

STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI S.R.L.

CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.

VIA, MINCIO, 22 - C.A.P. 20139 MILANO TEL. 02.5393977 - FAX 02.5392262

e-mail: studiocelotti@tiscalinet.it

INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE - RICERCHE IDROLOGICHE AMBIENTALI
STRUMENTAZIONI GEOTECNICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTICHE

C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE - COD. FISC. - PART. IVA 05092310969

Milano 05/02/2007

Prot. N. 5708/015/07

Spett.le

I.S.I. - INVESTIMENTI

SVILUPPO IMMOBILIARE S.R.L.

Via Durini n° 27

20100 MILANO

OGGETTO: Prove penetrometriche dinamiche e sondaggi geognostici e geotecnici eseguiti nel terreno interessato da un complesso edilizio di prossima costruzione nel Comune di SARONNO (Varese) - via VARESE.

RELAZIONE GEOTECNICA

COMUNE DI SARONNO
PROTOCOLLO GENERALE

23 AGO. 2007

PROT. N° 21084
CAT. N° CL. FASC.
PASSI A

Introduzione

Il presente rapporto analizza i terreni interessati dalle fondazioni di alcuni edifici di prossima costruzione nel Comune di SARONNO (VA), in via VARESE.

I terreni in esame sono stati oggetto di un'indagine geotecnica consistita nell'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche continue e di sondaggi geotecnici con prove *SPT* in foro.

L'utilizzo dei risultati dell'indagine, unitamente alla conoscenza della zona maturata dagli scriventi, ha permesso di esaminare e definire i seguenti argomenti:

- caratterizzazione litostratigrafica e meccanica dei terreni,
- indicazioni sull'idrologia della zona,
- definizione della tipologia di fondazione più idonea per le strutture in progetto,
- verifiche d'interesse geotecnico delle soluzioni fondazionali previste,
- raccomandazioni progettuali ed esecutive.



Riferimento altimetrico

Il riferimento delle profondità assunto nel seguito è posto alla + 2 m dallo zero di progetto.

Normative di riferimento

- DECRETO MINISTERO LL.PP. del 11/03/88: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni, ecc."
- CIRCOLARE MINISTERO LL.PP. n° 30483 del 24/09/88.
- CIRCOLARE MINISTERO LL.PP. n° 218/24/3 del 9/01/96.
- O.P.C.M. del 20/03/03 n° 3274.
- DECRETO MINISTERO LL.PP. del 14/09/05.

Raccomandazioni e specifiche

- A.G.I. - ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle Indagini geotecniche" (1977).
- A.S.T.M. D 1586-67 - "Standard Method for penetration Test and Split Barrel Sampling at Soils" (1974).
- DEPARTMENT of the NAVY - NAV-FAC DM-7 - "Soil Mechanics, Foundations, and earth structures" (1971).

Riferimenti bibliografici

- A.R.S.S. BAZARAA - "Use of the Standard Penetration Test for Estimating Settlement of Shallow Foundations on Sand" - Ph. D. Thesis. Illinois (1967).
- J. E. BOWLES - "Foundation Analysis and Design" - (1982 e 1988).
- M. JAMIOLKOWSKI, E. PASQUALINI - "Previsioni dei cedimenti delle fondazioni superficiali poggianti su terreni sabbiosi utilizzando ..." - V Ciclo annuale di conferenze dedicate ai problemi di ingegneria delle fondazioni - TORINO (1974).
- G. G. MEYERHOF - "The bearing Capacity of Foundations under Eccentric and inclined loads" - Proc. III ICSMFE (1953).
- E. SCHULTZE, J. MEZEMBACH - "SPT and Compressibility of Solis" - V ICSMFE (1961).
- K. TERZAGHI - "Theoretical Soil Mechanics" - (1943).
- A. S. VESIC - "Bearing Capacity of Shallow Foundations" - FOUNDATIONS ENGINEERING HANDBOOK ed. H.F. Winterkorn, H.I. Fang (1975).



Capitolo 1 **INDAGINE GEOTECNICA**

La dotazione dell'indagine geotecnica è riassunta nella tabella 1.1.

TABELLA 1.1 - DOTAZIONE DELL'INDAGINE

TIPO	N°
Sondaggio	3
Prova penetr. continua	11
Prova penetr. <i>S.P.T.</i>	46
Prova permeabilità	7

Nelle tabelle 1.2, 1.3 e nella figura 1.1 seguenti sono riassunti i risultati più significativi delle prove penetrometriche dinamiche continue e *SPT*.

TABELLA 1.2 - RIASSUNTO PROVE PENETROMETRICHE CONTINUE¹

PROVA N°	Q _{pc} [m]	Q _{10 I} [m]	Q _{10 II} [m]	Q ₂₀ [m]	Q _M [m]
1	-2.0	-3.6	-7.9	-14.2	-19.1
2	-2.3	-3.9	-7.0	-14.6	-18.9
3	-2.1	-3.7	/	-17.3	-20.5
4	-2.3	-3.6	/	-16.3	-20.4
5	-2.3	-4.2	/	-16.6	-19.4
6	-2.9	-4.8	-10.0	-16.0	-19.2
7	-2.9	-4.5	-10.9	-15.4	-19.7
8	-1.4	-5.8	/	-6.1	-11.9
9	-0.6	-5.3	/	-9.2	-10.6
10	-0.6	-3.8	/	-7.1	-9.3
11	-0.8	-4.0	/	-7.6	-9.9

¹ Nelle tabelle si è indicato con:

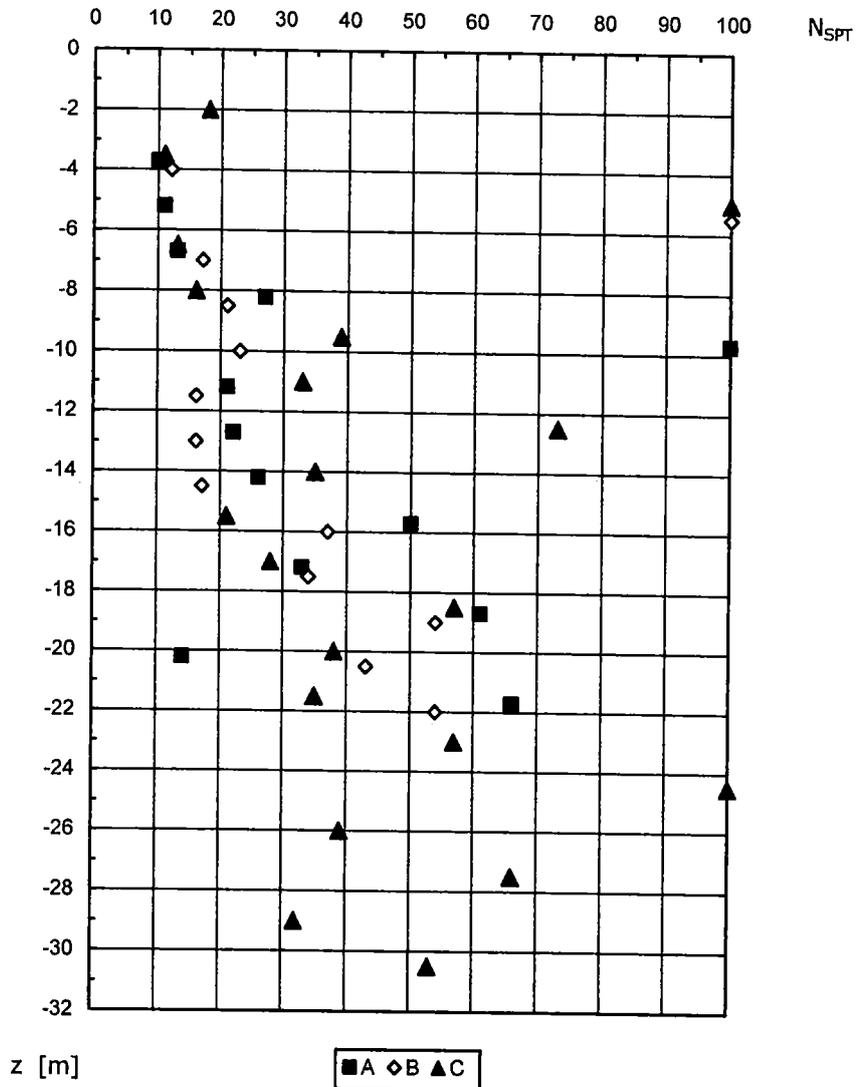
Q_{pc} la quota del piano campagna,
Q_{10 I-II/20} la quota in cui N ≥ 10/20 (N = resistenza penetrometrica continua),
Q_M la quota di fine prova,
Q_{SPT} la quota corrente della prova *SPT*,
N_{SPT} la resistenza penetrometrica.

TABELLA 1.3 - RIASSUNTO PROVE PENETROMETRICHE SPT

SONDAGGIO N°	PROVA N°	Q _{SPT} [m]	N _{SPT} /
A Q _{pc} = -2.2 m	1	-3.7	10
	2	-5.2	11
	3	-6.7	13
	4	-8.2	27
	5	-9.7	R
	6	-11.2	21
	7	-12.7	22
	8	-14.2	26
	9	-15.7	50
	10	-17.2	33
	11	-18.7	61
	12	-20.2	14
	13	-21.7	66
B Q _{pc} = -2.5 m	1	-4.0	12
	2	-5.5	R
	3	-7.0	17
	4	-8.5	21
	5	-10.0	23
	6	-11.5	16
	7	-13.0	16
	8	-14.5	17
	9	-16.0	37
	10	-17.5	34
	11	-19.0	54
	12	-20.5	43
	13	-22.0	54
C Q _{pc} = -0.5 m	1	-2.0	18
	2	-3.5	11
	3	-5.0	R
	4	-6.5	13
	5	-8.0	16
	6	-9.5	39
	7	-11.0	33
	8	-12.5	73
	9	-14.0	35
	10	-15.5	21
	11	-17.0	28
	12	-18.5	57
	13	-20.0	38
	14	-21.5	35
	15	-23.0	57
	16	-24.5	R
	17	-26.0	39
18	-27.5	66	
19	-29.0	32	
20	-30.5	53	



**FIGURA 1.1 - ANDAMENTO CON LA PROFONDITÀ
DELLA RESISTENZA PENETROMETRICA *SPT***





Nella tabella 1.4 e nella figura 1.2 sono riassunti i risultati più significativi delle prove di permeabilità dedotti dalle elaborazioni riportate nell'appendice di calcolo alle pagg. 1÷7.

**TABELLA 1.4 – RIASSUNTO PROVE PERMEABILITÀ
A CARICO VARIABILE²**

SONDAGGIO	PROVA n°	Q _c [m]	k [m/s]
A	A	-9.7	3.3 ⁻⁵
	B	-12.7	1.9 ⁻⁵
B	A	-8.5	1.6 ⁻⁵
	B	-11.5	2.0 ⁻⁵
C	A	-9.5	1.9 ⁻⁴
	B	-12.5	8.6 ⁻⁵
	C	-15.5	7.0 ⁻⁵

