Dott. Geol. Simone Traxino
Dott. Geol. Andrea Vigo

Bonifica di siti contaminati Consulenza ambientale Geologia Geotecnica Prove in situ

Milan Terminal srl

Buccinasco (MI)
Largo Brugnatelli, 15

Relazione Geologico-Geotecnica

Milano, 04.10.2013 (ST.AV/01 rev1)

Dott.Geol. Simone Traxino
Via Pisacane 40, 20129 Milano
Passo Frugoni 2, 16121 Genova
P.IVA: 0162556099
Tel:+39 02 37645155
Mob:+39 3495265322
mail:simonetraxino@gmail.com

Dott. Geol. Andrea Vigo
Via Colombo 19/2,
16016 Cogoleto (GE)
P.IVA: 01922170996
Mob:+39 3475466704
mail:vigor85@alice.it

INDICE

1. PREMESSA 3
2. CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO 5
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI 5
3.1 D.M. 14 GENNAIO 2008 (N.T.C.) 5
3.2 R.D. 523/1904 5
3.3 PAI DEL FIUME PO 5
3.4 P.G.T. DEL COMUNE DI BUCCINASCO 6
4. DESCRIZIONE DELL'AREA 6
5. MODELLO GEOLOGICO 8
5.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE 8
5.2 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E IDROGRAFICHE 10
5.3 PIEZOMETRIA E SOGGIACENZA DELLA FALDA 14
6. MODELLAZIONE SISMICA E PERICOLOITÀ SISMICA DI BASE 14
6.1 PARAMETRI SISMICI 15
7. CAMPAGNA DI INDAGINI 16
7.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO-LEGGERE 16
7.2 INDAGINE GEOFISICA (TROMINO) 17
7.3 SONDAGGI GEOGNOSTICI 19
8. MODELLO GEOTECNICO 20
8.1 CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E IDROGEOLOGICHE 20
8.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 21
8.3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE (ESCLUSIONE) 24
9. INDICAZIONI PROGETTUALI 25
10. CONCLUSIONI 27

Dott.Geol. Simone Traxino
Via Pisacane 40, 20129 Milano Tel:+39 02 37645155
Passo Frugoni 2, 16121 Genova Mob:+39 3495265322
P.IVA: 0162556099 mail:simonetraxino@gmail.com

Dott. Geol. Andrea Vigo
Via Colombo 19/2,
16016 Cogoleto (GE) Mob:+39 3475466704
P.IVA: 01922170996 mail:vigor85@alice.it

ALLEGATI:

Allegato 1:	*Estratto C.T.R., Tavola B6b4 - scala 1: 10.000;*
Allegato 2:	*Planimetria di progetto (da ILCEA) – scala 1:200*
Allegato 3:	*Stratigrafia dei pozzi idropotabili dell'area circostante*
Allegato 4:	*Ubicazione prove in sito – scala 1:200*
Allegato 5:	*Sezione geologica interpretativa 1-1 – scala 1:200*
Allegato 6:	*Risultati prove penetrometriche*
Allegato 7:	*Risultati indagini geofisiche*
Allegato 8:	*Stratigrafie sondaggi geognostici*
Allegato 9:	*Stralcio Tavola 3a (P.G.T. – Carta dei vincoli – Settore Nord)*
Allegato 10:	*Stralcio Tavola 5a (P.G.T. – Carta di fattibilità – Settore Nord)*

Allegato fotografico

1. PREMESSA

Nel presente documento si espongono i risultati dell'indagine geologica e geotecnica di un'area di circa 3.900 mq sita in Largo Brugnatelli / Via Alessandro Volta, nel Comune di Buccinasco (MI), a supporto del progetto per la realizzazione di un nuovo capannone industriale. L'area di intervento, occupata ad oggi da un terreno incolto (contraddistinto dal mappale n°732, Foglio 16), è ubicata immediatamente a Nord del tracciato della Tangenziale Ovest, tra la stessa e il centro urbano di Buccinasco. L'accesso carrabile si trova in corrispondenza di Largo Brugnatelli, lungo il confine Est dell'area.
In Allegato 1 e in Figura 1 sono riportati lo stralcio della Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000), ove è evidenziata l'area oggetto di intervento.

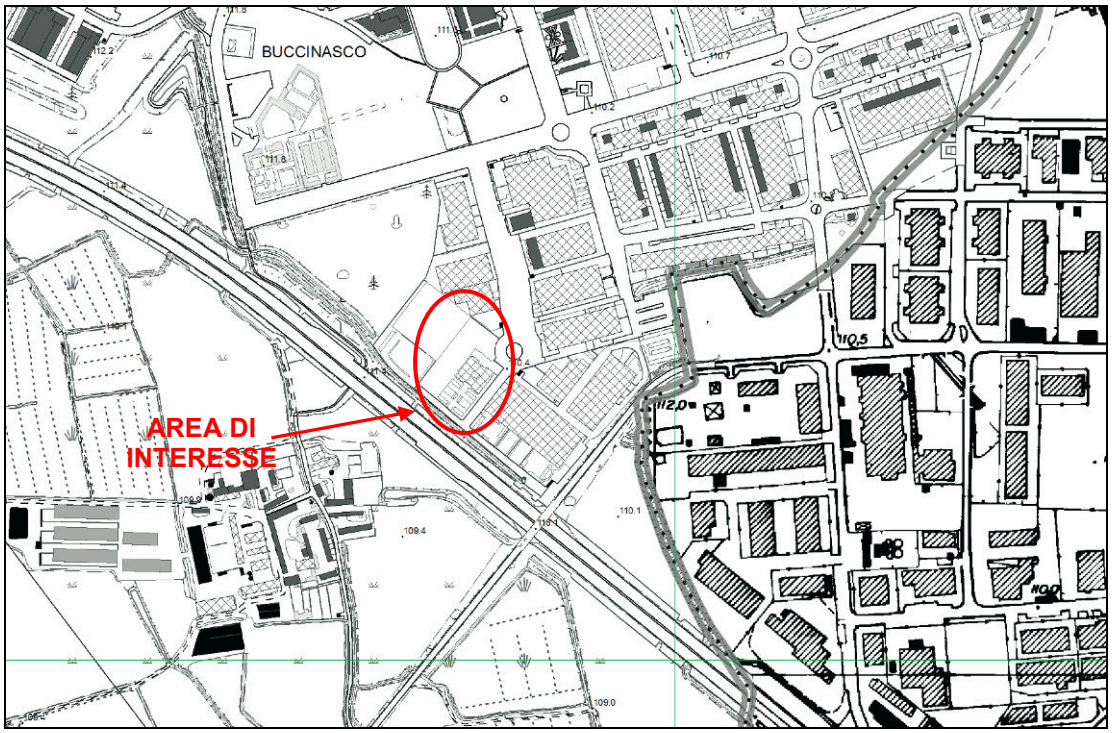


Figura 1 – *Estratto della carta tecnica regionale (Foglio B6b4) relativo all'area in oggetto.*

La zona oggetto di studio si trova ad una quota di circa 110 m s.l.m. ed è caratterizzata da una morfologia pressoché pianeggiante, con debole inclinazione verso SE, come del resto tutto il territorio comunale, che non presenta infatti variazioni sostanziali di quota, passando da valori di 113-112 m s.l.m a 103-102 m s.l.m. circa.
Il sito oggetto di intervento, che in pianta si estende per circa 3.900 mq, è costituito ad oggi da un'area prativa incolta, circondata lungo i suoi lati da capannoni industriali e dalla viabilità di collegamento. Questa porzione di territorio, sviluppata con finalità produttive, rappresenta un'area di recente espansione industriale, avvenuta negli ultimi 15-20 anni. Confrontando l'attuale CTR in scala 10.000 con la precedente versione del 1994, si nota infatti come in quest'ultima fossero completamente assenti i capannoni industriali presenti oggi nelle zone limitrofe all'area di intervento.

L'area indagata risulta priva di evidenze di processi geomorfologici potenziali o in atto e risulta sostanzialmente stabile.
Il dettaglio dell'area è riportato nella sottostante Figura 2.

