



METROPOLITANA MILANESE SPA

AZIENDA CON SISTEMA QUALITA' UNI EN ISO 9001 CERTIFICATO DA ICMQ
Certificato N. 96095 Organismo di progettazione: Attività di Progettazione e
Coordinamento nei settori di specializzazione relativi a Linee Metropolitane,
Ferroviarie e Tranviarie urbane ed extraurbane; Viabilità urbana ed extraurbana;
Parcheggi e Strutture di Interscambio; Opere idrauliche, Acquadotti e Fognature;
Riqualificazione del territorio e Bonifiche; Interventi Edilizi; Aerostazioni e Manufatti
Aeroportuali. Gestione del processo costruttivo: Direzione, Coordinamento e
Supervisione Lavori.
Certificato N. 00436 Esperimento Gare d'Appalto riguardanti Lavori e forniture in
conformità alle disposizioni di legge della Repubblica Italiana.

COMMESSA YA

**RILANCIO E RIQUALIFICAZIONE DEI
MERCATI GENERALI DI MILANO**

**FASE 1.0
LOTTO 1.02 – MERCATO AVICUNICOLO**


PROGETTO ESECUTIVO

**RELAZIONE GEOLOGICA
YA-0104**



DATA	COM	WBE	N°	REV	DESCR	REDAT	VERIF	ACQ	APPR
18.10.2011	YA	1EPGE	0104	0	Emissione	(*)	R. Conta	M.Recalcati	M.Recalcati
Giugno 2013	YA	1EPGE	0104	14	Progetto Esecutivo				M.Recalcati

(*) Con la collaborazione di Prove Penetrometriche Srl - Studio Geologico Dott. Fabrizio Anderlini

<p>Il Direttore Tecnico Dott. Ing Dario Comini Ordine degli Ingegneri di Lecco n° 304</p> 	<p>Il Progettista Responsabile dell'integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Dott. Ing. Massimo Recalcati Ordine degli Ingegneri di Milano n°A15444</p>	<p>Il Progettista Responsabile Dott. Ing. Roberto Conta Ordine degli Ingegneri di Pavia n°939</p>
--	---	---



INDICE

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
2.1 GEOLOGIA DELL'AREA.....	5
2.2 GEOMORFOLOGIA.....	6
2.3 IDROGEOLOGIA	7
3. INTERPRETAZIONE ANALISI GRANULOMETRICHE	9
4. INDAGINI SISMICHE.....	14
4.1 Inquadramento sismotettonico e sismicità	14
4.2 DOWN-HOLE.....	15
4.3 Indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	17
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	20
6. ALLEGATI	22
Tav. n. 1: "Inquadramento topografico"	scala 1:5.000
Tav. n. 2: "Carta geologica"	scala grafica
Tav. n. 3: "Foto aerea con ubicazione sezione stratigrafica A-A"	scala grafica
Tav. n. 4: "Sezione stratigrafica A-A"	scala 1:4.000/1:80
Report prova Down-hole Sondaggio S11	
Report indagine sismica MASW	



1. PREMESSA

Su incarico di Metropolitana Milanese spa, è stato eseguito il presente studio geologico- idrogeologico e sismico a supporto del progetto di riqualificazione dei mercati generali, presso l'area Ortomercato sita in Via Cesare Lombroso a Milano.

Il sito di studio è ubicato nell' "Inquadramento Topografico" (**tav. n. 1**) in scala 1:5.000 – estratto dalla *C.T.R. della Regione Lombardia*.

La presente relazione è stata redatta ai sensi del **D.M. 14 gennaio 2008** inerente le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".



2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1 GEOLOGIA DELL'AREA

L'area su cui sorge il capoluogo lombardo è costituita da depositi alluvionali quaternari costituiti da materiali alluvionali e fluvioglaciali in cui si riconosce una stratigrafia caratterizzata da litotipi situati a profondità crescenti e con diverse caratteristiche granulometriche.

