano di campagna degrada leggermente da ovest verso est.

L'idrografia dell'area è caratterizzata dal bacino del Po sul quale gravitano, direttamente o indirettamente, tutte le acque superficiali. Anche dal punto di vista idrogeologico l'area in esame appartiene al grande bacino padano; anche se localmente è possibile individuare diversi acquiferi, su grande scala essi possono essere considerati fino a 100-150 m di profondità come un monostrato in diretta comunicazione con le acque superficiali.

La Pianura Padana, infine, è da considerarsi zona di bassa sismicità.

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> <i>pag. 7</i></p>
--	--	---	--

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### 4.1 AREA DI S.GIOVANNI IN PERSICETO

Per la campagna di indagini svolta in quest'area sono stati realizzati complessivamente 5 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino a profondità variabili tra 15 e 28 m dal piano di campagna, 3 prove penetrometriche statiche (CPTU). In alcuni sondaggi sono stati installati piezometri di tipo Casagrande.

Lungo le verticali investigate sono stati prelevati, con campionatori a pareti sottili Shelby, un totale di 12 campioni indisturbati sui quali sono state effettuate le prove di laboratorio. I risultati della campagna d'indagine sono riportati in dettaglio negli allegati alla presente relazione.

La Fig.6 mostra il profilo geotecnico ottenuto dalle diverse verticali di prova posizionate lungo la linea ferroviaria: in figura sono riportate le colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi (S) e gli andamenti con la profondità della resistenza penetrometrica ottenuti dalle prove penetrometriche statiche (U). Nella stessa figura è anche indicata la posizione delle opere d'arte in progetto.

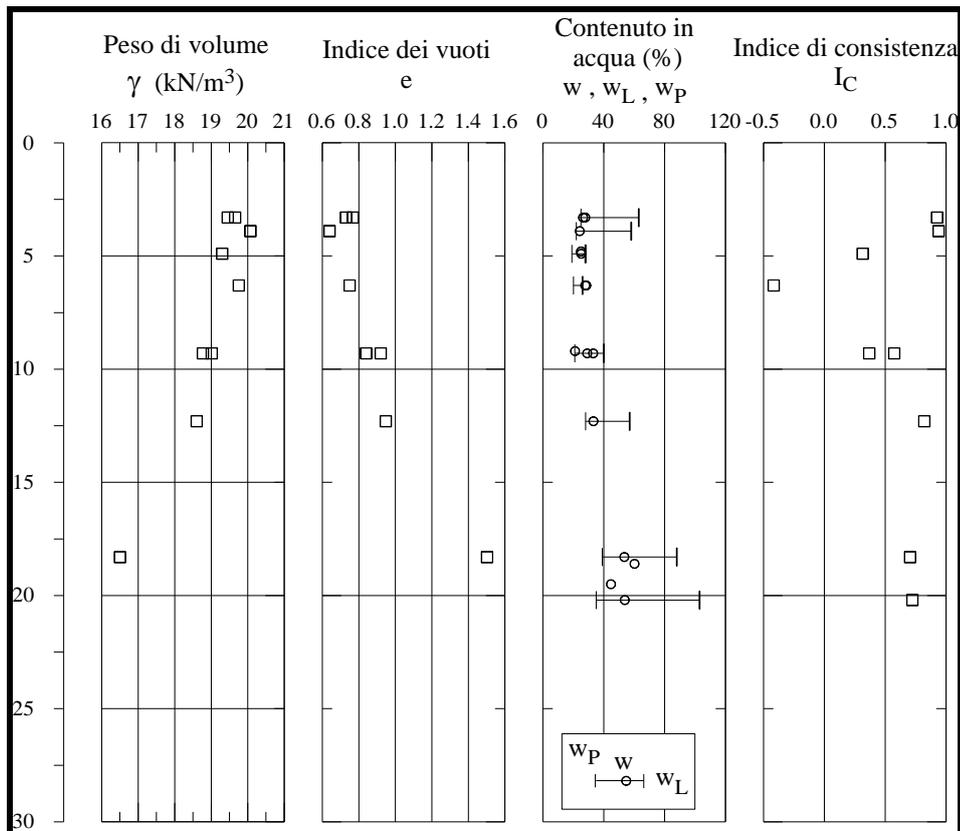
Si può osservare che, al contrario di quanto è avvenuto per l'area di Tavernelle, l'eterogeneità dei terreni presenti non consente d'individuare una stratigrafia omogenea lungo l'intera tratta in esame. Tuttavia, nella parte superficiale del deposito, è possibile riscontrare la presenza di uno strato di argilla con limo, con spessore variabile tra 5 e 6 m, di caratteristiche molto simili a quelle dello strato superficiale presente nell'area Tavernelle; in corrispondenza di questo terreno si evidenziano elevati valori della resistenza penetrometrica, tipici di materiali sovraconsolidati.

