A supporto del progetto di costruzione di un nuovo complesso residenziale in Comune di Galliate, angolo tra Viale Leonardo e Viale Quagliotti, lo scrivente è stato incaricato di redigere la relazione geologica e la caratterizzazione geotecnica.
Gli edifici in progetto si collocano nel concentrico di Galliate e ricadono, secondo quanto previsto dalle tavole di pericolosità geomorfologica e di idoneità all'utilizzazione urbanistica, in Classe I, come da stralcio non in scala allegato, degli elaborati di PRGC.

LEGENDA

PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	IDONEITÀ ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA
CLASSE I: Aree normalmente sicure, porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica nulla non pongono limitazioni alle scelte urbanistiche.	Edificabilità incondizionata nel rispetto del D.M. 14/01/08 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Per l'area in esame non sono dunque previste particolari limitazioni all'utilizzazione urbanistica, fatto salvo il rispetto del D.M. 14.01.2008.

Il sito in esame è compreso in Zona 4 della Classificazione sismica dei Comuni italiani, come desumibile dallo stralcio di seguito riportato.

Regione	Province	CodiceIstat	Denominazione	Classificazione_2010
Piemonte	Novara	1003068	Galliate	4

Tratto da: www.protezionecivile.it

Il territorio di Novara, luogo più prossimo al sito di progetto, che fornisce dati nel catalogo parametrico CPTI04 degli eventi sismici storici, presenta la seguente serie, rappresentata in ordine cronologico:

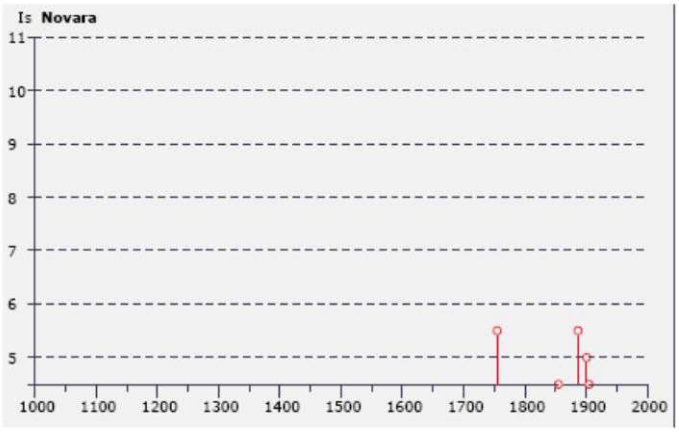
intensità del sito	***Data (g.m.anno)***	***ora***	***Denominazione del sisma (area epicentrale)***	***Intensità max***	***Magnitudo momento***
5-6	09.12.1755	13:30	*vallese*	8	5,90
3	22.10.1796	04:00	*Emilia orientale*	7	5,63
3-4	29.12.1854	01:45	*Liguria occidentale*	7-8	5,77
4-5	25.07.1855	12:00	*Vallese*	8-9	5,81
3	26.02.1885	20:48	*Scandiano*	6	5,22
5-6	23.02.1887	05:21	*Liguria occidentale*	10	6,29
4	07.06.1891	01:06	*Valle d'Illasi*	9	5,71
5	30.10.1901	14:29	*Salò*	8	5,67
4-5	29.04.1905	01:46	*Alta Savoia*	7-8	5,79
F	07.12.1913	01:28	*Novi Ligure*	5	4,72
F	26.10.1914	03:45	*Tavernette*	7	5,36
3	20.04.1929	01:09	*bolognese*	8	5,55
2	17.02.1947	00:12	*Alpi occidentali*	5-6	4,90
3	15.05.1951	22:54	*lodigiano*	6	5,24
4	25.10.1972	21:56	*Passo Cisa*	5	4,95
3-4	09.11.1983	16:29	*parmense*	7	5,10

La consultazione del catalogo DBMI04, dal sito INGV, *(Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/ Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.)* ha fornito i seguenti dati per il Comune di Novara (centro più prossimo per cui sono disponibili i dati):

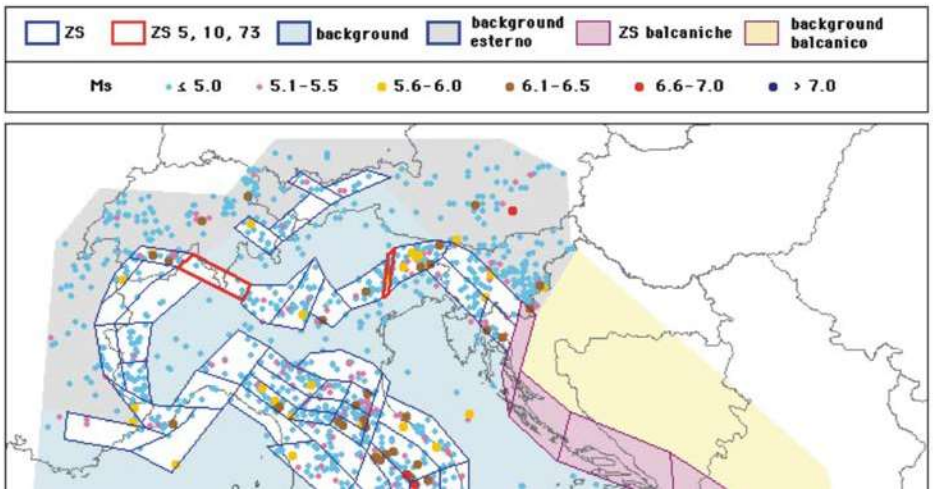
Storia sismica di Novara
[45.446, 8.623]

Numero di eventi: 16

Effetti	In occasione del terremoto del:							
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
5-6	1755	12	09	13	30	Vallese	74	8	5.90
3	1796	10	22	04		Emilia orientale	26	7	5.63
3-4	1854	12	29	01	45	Liguria occidentale	86	7-8	5.77
4-5	1855	07	25	12		Vallese	52	8-9	5.81
3	1885	02	26	20	48	SCANDIANO	78	6	5.22
5-6	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
4	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
5	1901	10	30	14	49	Salo'	191	8	5.67
4-5	1905	04	29	01	46	Alta Savoia	267	7-8	5.79
F	1913	12	07	01	28	NOVI LIGURE	56	5	4.72
F	1914	10	26	03	45	TAVERNETTE	67	7	5.36
3	1929	04	20	01	09	Bolognese	628	8	5.55
2	1947	02	17	00	12	Alpi occidentali	282	5-6	4.90
3	1951	05	15	22	54	LODIGIANO	126	6	5.24
4	1972	10	25	21	56	PASSO CISA	198	5	4.95
3-4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10