Dalla superficie verso il basso si distinguono le seguenti litofacies:

- Ghiaioso-Sabbiosa
- Ghiaioso-Sabbioso-Limosa
- Conglomerati ed Arenarie alla base
- Sabbioso-Argillosa in facies continentale e di transizione
- Argillosa in facies marina

L'area di interesse si situa nell'unità più superficiale, che raggiunge i 35/40 metri di profondità e che è composta prevalentemente da depositi a granulometria ghiaioso-sabbiosa con ciottoli diffusi e locali lenti a granulometria più fine, limoso-sabbiosa e, più raramente, limoso-argillosa.

Le lenti limo-sabbiose hanno, in genere, spessori limitati. Lo spessore di tali lenti ed anche la loro frequenza tende ad aumentare mano a mano che aumenta la profondità.

La zona di Milano si colloca in corrispondenza del margine inferiore dall'alta pianura lombarda che è caratterizzato da depositi quaternari di origine alluvionale risalenti ai periodi interglaciali delle glaciazioni pleistoceniche.

Il sito in oggetto si situa su depositi pleistocenici e quaternari, come si nota anche dalla "Carta Geologica" (Tav. 2) tratta dalla Cartografia CARG della Regione Lombardia, nella quale si denota una litologia superficiale caratterizzata da depositi superficiali alluvionali costituiti da ghiaie prevalenti.



SUCCESSIONE CONTINENTALE NEOGENICO-QUATERNARIA

Sintema di Cantù

LCN – Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose, limi sabbioso argillosi (depositi fluvioglaciali).

Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti, con spessori prossimi al metro; debole idromorfia nei settori meridionali del Foglio. Copertura loessica assente. Età: Pleistocene sup. L'unità è presente in corrispondenza dell'area di studio e nella vasta area circostante.

Supersintema di Besnate

BXE - UNITA' DI BULGAROGRASSO

Ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, di spessore variabile. Copertura colluviale. Età: Pleistocene medio – sup. L'unità è presente a sud ovest dell'area di studio.

2.2 GEOMORFOLOGIA

Il territorio comunale di Milano è caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante e con pendenze raramente eccedenti il 6-7 %, verso i quadranti meridionali.

Il territorio, è caratterizzato da una intensa rete idrografica composta dai principali fiumi come il Lambro, l'Oloni e il Seveso ed una serie di canali, costruiti dall'uomo nelle epoche passate.

Pertanto, le originarie forme naturali del territorio di Milano sono state per gran parte obliterate dalle intense attività antropiche che hanno portato all'attuale configurazione del territorio.



2.3 IDROGEOLOGIA

Nell'area della pianura Milanese, si distinguono almeno tre "unità idrogeologiche", distinte in funzione della loro litologia, che dall'alto al basso risultano costituite da:

1. unità "ghiaioso-sabbiosa";
2. unità "ghiaioso-sabbioso-limosa";
3. unità "sabbioso-argillosa"

Unità "ghiaioso-sabbiosa"

E' costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene sup. litologicamente caratterizzati da ghiaie e sabbie in matrice limosa, intercalati a livelli discontinui e poco potenti di argilla. Questa unità costituisce la sede del primo acquifero a pelo libero e può raggiungere i 70-80 m di profondità.

Unità "ghiaioso-sabbioso-limosa"

E' sede di una falda semiconfinata ed è separata dall'acquifero superiore da uno strato più o meno continuo di argilla dallo spessore variabile da qualche metro fino a 5-6 metri. Questa unità è costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene medio che in profondità vengono sostituiti da conglomerati e arenarie basali. Normalmente questa successione raggiunge i 100 m di profondità e insieme all'unità sovrastante costituisce l'acquifero tradizionale. Tale acquifero è quindi composto da due falde di cui una libera più superficiale ed una semiconfinata. I rapporti tra le due falde dipendono dalla presenza di un livello argilloso. Idraulicamente quindi questo acquifero è un sistema monostrato multifalda, a causa degli scambi idrici legati ai fenomeni di drenanza tra le due falde.

Unità "sabbioso-argillosa"

La terza unità idrogeologica è caratterizzata da facies di origine sia continentale e di transizione (unità sabbioso-argillosa) che marine (unità argillosa) del Pleistocene inferiore e Calabriano. Questi sedimenti ospitano la falda più profonda, idraulicamente separata dall' "acquifero tradizionale".