Più in profondità, il deposito tende a differenziarsi lungo lo sviluppo della linea. In particolare, nella zona iniziale della tratta, subito dopo la fine del viadotto esistente (km 17+040), si riscontra la presenza di una formazione di limo con argilla, al cui interno si evidenziano intercalazioni di sabbia di modesto spessore (circa 1.5-2 m). Diversamente, nell'area più vicina alla stazione di S.Giovanni in Persiceto (km 20+637), subito al di sotto dello strato superficiale di argilla con limo, è presente uno strato di sabbia limosa importante, con spessore variabile fra 3 e 5 m; ancora al di sotto si ritrova una formazione di argilla limosa, al cui interno, alla profondità di circa 16 m dal p.c., è presente un'intercalazione sabbiosa di circa 1.5 m di spessore.

In tutta la zona, da una quota di circa 16 m dal piano campagna le formazioni presenti mostrano un andamento della resistenza penetrometrica linearmente crescente con la profondità, tipico di terreni normalmente consolidati.

Tutta l'area in esame, la superficie piezometrica è stata rinvenuta a circa 1 m dal piano di campagna.

La Fig. successiva mostra le proprietà indice dei terreni dell'area in esame. Dalla figura risultano abbastanza evidenti le diverse caratteristiche tra l'argilla limosa superficiale, presente nei primi 5-6 m del deposito, ed i limi argillosi e le argille limose sottostanti: rispetto ai terreni più profondi, infatti, lo strato superficiale mostra un maggiore peso di volume,  $\gamma$ , indici dei vuoti,  $e$ , minori ed una maggiore consistenza, con valori di IC abbastanza prossimi all'unità.



*Proprietà indice dei terreni nell'area di S. Giovanni in Persiceto*

In Fig.8 è riportato l'andamento con la profondità della resistenza non drenata,  $c_u$ . L'andamento è ricavato in base ai risultati ottenuti sia dalle prove penetrometriche statiche in sito, sia dalle prove con il *pocket penetrometer* effettuate sulle carote di terreno in cantiere e sui campioni indisturbati in laboratorio, sia dalle prove con il pocket vane effettuate sui campioni indisturbati in laboratorio.

Al fine di mettere in evidenza le caratteristiche dei terreni presenti nella zona di maggiore interesse in relazione alle opere in progetto (in particolare in relazione al sottovia al km

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> <i>pag. 9</i></p>
--	--	---	--

20+451), nella Fig.8 sono state riportate unicamente le due prove penetrometriche U1EA0012 e U1EA0001. Per ricavare i valori di  $c_u$  a partire dai valori della resistenza penetrometrica è stata adottata la seguente relazione:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_C} \quad [5]$$

nella quale il valore di  $c_u$  è legato al valore della tensione verticale totale  $\sigma_v$  nel punto di misura ed al corrispondente valore della resistenza alla punta  $q_c$ . A differenza di quanto fatto per le stesse prove dell'area di Tavernelle, avendo direttamente a disposizione il valore di  $q_c$ , e non quello di  $q_t$  [2], per il fattore  $N_C$  si è adottato un valore minore pari a 22.

Nella stessa Fig.8, così come fatto per i terreni dell'area di Tavernelle, è anche riportato l'andamento della  $c_u$  con la profondità per terreni normalmente consolidati secondo la relazione [5].