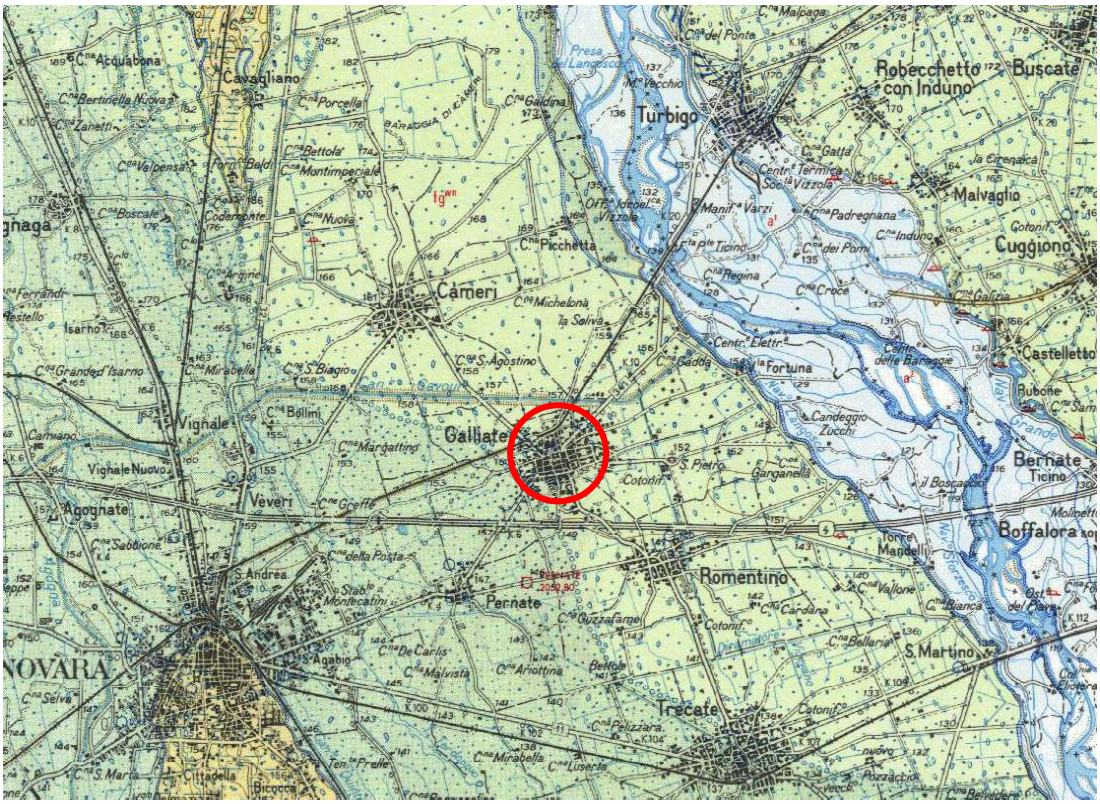


Il quadro delle zone sismogenetiche, tratto dal sito del Gruppo Nazionale per la Difesa dei terremoti, è rappresentato nella seguente carta delle aree sismogenetiche, in riferimento alla quale la zona in esame si colloca nella zona background, con Ms < 5.0 (magnitudo calcolata sulle onde superficiali).



L'area in esame si colloca, per quanto riguarda la cartografia ufficiale, sulla tavoletta I.G.M. in scala 1:25.000, 44 III NE "NOVARA". Il sito è ubicato nel centro storico di Galliate, su un'area pianeggiante posta a una quota di circa 152 m s.l.m.

È inoltre compresa nel Foglio n. 44 "NOVARA" in scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia, del quale si riporta uno stralcio (non in scala).



L'area novarese è compresa nel settore di media pianura situata tra i corsi dei fiumi Sesia e Ticino, con quote medie che si attestano intorno ai 150 m s.l.m.; l'aspetto fisiografico generale è caratterizzato dalla presenza di tre elementi ben riconoscibili, che riflettono la propria genesi e la propria natura geologica, riassumibili come segue:

- terrazzo fluvioglaciale pleistocenico, indicato sulla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 come: fg^{R} "Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, alterate in terreni argillosi giallo-ocracei per uno spessore massimo di 3 metri. RISS p.p.". Questa unità non verrà trattata in dettaglio, in quanto riguardante porzioni del territorio novarese a distanza significativa dall'area in esame.
- "Livello Fondamentale della Pianura", designato in questo settore di territorio, come: fg^{W-R} "Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, localmente molto grossolane (a monte del limite settentrionale dei fontanili), con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperti da limi più recenti. WÜRM e RISS p.p."; nella porzione più occidentale dello stralcio cartografico sopra riportato, tale unità viene denominata fg^{W} ed è interessata dalla presenza di "alluvioni fluvioglaciali ghiaioso-ciottolose, con debole strato di alterazione di alterazione brunastro"; le due unità sono in rapporto reciproco di eteropia, convenzionalmente distinte dalla "Linea dei fontanili".

- alluvioni oloceniche*:* rappresentati sul Foglio geologico n° 44 con le sigle a^1 e a^2 e corrispondenti alle fasi più recenti di modellamento della Pianura Padana, il cui risultato più evidente si esplica nei terrazzi afferenti alla vallata del F. Ticino, indotte dalla dinamica fluviale a partire dall'Olocene e fino all'attuale.

Dal punto di vista fisiografico la zona è caratterizzata da una serie di terrazzi, con sviluppo prevalente nord-sud, raccordati fra loro da scarpate con diverse altezze e grado di conservazione. Le superfici dei terrazzi non risultano completamente piatte, ma sono articolate in blande ondulazioni, che ne riflettono la genesi erosionale per i più antichi e deposizionale per la valle alluvionale attuale.

La genesi degli elementi morfologici citati è da ricondurre principalmente alle fasi di espansione glaciale verificatesi nel corso del Pleistocene: il modellamento del paesaggio avviene mediante l'azione combinata di due processi, entrambi collegati alle meccaniche deposizionali dell'ambiente glaciale. Da un lato, l'azione d'accumulo esercitata dal ghiacciaio mette in gioco enormi quantità di materiale proveniente dal proprio bacino d'alimentazione, con la conseguente formazione di anfiteatri morenici, ben evidenti a nord del territorio in esame; dall'altro, l'azione erosiva dei torrenti proglaciali, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, comporta la formazione di morfologie pianeggianti, separate da terrazzi che, insieme ai rilievi morenici ed alle depressioni intermoreniche, caratterizzano l'aspetto del territorio.

In seguito alle fasi di ritiro dei ghiacciai, al termine del Pleistocene, le portate dei corsi d'acqua subiscono una drastica diminuzione e la pianura inizia ad assumere l'aspetto attuale. Il sistema fisiografico ed idraulico si stabilizza in un tracciato fluviale di tipo meandriforme o debolmente *braided*, incassato in un'ampia valle terrazzata, con un'asta fluviale libera di vagare entro i limiti morfologici imposti dalle scarpate dei terrazzi.