Misure di falda

Nel corso dei sondaggi effettuati nel 2011 sono stati misurati i seguenti livelli idrostatici.

Livelli idrostatici (in m)	S6 (18/08/2011)	S7 (30/08/2011)	S8 (19/08/2011)	S9 (31/08/2011)	S10 (23/08/2011)	S11 (25/08/2011)
	-8.20 (al termine della peforazione)	-7.80 (durante la peforazione)	-7.80 (al termine della peforazione)	-11.50 (durante la peforazione)	-7.40 (durante la peforazione)	-9.00 (durante la peforazione)

Tutti i livelli, ad eccezione del sondaggio S9, sono compresi tra -7.4 m e -9.0 m rispetto al piano campagna, e denotano la presenza di una falda inserita nella prima unità idrogeologica “ghiaioso-sabbiosa” precedentemente descritta. Tali livelli confermano i dati di soggiacenza della falda desunti dalla letteratura, attestata tra -5.0 e -10.0 m al p.c., con periodiche variazioni del livello stagionale.

A fronte di una situazione di questo tipo, essendo il rilievo effettuato nel periodo estivo, nei periodi di morbida è presumibile attendersi un livello più prossimo al p.c. A tal proposito si consiglia alla committenza di effettuare periodiche misure del livello idrostatico nei piezometri presenti nell'area.



3. INTERPRETAZIONE ANALISI GRANULOMETRICHE

Di seguito si riportano le risultanze delle prove granulometriche di laboratorio geotecnico, effettuate sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi eseguiti nell'area dei Mercati Generali:

Sondaggio	ID Campione e profondità (m)	Composizione granulometrica	Descrizione campione (Norma AGI, 1977)
S1(1999)	A – 4,00	Ghiaia: 49,00%	Ghiaia limosa-sabbiosa, debolmente argillosa
		Sabbia: 19,00%	
		Limo + Argilla: 22,00%	
	B – 7,00	Ghiaia: 46,00%	Ghiaia con sabbia limosa con tracce di argilla
		Sabbia: 36,00%	
		Limo + Argilla: 17,00%	
	C – 8.50	Ghiaia: 27,00%	Sabbia con ghiaia con limo, debolmente argillosa
		Sabbia: 39,00%	
		Limo + Argilla: 34,00%	
	D – 11.00	Ghiaia: 68,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 26,00%	
		Limo + Argilla: 6,00%	
	E – 14.20	Ghiaia: 41,00%	Sabbia con ghiaia con tracce di limo
		Sabbia: 56,00%	
		Limo + Argilla: 3,00%	
	F – 16.00	Ghiaia: 34,00%	Sabbia con ghiaia, debolmente limosa
		Sabbia: 60,00%	
		Limo + Argilla: 6,00%	
	G – 17,50	Ghiaia: 30,00%	Ghiaia con sabbia, limosa
		Sabbia: 58,00%	
		Limo + Argilla: 12,00%	
S2(1999)	A – 2.30	Ghiaia: 46,00%	Ghiaia con limo, sabbiosa con tracce di argilla
		Sabbia: 23,00%	
		Limo + Argilla: 31,00%	
	B – 3,50	Ghiaia: 46,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 40,00%	
		Limo + Argilla: 10,00%	
	C – 4.80	Ghiaia: 68,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 26,00%	
		Limo + Argilla: 6,00%	
	D – 7.80	Ghiaia: 72,00%	Ghiaia sabbiosa con tracce di limo
		Sabbia: 24,00%	
		Limo + Argilla: 4,00%	
	E – 9,00	Ghiaia: 50,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 43,00%	
		Limo + Argilla: 7,00%	
	F – 13,00	Ghiaia: 41,00%	Ghiaia con sabbia, limosa con tracce di argilla
		Sabbia: 32,00%	
		Limo + Argilla: 27,00%	
	G – 17,00	Ghiaia: 6,00%	Sabbia limosa, debolmente ghiaiosa
		Sabbia: 83,00%	
		Limo + Argilla: 11,00%	