Con riferimento agli andamenti della  $c_u$  ricavati dalle due prove penetrometriche, si può osservare che nella parte superiore del deposito, per i primi 5-6 m, i valori della  $c_u$  misurati risultano variabili tra 30 e 60 kPa, sempre maggiori di quelli stimati per un terreno normalmente consolidato. Dall'analisi di questi dati, quindi, lo strato superficiale appare essere sovraconsolidato e di caratteristiche molto simili a quelle dello strato presente nell'area di Tavernelle in corrispondenza delle stesse profondità.

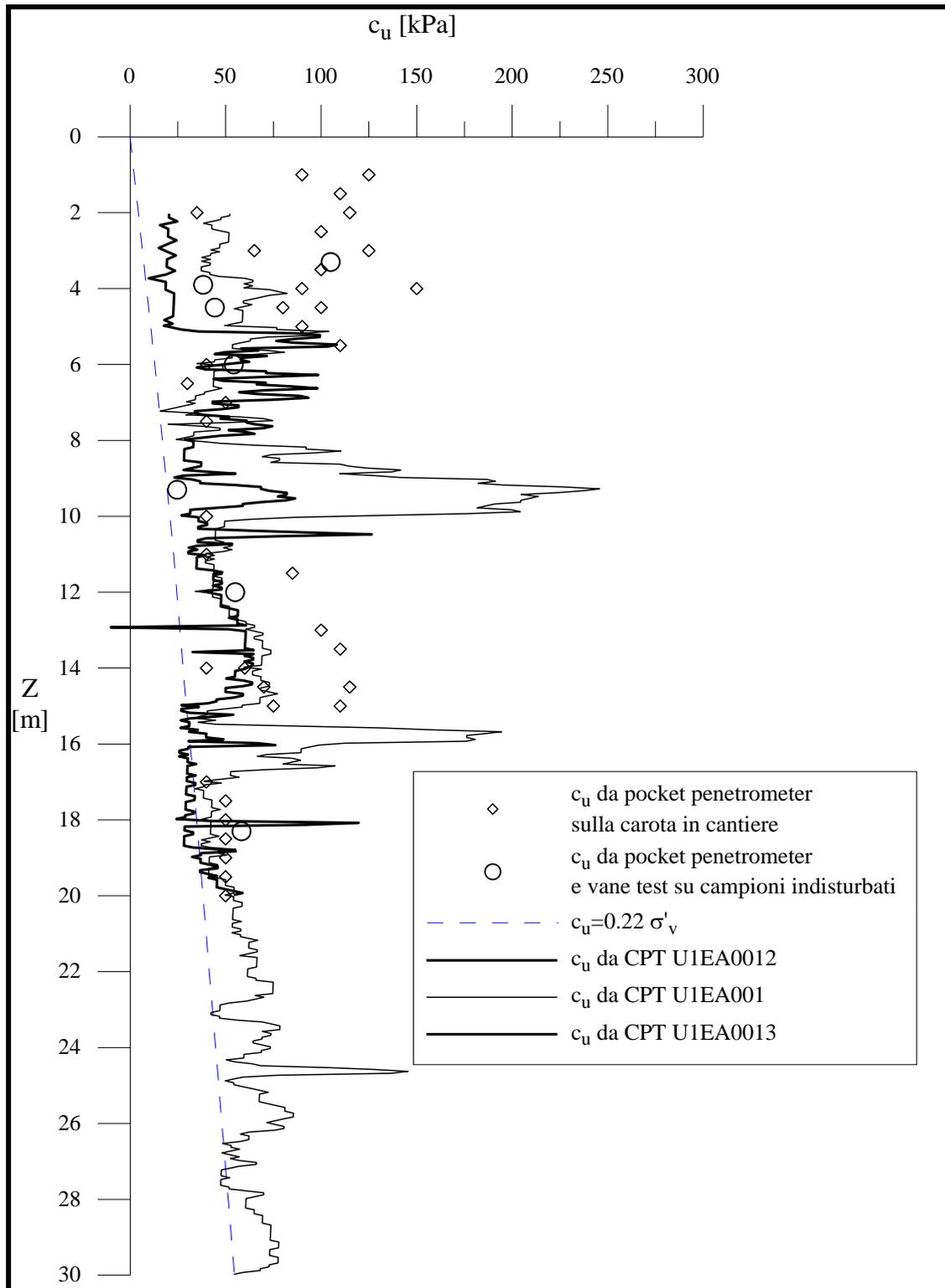


Fig.8- Andamento della resistenza non drenata  $c_u$  con la profondità  
nell'area di S.Giovanni in Persiceto

Al di sotto dello stato sabbioso, i valori delle  $c_u$  ottenuti dalle due CPT tra 11 e 15 m di profondità mostrano un andamento simile, con valori sempre superiori a quelli relativi ai

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> pag. 11</p>
--	--	---	--

terreni normalmente consolidati. Più in profondità, invece, al di sotto dei 17 m, i valori della resistenza non drenata si avvicinano molto all'andamento relativo ai terreni normalmente consolidati.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci, e con particolare riferimento alla zona vicina alla stazione di S.Giovanni in Persiceto dove è in progetto il sottovia, si sono ottenuti valori di  $c' = 20$  kPa e  $\phi = 22^\circ$  nello strato superficiale sovraconsolidato di argilla con limo e di  $c' = 0$  kPa e  $\phi = 23^\circ$  nello strato profondo normalmente consolidato di argilla limosa.