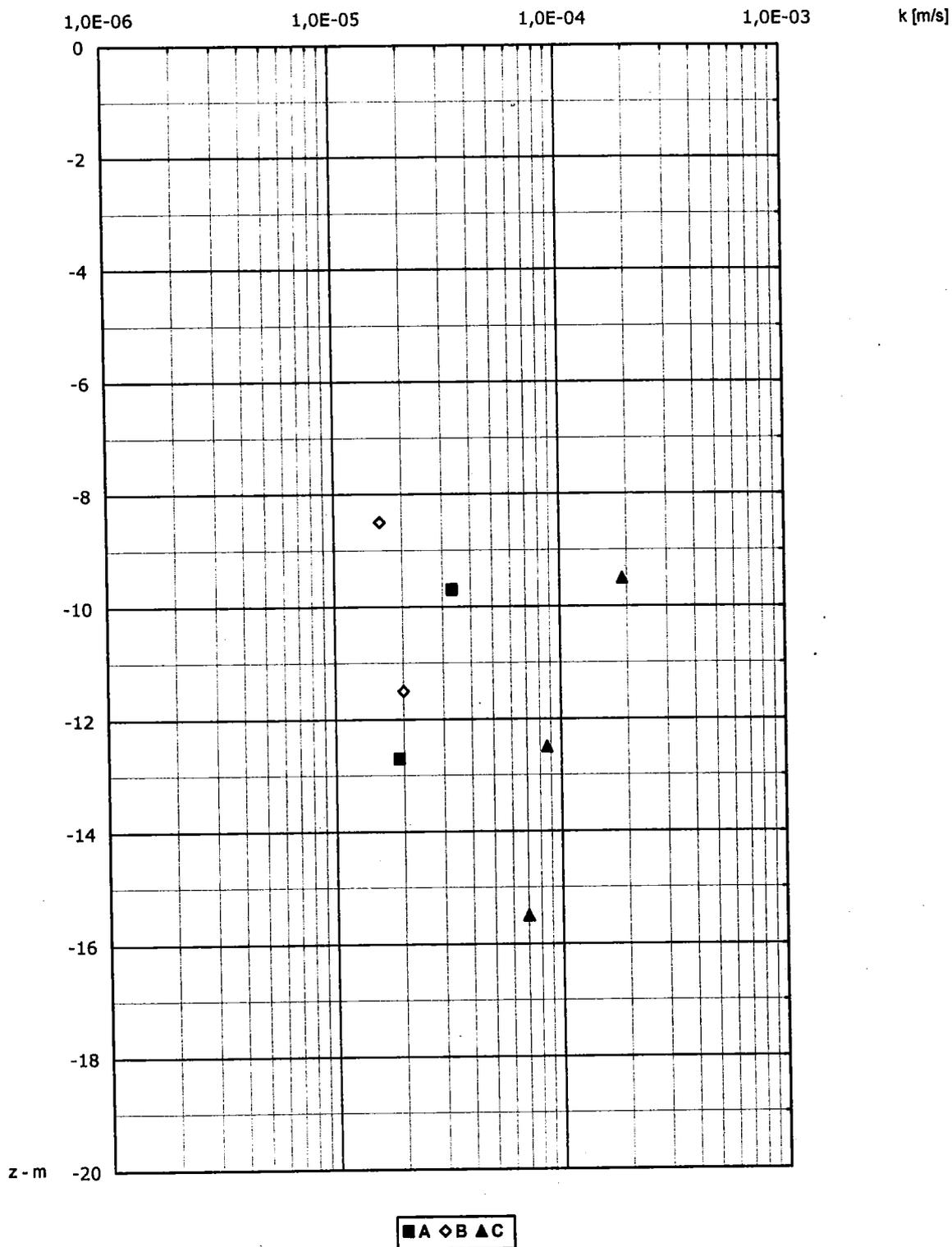
Nella figura 1.3 seguente è riportata la planimetria dell'area d'intervento in cui sono indicate l'ubicazione delle verticali d'indagine e le sagome degli edifici in progetto.

Nei disegni n° 5708/1 e n° 5708/2 del 18/01/07 sono riportati i risultati dell'indagine con gli identificativi planoaltimetrici delle prove eseguite.

² Nella tabella si è indicato con:
Q_c la quota della prova,
k il coefficiente di permeabilità.

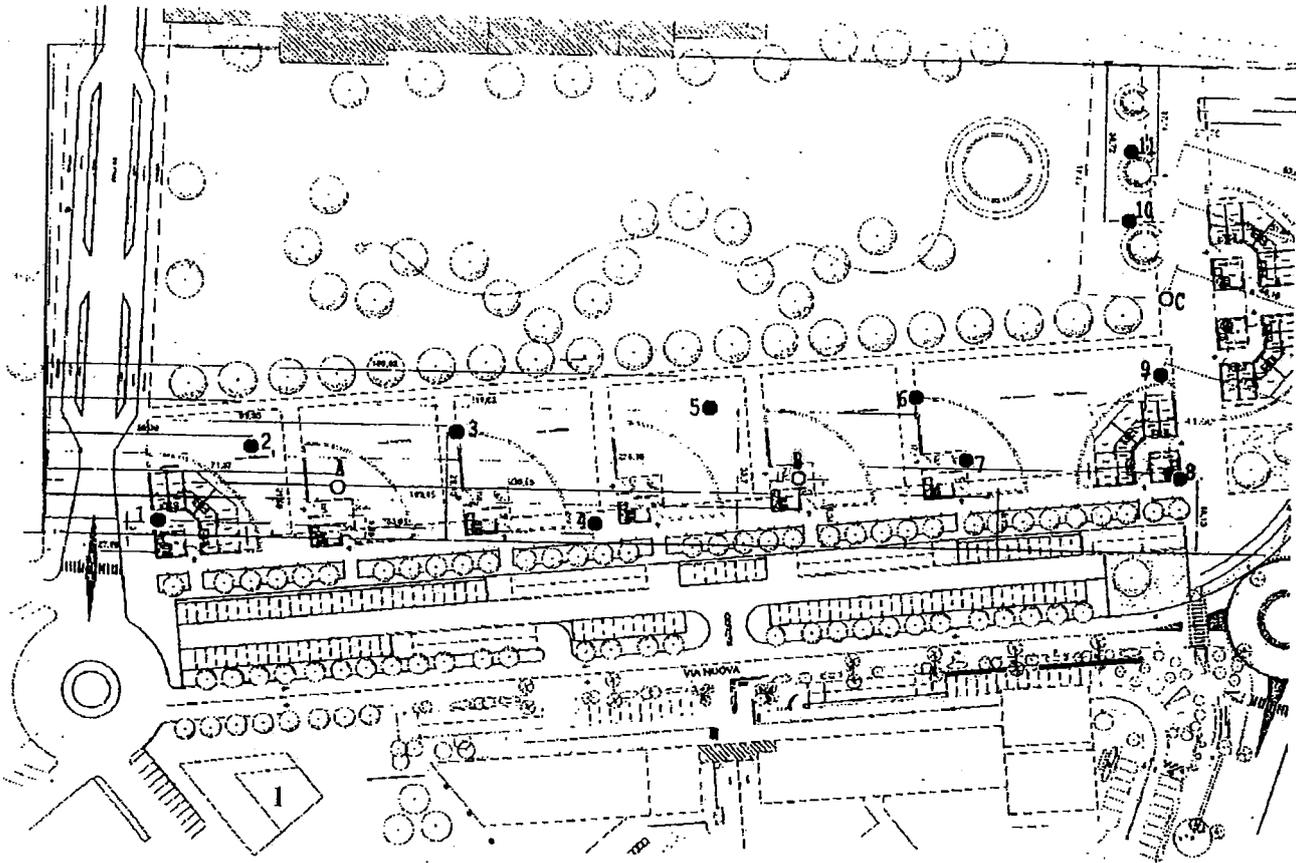


FIGURA 1.2 - ANDAMENTO CON LA PROFONDITÀ DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ K





**FIGURA 1.3 – PLANIMETRIA DELL'AREA ED UBICAZIONE
VERTICALI D'INDAGINE**





Capitolo 2 **CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

2.1 - Natura dei terreni

Dalle litologie dei sondaggi i terreni dell'area in esame sono risultati costituiti prevalentemente da sabbia e ghiaia limose, con presenza di ciottoli alterati in profondità.

In termini di resistenza penetrometrica i terreni sono risultati sensibilmente eterogenei sia planimetricamente sia con la profondità.