Sondaggio	ID Campione e profondità (m)	Composizione granulometrica	Descrizione campione (Norma AGI, 1977)
S3(1999)	A – 3,50	Ghiaia: 56,00%	Ghiaia con limo, sabbiosa, debolmente argillosa
		Sabbia: 11,00%	
		Limo + Argilla: 33,00%	
	B – 4,50	Ghiaia: 72,00%	Ghiaia sabbiosa, con tracce di limo
		Sabbia: 24,00%	
		Limo + Argilla: 4,00%	
	C – 6,50	Ghiaia: 52,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 41,00%	
		Limo + Argilla: 7,00%	
	D – 9,50	Ghiaia: 9,00%	Limo sabbioso, debolmente ghiaioso-debolmente argilloso
		Sabbia: 19,00%	
		Limo + Argilla: 72,00%	
	E – 11,00	Ghiaia: 64,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 29,00%	
		Limo + Argilla: 7,00%	
	F – 15,00	Ghiaia: 72,00%	Ghiaia sabbiosa con tracce di limo
		Sabbia: 25,00%	
		Limo + Argilla: 3,00%	
	G – 18,00	Ghiaia: 14,00%	Sabbia-limosa ghiaiosa
		Sabbia: 70,00%	
		Limo + Argilla: 16,00%	
S4(1999)	A – 3,50	Ghiaia: 39,00%	Sabbia con ghiaia, limosa
		Sabbia: 48,00%	
		Limo + Argilla: 13,00%	
	B – 4,50	Ghiaia: 62,00%	Ghiaia sabbiosa, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 18,00%	
		Limo + Argilla: 22,00%	
	C – 7,00	Ghiaia: 48,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 44,00%	
		Limo + Argilla: 8,00%	
	D – 9,50	Ghiaia: 28,00%	Limo con sabbia e ghiaia, debolmente argilloso
		Sabbia: 30,00%	
		Limo + Argilla: 42,00%	
	E – 13,50	Ghiaia: 66,00%	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa
		Sabbia: 26,00%	
		Limo + Argilla: 8,00%	
	F – 16,50	Ghiaia: 30,00%	Sabbia con ghiaia con tracce di limo
		Sabbia: 68,00%	
		Limo + Argilla: 2,00%	
	G – 18,50	Ghiaia: 12,00%	Sabbia limosa-ghiaiosa con tracce di argilla
		Sabbia: 65,00%	
		Limo + Argilla: 23,00%	



Sondaggio	ID Campione e profondità (m)	Composizione granulometrica	Descrizione campione (Norma AGI, 1977)
S6(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 48.98%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 39.30%	
		Limo + Argilla: 11.72%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 71.07%	Ghiaia sabbiosa, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 20.22%	
		Limo + Argilla: 8.71%	
	3 – 8.80-9.00	Ghiaia: 60.32%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 32.24%	
		Limo + Argilla: 7.44%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 57.50%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 28.52%	
		Limo + Argilla: 13.98%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 39.36%	Ghiaia con sabbia, limo e argilla
		Sabbia: 34.40%	
		Limo + Argilla: 26.24%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 60.12%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 32.69%	
		Limo + Argilla: 7.19%	
	7 – 20.80-21.00	Ghiaia: 40.11%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 37.55%	
		Limo + Argilla: 22.34%	
S7(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 59.42%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 26.71%	
		Limo + Argilla: 13.87%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 46.30%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 31.82%	
		Limo + Argilla: 21.88%	
	3 – 8.80-9.00	Ghiaia: 61.13%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 26.27%	
		Limo + Argilla: 12.60%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 30.97%	Sabbia con ghiaia, limo e argilla
		Sabbia: 41.92%	
		Limo + Argilla: 28.01%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 49.58%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 41.14%	
		Limo + Argilla: 9.28%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 16.33%	Sabbia con limo argilloso, ghiaiosa
		Sabbia: 49.22%	
		Limo + Argilla: 34.45%	
	7 – 20.80-21.00	Ghiaia: 13.37%	Sabbia limo argilloso ghiaiosa
		Sabbia: 61.54%	
		Limo + Argilla: 25.09%	