Passando alle caratteristiche di compressibilità, è necessario sottolineare che le uniche prove edometriche a disposizione sono state condotte su campioni di terreno prelevati dai sondaggi S1EAN019 e S1EAN020, ossia in una zona distante da quella del sottovia. Da tali prove, nello strato superficiale di argilla con limo si ricavano valori dell'indice di compressibilità,  $C_C$ , compresi tra 0.221 e 0.225 e un valore dell'indice di rigonfiamento,  $C_S$ , pari a 0.06. Il valor medio del grado di sovraconsolidazione,  $OCR$ , è di circa 4. Le prove effettuate a maggiori profondità danno, invece, un valore di  $C_C$  pari a 0.268 e un valore di  $C_S$  pari a 0.043. Per quanto riguarda le caratteristiche di consolidazione, si sono ottenuti valori di  $c_v$  compresi tra  $4 \cdot 10^{-4}$  e  $6 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s, sia nella parte superiore che in quella inferiore del deposito.

È opportuno evidenziare che nella zona in corrispondenza del sottovia (sondaggi S1EAN003 e SI1) i terreni argillosi presenti a profondità superiori a 16 m sono sostanzialmente diversi da quelli relativi ai sondaggi S1EAN019 e S1EAN020 dove sono state effettuate le prove edometriche. In particolare, i terreni in corrispondenza del sottovia sono caratterizzati da un maggiore contenuto di argilla e da valori più elevati dei limiti di consistenza; pertanto, sono da attendersi anche valori maggiori degli indici di compressibilità. In mancanza di determinazioni dirette, il valore di  $C_C$  è stato ricavato a partire dalla seguente relazione empirica:

$$C_C = 0.7 \cdot (w_L - 1) \quad [6]$$

Considerato un valore medio di  $w_L$  pari a 95% si è quindi ricavato un valore di  $C_C$  pari a 0.56. Per quanto riguarda  $C_S$ , si è assunto un rapporto  $C_C/C_S = 5$ , ottenendo un valore di  $C_S = 0.112$ . In assenza di determinazioni dirette non è stato possibile stimare i valori del coefficiente di consolidazione.