In particolare si evidenziano due zone caratterizzate da differenti condizioni stratigrafiche: la prima, denominata ZONA A, è individuata dalle prove penetrometriche n° 1÷7 e dai sondaggi A e B, la seconda, ZONA B, dalle rimanenti prove e dal sondaggio C.

In entrambe le zone i terreni risultano suddivisibili in tre livelli che si differenziano prevalentemente per le diverse caratteristiche meccaniche. Le due zone sono caratterizzate dalle differenti quote di suddivisione dei livelli, in particolare quella tra il secondo ed il terzo.

Tali quote sono riportate nella tabella 2.1.

**TABELLA 2.1 - QUOTE DI SUDDIVISIONE DEI LIVELLI
DI SCHEMATIZZAZIONE³**

ZONA	Q_{LI} [m]	Q_{LII} [m]
A	-3.6÷-4.8	-14.2÷-17.3
B	-3.8÷-5.8	-6.1÷-9.2

PRIMO LIVELLO

È presente dal piano campagna fino alle quote Q_{LI} di tabella 2.1. (cfr. Q_{10I} di tabella 1.2).

Generalmente le resistenze tipiche del penetrometro continuo e della SPT sono dell'ordine dei 4÷6 colpi/piede e dei 10÷12 colpi/piede rispettivamente e denotano terreni di bassa densità.

³ Nella tabella si è indicato con Q_{LI} , Q_{LII} le quote del letto del primo e del secondo livello rispettivamente.



SECONDO LIVELLO

I terreni del secondo sono presenti al disotto del primo livello fino alle quote Q_{LII} di tabella 2.1 (cfr. Q_{20} di tabella 1.2).

Sono caratterizzati da un brusco aumento della resistenza penetrometrica continua che dai bassi valori tipici del primo si attesta su valori compresi in generale tra 20 e 30 colpi/piede al tetto del livello per uno spessore pari a 2÷3 m, per poi diminuire a valori dell'ordine dei 10÷15 colpi/piede in profondità. Talvolta il calo di resistenza registrato tra la parte alta e la parte bassa del livello è più sensibile, come ad esempio in corrispondenza delle prove continue n° 1, 2, 6 e 7, laddove i terreni hanno opposto al penetrometro una resistenza continua dell'ordine dei 5-6 colpi/piede, per spessori compresi tra 1 e 2 m.

Cali di resistenza a valori inferiori a quelli tipici del livello si sono registrati anche ad altre profondità, per spessori decimetrici, a testimonianza della sensibile eterogeneità dei terreni.

Complessivamente i terreni hanno associate caratteristiche meccaniche medie.

TERZO LIVELLO

È presente al disotto del secondo livello e si spinge fino alla massima profondità d'indagine.

Presenta buone caratteristiche meccaniche avendo associati valori della resistenza continua compresa tra 20 e 30 colpi/piede e della resistenza SPT compresi significativamente tra 30 e 60 colpi/piede.

2.2 - Sismicità dell'area

Secondo l'OPCM n° 3274, la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore v_{s30} , definito come media della velocità delle onde di taglio entro i primi 30 m dal piano di fondazione.

Si ricorda che l'ordinanza suddivide i terreni secondo quanto esposto nella tabella 2.2.



**TABELLA 2.2 – CLASSIFICAZIONE DEL TIPO DI SUOLO
SECONDO L'OPCM N° 3274⁴**

CATEGORIA DI SUOLO	LITOLOGIA	V_{s30} m/s	N_{SPT} /	C_u kPa
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore ≤ 5 m.	>800	/	/
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessore di diverse decine di metri.	$360 \div 800$	>50	>250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine di metri fino a centinaia di metri.	$180 \div 360$	$15 \div 50$	$70 \div 250$
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti.	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.	come C o D	/	/

Sulla scorta dei risultati acquisiti, i terreni in esame alla quota d'imposta delle fondazioni (cfr. cap. 3) presentano resistenze penetrometriche N_{SPT} comprese tra 15 e 50 e quindi valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s.

Per quanto sopra, tali terreni si ritengono fare parte della **CATEGORIA DI SUOLO C**.

Per ultimo si fa presente che il Comune di SARONNO è inserito nell'OPCM n° 3274 del 20/03/03 nella **ZONA 4**.

2.3 - Caratteristiche geotecniche dei terreni

Nella tabella 2.3 si riportano i valori delle caratteristiche geotecniche più significative dei terreni.

A tali parametri potrà essere fatto riferimento nelle calcolazioni di carattere geotecnico.

⁴ Nella tabella si è indicato con:
 V_{s30} velocità onde di taglio,
 N_{SPT} resistenza SPT,
 C_u la coesione non drenata.

**TABELLA 2.3 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DI RIFERIMENTO⁵**

LIVELLO	N	γ	φ	D_r	m	n	v
	/	[kN/m ³]	[gradi]	[%]	/	/	/
PRIMO	4+6	18.5	22.5+25	25+35	200+240	.6	.4
SECONDO	10+15	19	27+30	40+50	500+600	.5	.4
TERZO	20+30	19	32+36	60+70	900+1100	.5	.35

2.4 - Idrologia

Nel corso dell'indagine non è stata segnalata l'acqua di falda. Questa si ritiene presente nella zona a profondità tali da non interagire in modo significativo con le opere in progetto.

Nel seguito pertanto questa sarà ignorata.

⁵ Nella tabella si è indicato con:

N la resistenza penetrometrica SPT rappresentativa dello strato,

γ il peso di volume del terreno naturale,

φ l'angolo d'attrito calcolato secondo la correlazione del ROAD BRIDGE SPECIFICATION ($\varphi = (15 * N)^{.5} + 15^\circ$),

D_r la densità relativa = $(e_n - e_m)/(e_M - e_m)$; e = indice dei vuoti; e_n in situ, e_m minimo; e_M massimo, calcolata secondo l'espressione $D_r = N_c/60^{.5}$,

m il gradiente del modulo di JOUNG E nella formulazione $E = m (\sigma_c/\sigma_r)^n \sigma_r$ (JANBU), calcolato secondo la correlazione di JAMIOLKOWSKI-PASQUALINI (1975) utilizzando la D_r , σ_c ; σ_r rispettivamente la pressione di contenimento efficace e la pressione di riferimento, quest'ultima pari a 100 per E e σ_c in kPa,

v il rapporto di POISSON.



Capitolo 3 CARATTERISTICHE SOMMARIE DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di n° 7 edifici a forma di 1/4 di cerchio di area pari a 400 m² circa, dotati di piani interrati con estensione planimetrica esuberante rispetto alle porzioni fuori terra.