Sondaggio	ID Campione e profondità (m)	Composizione granulometrica	Descrizione campione (Norma AGI, 1977)
S8(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 52.11%	Ghiaia con sabbia, limo argilloso
		Sabbia: 33.45%	
		Limo + Argilla: 14.44%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 52.66%	Ghiaia con sabbia, limo argilloso
		Sabbia: 31.50%	
		Limo + Argilla: 15.84%	
	3 – 9.00-9.20	Ghiaia: 54.04%	Ghiaia con sabbia, limo argilloso
		Sabbia: 29.04%	
		Limo + Argilla: 16.72%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 80.99%	Ghiaia sabbiosa
		Sabbia: 16.90%	
		Limo + Argilla: 2.11%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 64.12%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 29.07%	
		Limo + Argilla: 6.81%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 65.17%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 28.32%	
		Limo + Argilla: 6.51%	
	7 – 19.80-20.00	Ghiaia: 63.83%	Ghiaia sabbiosa e limo argillosa
		Sabbia: 24.28%	
		Limo + Argilla: 11.89%	
S9(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 53.15%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 38.14%	
		Limo + Argilla: 8.71%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 43.64%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 34.95%	
		Limo + Argilla: 21.41%	
	3 – 8.80-9.00	Ghiaia: 43.21%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 38.56%	
		Limo + Argilla: 18.23%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 36.49%	Sabbia e ghiaia, con limo e argilla
		Sabbia: 36.51%	
		Limo + Argilla: 27.00%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 46.27%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 37.62%	
		Limo + Argilla: 16.11%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 23.67%	Sabbia ghiaiosa e limo argillosa
		Sabbia: 54.64%	
		Limo + Argilla: 21.69%	
	7 – 20.80-21.00	Ghiaia: 21.83%	Sabbia con limo e argilla, ghiaiosa
		Sabbia: 52.17%	
		Limo + Argilla: 26.00%	



Sondaggio	ID Campione e profondità (m)	Composizione granulometrica	Descrizione campione (Norma AGI, 1977)
S10(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 33.32%	Sabbia con ghiaia, limo e argilla
		Sabbia: 39.97%	
		Limo + Argilla: 26.71%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 38.12%	Sabbia con ghiaia, limo e argilla
		Sabbia: 42.20%	
		Limo + Argilla: 19.68%	
	3 – 8.80-9.00	Ghiaia: 28.00%	Sabbia con ghiaia, limo e argilla
		Sabbia: 53.64%	
		Limo + Argilla: 18.36%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 36.00%	Sabbia con ghiaia, limo e argilla
		Sabbia: 44.64%	
		Limo + Argilla: 20.00%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 41.60%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 38.00%	
		Limo + Argilla: 20.41%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 76.80%	Ghiaia sabbiosa
		Sabbia: 20.88%	
		Limo + Argilla: 2.32%	
	7 – 20.80-21.00	Ghiaia: 6.01%	Sabbia con limo e argilla, debolmente ghiaiosa
		Sabbia: 61.11%	
		Limo + Argilla: 32.88%	
S11(2011)	1 – 2.80-3.00	Ghiaia: 51.04%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 33.54%	
		Limo + Argilla: 15.42%	
	2 – 5.80-6.00	Ghiaia: 44.89%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 36.17%	
		Limo + Argilla: 18.94%	
	3 – 8.80-9.00	Ghiaia: 37.76%	Limo argilloso con ghiaia, sabbioso
		Sabbia: 21.67%	
		Limo + Argilla: 59.43%	
	4 – 11.80-12.00	Ghiaia: 51.40%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 36.36%	
		Limo + Argilla: 12.24%	
	5 – 14.80-15.00	Ghiaia: 34.81%	Sabbia con ghiaia, limo argillosa
		Sabbia: 51.56%	
		Limo + Argilla: 13.63%	
	6 – 17.80-18.00	Ghiaia: 25.12%	Sabbia con limo argilla e ghiaia
		Sabbia: 46.23%	
		Limo + Argilla: 28.65%	
	7 – 20.80-21.00	Ghiaia: 49.50%	Ghiaia con sabbia, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 41.50%	
		Limo + Argilla: 9.00%	
	8 – 23.80-24.00	Ghiaia: 32.76%	Sabbia con ghiaia, limo argillosa
		Sabbia: 44.35%	
		Limo + Argilla: 22.89%	
	9 – 26.80-27.00	Ghiaia: 50.26%	Ghiaia con sabbia, limo argillosa
		Sabbia: 30.61%	
		Limo + Argilla: 19.13%	
	10 – 29.80-30.00	Ghiaia: 69.45%	Ghiaia sabbiosa, debolmente limo argillosa
		Sabbia: 23.24%	
		Limo + Argilla: 7.31%	