Le caratteristiche meccaniche dello strato di sabbia limosa, che si trova nella zona del sottovia (km 20+451) tra circa 6 e 11 m di profondità, sono state determinate dalle prove meccaniche effettuate in sito, in particolare dalle prove penetrometriche dinamiche

	<p><b>COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO</b> CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA AREA LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONI</p>	<p>Lavori di costruzione della pista ciclabile realizzante il collegamento circolare tra la stazione ferroviaria, il comparto produttivo "ex zuccherificio", il comparto residenziale "Accatà", il polo scolastico e la zona ospedaliera. <b>TRATTO : VIA SASSO – VIA PALMA</b></p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione</b> <b>Geologica - Geotecnica</b> pag. 12</p>
--	--	---	--

standard realizzate nel sondaggio S1EAN003 e dalle prove penetrometriche statiche U1EA0012 e U1EA0001.

Dalle prove penetrometriche statiche si ottiene un valor medio della resistenza alla punta,  $q_c$ , pari a 1.8 MPa (Fig.6); facendo riferimento ad un valor medio della tensione verticale efficace nello strato pari a  $\sigma'_v=91.3$  kPa, l'abaco di Durgunoglu e Mitchell (1975) riportato in Fig.9 fornisce un valore di  $\phi'=30^\circ$ . Partendo invece dal valore di  $N_{SPT}=17$  misurato nel sondaggio S1EAN003 e facendo riferimento all'abaco di De Mello (Fig.10), si ottiene un valore di circa  $\phi'=38^\circ$ . Essendo il valore di  $N_{SPT}=17$  ottenuto da un'unica misura, a favore di sicurezza, nei calcoli sviluppati nelle relazioni sulle singole opere si farà riferimento al valore di  $\phi'=30^\circ$  ricavato dalle prove penetrometriche statiche.

Per quanto riguarda le caratteristiche di rigidità, si è fatto unicamente riferimento al valore di  $N_{SPT}=17$ : adottando la curva relativa alla sabbia satura, l'abaco di Denver fornisce un valore del modulo di Young,  $E'$ , pari a 15.3 MPa.