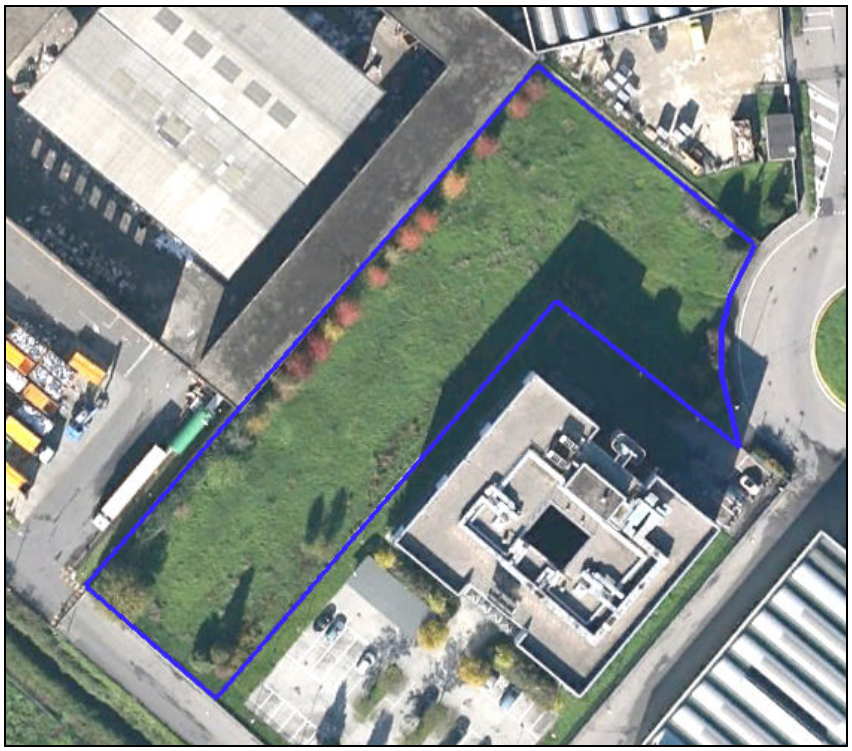


Figura 2 – *Foto dell'area di intervento (Google Earth 2011)*

Il progetto edilizio prevede la realizzazione di un capannone industriale a forma di "L" in pianta, con lato maggiore di lunghezza pari a circa 70 m e lato minore all'incirca 42 m; i prospetti E e S, dove saranno ubicati gli accessi, saranno larghi rispettivamente 19 m e 22 m circa.
La struttura verrà adibita a stoccaggio di rifiuti e sarà costituita da un unico piano fuori terra, di altezza pari a circa 11,4 m, sarà realizzata con elementi prefabbricati in c.a. e dotata di fondazioni dirette, poggiate a circa 2,0 m di profondità dal piano campagna e costituite da plinti quadrati (di dimensioni variabili in base alla posizione, comprese tra 3,0 x 3,0 m e 4,0 x 4,0 m), eccetto per il settore aderente al capannone esistente, in cui verrà realizzata una trave, con giunti meccanici tra pilastri e suola di fondazione.
Il fabbricato in oggetto, come già accennato, verrà edificato in aderenza al capannone esistente lungo il lato ovest, anch'esso adibito a piattaforma logistica per lo stoccaggio dei rifiuti. Tra le due strutture verrà interposto un giunto sismico. In allegato 2 è riportata la planimetria di progetto, con l'ubicazione degli elementi strutturali interni al capannone e del giunto sismico.
Per una descrizione più dettagliata delle opere in progetto, si rimanda alla relazione strutturale e agli elaborati progettuali.

2. CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Per la redazione del presente documento si è fatto riferimento alla seguente documentazione cartografica:

- Carta Tecnica Regionale (CTR) alla scala 1:10.000, Foglio B6b4 (Allegato 1);
- Planimetria di progetto alla scala 1:200, da rilievo ILCEA (Allegati 2 e 4)
- Foto satellitare dell'area da Google Earth (Figura 2)

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI

Il presente documento è stato redatto in conformità alle seguenti normative di riferimento:

- D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C.)
- R.D. 523/1904, R.D. 368/1904, DGR 25 gennaio 2002 n°7/7868 e s.m.i. e DGR 1 ottobre 2008 n°8/8127
- PAI del Fiume Po
- P.G.T. del Comune di Buccinasco (Norme di Attuazione)

3.1 D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C.)

In base a quanto previsto dal D.M. 14.01.2008, sono state prese in esame le prescrizioni riguardanti vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento (§2.4), le prescrizioni generali inerenti gli interventi in progetto (§ 6.1.2), le indicazioni sulla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1) e quelle sulla caratterizzazione e modellazione geotecnica (§ 6.2.2).
In merito alla modellazione sismica sono state prese in considerazione le specifiche indicate nel capitolo 3 (§ 3.2.1. e 3.2.2), mentre per la risposta sismica e la stabilità del sito si è fatto riferimento a quanto contenuto nel capitolo 7 (§ 7.11.3.).

3.2 R.D. 523/1904

Per l'analisi del reticolo idrico minore e delle fasce di rispetto si è fatto riferimento rispettivamente all'approfondimento conoscitivo del reticolo idrico dell'ottobre 2011 e all'elaborato prodotto dallo Studio TASM (aggiornamento 2007), riguardante l'individuazione del reticolo idrico minore e delle fasce di rispetto. Si è fatto altresì riferimento alla tavola 3a del P.G.T. di Buccinasco.
Dall'analisi di quest'ultima si evince che l'area indagata non ricade all'interno né di fasce di rispetto dei corsi d'acqua appartenenti ai reticoli idrografici principale e minore, né in aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (cfr. Allegato 9).

3.3 PAI del Fiume Po

L'area in esame fa parte del bacino idrografico del Fiume Po ed è pertanto sottoposta alla normativa del PAI del Fiume Po. Nell'Allegato 1 all'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici è presente l'elenco completo dei comuni, suddivisi per classi di rischio (cfr. articolo 7 delle Norme di attuazione): nello specifico, il Comune di Buccinasco risulta classificato nella classe di "rischio totale 2" e "dissesto per esondazione".
Dall'analisi dell'Allegato 4.2 – Perimetrazione delle aree in dissesto, Tavole applicazione salvaguardia (cfr. Art. 9 Norme PAI) – si evince come non siano delimitate aree in dissesto, nella zona di studio.

3.4 P.G.T. del Comune di Buccinasco

Nella tavola 3a del P.G.T. del Comune di Buccinasco (Carta dei vincoli, settore nord), l'area oggetto di intervento non è interessata da nessun vincolo di carattere geologico, tra quelli cartografati (fasce di rispetto dei corsi d'acqua appartenenti ai reticoli idrografici principale e minore, elementi derivanti dal P.T.C.P. della provincia di Milano e aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile).
Nella tavola 5a del medesimo piano (Carta di fattibilità delle azioni di piano, settore nord), l'area di intervento è classificata, nei riguardi della zonazione di fattibilità geologica, in "Classe 3" (fattibilità con consistenti limitazioni), "sottoclasse 3°" (aree a limitata soggiacenza della falda dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero). In merito alla classificazione sismica dell'area, questa è stata desunta dalla tavola 2 del P.G.T., che classifica l'area in "zona Z4a" (zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi).
Per la redazione del presente documento si è fatto pertanto riferimento al relativo articolo normativo delle Norme di Attuazione (articolo 1.4.1.).

4. DESCRIZIONE DELL'AREA

In data 26/04/2013 è stato svolto un accurato sopralluogo sull'area di intervento, al fine di verificare lo stato generale dei luoghi, evidenziare eventuali situazioni di criticità geologica-geomorfologica e per l'individuazione dei possibili sottoservizi (utenze varie, reti tecnologiche, ecc...) che potrebbero interferire con lo svolgimento delle operazioni.
Già in questa fase sono state individuate delle aree sensibili per la eccessiva influenza in termini di vibrazione da parte della vicina Tangenziale Ovest. Queste aree, che sono essenzialmente quelle lungo il lato corto posto a Sud-SudOvest, sono state accuratamente evitate nel corso dello svolgimento delle indagini geofisiche per la determinazione delle Vs_{30} poichè le vibrazioni causate dal traffico della vicina arteria di scorrimento veloce, avrebbero potuto affezionare in maniera significativa idati ottenuti.
Per quel che riguarda invece la presenza di sottoservizi o di altre criticità locali tali da pregiudicare lo svolgimento delle indagini geotecniche, non è stato evidenziato nulla di significativo.
L'area è delimitata lungo i lati corti di Nord-NordEst, Est e Sud-SudOvest da una cancellata di ferro, il lato lungo a SudEst è invece recintato tramite una rete leggera in filo di ferro intrecciato, mentre il lato lungo a NordOvest è semplicemente in aderenza con il vicino capannone adibito a stoccaggio rifiuti.
Il sito attualmente è inutilizzato e presenta una folta vegetazione spontanea (erba fitta e arbusti).
Le aree confinanti con il sito sono:

- A Nord vi è una fabbrica di pavimentazioni e rivestimenti in legno, *"Milano Parquet"*;
- A NordOvest vi è una piattaforma logistica per lo stoccaggio dei rifiuti, costituita da un capannone in aderenza con l'area di interesse, e un ampio piazzale retrostante per il ricovero dei mezzi (Figura 3);
- A SudOvest, vi è la Tangenziale Ovest, separata da una piccola roggia per la regimazione delle acque e dalla strada a doppio senso di marcia di accesso alla piattaforma logistica di cui sopra (Figura 4);
- A SudEst vi è un edificio costituito da tre piani fuori terra, adibito ad uffici e a deposito al piano terra (Figura 5);
- Ad Est vi è l'accesso pedonale e carrabile su Largo Brugnatelli, unico accesso al sito.