Sotto l'aspetto geologico il territorio in esame è rappresentato da depositi che, in base alla loro caratterizzazione litostratigrafica, geomorfologica e pedologica, compongono le seguenti unità:

- *Depositi fluviali ("Livello Fondamentale della Pianura" Auct., Pleistocene superiore);*
- *Depositi alluvionali s.l. (Olocene)*
- *Depositi di barra e di canale fluviale (Olocene recente-attuale)*.

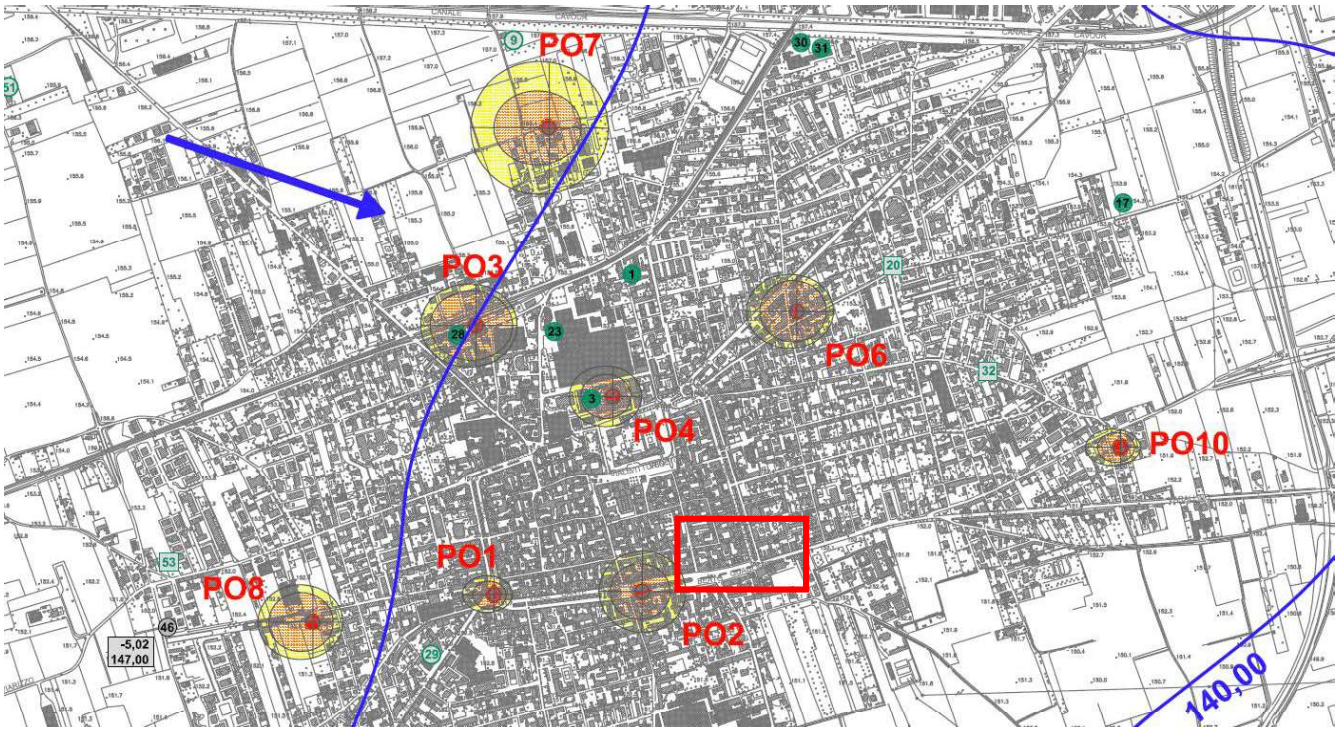
Livello fondamentale della pianura (Pleistocene superiore): accezione introdotta da Petrucci e Tagliavini (1969) e perfezionata da Cremaschi (1987), per definire i depositi riferibili all'ultima fase di colmamento della pianura, avvenuta nel corso del Pleistocene superiore, ad opera di apparati fluviali di notevoli dimensioni. Studi morfologici più recenti, condotti da Marchetti (1990 e 1996), individuano i principali corsi d'acqua attuali della Pianura Padana come *underfit streams*, ovvero corsi d'acqua sotto-alimentati rispetto alle dimensioni dei corrispondenti solchi vallivi pleistocenici ed il Livello Fondamentale della Pianura come il risultato della coalescenza di conoidi alluvionali relativi ai *sandur* proglaciali; essi si identificavano, nel tardo Pleistocene, con corsi d'acqua a canali multipli intrecciati, con portate fino a venti volte maggiori rispetto a quelle attuali. L'assetto definitivo della pianura si realizza in concomitanza della messa a regime dei bacini lacustri prealpini che, riducendo la portata liquida e solida dei fiumi, comporta un'intensa fase erosiva nel periodo pre-Atlantico, con conseguente approfondimento per incisione dei solchi vallivi attuali. La copertura pedologica è costituita da *Alfisuoli* e, in misura maggiore, da *Inceptisuoli* (secondo la classificazione USDA - Soil Taxonomy), moderatamente evoluti e di spessore generalmente non superiore a mezzo metro. Questi depositi grossolani caratterizzano la maggior parte del territorio in esame ed, in particolare, il terrazzo alluvionale posto a quote topograficamente più elevate, nel settore di pianura considerato, sul quale si colloca il sito oggetto della

presente relazione. Il terrazzo si eleva di circa 25-30 m rispetto alla sottostante quota della vallata del F. Ticino. La superficie di questo terrazzo è frequentemente interessata dalla presenza di paleoalvei, relativi ai corsi degli antichi corsi fluviali ad andamento *braided*, sopra citati; tali elementi morfologici sono sovente riconoscibili sul terreno a causa della presenza di aree ribassate rispetto al livello circostante.

Depositi alluvionali s.l. (Olocene): si tratta di sedimenti correlabili a facies francamente fluviali, in quanto costituiti da ghiaie con evidenze sedimentologiche riferibili a corsi d'acqua sinuosi e a meandri. Nella fattispecie si tratta di alternanze di ghiaie, per lo più a supporto clastico, prive di evidenti strutture sedimentarie o con rozza stratificazione, ben arrotondate ed embricate, alle quali si intercalano frequenti livelli sabbiosi, costituiti da sabbie medio-grossolane laminate. Sono caratterizzati dalla presenza a tetto di suoli riferibili all'ordine degli *Inceptisuoli* (secondo la classificazione della USDA – *Soil Taxonomy*), poco evoluti e di spessore generalmente moderato.

Depositi fluviali di barra e di canale fluviale (Olocene-attuale): comprendono le antiche isole fluviali e le barre di canale del Fiume Ticino; sono composte da ghiaie inalterate, selezionate e ben lavate, con ciottoli embricati e lenti di sabbia da fine a media. Comprendono inoltre i depositi che caratterizzano l'alveo attuale e le zone di golena del Fiume Ticino, costituiti da ghiaie e ciottoli inalterati, selezionati e ben lavate, con ciottoli embricati e lenti di sabbia da fine a grossolana. Questi depositi sono caratterizzati da coltre pedogenetica assente o di spessore assai limitato, in questo caso costituita da suoli dell'ordine degli Entisuoli fluviali (*Fluvents*, secondo la *Soil Taxonomy*).