Gli edifici sono ubicati in corrispondenza della zona interessata dalle prove penetrometriche n° 1÷8 e dai sondaggi A e B.

Degli edifici non sono note le caratteristiche strutturali e di carico.

Questi sono previsti forniti di fondazione a platea avente associata una pressione q_t di contatto con il terreno pari a:

$$q_t = 120 \text{ kPa.}$$

La quota d'imposta Q_f della platea è pari a:

$$Q_f = -10.8 \text{ m.}$$

È prevista inoltre, in prossimità delle prove n° 9, 10 e 11 e del sondaggio C, la realizzazione di n° 2 edifici a torre, di altezza $H = 52 \text{ m}$, di cui non sono note le caratteristiche strutturali e di carico, nè la quota di imposta delle fondazioni.

Anche per questi edifici il progetto prevede l'adozione di una platea di fondazione, con associata una pressione q_t di contatto con il terreno pari a:

$$q_t = 220 \text{ kPa.}$$



Capitolo 4 **FONDAZIONI**

4.1 – Definizione della tipologia di fondazione da adottare per le strutture in progetto

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche dei terreni in esame e in considerazione delle presunte caratteristiche strutturali e di carico di quanto in progetto, si ritiene ammissibile per gli edifici bassi l'adozione delle FONDAZIONI A PLATEA previste dal progetto, previa la preparazione dei terreni d'imposta indicata nel capitolo 5.

Per quanto riguarda gli edifici a torre, l'ammissibilità della soluzione fondazionale prevista dovrà essere verificata dopo l'esecuzione di un approfondimento dell'indagine finalizzato alla definizione di dettaglio della litologia dei terreni interessati dagli edifici e della loro rigidità⁶, indicazioni non deducibili dall'analisi dell'indagine in analisi a causa della sensibile eterogeneità dei terreni dell'area e dell'ubicazione delle verticali d'indagine.

In considerazione di quanto sopra, nel seguito viene condotta solamente l'analisi della platea di fondazione degli edifici bassi.

4.2 – Analisi fondazioni a platea

Nel seguito, della platea viene condotta la sola analisi deformazionale, intesa come valutazione dei cedimenti in corrispondenza dei vari punti dell'area di carico.

Non ne viene esaminata la stabilità in quanto, considerate le caratteristiche geometriche e di carico presunte oltre che geotecniche, questa è da ritenere verificata sotto la prevista pressione di progetto con associati coefficienti di sicurezza superiori a quelli previsti dalla normativa vigente e normalmente adottati nella prassi progettuale.

4.2.1 - Ipotesi e modalità di calcolo

Le ipotesi assunte nei calcoli sono riportate nel seguito.

⁶ Le caratteristiche di deformabilità giocano un ruolo fondamentale nel dimensionamento della platea: spessore e quantitativo di armatura.



- Il calcolo dei cedimenti è eseguito considerando un'area di carico quadrata di lati pari a $20 \times 20 \text{ m}^2$, corrispondente all'area equivalente a quella del singolo edificio fuori terra.
- La pressione di contatto fondazione-terreno q_t è assunta pari a⁷:
 $q_t = 120 \text{ kPa}$.

- La platea è considerata impostata alla $Q_f = -10.8 \text{ m}$.
- Nei calcoli è stata considerata la condizione stratigrafica più sfavorevole, rappresentata dalla prova n° 2 (ZONA A). Quanto risultante dai calcoli potrà essere ritenuto rappresentativo dell'estremo superiore del *range* di variazione dei cedimenti associati alla fondazione in esame e quindi può essere utilizzato, a favore di sicurezza, anche per l'edificio ubicato nella ZONA B.
- Per il calcolo della diffusione del carico indotto dalla fondazione al terreno questo viene considerato come semispazio elastico, isotropo e omogeneo (alla BOUSSINESQ).
- Il calcolo considera la fondazione con associate due differenti rigidità limiti: infinitamente flessibile, fornendo in questo caso differenti valori di cedimento a seconda della posizione planimetrica considerata, e perfettamente rigida con associato un unico valore di cedimento. Ovviamente, avendo la fondazione in esame associata una rigidità finita, il comportamento di queste sarà intermedio tra i due forniti dal calcolo.

4.2.2 - Risultati dei calcoli

Nell'appendice di calcolo alle pagg. 8÷12 sono riportati i parametri, le modalità e i risultati dei calcoli di cedimento della platea.

I risultati dei calcoli sono riassunti nella tabella 4.1 seguente.

⁷ Per pressioni di poco differenti da quella assunta nei calcoli ($\pm 20\%$) i cedimenti potranno essere dedotti da quelli risultanti dall'analisi, nell'ipotesi di proporzionalità diretta tra pressione e cedimento.



TABELLA 4.1 - RIASSUNTO CALCOLO CEDIMENTI PLATEA

$w_s = 0.8 \text{ cm}$	cedimento spigolo
$w_b = 1.6 \text{ cm}$	cedimento mezzeria lato
$w_c = 2.7 \text{ cm}$	cedimento centro area
$w_R = 2 \text{ cm}$	cedimento fondazione infinitamente rigida
$k_v = 5970 \text{ kN/m}^3$	coefficiente di sottof. verticale per terreno alla WINKLER

I cedimenti sono in gran parte sviluppati da terreni granulari e quindi del tipo istantaneo. Si escludono cedimenti differiti nel tempo in quanto non sono risultati presenti livelli di terreno fine a bassa permeabilità.



Capitolo 5 **RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE**

Le platee di fondazione degli edifici analizzati sono state considerate impostate alla prevista quota di progetto ($Q_f = -10.8$ m) sui terreni in situ del secondo livello.

Considerata la notevole eterogeneità litologica dei terreni si raccomanda in corso d'opera la visione critica da parte della *D.LL.* dei terreni presenti alla Q_f per verificare l'effettiva presenza dei terreni sabbio-ghiaiosi mediamente addensati previsti alla Q_f .

In ogni caso, i terreni d'imposta delle platee saranno oggetto di un'adeguata preparazione che potrà essere condotta secondo le fasi di seguito illustrate.

- Sbiancamento generale fino al raggiungimento della quota d'imposta.
- Eventuale bonifica del terreno laddove al fondo scavo o nelle immediate vicinanze sono presenti livelli di terreno particolarmente molle o altri materiali ritenuti inidonei dalla *D.LL.*. La bonifica sarà costituita da inerte con il 70% di ghiaia e ghiaietto, il 25% di sabbia e il 5% di fino depositi a strati. Gli spessori degli strati di stesura saranno funzione dell'apparecchiatura di compattazione adottata e comunque non superiore a .3 m. In ogni caso i materiali stesi dovranno raggiungere il 97.5% dell'OTTIMO DI PROCTOR MODIFICATO.
- Vibrocompattazione del terreno mediante n° 5+5 passate incrociate di un rullo vibrante di peso pari a 150 kN procedente ad una velocità non superiore a 1.5 km/h.
- Successiva posa del magrone di regolarizzazione e getto della fondazione.