Figura 3 – *Confine NordOvest - Piattaforma logistica per lo stoccaggio dei rifiuti (a destra si nota il capannone in aderenza all'area di interesse)*

Figura 4 – *Confine SudOvest - Strada di accesso alla piattaforma logistica, con a fianco la piccola roggia e a destra la tangenziale Ovest.*

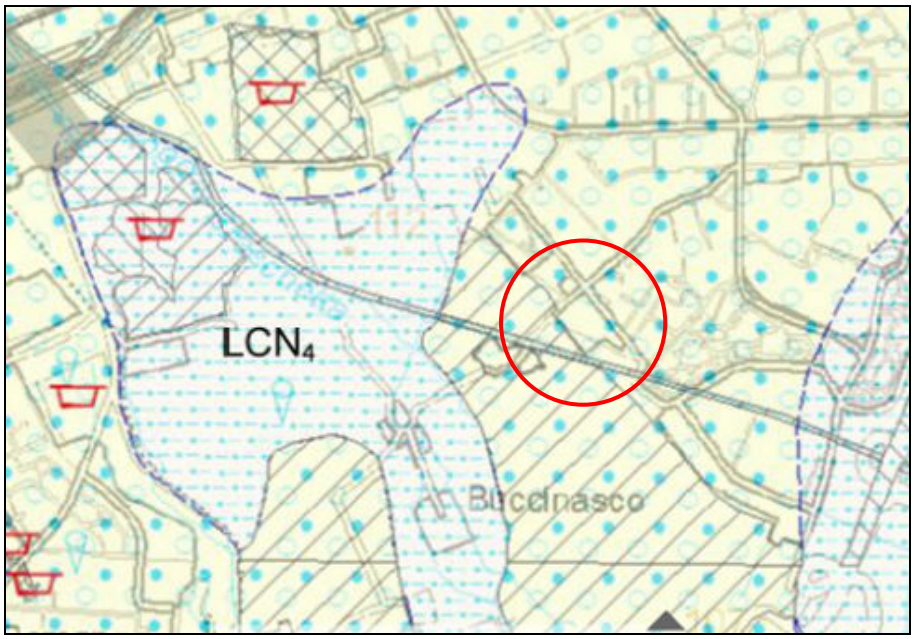
Figura 5 – *Confine SudEst - Edificio a tre piani fuori terra.*

5. MODELLO GEOLOGICO

L'area di indagine è ubicata in Comune di Buccinasco (MI), a monte del tracciato della Tangenziale Nord, è caratterizzata da morfologia pressoché pianeggiante e si trova alla quota di circa 110 metri s.l.m.. Di seguito si descrivono le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e piezometriche riguardanti il territorio in esame.

5.1 Caratteristiche geologiche e geomorfologiche

Il territorio è quello della porzione centrale della provincia di Milano ed è situato nell'ambito della pianura alluvionale compresa tra i fiumi Ticino e Adda, limitata a Sud dal Fiume Po ed a Nord dai depositi morenici e fluvioglaciali del ghiacciaio del Ticino. La zona, è caratterizzata da morfologie generalmente piane con quote che si attestano attorno ai 110 m s.l.m.
Secondo quanto emerso dalle indagini condotte in sito, suffragate dai numerosi dati bibliografici consultati, il substrato della zona indagata è costituito da depositi grossolani (ghiaie e sabbie, in matrice più o meno limosa), con intercalazioni limoso-sabbiose e limoso-argillose, di origine fluvioglaciale. Nella più recente ed aggiornata cartografia geologica disponibile (Foglio "118 – Milano", Progetto CARG, di cui è riportato uno stralcio relativo al territorio in esame nella successiva Figura 6) i depositi in questione vengono cartografati come "Unità di Minoprio", costituita da ghiaie a supporto clastico e di matrice, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, limi ghiaiosi, sabbie, sabbie limose e limi.



BMI

UNITA' DI MINOPRIO
Ghiaie a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m; colori 10YR e 7,5YR; presenza di suoli sepolti nel settore meridionale del foglio. Copertura loessica non osservata.
PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE

Figura 6 – *Stralcio della Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (Foglio "118 – Milano") con indicazione dell'area di interesse (rappresentazione non in scala) e relativa legenda.*

Le caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e geologiche di materiali – riportate nel prosieguo del presente paragrafo – sono state dedotte dalla "Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.".

L'area oggetto del presente studio è costituita da un'omogenea coltre alluvionale che costituisce una estesa ed uniforme pianura compresa tra i terrazzi alluvionali del fiume Ticino ad Ovest e del fiume Adda ad Est, la cui continuità risulta essere interrotta dalle incisioni degli alvei dei fiumi Lambro ed Olona, e da una fitta rete di paleoalvei in parte oramai cancellati dalla intensa urbanizzazione.

Le formazioni geologiche affioranti nel territorio in esame sono di origine esclusivamente continentale e derivano dall'attività deposizionale degli scaricatori glaciali Wurmiano - Rissiani (fasi conclusive delle grandi glaciazioni quaternarie); questi depositi, sono conseguenti all'azione delle acque di fusione dei ghiacciai che, scorrendo attraverso gli scaricatori glaciali, trasportavano i materassi morenici, selezionandoli gradualmente.

In base ai dati presenti nella cartografia geologica ufficiale (foglio "Milano" della Carta geologica d'Italia e la "Carta geologica della Lombardia" alla scala 1:250.000) i materiali costituenti questo settore della pianura vengono attribuiti al Fluvioglaciale e Fluviale wurmiano (Pleistocene superiore) e l'insieme delle superfici viene detto Livello Fondamentale della Pianura (LFP).

Si tratta di alluvioni sabbiose e ghiaiose, mediamente alterate, coperte da suoli bruni. La datazione e la caratterizzazione di tali depositi è tratta dal foglio della Carta Geologica d'Italia (Foglio Milano, 1965, 1:100.000), e dalla "Carta Geologica della Lombardia" (scala 1:250.000 – 1990) con

adattamenti della descrizione litologica e geomorfologica alla particolare composizione che essi assumono nell'area di Buccinasco.
La potenza del materasso alluvionale continentale è di circa 200 m, inferiormente al quale si individuano sedimenti marini sepolti conosciuti attraverso le esplorazioni dell'AGIP Mineraria.
La coltre di alterazione superficiale presenta spessori variabili da pochi decimetri ad alcuni metri ed è di natura limosa.
Il principale fattore morfogenetico nell'area è dunque riconducibile all'attività dei ghiacciai ed in particolare durante le fasi conclusive delle grandi glaciazioni quaternarie; i successivi fenomeni pedogenetici e l'azione alternativamente erosiva e deposizionale hanno contribuito alle modifiche superficiali delle caratteristiche originarie dei depositi fluvio-glaciali e alluvionali (fonte: componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – 2013).
Anche per quanto riguarda le caratteristiche geomorfologiche del comparto in esame – nel seguito riportate – si è fatto riferimento a quanto contenuto nella "Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.".
L'ambito in cui è ubicata l'area di intervento si colloca in un contesto prevalentemente pianeggiante e può essere definito di media pianura, poiché si trova subito a valle delle estreme propaggini terrazzate dell'alta pianura milanese. La "bassa pianura", che si caratterizza per morfologia più articolata e sedimenti più fini, ha inizio poco a Sud del limite del territorio comunale di Buccinasco, oltre l'allineamento Melegnano-Paullo, quando i corsi d'acqua iniziano a mostrare un corso meandriforme.
L'area di studio, analizzata a scala sovra-comunale nell'ambito del P.G.T. recentemente pubblicato dal Comune di Buccinasco, si presenta complessivamente pianeggiante, caratterizzata da una sostanziale omogeneità per quanto riguarda le caratteristiche territoriali e interrotta da incisioni significative muovendosi verso Est, dove la media pianura risulta incisa in modo netto dalla valle del Fiume Lambro e, più blandamente, da altri corsi d'acqua minori quali Lambro Meridionale, Vettabbia, Molgora, ecc.. Proprio il corso dei fiumi e dei canali principali consente di identificare porzioni di territorio separate e differenti dal punto di vista geografico-fisico all'interno della fascia sud milanese; alla rete dei fontanili si sovrappone un articolato sistema di rogge derivate dal Naviglio Grande e da altri deviatori del Canale Villoresi e dal Naviglio Martesana che completano la rete irrigua principale.
I fontanili attualmente presenti sono quanto rimane di una vasta rete di risorgenze; infatti, molti fontanili sono scomparsi tra gli anni '80 e la prima metà degli anni '90 a causa dell'abbassamento della falda e dell'abbandono di numerose teste a seguito dei cambiamenti nelle pratiche agricole.
La pianura irrigua è caratterizzata da un substrato prevalentemente costituito da sabbie e sabbie limose ed è caratterizzata da una vocazione prettamente agricola che tende a conservare gli elementi (fonte: componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – 2013).

5.2 Caratteristiche idrogeologiche e idrografiche

In questo settore di pianura, i terreni costituenti i primi 200 - 300 m di sottosuolo sono l'espressione "sedimentaria" dell'avvenuta alternanza, nel corso del Quaternario, di periodi di erosione e sedimentazione che nel complesso hanno determinato lo sviluppo di una successione verticale di livelli a prevalente stratificazione orizzontale, con differente tessitura granulometrica (da argille a ghiaie) e grado di permeabilità, suddivisibile dal punto di vista idrogeologico in due principali gruppi di acquiferi: quello tradizionale superiore e quelli confinati profondi (Figura 7).