La direzione di deflusso sotterraneo prevalente della falda superficiale, stante l'azione drenante sulla falda esercitata dalla valle fluviale del Ticino, risulta diretta generalmente da nord-ovest a sud-est con locali deviazioni verso sud o verso est: nell'area in esame il verso prevalente è est-sud-est.
L'andamento della falda freatica tende ad approssimarsi al piano campagna procedendo verso sud, con gradienti compresi tra 0.4 % e 0.1 % che si elevano sino a circa 0.6 % verso le scarpate che delimitano la valle del fiume Ticino.
La soggiacenza media della superficie freatica, da un confronto con gli elaborati geologici del P.R.G.C. di Galliate redatto dalla Dott. Geol. A. M. Ferrari, risulta nell'area di interesse pari a circa 9 m dal p.c., essendo la quota della falda freatica indicata nella carta geoidrologica di P.R.G.C., pari a circa 143 m s.l.m.; tale dato va considerato alla luce delle variazioni stagionali, stimate, nell'ambito del territorio comunale, nell'ordine di 2 - 3 m circa.
Nel corso della presente indagine non sono state osservate tracce correlabili alla presenza della falda freatica, sebbene sia nota l'individuazione della falda freatica al fondo degli scavi per il parcheggio sotterraneo presso il castello, a circa 5-6 m di profondità.
Di seguito si riporta stralcio della carta geoidrologica (elaborato Geo 5) di PRG.



Dal punto di vita idrogeologico generale l'area è caratterizzata dalla presenza di una litozona superiore, con spessori mediamente compresi tra 20 e 50 m, costituita da sedimenti prevalentemente grossolani che, verso sud mostrano una maggior persistenza di livelli sabbiosi, con una diminuzione progressiva della granulometria e la comparsa di lenti limoso-argillose, comunque di limitato spessore ed estensione.

La suddetta litozona è sede di un acquifero freatico ad elevata produttività, che talora, per la presenza di lenti a bassa conducibilità idraulica, si comporta come acquifero multistrato.

Inferiormente è presente una litozona ghiaioso argillosa con locali compartimentazioni che si spinge sino a circa 70-80 m di profondità, poggiante su successioni fini villafranchiane con intercalazioni sabbiose, che ospita un sistema multifalda confinato

La sezione litostratigrafica allegata, tratta dagli studi geologici di PRG, mostra le sequenze stratigrafiche sopra descritte, lungo una direttrice est-ovest, correlando le stratigrafie di alcuni pozzi idropotabili comunali.

Fg W
W
ENE
Tiro a Segno
Quaglotel
Don Gallotti
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
m s.l.m.
LEGENDA
Pozzo
Tratto filtrante
Limo - Argilla
Ghiaia
Torba
Sabbia
COMMITTENTE
Comune di Galliate
COMMESSA
Piano Regolatore Generale Comunale 2008
DESCRIZIONE
Sezione geologico-stratigrafica (WE)
DATA
Maggio 2008
TAVOLA
1
SCALA
1: 10.000
REDATTO
S. Brustia
CONTROLLATO
A. M. Ferrari
STUDIO DI GEOLOGIA
dott. Anna Maria Ferrari
via Azario 3 - Novara
tel e fax 0321.398309

Per la caratterizzazione geotecnica del sito sono state effettuate 2 prove penetrometriche dinamiche (PPD) e due sondaggi con escavatore (Pz), come da schema seguente.

Pozzetti stratigrafici

<u>pozzetto n° 1:</u>

- 0.0 – 1.1 m: terreno rimaneggiato con suolo bruno limoso-sabbioso e frammenti di laterizi e cls;
- 1.1 – 3.2 m: sabbia limosa grigio bruna con ghiaia fine e media e ciottoletti arrotondati.

<u>pozzetto n° 2:</u>

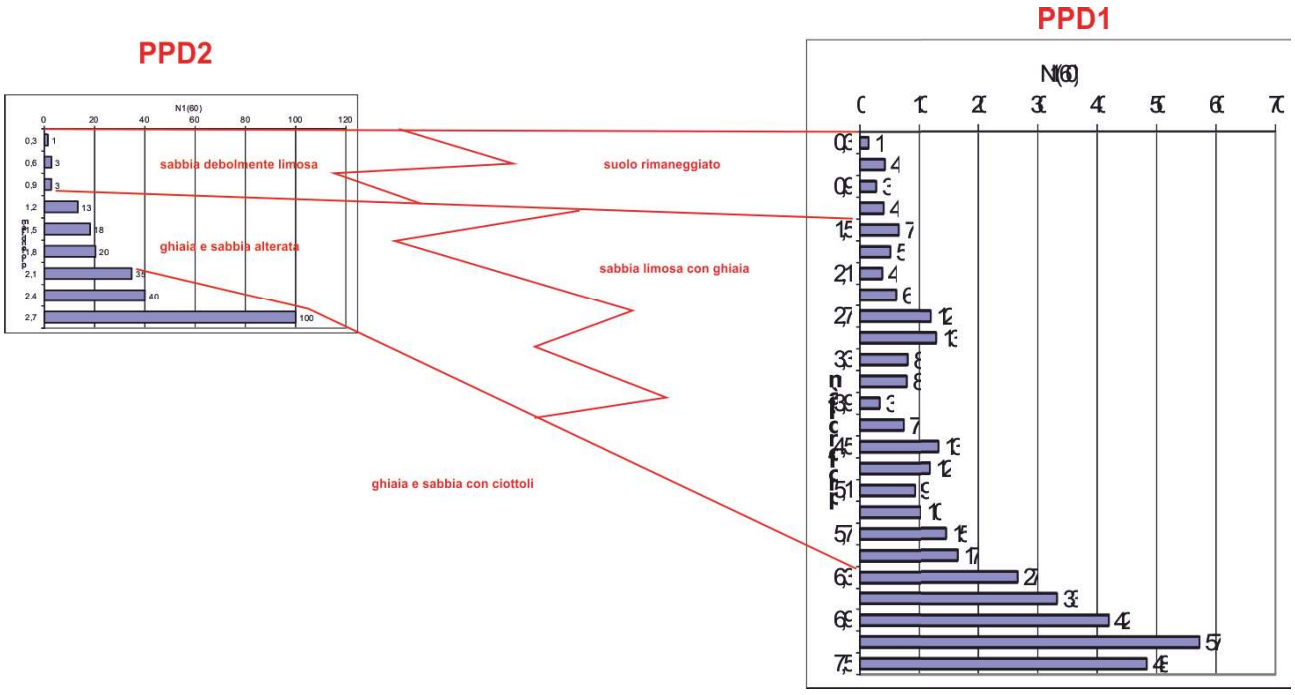
- 0.0 - 0.3 m: suolo bruno limoso-sabbioso;
- 0.3 – 0.7÷1.2 m: sabbia fine giallastra molto debolmente limosa (si approfondisce verso il lato NW del pozzetto);
- 0.7÷1.2 – 2.2 m: sabbia giallastra con ghiaia fine e media e ciottoletti arrotondati;
- 2.2 – 2.7 m: sabbia grigia grossolana con ciottoli e ghiaia.