4. INDAGINI SISMICHE

4.1 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ

L'area in esame ricade nel contesto generale della Pianura Padana che costituisce nel Mesozoico l'avanpaese comune delle catene appenninica e alpina. L'avanzata delle opposte falde, ha indotto sprofondamenti nell'antistante avanpaese padano e il formarsi di successivi bacini di avanfossa confinati al margine delle due catene in surrezione.

Il contesto sismo-tettonico del sito in esame è caratterizzato da una sismicità bassa, che si manifesta principalmente lungo le zone di accavallamento frontale del margine alpino.

La zona in prossimità dell'area in esame è legata all'interazione Adria-Europa ed è caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio- bassa.

Dalla carta di macrozonazione sismica della Regione Lombardia, il Comune di Milano ricade nella Zona 4, definita come zona a "sismicità bassa". L'accelerazione massima di riferimento, per il sito oggetto di studio, raggiunge valori massimi di PGA pari a **0,05g**.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274/2003 e successive modifiche ed integrazioni, sino al D.M. 14/01/2008, ha introdotto in Italia la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica. La caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio Vs degli strati del terreno presenti nel sito di studio, fino alla profondità di almeno 30 metri dal piano campagna. La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D, E ed S1, S2.



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

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

4.2 DOWN-HOLE

Le misurazioni **down-hole** vengono effettuate in un solo foro di sondaggio, alle cui pareti viene ancorato un geofono tridimensionale (**fig. 1**) mediante pistoncini azionati da un circuito ad aria compressa.



Figura 1 – Geofono 3d



L'energia sismica viene prodotta in superficie, nei pressi della bocca del foro, secondo criteri tali da produrre onde P ed S. Misurando sui sismogrammi i tempi di transito relativi alle onde P ed S è possibile stimare l'andamento delle velocità intervallari V_p e V_s e dei parametri elastici relativi ai terreni attraversati dal foro (**Fig. 2**).