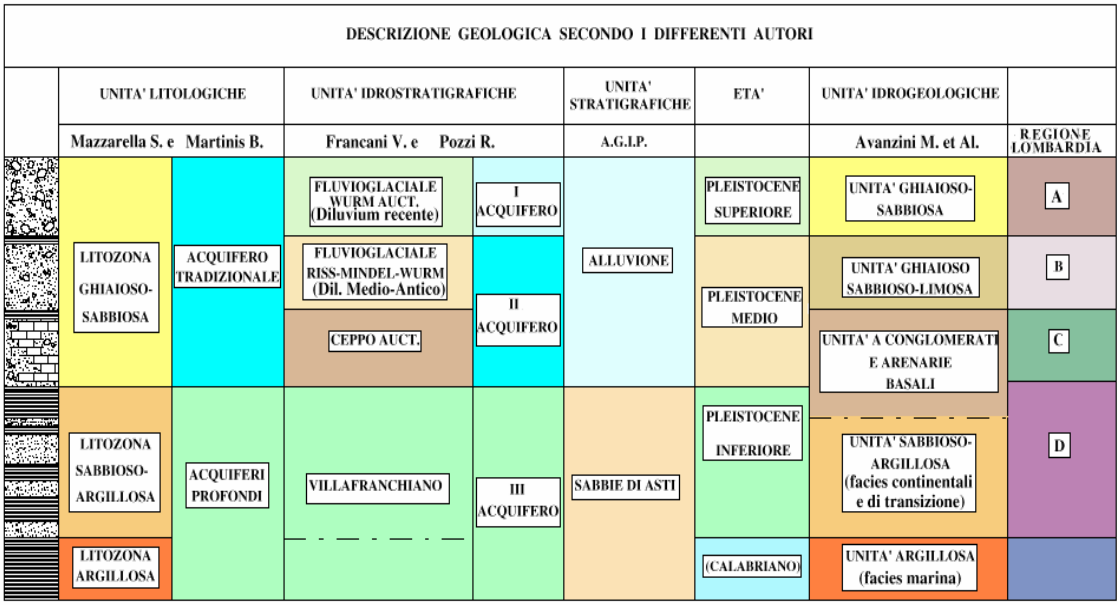


Figura 7 – *Schema stratigrafico-idrogeologico del quaternario della Provincia di Milano.*

A livello regionale sono presenti due distinte unità idrogeologiche, precisamente:

- un'unità superiore costituita da materiali incoerenti a granulometria grossolana (ghiaie prevalenti con ciottoli e sabbie), di elevata permeabilità, dovuta esclusivamente ad una porosità intergranulare. Questa unità dà luogo al cosiddetto "primo acquifero", a falda libera, di elevata produttività;
- un'unità inferiore ben separata dall'unità sovrastante per mezzo di un interposto strato impermeabile di natura argillosa, formata prevalentemente da sedimenti fini a basso grado di conducibilità idraulica, entro cui si rinvengono strati di sabbie prevalenti, localmente associate a ghiaie. I livelli permeabili all'interno di questa seconda unità sono localmente intercomunicanti e l'acquifero presente risulta in pressione; la sua produttività è abbastanza limitata. Il limite inferiore di questa seconda unità è litologicamente segnato dalla comparsa di più livelli argillosi discontinui. A volte, a causa di locali discontinuità e variazioni di spessore nei livelli argillosi che separano le due falde, questo acquifero è collegato con quello superficiale. In tal caso le due unità idrogeologiche costituiscono nell'insieme un sistema acquifero multistrato a falde confinate di tipo C.

Le caratteristiche idrogeologiche del comparto esaminato sono state ricostruite utilizzando, come base di partenza, le stratigrafie di alcuni pozzi ad uso idropotabile, perforati nei dintorni della zona studiata tra gli anni '70 e i primi anni '90; tali informazioni sono state analizzate e sintetizzate per definire il modello idrogeologico del sottosuolo dell'area indagata, integrandole con i dati e le informazioni desunti dalla "Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.".
Le stratigrafie esaminate per ricostruire le caratteristiche idrogeologiche della zona esaminata sono quelle relative ai seguenti pozzi:

- n°0150360008 (a Nord della Tangenziale, lungo Via Domenico Scarlatti in Comune di Buccinasco, ad uso potabile);
- n°0150360010 (a Nord della Tangenziale, lungo Via Domenico Scarlatti in Comune di Buccinasco, ad uso potabile);

- n°0150360006 (a Sud della Tangenziale, lungo Via dell'Industria in Comune di Buccinasco, ad uso potabile);
- n°0150110009 (a Est dell'area di intervento, lungo Via Gaetano Donizetti in Comune di Assago, ad uso industriale).

Nella Figura 8 di seguito mostrata è riportato uno stralcio dell'immagine, reperibile dal sito internet della Provincia di Milano, con indicata l'ubicazione dei pozzi di cui si è fatto riferimento.

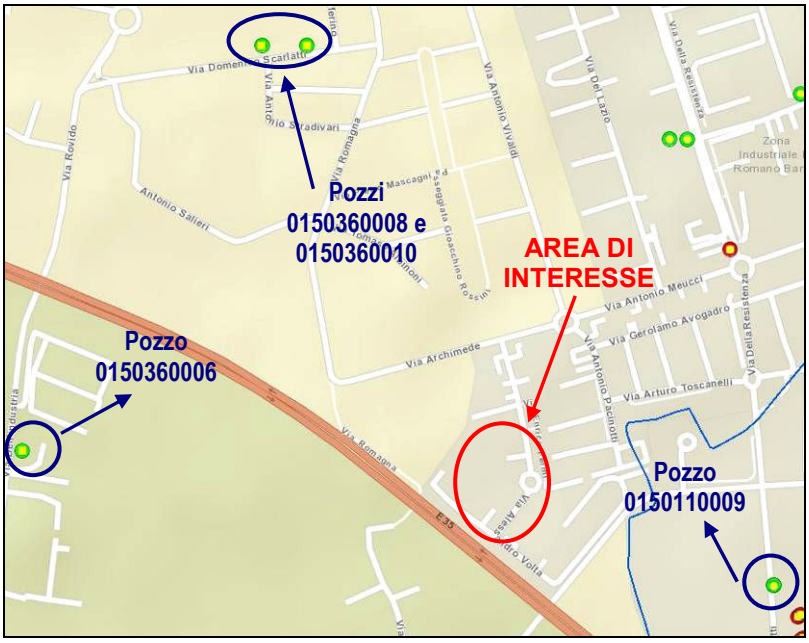


Figura 8 – *I cerchi blu indicano l'ubicazione dei pozzi di cui sono state reperite le stratigrafie (fonte: sito internet della Provincia di Milano).*

In Allegato 3, sono riportate le stratigrafie dei pozzi idropotabili dell'area circostante il sito in oggetto, identificati con i codici SIF 0150110009, 0150360006, 0150360008 e 0150360010, consultate nella fase di reperimento della bibliografia.
In tabella 1 sono riportate le stratigrafie dei primi 10 metri dei pozzi di cui sopra (ai fini del presente studio sono stati analizzati solo i primi 10 m di sottosuolo, ovvero quelli compresi all'interno del volume significativo dell'opera).

Pozzo 0150110009		
Da	A	Descrizione
0 m	1 m	terreno di riporto
1 m	1,5 m	terreno vegetale
1,5 m	6,5 m	ghiaia pulita
6,5 m	10 m	argilla

Pozzo 0150360006		
Da	A	Descrizione
0 m	6 m	ghiaia con sabbia
6 m	10 m	argilla sabbiosa

Pozzo 0150360008		
Da	A	Descrizione
0 m	1 m	terreno vegetale
1 m	3 m	sabbia media
3 m	10 m	argilla limosa

Pozzo 0150360010		
Da	A	Descrizione
0 m	2 m	terreno vegetale
2 m	5 m	sabbia con ghiaia
5 m	7 m	argilla limosa
7 m	8,5	sabbia con ghiaia
8,5	10 m	argilla limosa

Tabella 1 – *Stratigrafie rappresentative dei primi dieci metri di profondità dei 4 pozzi consultati.*

Dall'analisi delle stratigrafie si evince come i primi metri del sottosuolo dell'area indagata siano costituiti, in prevalenza, da materiali a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie), con locali intercalazioni di argille limose e sabbiose di potenza variabile.
Dal punto di vista idrografico il territorio comunale di Buccinasco è attraversato da un fitto reticolo idrico, costituito da circa sessanta tra canali artificiali, rogge e fontanili, la cui estensione complessiva raggiungi circa i 100 km di lunghezza.
Dagli studi condotti nel recente passato a supporto degli strumenti pianificatori comunali risulta come il reticolo idrografico sia diffuso in maniera capillare su tutto il territorio comunale e manifesti un buon stato di funzionamento, nonostante la presenza di diversi punti critici (fonte: "Componente geologica a supporto del P.G.T. – 2006").
All'interno della rete idrografica comunale si distinguono una rete principale e una secondaria:

- la rete idrografica principale risulta costituita da un unico corso d'acqua artificiale, il Naviglio Grande, dal quale si dipartono rogge e canali artificiali, originariamente costruiti per scopi irrigui;
- il reticolo idrografico minore – le cui acque derivano da quello principale e la cui estensione lineare risulta assai superiore rispetto al primo – è formato da un fitto reticolato composto da 42 "strutture", di cui 25 fontanili. La rete idrografica minore è alimentata dalle acque del Naviglio Grande, attraverso strutture di derivazione diretta (ubicate in prevalenza in Comune di Corsico) oppure attraverso i fontanili presenti nel territorio comunale (fonte: "Componente geologica a supporto del P.G.T. – 2006").

A causa dell'espansione urbanistica, il reticolo minore risulta spesso modificato rispetto alla sua conformazione originaria: sovente è tombinato (soprattutto nella zona urbanizzata di Buccinasco) oppure il suo tracciato è stato deviato in funzione delle esigenze edilizie. Questo caso si presenta anche nella zona oggetto della presente indagine: infatti, consultando la CTR in scala 1:10.000 del 1994, si nota che l'area di intervento e quelle limitrofe – oggetto di una recente espansione industriale – erano attraversate dal corso della Roggia Rainoldi, il cui tracciato è stato successivamente spostato a ridosso del tracciato della Tangenziale Nord per consentire l'edificazione dei capannoni recentemente realizzati.
Nel seguito vengono elencati le rogge e i canali presenti in un intorno significativo dell'area studiata:

- Fontanile Battiloca (pubblico, a cielo aperto, circa 500 m a NW)
- Roggia Rainolda (privata, tombinata, tra l'area di intervento e la tangenziale);
- Cavo Marozzi – Rainoldi (privato, a cielo aperto, tra l'area di intervento e la tangenziale);
- Cavo Lisone (privato, a cielo aperto, tra l'area di intervento e la tangenziale);
- Roggia Pobbiera (ad oggi dismessa e adibita a fognatura, a NE dell'area di intervento).