Pozzetto 1

Pozzetto 2

La correlazione stratigrafica tra i due punti di indagine, sotto riportata, utilizzando gli istogrammi delle prove penetrometriche, mostra la diretta correlazione solo per l'orizzonte inferiore ghiaioso-sabbioso addensato, rinvenuto a profondità variabili tra 1.8/2.2 circa nella PPD2/Pz2 e 6.0 m nella PPD1.

Gli orizzonti superiori non sembrano completamente correlabili sotto l'aspetto geotecnico e granulometrico, passando da sabbia alterata con ghiaia fine e media e copertura di sabbia debolmente limosa nella PPD2 a sabbia limosa con ghiaia fine e media, con intercalazioni sabbiose nella PPD1. La porzione sommitale della PPD1/Pz1 risulta rimaneggiata.



La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di aste successive; l'infissione avviene per battitura, con le stesse modalità delle prove SPT, che costituiscono lo standard di riferimento per le prove penetrometriche. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita; la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi (NDP) per una data penetrazione.

E' stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante TG 63/100 della Ditta PAGANI, motorizzato e cingolato, con le seguenti caratteristiche tecniche:

- *diametro della punta = 51 mm*
- *angolo della punta = 60°*
- *area della base della punta conica = 20,43 cm^2*
- *diametro delle aste = 32 mm*
- *lunghezza delle aste = 90 cm*
- *peso delle aste = 6,31 kg*
- *peso del maglio = 63,5 kg*
- *altezza di caduta = 750 mm*

- *penetrazione di riferimento = 300 mm*

L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio (M) per l'accelerazione di gravità (g) e per l'altezza di caduta (H).

I risultati di differenti prove penetrometriche dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza r_d secondo la seguente formula:

$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

dove: ***A*** è l'area della sezione trasversale della base della punta conica*;* ***e*** è la penetrazione media per colpo.

Il penetrometro utilizzato rispetta lo standard vigente, quindi è possibile utilizzare tutta la letteratura prodotta per le prove SPT.

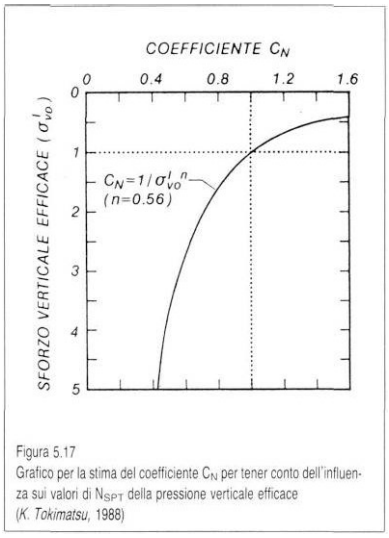


Figura 5.17
Grafico per la stima del coefficiente C_N per tener conto dell'influenza sui valori di N_{SPT} della pressione verticale efficace
(*K. Tokimatsu*, 1988)

Prima di poter essere utilizzato per ricavare i parametri geotecnici dei terreni attraversati, il valore di N_{SPT} deve, tuttavia, essere oggetto di normalizzazione, al fine di eliminare l'influenza della pressione del terreno sovrastante e di quella indotta dal dispositivo di battitura delle aste.

NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA PRESSIONE DEL TERRENO.

Dato che la resistenza alla penetrazione aumenta in modo lineare con la profondità, quindi nel caso di densità relativa costante, all'aumentare della tensione verticale efficace, è necessario operare una correzione riferendo i valori di N ad una pressione verticale efficace di 1 kg/cm^2 secondo la formula:

$$N_1 = C_N \cdot N$$

dove N è il numero di colpi misurati;
N_1 è il valore di N riferito ad un valore unitario di σ'_{vo};

$C_N = 1/\sigma'^{(n)}_{vo}$ con n = 0.5 (Liao e Whitman, 1985).

E' possibile utilizzare anche la relazione di Skempton (1986) per sabbie fini: $C_N = \frac{2}{1+\sigma'_{v0}/100}$, e per sabbie grossolane: $C_N = \frac{3}{2+\sigma'_{v0}/100}$, che enfatizzano meno i valori di C_N per bassi valori di pressione efficace.

NORMALIZZAZIONE RISPETTO AL DISPOSITIVO DI BATTITURA

Normalmente il rendimento dei dispositivi utilizzati per le prove SPT è pari al 60% dell'energia cinetica nominale (473.4 Joule) della massa di un maglio di 63.5 kg che cade da un'altezza di 760 mm: poiché nel caso specifico il rendimento raggiunge valori pari all'80%, si rende indispensabile effettuare una correzione secondo la relazione:

$$N_{60} = \frac{ER_{iM}}{60} \cdot N$$

dove:
N_{60} = numero di colpi corretto per riferirlo ad un rendimento del 60%;
ER_{iM} = rendimento medio espresso in percentuale;
N = numero di colpi misurato.

In questo caso, essendo ER_{iM} = 80%, la formula diviene: $N_{60} = \frac{80}{60} \cdot N = 1{,}3 \cdot N$

NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DELLE ASTE

L'energia può anche essere dispersa a causa della lunghezza delle aste, infatti se questa è minore di 10 m, i fattori di correzione mostrati in fig. 2.8 possono essere applicati al numero dei colpi per sabbia; per aste più lunghe di 10 m, nessuna correzione viene applicata.

Lungezza delle aste	Fattore di correzione λ
>10	1.0
6-10	0.95
4-6	0.85
3-4	0.75

Tab. 2.8 Fattori di correzione in sabbia dovuti alla lunghezza delle aste

DENSITÀ RELATIVA (DR)

Disponendo del valore normalizzato di NSPT [(N1)60], la migliore classificazione risulta quella proposta da Terzaghi e Peck (1948) e da Skempton (1986), utilizzando la correlazione $(N_1)_{60}/D_r^2$ = 60, per D_r > 35%:

Valutazione della densità relativa sulla base dei valori di *N* corretti

DENSITÀ RELATIVA	D_R	$(N_1)_{60}$ (COLPI/300 mm)
Molto sciolta	0 – 15	0 – 3
Sciolta	15 – 35	3 – 8
Media	35 – 65	8 – 25
Densa	65 – 85	25 – 42
Molto densa	85 – 100	42 - 58

Ai valori ottenuti è necessario apportare una riduzione di 55/60, nel caso di sabbie fini, ed un incremento di 65/60 nel caso di sabbie grossolane.