Capitolo 6 **CONCLUSIONI**

6.1 - I terreni oggetto d'indagine sono stati schematizzati in n° 3 livelli differenziatisi prevalentemente per le differenti caratteristiche meccaniche.

Il primo è costituito da sabbia limosa ghiaiosa di bassa densità, il secondo da sabbia e ghiaia di densità media e il terzo da sabbia e ghiaia con associate buone caratteristiche meccaniche.

6.2 - Per i sette edifici multipiano si sono ritenute ammissibili le fondazioni a platea previste dal progetto, impostate alla quota $Q_f = -10.5$ m. Alle platee sono risultati associati i cedimenti esposti nella tabella 4.1, calcolati in corrispondenza della zona circostante la verticale d'indagine n° 2 ed estrapolati a tutta l'area.

6.3 - Non sono state analizzate le fondazioni delle torri per insufficienti determinazioni meccaniche riferite alla notevole eterogeneità dei terreni. Al riguardo si è consigliata l'esecuzione di un'indagine geotecnica integrativa il cui dimensionamento è da concordare.





STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI S.R.L. - VIA MINCIO, 22 - C.A.P. 20139 MILANO

CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.

———— C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO - COD. FISC. - PART. IVA 05092310969 - SOA 8904/10/00 CAT. OS21 CL. II ————

pag. 0

ANALISI PROVE DI PEMEABILITA'



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	A
Prova	a

Quota fondo foro **-9,7 m da z.r.**
 Lunghezza tratto disperdente **0,5 m**
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h ₁	h ₂	t ₁	t ₂	k
m	m	sec	sec	m/sec
8,20	7,15	0	30	1,16E-04
7,15	6,65	30	60	6,12E-05
6,65	6,32	60	120	2,15E-05
6,32	5,67	120	240	2,29E-05
5,67	4,82	240	480	1,71E-05
4,82	3,84	480	960	1,20E-05
3,84	3,07	960	1920	5,91E-06
3,07	2,30	1920	3840	3,81E-06

k_m = **3,25E-05** [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q _f	q _{nb}	q _{nl}
m	m ³ /h	m ³ /h/m ²	m ³ /h/m ²
7,68	1,13	5,34	5,34
6,90	0,54	2,54	2,54
6,49	0,18	0,84	0,84
6,00	0,18	0,83	0,83
5,25	0,11	0,54	0,54
4,33	0,07	0,31	0,31
3,46	0,03	0,12	0,12
2,69	0,01	0,06	0,06

d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
 C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
 h₁, h₂ = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
 t₁, t₂ = tempi ai quali si misurano h₁ e h₂;
 k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k').

d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
 h = caduta idraulica;
 q_{nb} = Q_f / (A_{ob} + r * A_d) = portata di filtrazione unitaria di base;
 q_{nl} = Q_f / (A_d + r * A_{ob}) = portata di filtrazione unitaria laterale;
 A_{ob} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
 A_d = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
 r = k_h / k_v = 1
 k_h, k_v = coefficienti di permeabilità orizzontale, verticale.



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	A
Prova	b

Quota fondo foro **-12,7 m da z.r.**
 Lunghezza tratto disperdente **0,5 m**
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h ₁	h ₂	t ₁	t ₂	k
m	m	sec	sec	m/sec
11,20	10,35	0	30	6,67E-05
10,35	10,02	30	60	2,74E-05
10,02	9,49	60	120	2,29E-05
9,49	8,97	120	240	1,19E-05
8,97	8,23	240	480	9,09E-06
8,23	7,22	480	960	6,91E-06
7,22	6,27	960	1920	3,72E-06
6,27	4,76	1920	3840	3,64E-06

$k_m = 1,90E-05$ [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q _f	q _{fb}	q _{fl}
m	m ³ /h	m ³ /h/m ²	m ³ /h/m ²
10,78	0,92	4,32	4,32
10,19	0,36	1,68	1,68
9,76	0,29	1,35	1,35
9,23	0,14	0,66	0,66
8,60	0,10	0,47	0,47
7,73	0,07	0,32	0,32
6,75	0,03	0,15	0,15
5,52	0,03	0,12	0,12

d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
 C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
 h₁, h₂ = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
 t₁, t₂ = tempi ai quali si misurano h₁ e h₂;
 k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k').

d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
 h = caduta idraulica;
 q_{fb} = Q_f / (A_{db} + r * A_{dl}) = portata di filtrazione unitaria di base;
 q_{fl} = Q_f / (A_{dl} + r * A_{db}) = portata di filtrazione unitaria laterale;
 A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
 A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
 r = k_f / k_v = 1
 k_h, k_v = coefficienti di permeabilità orizzontale, verticale.

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	B
Prova	a

Quota fondo foro **-8,5 m da z.r.**
 Lunghezza tratto disperdente **0,5 m**
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h ₁	h ₂	t ₁	t ₂	k
m	m	sec	sec	m/sec
6,70	5,85	0	30	1,15E-04
5,85	5,68	30	60	2,49E-05
5,68	5,38	60	120	2,29E-05
5,38	4,87	120	240	2,10E-05
4,87	4,14	240	480	1,71E-05
4,14	3,17	480	960	1,41E-05
3,17	2,26	960	1920	8,93E-06
2,26	1,48	1920	3840	5,59E-06

k_m = **1,64E-05** [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q _f	q _{fb}	q _{fl}
m	m ³ /h	m ³ /h/m ²	m ³ /h/m ²
6,28	0,92	4,32	4,32
5,77	0,18	0,86	0,86
5,53	0,16	0,76	0,76
5,13	0,14	0,65	0,65
4,51	0,10	0,46	0,46
3,66	0,07	0,31	0,31
2,72	0,03	0,14	0,14
1,87	0,01	0,06	0,06

- d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
- C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
- h₁, h₂ = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
- t₁, t₂ = tempi ai quali si misurano h₁ e h₂;
- k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k' escludendo i valori contrassegnati con '+');
- d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
- h = caduta idraulica;
- q_{fb} = Q_f / (A_{db} + r * A_{dl}) = portata di filtrazione unitaria di base;
- q_{fl} = Q_f / (A_{dl} + r * A_{db}) = portata di filtrazione unitaria laterale;
- A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
- A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
- r = k_h / k_v = 1
- k_h, k_v = coefficienti di permeabilità orizzontale, verticale.