Per una visione del reticolo di rogge e canali, presenti nei dintorni dell'area in esame, si rimanda all'Allegato 9 (in cui è riportato uno stralcio della tavola 3a del P.G.T.).

5.3 Piezometria e soggiacenza della falda

Per la definizione delle caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo si sono utilizzate le carte della piezometria della falda freatica reperite presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano, le quali hanno consentito la ricostruzione dell'andamento delle isopieze (linee di egual quota piezometrica della superficie freatica espresse in m s.l.m.) nell'intorno dell'area di studio. Questi dati mostrano una quota della falda principale compresa, nell'area di interesse, tra 105 m e 106 m s.l.m., cui corrisponde una soggiacenza inferiore ai 5 m.
Nel corso delle indagini, effettuate in data 23/05 e in data 19/08, sono emersi dati di soggiacenza che testimoniano la presenza di una falda molto più superficiale. La sua profondità infatti, a maggio 2013, si attestava attorno a 1.6 – 2.0 m dal piano campagna; a metà agosto, a causa della normale scarsità di precipitazioni nel periodo estivo, la falda è risultata più bassa di circa mezzo metro.
La direzione del deflusso idrico sotterraneo a scala sovracomunale risulta all'incirca NW-SE, come si più rilevare dall'analisi della Tavola 1a del P.G.T. 2013. Sempre dall'analisi della sopracitata tavola, si evince che la pendenza della falda si attesta nell'ordine del 2 ‰.
La direzione del flusso idrico sotterraneo a scala locale può subire delle variazioni, in relazione alle diverse caratteristiche idrogeologiche (ad es. fluttuazioni piezometriche stagionali, caratteri di anisotropia ed eterogeneità delle formazioni acquifere, ecc.) nonché in funzione dei rapporti esistenti tra la falda e in corpi idrici minori. Nello specifico, dalla campagna di indagini in sito si è osservato che la falda – nell'area di interesse – mostra una debole pendenza verso SW (di ordine inferiore rispetto al generale deflusso orientato NW-SE), in relazione alla vicina Roggia Rainolda, con la quale risulta in collegamento idraulico diretto.

6. MODELLAZIONE SISMICA E PERICOLOITÀ SISMICA DI BASE

Il Comune di Buccinasco ricade, ai sensi della classificazione sismica regionale (normata dalla D.G.R. n°14964 del 07/11/2003), in Zona 4 (sismicità molto bassa, Pag ≤ 0,05).
La stima della pericolosità sismica di base del sito permette di definire l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare i diversi stati limite presi in considerazione; per tale stima occorre valutare le condizioni topografiche e stratigrafiche del sito:

- Categoria di sottosuolo → 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 Vs_{30} inferiore a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$ < 15 nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}$ < 70 kPa nei terreni a grana fine)"
- Condizioni topografiche → T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°"

6.1 Parametri sismici

Tipo di elaborazione	Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido:	0

Sito in esame	
latitudine:	45,410146
longitudine:	9,112406
Classe:	2
Vita nominale:	50

Siti di Riferimento				
Sito	ID Sito	Lat	Lon	Distanza
1	12481	45,4043	9,0788	2702,191
2	12482	45,4068	9,1499	2950,612
3	12260	45,4568	9,1463	5818,67
4	12259	45,4542	9,0752	5691,894

Parametri sismici	
Categoria sottosuolo	D
Categoria topografica	T1
Periodo di riferimento	50 anni
Coefficiente cu	1

Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento	81%
Tr (anni)	30
Ag (g)	0,018
Fo	2,552
Tc* (s)	0,16

Danno (SLD)	
Probabilità di superamento	63%
Tr (anni)	50
Ag (g)	0,023
Fo	2,534
Tc* (s)	0,189

Salvaguardia della vita (SLV)	
Probabilità di superamento	10%
Tr (anni)	475
Ag (g)	0,048
Fo	2,665
Tc* (s)	0,281

Prevenzione del collasso (SLC)	
Probabilità di superamento	5%
Tr (anni)	975
Ag (g)	0,057
Fo	2,709
Tc* (s)	0,301

Coefficienti Sismici			
Operatività (SLO):		**Danno (SLD)**	
Ss	1,8	Ss	1,8
Cc	3,12	Cc	2,87
St	1	St	1
Kh	0,007	Kh	0,008
Kv	0,003	Kv	0,004
Amax	0,325	Amax	0,41
Beta	0,2	Beta	0,2
Salvaguardia della vita (SLV)		**Prevenzione del collasso (SLC)**	
Ss	1,8	Ss	1,8
Cc	2,36	Cc	2,28
St	1	St	1
Kh	0,017	Kh	0,02
Kv	0,009	Kv	0,01
Amax	0,839	Amax	1,005
Beta	0,2	Beta	0,2

Coordinate espresse in ED50
Geostru software – www.geostru.com

7. CAMPAGNA DI INDAGINI

Tenuto conto del tipo di intervento a progetto, delle sue specificità e delle caratteristiche geologico-tecniche del sito in esame, è stata programmata ed eseguita una campagna di indagine consistita in:

- 5 prove penetrometriche dinamiche medio-leggere (DP);
- 3 misure di *noise* con strumentazione geofisica ("Tromino");
- 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con esecuzione di prove SPT in foro e installazione di un piezometro.

In merito all'ubicazione delle suddette indagini, si rimanda all'Allegato 4.

7.1 Prove penetrometriche dinamiche medio-leggere

In data 23/05 sono state eseguite in sito una serie di prove penetrometriche di tipo dinamico medio-leggero.
La finalità di tali indagini è stata quella di ricavare dati sulla geologia, sulle caratteristiche litologiche dei terreni incontrati e sulla locale stratigrafia.
La prova consiste nell'infissione nel terreno di una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta d'acciaio mantenuta verticale, prolungabile con l'aggiunta di successive aste; l'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso. Si contano i colpi necessari per l'avanzamento della batteria di aste per un tratto di lunghezza stabilita, e si ottiene una stima della resistenza del terreno la quale è funzione diretta del numero di colpi (N_{DP}) per un dato avanzamento.
Il penetrometro dinamico medio-leggero unisce alla maneggevolezza d'uso dello strumento e alla semplicità esecutiva della prova anche importanti riscontri d'indagine relativamente allo spessore dei vari livelli di terreno attraversati ed alle caratteristiche geotecniche degli stessi. In Tabella 2 sono indicate le caratteristiche dell'apparecchio utilizzato:

SONDA DPM 030	
Passo avanzamento:	10 cm
Massa battente:	30 kg
Volata	20 cm
Peso aste:	2 kg
Superficie punta:	10 cm^2

Tabella 2 – *Caratteristiche del penetrometro utilizzato.*

Le prove sono state ubicate in base alle esigenze progettuali, in maniera da coprire uniformemente l'area interessata dalla realizzazione del capannone a progetto; in particolare sono state effettuate cinque prove al fine di caratterizzare sotto il profilo geotecnico il terreno coinvolto nell'intervento e ricavare indicazioni attendibili circa il suo stato di addensamento, ottenendo così una sezione geologica interpretativa dell'area in esame.
Delle cinque prove effettuate due di esse, le prove DP1 e DP3, si sono interrotte ad una profondità inferiore al metro, a causa della presenza di un livello costituito da abbondanti ciottoli e trovanti; le grosse dimensioni di questi ultimi non hanno consentito l'avanzamento della batteria di aste.
Le prove DP2, DP4 e DP5 hanno permesso di indagare il substrato, spingendosi a profondità comprese tra 6 m e 9 m da p.c.
La stratigrafia di massima che è emersa da queste prove è stata la seguente:

- Livello 1: sabbie e ghiaie grossolane scarsamente addensate, miste a laterizi nella porzione più superficiale, con alla base un livello con abbondanti ciottoli e trovanti; questo primo livello si spinge fino a profondità comprese tra 1,1 e 2,0 m da p.c.;
- Livello 2: sabbie e ghiaie, con matrice limosa, molto sciolte (valori di N_{DP} – numero di colpi per avanzamento unitario – compreso tra 7,1 e 10,9), fino a profondità di 3,9 – 4,7 m da p.c.;
- Livello 3: sabbie limose mediamente addensate, caratterizzate da valori di N_{DP} più elevati rispetto al livello precedente.

La falda è stata individuata a profondità comprese tra 1,6 m da p.c. (DP2) e 2,0 m da p.c. (DP5). I risultati delle prove e le relative stratigrafie sono riportati in allegato 6.
In Tabella 2 sono riassunti i risultati ottenuti dalle prove condotte.