Bazaraa (1967) ha proposto una formula che tiene conto dei valori effettivi di N misurati in sito a parità di densità relativa, per tenere in considerazione la tensione verticale efficace, i fenomeni di aging, la cementazione, ecc.:

$$D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{vo})} \quad \text{per } \sigma\text{'vo} \le 0.732 \text{ kg/cm2;}$$

$$D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{vo})} \quad \text{per } \sigma\text{'vo} \ge 0.732 \text{ kg/cm2}$$

ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Φ')

Innanzitutto si deve sottolineare che, a causa della variabilità nei valori N_{SPT}, la valutazione della prova in termini di resistenza al taglio deve essere considerata come una stima la cui attendibilità dipende da vari fattori, da valutare attentamente in funzione del contesto in cui si opera.

L'angolo di resistenza al taglio del materiale indagato può essere valutato attraverso due categorie di metodi: i metodi di correlazione diretta Nspt-φ e i metodi di correlazione indiretta.

Nel caso in esame è stata scelta la correlazione diretta, utilizzando la formulazione di Yukitake.

MODULO DI DEFORMAZIONE (O DI YOUNG)

È dato dal rapporto tra sollecitazione e deformazione corrispondente in un materiale che si trova sotto il limite di proporzionalità (legge di Hooke) sulla curva sollecitazione-deformazione. Per la valutazione del modulo di Young è stata utilizzata la relazione di Schmertmann, valida per sabbie in genere.

I moduli di deformabilità operativi, dato il comportamento non lineare dei terreni, dipendono dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

Il modulo di Young operativo può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni di circa il 25% di quelle a rottura (E25).

MODULO EDOMETRICO M_0

La compressibilità di una terra può essere espressa dal coefficiente di compressibilità mv: mv = (-δe/1+e) (1/δσ'v) o dal rapporto inverso, definito modulo edometrico: M = (δσ'v/-δe) (1+e).

Per le sabbie quarzose non cementate si può utilizzare la relazione ottenuta da prove CPT in camera di calibrazione e ponendo: qc/NSPT = 5; con qc = resistenza alla punta di prove CPT, espressa in kg/cm².

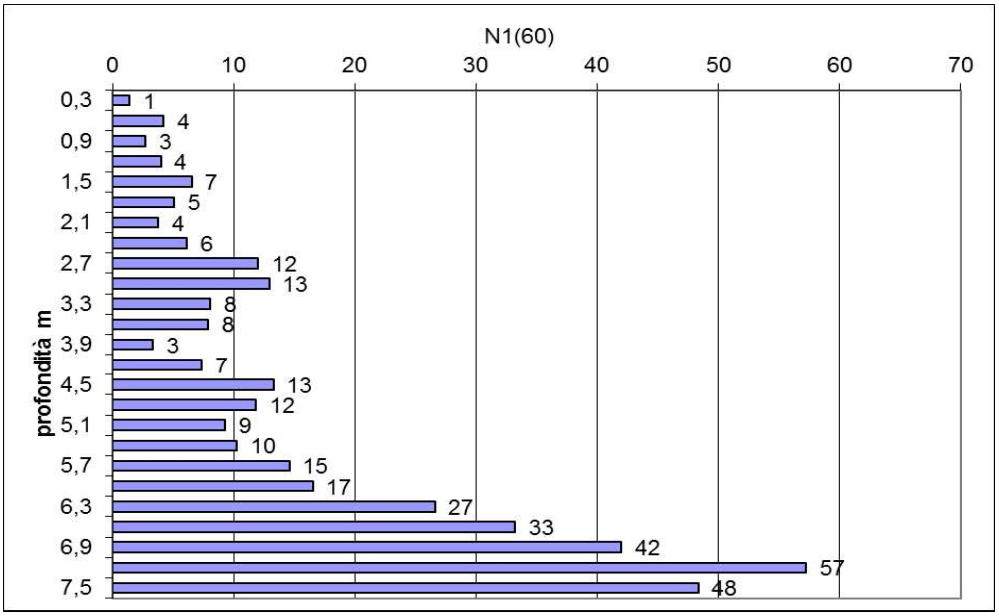
In presenza di sabbie fini e sabbie limose è opportuno adottare un rapporto qc / NSPT = 4, anziché 5.

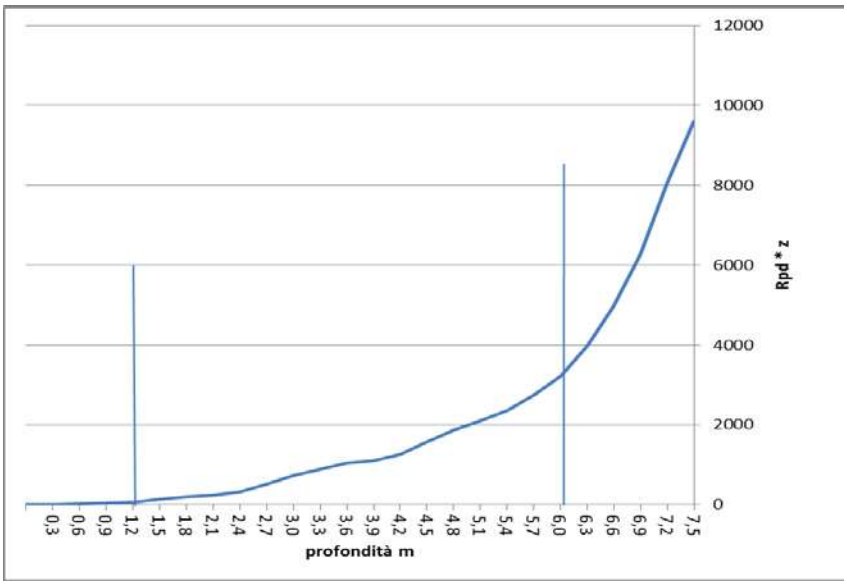
Per valutare questo modulo è stata utilizzata la relazione di Menzebach e Malcev, valida per sabbie e ghiaie.