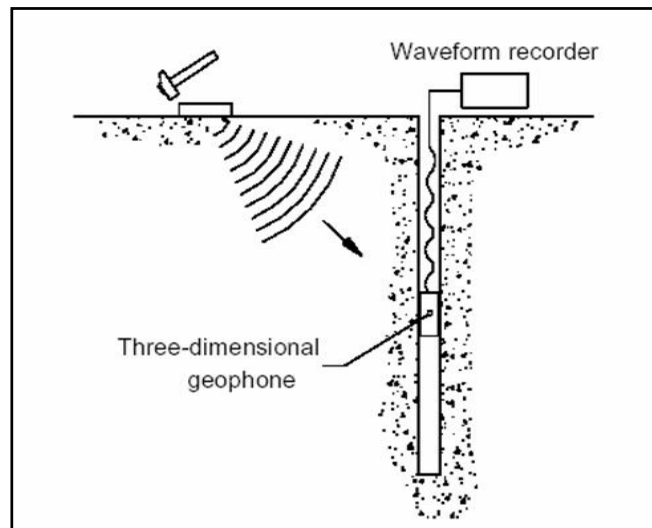
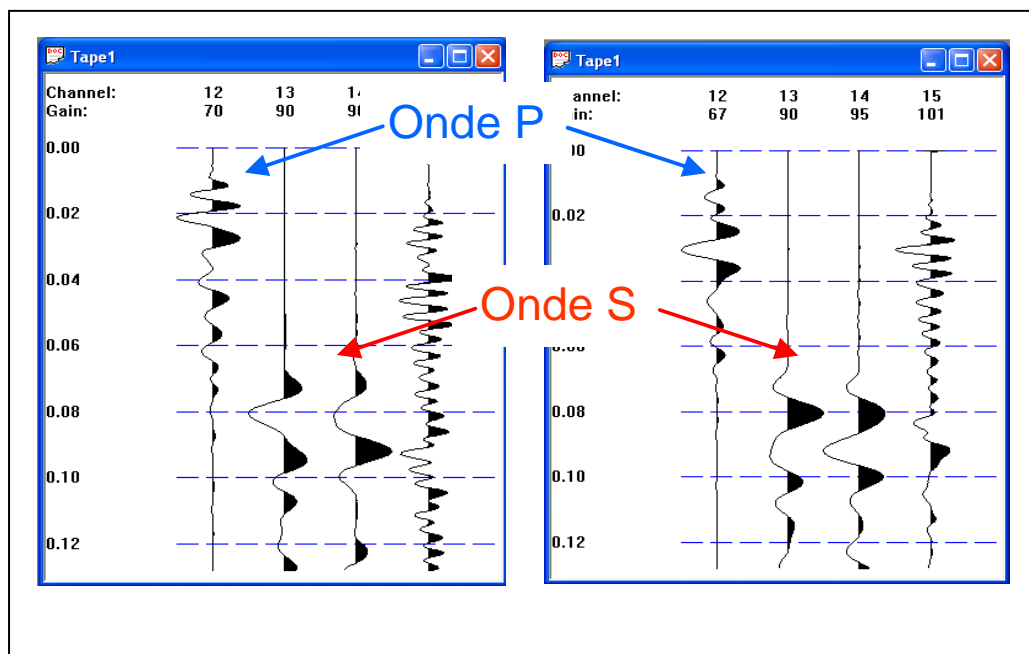


Figura 2 – Schema concettuale prova down-hole





Il giorno 12/09/2011 è stata effettuata una prova sismica Down-Hole all'interno del tubo messo in posa nel corso della perforazione del sondaggio S11. Lo scopo dell'indagine è di valutare le velocità sismiche alle varie profondità dei terreni attraversati e la valutazione della Vs30 lungo tutta la verticale di sondaggio. Come illustrato nel capitolo 4, il sondaggio 11 è stato attrezzato con un tubo in PVC con diametro di 3" sino alla profondità di -30.0 m metri da p.c. in modo investigare adeguatamente il substrato fino a tale profondità dal p.c. La colonna di rivestimento per l'esecuzione della prova in foro Down-Hole è in PVC (quindi un materiale ad alta impedenza alle vibrazioni) e l'intercapedine foro-tubatura, al fine di ottenere dati sismici di elevata qualità, è stata completamente cementata sino al p.c., con immissione da fondo foro di miscela cemento-bentonite a bassa pressione.

L'elaborazione dei dati di campagna è stata effettuata a partire dal piano di campagna ottenendo in tal modo una velocità delle onde S pari a **381 m/s**. **L'area in esame è quindi classificabile in classe B secondo il DM 14/01/2008.**

In allegato è riportata l'elaborazione della prova down-hole.

4.3 INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**",



dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. Le acquisizioni sono state effettuate con energizzazioni a -2,0 m dal primo geofono e -5,0 m dal primo geofono mediante grave da 8,0 kg di massa.