Prova	Profondità raggiunta
DP1	0,9 (rifiuto strumentale)
DP2	8,3
DP3	0,7 (rifiuto strumentale)
DP4	5,9
DP5	8,9

Tabella 3 – *Riassunto delle profondità raggiunte nel corso delle prove penetrometriche realizzate.*

7.2 Indagine geofisica (Tromino)

In data 23/05, contestualmente alle prove penetrometriche effettuate, sono state realizzate sul sito alcune indagini geofisiche, al fine di ottenere dati significativi sulla risposta sismica locale del sito

ed ottenere quindi il parametro Vs_{30}, utile a parametrare il suolo dal punto di vista della categoria sismica, così come richiede il DM 14.01.2008 (N.T.C.).
La presente indagine geofisica si è avvalsa della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V, ed è stata finalizzata alla caratterizzazione sismica del sottosuolo, all'individuazione delle discontinuità sismiche nonché della profondità del bedrock geofisico. Con tale metodo è possibile stimare anche la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs_{30}.) come esplicitamente richiesto dal D.M. 14.1.2008 (N.T.C.).
Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" e sono state effettuate tre misure, come meglio specificato nel prosieguo del testo.
I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb e successivamente convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.
In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

- il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti (N-S, E-W e verticale) per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (16 minuti);
- la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di alcune decine di secondi ciascuno;
- per ogni segmento è stata eseguita un'analisi spettrale, nelle sue tre componenti;
- per ciascun segmento sono stati calcolati i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
- sono stati calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).
Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR, avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale, ottenendo in tal modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.
Presso il sito in esame sono state effettuate n°3 misure di microtremore con strumentazione geofisica (Tromino), denominate T1, T2 e T3 e ubicate come risulta dall'Allegato 4.
Delle tre prove effettuate, la T1 ha mostrato risultati non utilizzabili (a causa probabilmente dell'accoppiamento strumento/terreno poco efficace e dell'interferenza proveniente dal traffico della vicina tangenziale) e non è stata elaborata. L'elaborazione delle altre misure ha fornito i seguenti risultati:

- T2: picco H/V massimo alla frequenza f = 41,41 ± 3,55 Hz, generato da un riflettore molto superficiale e interpretato come il limite tra il livello superficiale di terreno vegetale, talvolta rimaneggiato e misto a riporti, con i sottostanti depositi alluvionali. Nella definizione del modello di sottosuolo non si è tenuto conto di questo picco e la curva sintetica è stata modellata in maniera tale da adattarsi al meglio a quella sperimentale per le frequenze più basse (cioè per le profondità maggiori, di interesse nella presente indagine).
- T3: picco H/V massimo alla frequenza f = 50,63 ± 11,97 Hz, generato anche in questo caso da un riflettore estremamente superficiale e interpretato anch'esso come il limite tra il terreno vegetale e i sottostanti depositi alluvionali. Anche in questo caso non si è tenuto conto di questo picco e nella definizione del modello di sottosuolo la curva sintetica è stata modellata in modo da adattarsi al meglio a quella sperimentale, per le basse frequenze.

Sono state quindi valutati i risultati, scegliendo quelli della prova T2 in quanto più precisi e di migliore qualità; per la visione dei report delle prove, si rimanda all'Allegato 7.
È stato infine possibile stimare la velocità delle onde Vs nei primi 30 m dal p.c. (Vs_{30}), che è risultata pari a:

Vs_{30} = 179 m/s (suolo D secondo la classificazione delle N.T.C.)

7.3 Sondaggi geognostici

In data 19/08 è stato condotto un approfondimento della campagna d'indagine, con la realizzazione di n°3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, esecuzione di prove SPT in foro e installazione di un piezometro.
Contestualmente a tale attività sono stati prelevati campioni di terreno e di acqua sotterranea, al fine di caratterizzare anche dal punto di vista ambientale l'area di intervento. I campioni così prelevati sono stati sottoposti ad analisi chimiche per verificare l'assenza di eventuali contaminazioni ambientali. In questo modo il terreno che verrà scavato nel corso della realizzazione del fabbricato in oggetto potrà essere riutilizzato in sito e anche al di fuori del sito stesso, oltre naturalmente a poter essere conferito in discarica.
Per una descrizione dettagliata delle operazioni di campionamento ed una presentazione delle risultanze delle analisi eseguite sui campioni di terreno e di acqua sotterranea prelevati si rimanda al documento ST 02 rev1.
Anche in questo caso le prove sono state ubicate in modo da coprire uniformemente l'area indagata. Nello specifico sono stati eseguiti n°3 sondaggi, con le seguenti caratteristiche:

- Sondaggio S1: profondità 9 m, attrezzato con piezometro, esecuzione di 4 prove SPT nel corso dell'avanzamento;
- Sondaggio S2: profondità 5 m;
- Sondaggio S3: profondità 8 m, esecuzione di 4 prove SPT nel corso dell'avanzamento.

Si è trattato in tutti e tre i casi di sondaggi ambientali, necessari al fine di preservare il terreno campionato da qualsiasi fonte, anche accidentale, di inquinante. Sono stati pertanto condotti prestando attenzione a non contaminare gli attrezzi di perforazione con lubrificanti od oli e limitando al minimo indispensabile la circolazione di fluido (acqua) all'interno della batteria di aste, nel corso della perforazione.
I sondaggi eseguiti hanno permesso di definire e caratterizzare sotto il profilo geotecnico, i seguenti livelli litotecnici:

- L1: materiali di riporto, eterogenei ed eterometrici, con dispersi resti di laterizi, calcestruzzo e frammenti provenienti da demolizioni edili, misti a ghiaia sabbiosa;
- L2: limo più o meno sabbioso, molto sciolto (talvolta con livelli prettamente sabbiosi);
- L3: sabbie medie e medio-fini, in matrice limosa (contenenti talvolta lenti di ghiaie sabbiose eterometriche, con ciottoli arrotondati);
- L4: limi debolmente sabbiosi, mediamente consistenti (individuati solo nel sondaggio S2 e parametrizzati tramite i risultati della prova penetrometrica DP4, eseguita a poca distanza).

A causa delle eteropie verticali e laterali presenti nel deposito indagato, non tutti i livelli sono stati incontrati nei sondaggi, così come non sono sempre stati riscontrati nella medesima posizione stratigrafica. La tabella sottostante riepiloga i risultati emersi dalle indagini.

Sondaggio S1	
Livello	**Profondità (m)**
L1	0,00 - 1,00
L2	1,00 - 4,50
L3	4,50 - 9,00

Sondaggio S2	
Livello	**Profondità (m)**
L1	0,00 - 2,00
L3	2,00 - 4,00
L4	4,00 - 5,00

Sondaggio S3	
Livello	**Profondità (m)**
L1	0,00 - 3,00
L3	3,00 - 8,00

Tabella 4 – *Stratigrafia litotecnica dei sondaggi eseguiti.*

La tabella seguente riassume i risultati delle prove SPT eseguite

Sondaggio S1		
Profondità (m)	**Risultato**	**Nspt**
1,00	8-5-4	9
3,00	3-5-6	11
4,50	4-6-11	17
6,00	4-6-9	15

Sondaggio S2		
Profondità (m)	**Risultato**	**Nspt**
1,00	3-6-7	13
2,50	8-9-8	17
4,00	3-4-6	10
5,50	4-8-10	18

Tabella 5 – *Risultati delle prove SPT eseguite.*

Per la visione dettagliata della stratigrafia dei singoli sondaggi, dei risultati delle indagini speditive eseguite in cantiere e delle prove SPT condotte nel corso della perforazione, nonché per le misure del livello di falda, si rimanda alle stratigrafie allegate.

8. MODELLO GEOTECNICO

Le considerazioni di seguito riportate riguardano le caratteristiche dei terreni presenti nell'area in oggetto, tenendo conto del progetto esaminato e dei risultati della specifica campagna di indagini condotta nel sito.
Per la definizione del modello geotecnico si fa riferimento alla stratigrafia definita nel modello geologico e ai risultati emersi dalla campagna di indagini.
In merito alla stratigrafia del sito, cui i parametri medi si riferiscono, si rimanda alla sezione geologica interpretativa allegata a fondo testo.

8.1 Condizioni stratigrafiche e idrogeologiche

Le prove condotte hanno permesso di definire la stratigrafia del sito, caratterizzare i materiali sciolti presenti sotto il profilo geotecnico e indagare il regime delle pressioni interstiziali: nel corso della loro esecuzione, come detto, è stata riscontrata la falda freatica a profondità molto prossime al piano campagna. La soggiacenza della falda è risultata tuttavia variabile, in funzione del regime

pluviometrico caratteristico del periodo in cui sono state eseguite le prove stesse: è risultata infatti più prossima alla superficie a fine maggio (dopo le piogge tipiche del periodo primaverile), leggermente più profonda a metà agosto (a seguito delle scarse precipitazioni del periodo estivo).
In particolare, nel corso della campagna di prove penetrometriche dinamiche condotta il 23/05, la falfa freatica è stata individuata a profondità comprese tra 1,6 m e (DP2) e 2,0 m (DP5) da p.c.: il tetto della falda si approfondisce in direzione SW, essendo drenata dalla Roggia Rainolda, presente tra l'area indagata e la Tangenziale Nord. Come già spiegato nel modello geologico, questo andamento è da considerarsi "locale" e dovuto all'interazione tra la falda e la roggia, mentre a scala globale la direzione del deflusso idrico risulta NW-SE.
Nel corso delle operazioni di sondaggio svolte nel mese di agosto, la falda è risultata più bassa di circa mezzo metro: nel sondaggio S1 è stata rinvenuta a circa 2 m di profondità, a circa 2,5 m nel sondaggio S3 (nota: la profondità di 2,7 m, indicata nel log stratigrafico del sondaggio S1, è stata misurata dopo lo spurgo del piezometro e pertanto, al momento della misura, la falda risultava sensibilmente più bassa rispetto alla quota cui è stata rinvenuta nel corso della perforazione).
In merito alla permeabilità dei materiali sciolti costituenti il substrato dell'area in esame, valgono le seguenti considerazioni:

- In tutti i casi i materiali riscontrati presentano permeabilità primaria per porosità, variabile in funzione delle loro caratteristiche granulometriche e dello stato di addensamento;
- I materiali di riporto (livello L1), eterogenei e con basso grado di addensamento, presentano permeabilità molto elevata (coefficiente di permeabilità k stimabile in 1 – 10^{-1} cm/s);
- Le sabbie medie e medio-fini (livello L3) presentano permeabilità, nel complesso, variabile da media a medio-bassa (k circa 10^{-2} – 10^{-3} cm/s);
- I limi sono contraddistinti da permeabilità bassa (k circa 10^{-3} – 10^{-5} cm/sec).