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	B
Prova	b

Quota fondo foro -11,5 m da z.r.
 Lunghezza tratto disperdente 0,5 m
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h ₁	h ₂	t ₁	t ₂	k
m	m	sec	sec	m/sec
9,70	8,90	0	30	7,27E-05
8,90	8,50	30	60	3,88E-05
8,50	8,26	60	120	1,21E-05
8,26	7,83	120	240	1,13E-05
7,83	7,07	240	480	1,08E-05
7,07	6,09	480	960	7,88E-06
6,09	5,16	960	1920	4,37E-06
5,16	3,98	1920	3840	3,43E-06

k_m = 2,02E-05 [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q _f	q _{fb}	q _{fl}
m	m ³ /h	m ³ /h/m ²	m ³ /h/m ²
9,30	0,86	4,07	4,07
8,70	0,43	2,03	2,03
8,38	0,13	0,61	0,61
8,05	0,12	0,55	0,55
7,45	0,10	0,48	0,48
6,58	0,07	0,31	0,31
5,63	0,03	0,15	0,15
4,57	0,02	0,09	0,09

- d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
- C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
- h₁, h₂ = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
- t₁, t₂ = tempi ai quali si misurano h₁ e h₂;
- k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k').

- d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
- h = caduta idraulica;
- q_{fb} = Q_f / (A_{db} + r * A_{dl}) = portata di filtrazione unitaria di base;
- q_{fl} = Q_f / (A_{dl} + r * A_{db}) = portata di filtrazione unitaria laterale;
- A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
- A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
- r = k_v / k_h = 1
- k_h, k_v = coefficienti di permeabilità orizzontale, verticale.



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	C
Prova	a

Quota fondo foro **-9,5 m da z.r.**
 Lunghezza tratto disperdente **0,5 m**
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h ₁	h ₂	t ₁	t ₂	k
m	m	sec	sec	m/sec
9,70	3,38	0	30	8,90E-04
3,38	2,45	30	60	2,72E-04
2,45	/	60	120	/
/	/	120	240	/
/	2,43	240	480	8,65E-07
2,43	2,40	480	960	6,56E-07
2,40	2,37	960	1920	3,32E-07
2,37	2,31	1920	3840	3,38E-07

k_m = **1,94E-04** [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q _f	q _{fb}	q _{fl}
m	m ³ /h	m ³ /h/m ²	m ³ /h/m ²
6,54	6,82	32,14	32,14
2,92	1,00	4,73	4,73
2,45	0,00	0,00	0,00
2,45	0,00	0,00	0,00
2,44	0,00	0,01	0,01
2,42	0,00	0,01	0,01
2,39	0,00	0,00	0,00
2,34	0,00	0,00	0,00

- d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
- C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
- h₁, h₂ = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
- t₁, t₂ = tempi ai quali si misurano h₁ e h₂;
- k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k' escludendo i valori contrassegnati con '+');
- d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
- h = caduta idraulica;
- q_{fb} = Q_f / (A_{db} + r * A_{dl}) = portata di filtrazione unitaria di base;
- q_{fl} = Q_f / (A_{dl} + r * A_{db}) = portata di filtrazione unitaria laterale;
- A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
- A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
- r = k_v / k_v = 1
- k, k_v = coefficienti di permeabilità orizzontale, verticale.



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	C
Prova	b

Quota fondo foro **-12,5 m da z.r.**
 Lunghezza tratto disperdente **0,5 m**
 Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h_1	h_2	t_1	t_2	k
m	m	sec	sec	m/sec
12,70	7,56	0	30	4,38E-04
7,56	6,17	30	60	1,72E-04
6,17	5,46	60	120	5,16E-05
5,46	5,31	120	240	5,88E-06
5,31	5,27	240	480	7,98E-07
5,27	5,12	480	960	1,52E-06
5,12	3,59	960	1920	9,37E-06
3,59	2,49	1920	3840	4,83E-06

$k_m = 8,55E-05$ [m/sec]

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q_f	q_{fb}	q_{fl}
m	m^3/h	$m^3/h/m^2$	$m^3/h/m^2$
10,13	5,55	26,14	26,14
6,87	1,50	7,07	7,07
5,82	0,38	1,81	1,81
5,39	0,04	0,19	0,19
5,29	0,01	0,03	0,03
5,20	0,01	0,05	0,05
4,36	0,05	0,24	0,24
3,04	0,02	0,09	0,09

- d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
- C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
- h_1, h_2 = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
- t_1, t_2 = tempi ai quali si misurano h_1 e h_2 ;
- k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k').

- d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
- h = caduta idraulica;
- q_{fb} = $Q_f / (A_{db} + r \cdot A_{dl})$ = portata di filtrazione unitaria di base;
- q_{fl} = $Q_f / (A_{dl} + r \cdot A_{db})$ = portata di filtrazione unitaria laterale;
- A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m^2 ;
- A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m^2 ;
- r = $k_f / k_v = 1$



PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

SONDAGGIO	C
Prova	c

Quota fondo foro -15,5 m da z.r.
Lunghezza tratto disperdente 0,5 m
Falda non presente

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k

$$k = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \ln(h_1 / h_2) / [C_L \cdot (t_2 - t_1)]$$

h_1	h_2	t_1	t_2	k
m	m	sec	sec	m/sec
15,70	10,03	0	30	3,78E-04
10,03	8,80	30	60	1,10E-04
8,80	8,20	60	120	2,98E-05
8,20	7,68	120	240	1,38E-05
7,68	7,22	240	480	6,52E-06
7,22	6,16	480	960	8,38E-06
6,16	4,69	960	1920	7,20E-06
4,69	2,70	1920	3840	7,29E-06

$$k_m = 7,02E-05 \text{ [m/sec]}$$

PORTATA DI FILTRAZIONE Q_f

$$Q_f = (\pi \cdot d_i^2 / 4) \cdot (h_1 - h_2) / (t_2 - t_1)$$

h	Q_f	q_{fb}	q_{fl}
m	m^3/h	$m^3/h/m^2$	$m^3/h/m^2$
12,87	6,12	28,84	28,84
9,42	1,33	6,26	6,26
8,50	0,32	1,53	1,53
7,94	0,14	0,66	0,66
7,45	0,06	0,29	0,29
6,69	0,07	0,34	0,34
5,43	0,05	0,23	0,23
3,70	0,03	0,16	0,16

d = diametro esterno tubazione di rivestimento = 0,1270 m;
 C_L = coefficiente di forma = 0,5 m;
 h_1, h_2 = altezza livelli d'acqua nel foro, misurata dal fondo del foro;
 t_1, t_2 = tempi ai quali si misurano h_1 e h_2 ;
 k_m = coefficiente di permeabilità medio (media aritmetica di 'k').

d_i = diametro interno tubazione di rivestimento = 0,1070 m;
h = caduta idraulica;
 q_{fb} = $Q_f / (A_{db} + r \cdot A_{dl})$ = portata di filtrazione unitaria di base;
 q_{fl} = $Q_f / (A_{dl} + r \cdot A_{db})$ = portata di filtrazione unitaria laterale;
 A_{db} = superficie disperdente di base = 0,0127 m²;
 A_{dl} = superficie disperdente laterale = 0,1995 m²;
r = k_f / k_v = 1



STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI S.R.L. - VIA MINCIO, 22 - C.A.P. 20139 MILANO

CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.