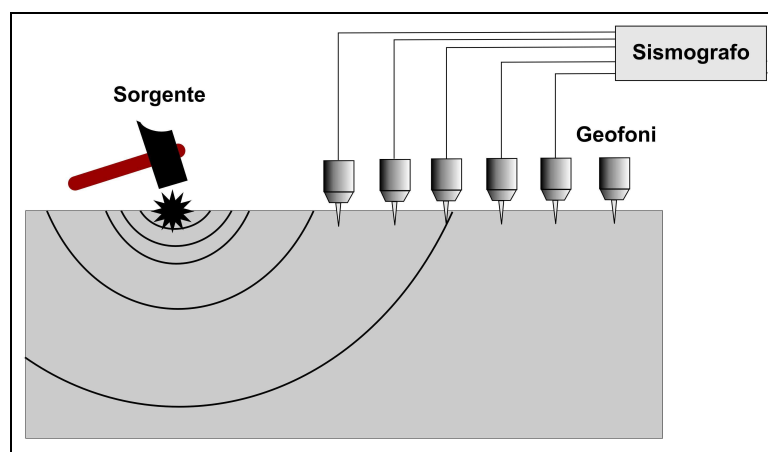


Fig. 4 - schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

L'analisi dei segnali acquisiti, il pre-processing dei dati, l'analisi spettrale e la modellazione inversa della curva di dispersione è stata eseguita con il Software WinMasw 4.3 Standard della EliaSoft.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 30 m di profondità. Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$



Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni dell'O.P.C.M. 3274, è risultata di **403 m/s**. Pertanto secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14/01/2008**), ed in base ai dati ottenuti dalle indagini sismica con tecnica MASW in sito, si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **categoria B** con *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ 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).

I risultati delle prove down-hole e MASW risultano compatibili e rientrano entrambi nell'ambito della categoria di suolo "B".



5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In base alle indagini effettuate ed alle considerazioni riportate nei paragrafi precedenti, è possibile mettere in evidenza le seguenti valutazioni finali:

- dal punto di vista litologico, l'area in esame è caratterizzata in superficie da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie prevalenti;
- la carta geologica del CARG evidenzia infatti la presenza, per l'area in esame, del Sintema di Cantù, costituito da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; si intercalano sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose, limi sabbioso-argillosi;
- le stratigrafie dei sondaggi e la sezione stratigrafica realizzata (**Tav. 4**) confermano tale condizione lito-stratigrafica prevalentemente ghiaioso-sabbiosa;
- dal punto di vista idrogeologico, il substrato dell'area in esame è stato indagato individuando l'unità "ghiaioso-sabbiosa", sede di un acquifero a pelo libero, parte di un più articolato acquifero multistrato, parzialmente confinato nei livelli più bassi ("Unità ghiaioso- sabbiosa-limosa");
- la soggiacenza dell'acquifero in oggetto, rispetto al p.c. medio, si attesta, da dati bibliografici, tra -5.0 e -10.0 m; tali livelli sono confermati dalle misure idrostatiche effettuate nel corso dei sondaggi del 2011, nei quali si è rilevato un livello compreso tra -7.4 e -9.0 m dal p.c. attuale;
- a fronte di tali dati, è da attendersi, nei momenti di morbida, un innalzamento dei livelli idrostatici, da **monitorare attraverso la misura periodica dei piezometri presenti nell'area**;

- le analisi di laboratorio (granulometrie) hanno messo in evidenza campioni classificabili secondo l'AGI (1977), nelle classi che vanno dalla ghiaia sabbiosa alla sabbia con limo e argilla, ghiaiosa, con una prevalenza di granulometrie ghiaiose;
- l'esecuzione del down-hole nel foro di sondaggio appositamente predisposto (S11), ha messo in evidenza una velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità pari a $V_{s30} = 381 \text{ m/s}$;
- analogamente la prova MASW è permesso di misurare le $V_{s30} = 403 \text{ m/s}$;
- entrambi le prove geofisiche permettono di classificare il lotto in esame in Categoria **B** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti", secondo il DM 14/01/2008;

Castelnuovo Rangone (MO), 30 settembre 2011

Dott. Geol. Fabrizio Anderlini





6. ALLEGATI

Tav. n. 1: “Inquadramento topografico” - scala 1:5.000

Tav. n. 2: “Carta geologica” - scala grafica

Tav. n. 3: “Foto aerea con ubicazione sezione stratigrafica A-A” - scala grafica

Tav. n. 4: “Sezione stratigrafica A-A” - scala 1:4.000/1:80

Report prova Down-hole Sondaggio S11

Report indagine sismica MASW