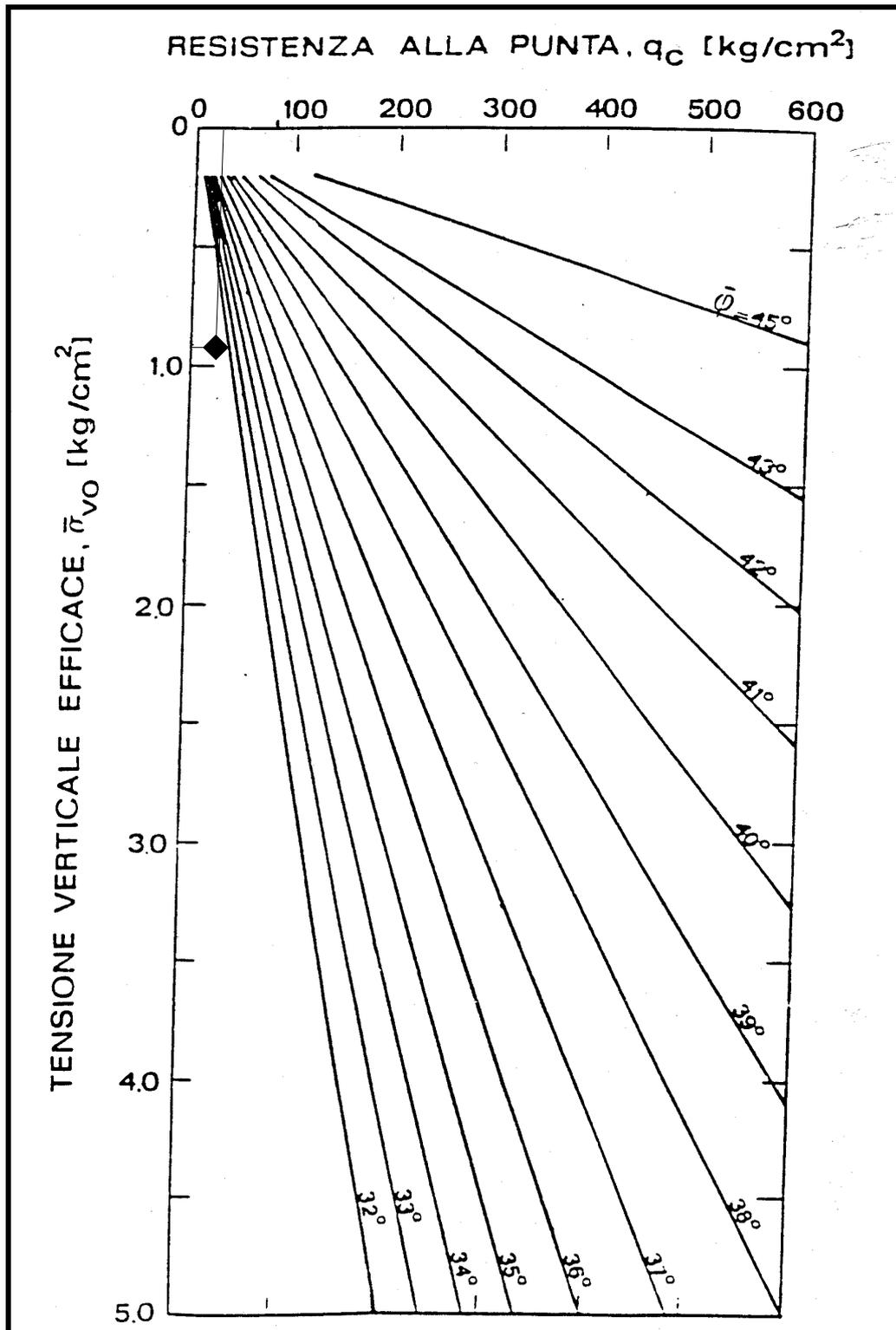


Fig.9 - Determinazione dell'angolo d'attrito  $\phi'$  mediante l'abaco di Durgunoglu e Mitchell (1975).