———— C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO - COD. FISC. - PART. IVA 05092310969 - SOA 8904/10/00 CAT. OS21 CL. II ————

pag. 8

CALCOLO CEDIMENTI AREA DI CARICO



D A T I D I I N P U T

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE TERRENO

Le caratteristiche di deformabilità verticale dei terreni relative ai terreni granulari sono state calcolate utilizzando il valore della densità relativa valutato con le correlazioni di GIBBS-HOLTZ (1967), SCHULTZ-MEZEMBACH (1961), BAZARAA-PECK (1967), BAZARAA (1969) mediate.

COEFFICIENTE DI PRESSIONE A RIPOSO	0.50
R A P P O R T O D I P O I S S O N	0.40
PESO VOLUME TERRENO SOTTO LA FONDAZ.	19.00
PESO VOLUME TERRENO SOPRA LA FONDAZ.	17.00

CARATTERISTICHE DI GEOMETRIA GENERALE

LATO MINORE	AREA	DI	CARICO	20.00
LATO MAGGIORE	AREA	DI	CARICO	20.00
PRESSIONE	TRASMESSA	AL	TERRENO	120.00
QUOTA DEL	PIANO		CAMPAGNA	2.30
QUOTA PIANO CALPESTIO PIU'			DEPRESSO	10.00
QUOTA PIANO	AREA	DI	CARICO	10.75



RISULTATI DEI CALCOLI

LEGENDA:

z = profund. media strato N = numero colpi penetrom. dinamico
Dr = densita' relativa Qvt/Qht = press. vert./orizz. terr. a rip.
Qhc = increm. press. orizz. Qvc = incremento pressione verticale
E = modulo elast. vertic. Cc-Cr = indici compressib. edometrica
w = cedimento Po = pressione di preconsolidazione

N.B. La profondita' e' misurata dal piano di carico.

z m	N colpi	Dr %	Qvt KPa	Qht KPa	Qhc KPa	Qvc KPa	E / Cc;Cr KPa/ - ; -	Po KPa	w cm
Sullo spigolo									
0.8	9	38.1	27.0	13.5	21.6	30.0	16255.3	/	0.277
2.3	11	40.6	55.5	27.8	23.8	30.0	23917.0	/	0.188
3.8	20	52.4	84.0	42.0	20.2	29.9	40988.6	/	0.109
5.3	22	52.5	112.5	56.3	17.6	29.6	54908.3	/	0.081
6.8	23	52.8	141.0	70.5	15.2	29.2	61088.3	/	0.072
8.3	26	54.0	169.5	84.8	13.1	28.7	68278.9	/	0.063

Calcolo arrestato perche' soddisfatta la relazione: - $Qvc < 0.15 * Qvt$ -



z m	N colpi	Dr %	Qvt KPa	Qht KPa	Qhc KPa	Qvc KPa	E / Cc;Cr KPa/ - ; -	Po KPa	w cm
In mezzeria del lato									
0.8	9	38.1	27.0	13.5	41.1	60.0	22939.2	/	0.392
2.3	11	40.6	55.5	27.8	41.5	59.7	30338.0	/	0.295
3.8	20	52.4	84.0	42.0	31.2	58.8	46928.1	/	0.188
5.3	22	52.5	112.5	56.3	24.1	57.0	59102.5	/	0.145
6.8	23	52.8	141.0	70.5	18.6	54.6	63308.0	/	0.129
8.3	26	54.0	169.5	84.8	14.4	51.7	69187.7	/	0.112
9.8	26	52.5	198.0	99.0	11.2	48.5	71266.5	/	0.102
11.3	26	51.1	226.5	113.3	8.8	45.3	73552.3	/	0.092
12.8	26	49.9	255.0	127.5	6.9	42.0	75954.7	/	0.083
14.3	26	48.8	283.5	141.8	0.0	39.0	75189.9	/	0.078

Calcolo arrestato perche' soddisfatta la relazione: - $Qvc < 0.15 * Qvt$ -



z m	N colpi	Dr %	Qvt KPa	Qht KPa	Qhc KPa	Qvc KPa	E / Cc;Cr KPa/ - ; -	Po KPa	w cm
Al centro									
0.8	9	38.1	27.0	13.5	79.2	120.0	36044.1	/	0.499
2.3	11	40.6	55.5	27.8	74.7	119.0	42432.5	/	0.421
3.8	20	52.4	84.0	42.0	50.3	116.0	57310.6	/	0.304
5.3	22	52.5	112.5	56.3	34.2	110.5	65660.0	/	0.252
6.8	23	52.8	141.0	70.5	23.0	103.1	66150.9	/	0.234
8.3	26	54.0	169.5	84.8	15.3	94.5	69776.6	/	0.203
9.8	26	52.5	198.0	99.0	10.2	85.6	70587.8	/	0.182
11.3	26	51.1	226.5	113.3	6.8	76.9	72295.4	/	0.160
12.8	26	49.9	255.0	127.5	4.5	68.8	74503.3	/	0.139
14.3	26	48.8	283.5	141.8	3.0	61.5	76966.6	/	0.120
15.8	26	47.7	312.0	156.0	2.0	54.9	79539.6	/	0.104
17.3	26	46.8	340.5	170.3	0.0	49.1	81403.3	/	0.091

Calcolo arrestato perche' soddisfatta la relazione: - $Qvc < 0.15 * Qvt$ -

CEDIMENTI TOTALI AREA DI CARICO

- sullo spigolo w = 0.79 cm
- in mezzeria del lato w = 1.62 cm
- nel centro w = 2.71 cm
- cedimento fondazione rigida ... w = 2.01 cm