DATI OTTENUTI

PPD1

m	*N*	*t/mc*	*t/mq*	*t/mq*	*kg/cmq*	*Skempton*	*Skempton*	*CN*			
						sabbie fini	sabbie grosse				
	1	1,5	0,44		0,044	1,92	1,47	*1,47*	0,75	1	
	3	1,6	0,92		0,092	1,83	1,43	*1,43*	0,75	3	
	2	1,6	1,38		0,138	1,76	1,40	*1,40*	0,75	2	
	3	1,6	1,87		0,187	1,69	1,37	*1,37*	0,75	3	
	5	1,7	2,37		0,237	1,62	1,34	*1,34*	0,75	5	
	4	1,6	2,86		0,286	1,56	1,31	*1,31*	0,75	4	
	3	1,6	3,34		0,334	1,50	1,29	*1,29*	0,75	3	
	5	1,7	3,84		0,384	1,45	1,26	*1,26*	0,75	5	
	10	1,8	4,37		0,437	1,39	1,23	*1,23*	0,75	9	
	11	1,8	4,90		0,490	1,34	1,21	*1,21*	0,75	10	
	7	1,7	5,41		0,541	1,30	1,18	*1,18*	0,75	6	
	7	1,7	5,92		0,592	1,26	1,16	*1,16*	0,75	6	
	3	1,6	6,40		0,640	1,22	1,14	*1,14*	0,75	3	
	6	1,7	6,91		0,691	1,18	1,11	*1,11*	0,85	6	
	11	1,8	7,44		0,744	1,15	1,09	*1,09*	0,85	10	
	10	1,8	7,97		0,797	1,11	1,07	*1,07*	0,85	9	
	8	1,7	8,48		0,848	1,08	1,05	*1,05*	0,85	7	
	9	1,7	9,01		0,901	1,05	1,03	*1,03*	0,85	8	
	13	1,8	9,54		0,954	1,02	1,02	*1,02*	0,85	11	
	15	1,8	10,09		1,009	1,00	1,00	*1,00*	0,85	13	
	22	1,9	10,64		1,064	0,97	0,98	*0,98*	0,95	20	
	28	1,9	11,21		1,121	0,94	0,96	*0,96*	0,95	26	
	36	1,9	11,78		1,178	0,92	0,94	*0,94*	0,95	32	
	50	2,0	12,37		1,237	0,89	0,93	*0,93*	0,95	44	
	43	1,9	12,95		1,295	0,87	0,91	*0,91*	0,95	37	

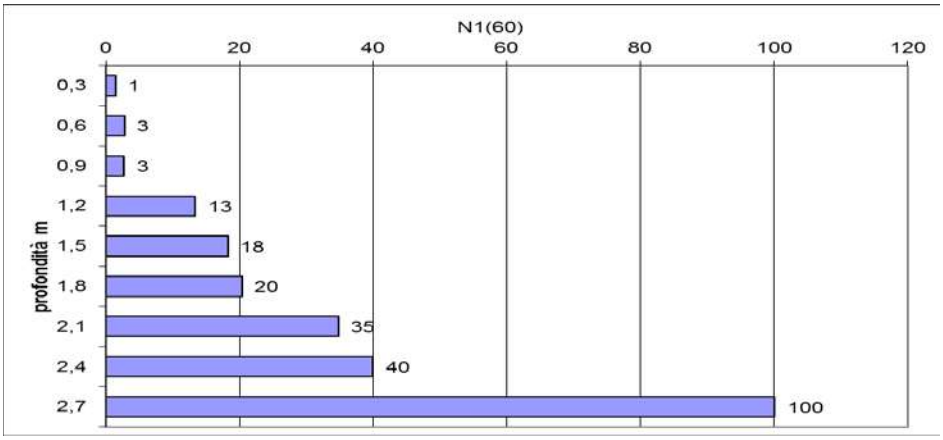


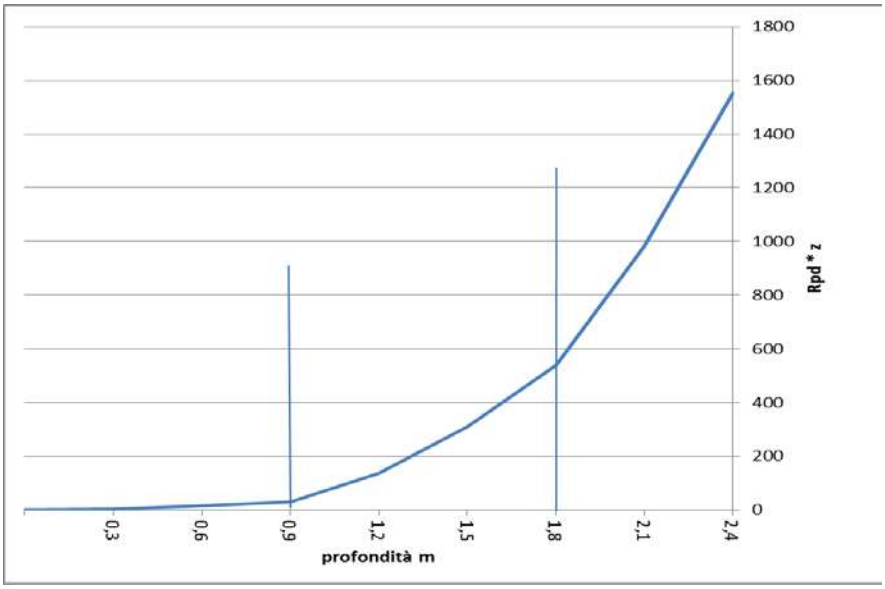


n.	Interpretazione Litologica	Prof. m	Nspt	DR %	Φ' °	γ t/m^3	E kg/cm^2	M kg/cm^2
1	Terreno rimaneggiato	0.0 – 1.2	3	26	21.7	1.6	24.7	49.0
2	Sabbia limosa con ghiaia ed intercalazioni sabbiose	1.2 - 6.0	9	39	26.6	1.7	111.8	135.4
3	Ghiaia e sabbia	6.0 – 7.5	41	82	39.7	1.9	497.7	529.1

PPD2

m	*N*	*t/mc*	*t/mq*	*t/mq*	*kg/cmq*	*Skempton*	*Skempton*	*CN*			
						sabbie fini	sabbie grosse				
	1	1,5	0,44		0,044	1,92	1,47	*1,47*	0,75	1	
	2	1,6	0,90		0,090	1,83	1,44	*1,44*	0,75	2	
	2	1,6	1,37		0,137	1,76	1,40	*1,40*	0,75	2	
	10	1,8	1,90		0,190	1,68	1,37	*1,37*	0,75	10	
	14	1,8	2,44		0,244	1,61	1,34	*1,34*	0,75	14	
	16	1,8	2,98		0,298	1,54	1,31	*1,31*	0,75	16	
	28	1,9	3,55		0,355	1,48	1,27	*1,27*	0,75	27	
	33	1,9	4,12		0,412	1,42	1,24	*1,24*	0,75	31	
	R								0,75		





n.	Interpretazione Litologica	Prof. m	Nspt	DR %	Φ' °	γ t/m^3	E kg/cm^2	M kg/cm^2
1	Suolo e sabbia deb. limosa	0.0 – 0.9	2	19	20.8	1.5	18.6	46.2
2	Sabbia alterata con ghiaia fine e media	0.9 – 1.8	17	54	31.1	1.8	207.9	219.2
3	Ghiaia e sabbia	1.8 – 2.7	37	79	38.7	1.9	448.8	480.8

Il calcolo dei valori caratteristici dell'angolo di attrito è stato effettuato con le seguenti formule, valide con pochi dati rispettivamente per grandi volumi di rottura (5° percentile di distribuzione della media) e piccoli volumi di rottura (5° percentile di distribuzione del campione):

$$x_k = \bar{x} - 1.645\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * \sigma$$

- X_k valore medio del parametro geotecnico;
- σ deviazione standard;
- *n* numero campioni;
- il coefficiente di variazione, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard e parametro medio, è stato imposto pari al 5-12% da letteratura, in funzione delle litologie;
- X = -1,645: valore fissato dall'EC7, corrispondente a una probabilità di non superamento del 5% in una distribuzione Gaussiana.