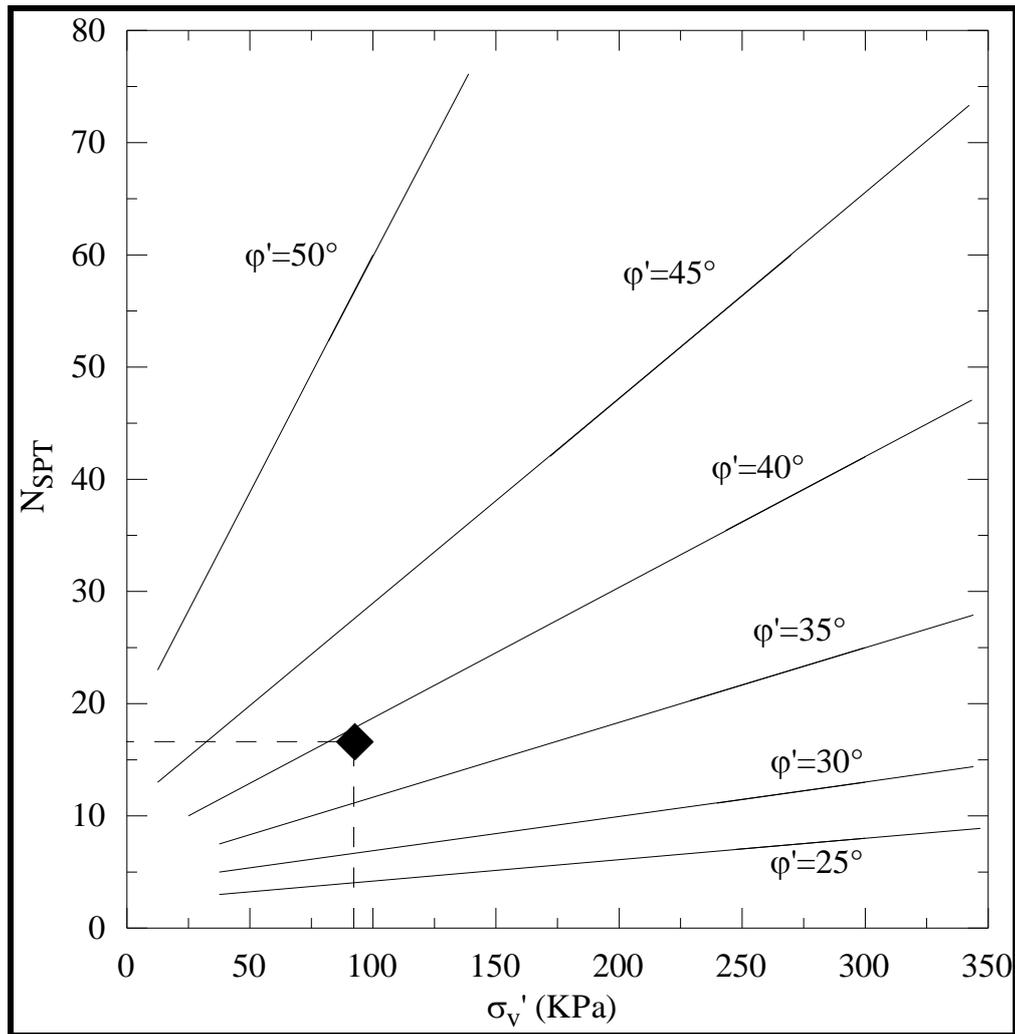


Fig.10 - Determinazione dell'angolo d'attrito  $\phi'$  mediante l'abaco di De Mello.

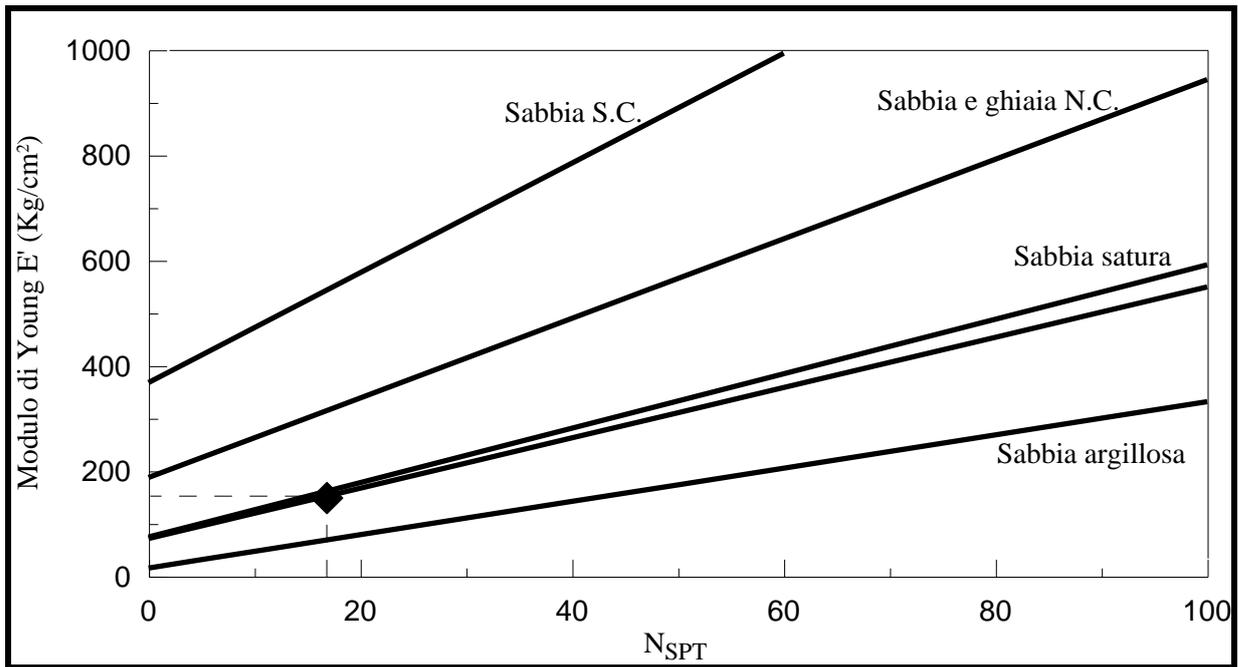


Fig.11 - Determinazione del modulo di Young  $E'$  mediante l'abaco di Denver.