8.2 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

In base a quanto previsto attualmente dal D.M. 14.01.2008 in questo paragrafo vengono fornite indicazioni circa i parametri geotecnici medi dei materiali presenti nel "volume significativo", cioè la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Data la tipologia di intervento, la sua estensione e il ricorso a fondazioni di tipo diretto, il volume significativo si estenderà fino a circa 6-8 m di profondità. Per la caratterizzazione geotecnica dei materiali si è fatto riferimento ai risultati delle prove condotte in sito (prove penetrometriche dinamiche e campagna di sondaggi geognostici), confrontandoli ed integrandoli con i risultati emersi da indagini condotte in aree limitrofe a quella qui in esame.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DP)
Per la valutazione delle caratteristiche geotecniche è stata utilizzata la correlazione empirica che lega il numero medio di colpi del penetrometro dinamico medio-leggero (N_{DP}) con il numero di colpi della prova penetrometrica standard SPT (N_{SPT}), poiché quest'ultima rappresenta uno dei mezzi più diffusi per ricavare informazioni dal sottosuolo. Trattandosi in questo caso di un terreno prevalentemente granulare la correlazione tra N_{DP} e N_{SPT} avviene tramite un fattore correttivo assunto pari a 0,8. Si è fatto quindi riferimento alla classificazione orientativa della compattezza dei terreni sabbiosi in base alla prova SPT, proposta da Terzaghi e Peck, per stimare i parametri geotecnici dei materiali incontrati.
La tabella seguente riassume i risultati dell'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche.

DP1			
Livello	Ndp	Nspt	Φ
L1	8	6,4	30°

DP2			
Livello	Ndp	Nspt	Φ
L1	13,6	10,8	32°
L2	7,1	5,7	30°
L3	36,5	29,2	35°

DP3			
Livello	Ndp	Nspt	Φ
L1	12	9,6	30°

DP4			
Livello	Ndp	Nspt	Φ
L1	6,3	5	30°
L4	39,3	31,4	35°
L3	10,9	8,7	30°

DP5			
Livello	Ndp	Nspt	Φ
L1	8,7	7	30°
L3	7,1	5,7	30°

Tabella 6 – *Dati desunti dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite.*

SONDAGGI GEOGNOSTICI

La stima delle caratteristiche geotecniche dei materiali incontrati nel corso delle perforazioni è stata eseguita basandosi sui risultati delle prove SPT. I valori ottenuti sono stati correlati alla densità relativa Dr e quindi all'angolo di resistenza al taglio ϕ, tramite correlazioni note in letteratura (Gibbs-Holtz, Bazaara, NAVFAC DM-7).

La tabella seguente riassume i risultati dell'elaborazione delle prove SPT.

Sondaggio S1					
Livello	Prof (m)	Risultato	Nspt	Dr	Φ
L2	1,00	8-5-4	9	50%	31°
L2	3,00	3-5-6	11	43%	30°
L3	4,50	4-6-11	17	49%	32°
L3	6,00	4-6-9	15	43%	31°

Sondaggio S3					
Livello	Prof (m)	Risultato	Nspt	Dr	Φ
L1	1,00	3-6-7	13	60%	35°
L1	2,50	8-9-8	17	52%	34°
L3	4,00	3-4-6	10	37%	31°
L3	5,50	4-8-10	18	47%	32°

Tabella 7 – *Dati desunti dall'elaborazione delle prove SPT eseguite.*

PARAMETRI CARATTERISTICI

I parametri caratteristici (coesione e angolo di resistenza al taglio) dei livelli litotecnici riscontrati nel terreno in esame sono stati calcolati utilizzando il software KappaGEO, della ditta Program GEO, analizzandoli statisticamente. In particolare, avendo a disposizione un ridotto numero di dati ($n_{campioni}$< 30) si è fatto riferimento alla distribuzione di Student, approssimando i risultati al mezzo grado (0,5°).
Tali parametri sono stati desunti dalle prove penetrometriche dinamiche e dalle prove SPT condotte in loco, integrandoli con i risultati – noti in bibliografia – di indagini compiute in aree limitrofe a quella qui in esame (fonti: Studio Geologico Comunale, 2006 – Relazione Geologica dott. D. Fantoni, 2013). Il peso di volume dei materiali in questione è stato invece desunto esclusivamente da bibliografia.

L1 (materiali di riporto, eterogenei ed eterometrici, con dispersi resti di laterizi, calcestruzzo e frammenti provenienti da demolizioni edili, misti a ghiaia sabbiosa)
γ = 16 – 17 kN/m^3
c_k = 0 kg/cm^2
ϕ'_k = 27°
Dr = 35-65% (stato di addensamento: mediamente addensati)

L2 (limi più o meno sabbiosi)
γ = 16 – 17 kN/m^3
c_k = 0 kg/cm^2
ϕ'_k = 23,5°
Dr = <15% (stato di addensamento: molto sciolti)

L3 (sabbie medie e medio-fini, in matrice limosa, contenenti talvolta lenti di ghiaie sabbiose eterometriche, con ciottoli arrotondati)
γ = 17 – 18 kN/m^3
c_k = 0 kg/cm^2
ϕ'_k = 29,5°
Dr = 15-35% (stato di addensamento: sciolte)

L4 (limi debolmente sabbiosi, mediamente addensati)
γ = 17 – 18 kN/m^3
c_k = 0 kg/cm^2
ϕ'_k = 31°
Dr = 35-65% (stato di addensamento: mediamente addensati)

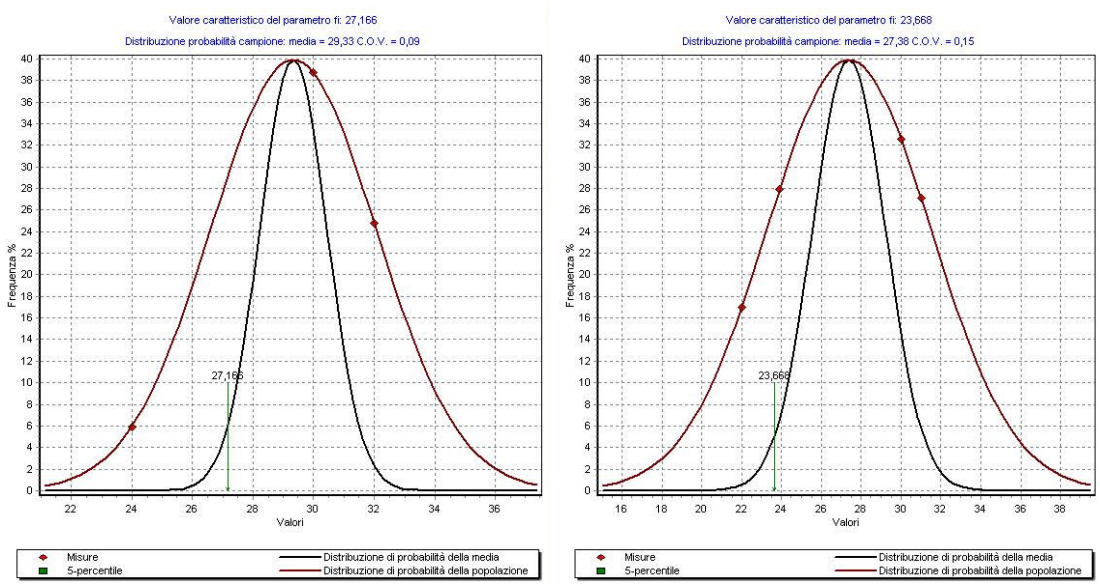


Figura 9 – *Determinazione dell'angolo di resistenza al taglio caratteristico ϕ_k per i livelli litotecnici L1 (sx) e L2 (dx).*