Per i valori di E e M è stato utilizzato il metodo di distribuzione log-normale per pochi dati, ipotizzando la media campione = valore del singolo dato o media popolazione ed ipotizzando la variabilità da valori di letteratura, pari a 30%.

N.	STRATO	ϕ'_m	ϕ	ϕ	γ t/m^3	E_k kg/cm^2	M_k kg/cm^2
1	Suolo e sabbia debolmente limosa / terreno rimaneggiato	21.2			1.6	15	33
2	Sabbia con ghiaia fine e media / sabbia limosa con ghiaia fine e media e intercalazioni sabbiose	28.8			1.8	112	124
3	Ghiaia e sabbia con ciottoli	39.2°			1.9	332	354

La normativa prevede che per il sito di costruzione sia verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica sia prossima alla superficie ed il terreno comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine.

E' comunque da sottolineare che la verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. un valore di magnitudo momento inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0.1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$>30 oppure qc_{1N}>180 dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

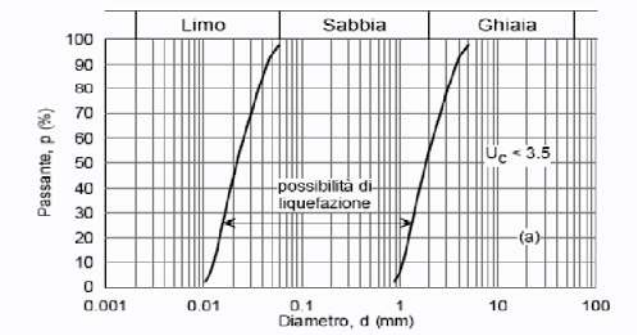


Fig. 7.11.1(a)

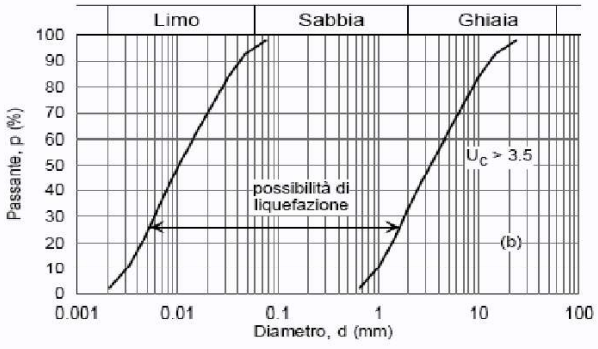


Figura 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.*

Per quanto riguarda il punto 1, dalla pubblicazione della Protezione Civile *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"* si ottiene, dalla disaggregazione di ag per il comune di Galliate, la coppia di valori M-R:

1003068	Galliate	D	5,29	110	5,25	95

Considerando il valore modale di Mw che contribuisce maggiormente alla pericolosità di un sito, ed utilizzando la relazione Mw= 0.673Ms+1.938, si ottiene un valore di Ms= 4.92.

Utilizzando il grafico seguente (tratto da Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica della Protezione Civile) si può osservare che con eventi di magnitudo Ms prossimi a 5 non si hanno effetti di liquefazione dei terreni a distanze superiori a circa 20 km e quindi la condizione risulta verificata.

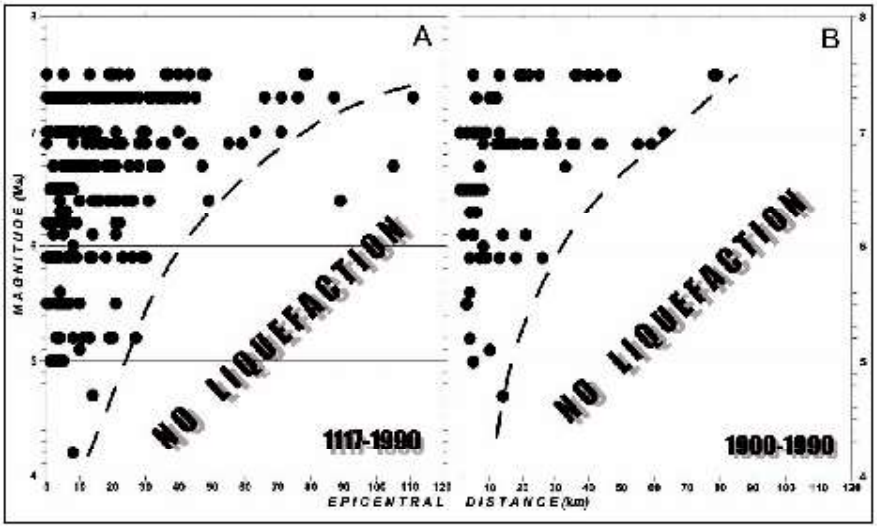


Figura 2.8-6 - Casi osservati di fenomeni di liquefazione in termini di M_s e distanza epicentrale (da Galli, 2000).

Pertanto la verifica alla liquefazione dei terreni in caso di sisma non è necessaria.

A seguito delle indagini svolte, si possono riassumere i seguenti aspetti:

- i terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame sono costituiti da sedimenti sabbiosi e sabbioso ghiaiosi, con una copertura dello spessore di circa 0.7 – 1.2 m costituita da sabbie fini debolmente limose o da terreno rimaneggiato;
- la falda acquifera si attesta, sulla scorta dei dati del PRGC, ad una profondità di circa 9 m dal p.c.; nel corso delle presenti indagini, spinte sino a 7,5 m di profondità, coerentemente con i dati bibliografici non è stata rilevata la presenza della falda; si rammenta tuttavia che sono noti valori di soggiacenza inferiori ai valori medi e prossimi a circa 6 m nel centro storico;
- dal punto di vista geomorfologico l'area non manifesta evidenze di fenomeni d'instabilità in atto;
- è stata fornita una parametrazione geotecnica dei terreni interessati dalla nuova costruzione, utilizzando i dati ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche effettuate nel lotto di intervento;
- dovrà essere posta cura nella regimazione delle acque meteoriche, evitando la dispersione in prossimità delle fondazioni;
- data la natura fine dei terreni di copertura, devono anche essere tenuti in debita considerazione, in ambito progettuale per fondazioni superficiali, i fenomeni di risalita capillare, particolarmente evidenti nella frazione granulometrica limoso sabbiosa.

Le ipotesi sviluppate dovranno comunque essere verificate in fase esecutiva, stante l'eterogeneità laterale dei sedimenti che caratterizzano il sito in esame.