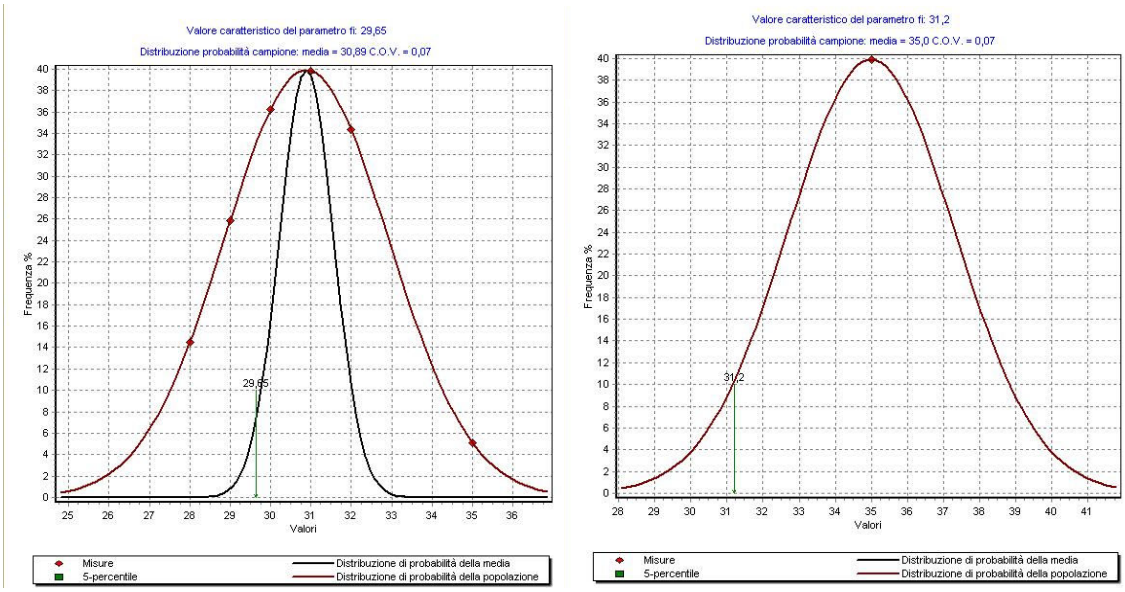


Figura 10 – *Determinazione dell'angolo di resistenza al taglio caratteristico ϕ_k per i livelli litotecnici L3 (sx) e L4 (dx).*

8.3 Verifica a liquefazione (esclusione)

In base a quanto stabilito dal §7.11.3.4 delle N.T.C. si è proceduto ad analizzare il comportamento del terreno di fondazione nei confronti del fenomeno della liquefazione.
La verifica a liquefazione è stata omessa, sulla base di quanto contenuto nel §7.11.3.4.2, in quanto nel sito in esame si manifesta la seguente condizione:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.

Tale condizione è stata verificata tramite apposito software della società "GeoStru", reperibile *on-line* e che consente di analizzare al pericolosità sismica di una specifica zona, con approccio probabilistico. Il programma utilizza un database di potenziali fonti per i terremoti più grandi di 5,5 M in Italia e nelle aree circostanti, predisposto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; considerando la distanza tra il sito di indagine e le zone sorgente ed esso più prossime, viene determinata l'accelerazione massima attesa al sito, su un affioramento rigido.
L'analisi ha fornito un valore di accelerazione pari a:

a = 0,038 g (sorgente sismogenetica ITCS018 - Rivanazzano-Stradella, circa 36 km a SE)
minore di 0,1 g (prescritto dalla suddetta normativa).

9. INDICAZIONI PROGETTUALI

Le indagini svolte hanno avuto come obiettivo principale quello di definire l'assetto stratigrafico e idrogeologico del sito, nonché le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area, allo scopo di individuare la tipologia fondazionale e di scavo più idonea per l'intervento a progetto. Le maggiori difficoltà emergenti dalla visione del progetto appaiono quelle derivanti dalla necessità di dover eseguire gli scavi per raggiungere il piano di posa delle fondazioni senza pregiudicare la stabilità del manufatto adiacente e di dover in ultimo assicurare la totale stabilità del complesso terreno-manufatti. Ulteriori elementi di difficoltà sono rappresentati dalle scadenti caratteristiche geotecniche nei materiali presenti e dalla bassa soggiacenza della falda freatica.
In questa sede si ricorda come, sulla base di quanto emerso dalla campagna di letture freatimetriche svolta, gli scavi non dovrebbero interessare il livello di falda (il quale non si è mai attestato, nel periodo durante il quale sono state condotte le indagini, a quote superiori a un metro e mezzo circa da p.c.). Tuttavia, poiché il terreno risulta particolarmente permeabile e con falda prossima a piano campagna sarà opportuno, nelle analisi geotecniche riguardanti la capacità portante e i cedimenti, valutarlo cautelativamente sempre saturo, in modo da tener conto delle possibili oscillazioni della falda (in accordo a quanto raccomandato nel documento "Componente geologica – Fase di diagnosi, sintesi e fattibilità" redatto dal Comune di Buccinasco nel giugno 2006 e revisionato nel gennaio 2007).
Si suggerisce inoltre, prima dell'avvio dei lavori, di provvedere ad ulteriori letture freatimetriche, all'interno del sondaggio S1, al fine di misurare dati aggiornati circa la soggiacenza della falda, nelle condizioni di realizzazione dell'intervento.
Viste le principali caratteristiche geologico-geotecniche individuate nell'area sottoposta ad indagine si indicano le seguenti modalità operative per la realizzazione dell'opera.

FASE DI SCAVO

- I fronti di scavo, da eseguirsi per la posa delle fondazioni, debbono essere realizzati per campioni di lunghezza non eccessiva e sagomati secondo angoli compatibili con le caratteristiche di resistenza indicate nei precedenti capitoli, avendo cura di non lasciarli aperti a lungo e procedendo tempestivamente alla realizzazione delle nuove opere;
- La stabilità dei fronti di scavo necessari al raggiungimento del piano di posa delle fondazioni sarà vincolata al corretto dimensionamento delle opere temporanee di contenimento degli stessi.

REALIZZAZIONE DEI NUOVI MANUFATTI

- Per la realizzazione delle fondazioni si ritiene, in relazione alle caratteristiche del sito, di poter fare ricorso a fondazioni di tipo diretto, appoggiate sui depositi alluvionali presenti;
- Sarà necessario fare riferimento ai parametri geotecnici e alle sezioni geologiche interpretative riportate a fondo testo, per il dimensionamento delle fondazioni e delle opere in elevazione, nonché fare riferimento alle suddette sezioni in merito ai materiali con i quali andrà ad interagire la nuova struttura;
- Prima di procedere alla realizzazione delle opere di fondazione occorre creare un adeguato sottofondo di materiale inerte;
- Sarà infine necessario effettuare un'efficiente regimazione delle acque del comparto;
- Per tutte le parti in elevazione si rimanda alle normali tecniche della buona edificazione.

La presenza di falda con bassa soggiacenza impone inoltre l'attivazione di accorgimenti, sia in fase progettuale sia in quella esecutiva, di interventi finalizzati alla difesa dell'opera in progetto da eventuali problemi di interazione tra fondazione e falda e, soprattutto, alla difesa degli aspetti quantitativi e qualitativi delle acque sotterranee.
La bassa soggiacenza della falda rende necessario, nel caso di opere in sotterraneo, idonei accorgimenti costruttivi quali impermeabilizzazioni, drenaggi e/o punti di controllo e monitoraggio della falda.
Le opere legate al sistema fognario (fognature, fosse ecc.) dovranno essere alloggiate in manufatti impermeabili a tenuta. Un efficace sistema di smaltimento delle acque meteoriche (quale quello previsto dal progetto), consentirà di ridurre i rischi, nei confronti della situazione geologica locale.
Come prescritto inoltre dall'art. 1.4.1. delle Norme Tecniche di Attuazione de P.G.T. di Buccinasco, sarà necessario programmare gli sbancamenti necessari per la realizzazione degli interventi, e la tipologia stessa delle modalità di intervento, in modo da minimizzare il rischio di potenziali contaminazioni; inoltre la distribuzione delle volumetrie dovrà necessariamente tenere in considerazione la limitata soggiacenza della falda e la possibile interconnessione con le strutture di fondazione.
Tutti gli altri interventi non esplicitamente citati nel presente paragrafo non prevedono particolari attenzioni e rientrano pertanto nelle normali procedure legate all'arte del costruire.
In relazione alle criticità individuate per l'intervento a progetto si suggerisce di eseguire, a migliore garanzia dei Terzi, opere di monitoraggio rigoroso che permettano, nelle iniziali fasi di scavo e realizzazione delle opere, di accertare l'efficacia delle azioni poste in essere.
Tali monitoraggi, da valutarsi a discrezione del progettista, consisteranno in letture topografiche di precisione, previo posizionamento di mire, a varie altezze, in corrispondenza degli spigoli dei diversi edifici che si affacciano verso l'area oggetto di intervento.
La lettura strumentale dovrà essere operata con cadenza rapportata al grado di avanzamento dei lavori e prevedibilmente verrà ripetuta con frequenza variabile tra i 15 giorni e i 45 giorni (a seconda delle fasi realizzative delle opere nel sottosuolo); il monitoraggio dovrà essere proseguito fino alla conclusione dei lavori, diluendo i riscontri strumentali.

10. CONCLUSIONI

Nel presente documento sono stati riportati i risultati delle indagini effettuate a supporto della progettazione esecutiva dell'intervento, consistite in prove penetrometriche dinamiche, indagini geofisiche e sondaggi geognostici.
Sulla base delle indicazioni emerse da detta campagna di indagini sono stati forniti i parametri necessari alla progettazione esecutiva dell'intervento.
Tenuto conto del contesto geomorfologico in cui si inserisce la nuova costruzione, tenuto altresì conto delle caratteristiche stratigrafiche e litotecniche dei terreni indagati e delle sostanziali condizioni di stabilità del sito interessato, **si conferma la fattibilità dell'intervento a progetto**.
Si rassegna la presente relazione la quale assolve quanto prescritto dal D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C.) e dalle Norme Geologiche di Attuazione del P.G.T. del Comune di Buccinasco.

Dott. Geol. Simone Traxino

Dott. Geol. Andrea Vigo

Committente: Milan Terminal srl
Piazza Tirana 24/4
20147 Milano (MI)