



# Comune di Milano

## Piano Attuativo PA6

### Intervento di trasformazione dell'ex Caserma Mameli

**FIV Extra**  
**CDP Investimenti Sgr**  
via Versilia 2  
00187 Roma  
tel 06 42045499  
fax 06 42045480

**CDP Immobiliare**  
via Versilia 2  
00187 Roma  
tel 06 421161  
fax 06 42116227

PROGETTO

PROJECT MANAGER

## Verifica della Progettazione Preliminare

arch. Anselmo Comito  
CDP Immobiliare  
via Versilia 2 - 00187 Roma  
tel 06 421161  
fax 06 42116227

PROGETTISTI

CONSULENTI

### PROGETTO ARCHITETTONICO

### CONSULENZA E VALUTAZIONI STRUTTURALI

**onsitestudio**

arch. ANGELO LUNATI  
angelo.lunati@onsitestudio.it

**MILAN INGEGNERIA**

ing. MAURIZIO MILAN  
mameli@buromilan.com

onsitestudio s.r.l.  
via Cesare Cesariano, 14 - 20154 milano  
t +39.02.36754805 - f +39.02.36754804

arch. GIANCARLO FLORIDI  
giancarlo.floridi@onsitestudio.it

via Thaon di Revel 21, 20159 - Milano  
T: +39 02 36 79 88.90 - F: +39 02 36 79 88.92

### STUDIO DEL TRAFFICO E VIABILITA'

### CONSULENZA PROGETTO DI RESTAURO

**MIC mobility in chain**  
SERVIZI INTEGRATI DI  
INGEGNERIA PER LA MOBILITA'  
via Pietro Custodi 16 - 201236 Milano  
t +39.02.49530504 - f +39.02.49530509

arch. FEDERICO CASSANI  
cassani@michain.com

**ARCH. ROSSELLA MOIOLI**

arch. ROSSELLA MOIOLI  
rossellamoioi@libero.it

via Vittorio Emanuele 27 - 20871 Vimercate (MB)  
t +39.039.2913205

### PROGETTO DEL PARCO

### CONSULENZA GEOLOGIA

**STUDIO GIORGETTA**  
Architetti Paesaggisti

arch. FRANCO GIORGETTA  
fgarch@fastwebnet.it

**STUDIO IDROGEOTECNICO**

geom. EFREM GHEZZI  
stid@fastwebnet.it

Via Fiori Chiari, 8 - 20121 Milano  
t +39 02 86 32 88 - f +39 02 99 98 78 53

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
t. +39.02.6597857 - f.+39.02.6551040

### PROGETTO OPERE DI URBANIZZAZIONE E VAS E CONSULENZA ACUSTICA

### CONSULENZA AGRONOMICA

**DEERNS ITALIA S.p.A.**

ing. GIOVANNI CONSONNI  
giovanni.consonni@deerns.com

dott. agronomo NICOLA NOÈ, PhD

via Guglielmo Silva, 36 - 20149 Milano  
t/f +39 02 36 16 78.88

dott. WALTER TIANO  
walter.tiano@deerns.com

Via Medardo Rosso, 19 - 20159 Milano  
t/f +39 02 606100  
c 333 3936425

TITOLO ELABORATO

ELABORATO N.

**INDAGINE GEOGNOSTICA AI SENSI DEL DM 14/01/2008**  
**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA**

**P03c**

| AGG. | DATA       | DESCRIZIONE AGG.           | AUTORE | SCALA |
|------|------------|----------------------------|--------|-------|
| 00   | 04/04/2016 | EMISSIONE PER APPROVAZIONE |        |       |
| 01   |            |                            |        |       |
| 02   |            |                            |        |       |
| 03   |            |                            |        |       |
| 04   |            |                            |        |       |

Documento firmato digitalmente da  
Giancarlo Floridi (Onsitestudio)  
Marco Sangiorgio (CDP Investimenti Sgr)

NOME FILE

DATA

04/04/2016

Comune di Milano - Prot. 07/07/2020.0245109.E. - Si attesta che la presente copia informatica è conforme all'originale digitale conservato negli archivi del Comune di Milano





STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

**Comune di Milano**  
**Piano Attuativo**  
**Intervento di trasformazione dell'ex Caserma Mameli**  
**ATU-8-D**

**INDAGINE GEOGNOSTICA**  
**ai sensi del DM 14/01/2008**  
**RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA**

Sommario

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA</b> .....  | <b>3</b>  |
| 1.1      | RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI .....                              | 3         |
| <b>2</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b> .....     | <b>4</b>  |
| 2.1      | LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI E DI USO DEL SUOLO .....            | 4         |
| 2.2      | CARATTERI IDROGEOLOGICI .....  | 4         |
| 2.3      | PIEZOMETRIA.....   | 5         |
| 2.4      | VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....                                      | 7         |
| <b>3</b> | <b>INQUADRAMENTO IDRAULICO</b> .....                                     | <b>8</b>  |
| 3.1      | PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI.....                          | 8         |
| 3.2      | CARATTERI IDRAULICI DEL TORRENTE SEVESO.....                             | 10        |
| 3.3      | RELAZIONI CON L'INTERVENTO.....  | 12        |
| <b>4</b> | <b>INDAGINE GEOGNOSTICA IN SITO</b> .....                                | <b>15</b> |
| 4.1      | METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI .....                           | 16        |
| 4.1.1    | <i>Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT</i> .....               | 16        |
| 4.1.2    | <i>Prova sismica MASW</i> .....  | 17        |
| 4.2      | DESCRIZIONE DEL CANTIERE .....   | 19        |
| 4.3      | CONDIZIONI PIEZOMETRICHE LOCALI .....                                    | 19        |
| <b>5</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....                                    | <b>19</b> |
| 5.1      | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....              | 19        |
| 5.2      | CARATTERISTICHE DEL PROGETTO.....  | 21        |
| 5.3      | CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO.....                                | 21        |
| 5.4      | CALCOLO DEI CEDIMENTI.....   | 23        |
| 5.5      | COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER.....                  | 25        |
| <b>6</b> | <b>ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE</b> .....                               | <b>26</b> |
| <b>7</b> | <b>RIASSUNTO DEI PARAMETRI E DELLE CARATTERISTICHE DEL TERRENO</b> ..... | <b>27</b> |
| <b>8</b> | <b>CONCLUSIONI</b> .....   | <b>28</b> |



**STUDIO IDROGEOTECNICO**  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

Allegati

- All. 1 – Planimetria di progetto con ubicazione delle indagini - scala 1:2.000
- All. 2 – Grafici prove penetrometriche
- All. 3 – Prove sismiche MASW – elaborato grafico

Tavole

- Tav. P-03.d – Inquadramento idrogeologico – scala 1:10.000



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

## 1 PREMESSA

Studio Idrogeotecnico Applicato S.a.s. di Milano ha eseguito l'indagine geognostica a supporto del Piano Attuativo, denominato ATU 8-D, relativo all'intervento di trasformazione dell'ex Caserma Mameli, sita in comune di Milano nel comparto compreso tra Via Gerolamo Arganini a N, Viale Suzzani a E, Via Ferdinando Gregorovius a S.

La proposta del Piano Attuativo ha in previsione, coerentemente con i contenuti del PGT del Comune di Milano, l'insediamento di funzioni residenziali e funzioni pubbliche (servizi di interesse pubblico generale, aree e parco, a verde e a piazze, parcheggi pubblici in superficie). Le residenze saranno dotate di parcheggi pertinenziali di superficie e interrati (2 piani interrati).

Il programma delle indagini ha previsto lo svolgersi delle seguenti attività:

- esecuzione di 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT;
- esecuzione di 2 prove sismiche MASW.

La fase di campo e' stata completata il 17 dicembre 2015.

L'indagine, con approfondimento adeguato alla pianificazione attuativa, e' svolta in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa del D.M. 14/01/2008, e' stata finalizzata alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione; l'obiettivo e' stato quello di verificare la relazione  $R_d > E_d$ , come indicato nelle NTC2008 2.3, allo scopo di ottenere la corretta scelta, impostazione e dimensionamento delle opere fondazionali.

Sono state inoltre definite le condizioni idrogeologiche del sito, quali direzione di flusso e soggiacenza attuale e di trend della falda.

Fanno parte della seguente relazione tecnica i seguenti allegati:

- ubicazione delle indagini;
- grafici delle prove penetrometriche;
- elaborati grafici delle prove sismiche
- planimetrie di dettaglio ed inquadramento.

### 1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

#### Normative e raccomandazioni

- Norme Tecniche per le Costruzioni - 14 Gennaio 2008.
- Circolare LL.PP. 617 - 2009

#### Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). "Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation" Géotechnique 36, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). "Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni". Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

- Cestari F. (1990). "Prove Geotecniche in Sito". Geo-Graph. Pagg. 207-284.
- R. Lancellotta (1993). "Geotecnica". Zanichelli.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

### 2.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI E DI USO DEL SUOLO

L'area dell'ex Caserma Mameli, inserita nell'ambito della media pianura lombarda, è ubicata nel settore nord-orientale del territorio comunale di Milano, caratterizzato da morfologia subpianeggiante e ad una quota topografica media di 133 m s.l.m. (Tav. 1).

L'assetto morfologico del territorio è costituito da estese piane fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria, a morfologia subpianeggiante, prive di dislivelli morfologici significativi, con deboli pendenze verso S dell'ordine di 0.2-0.3 %.

L'intensa urbanizzazione generale ha modificato o cancellato la struttura originaria della pianura, rendendo indistinguibili caratteri ed elementi morfologici già di per sé poco evidenti (paleovalvei, orli di terrazzo).

I principali elementi della rete idrografica del territorio sono rappresentati dal corso del fiume Seveso che scorre tombinato a circa 400 m a ovest del sito e dal corso aperto del Naviglio della Martesana, posto circa 1.8 km a sud-est.

L'unità geologica presente in affioramento è costituita da depositi fluvioglaciali appartenenti al Supersistema di Besnate - Unità di Guanzate (Pleistocene medio-superiore) caratterizzata da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa e sabbie limose, con suoli da evoluti a moderatamente evoluti di spessore inferiore a 2 m (fonte dati: Carta Geologica d'Italia, F. 118 - progetto CARG Regione Lombardia).

### 2.2 CARATTERI IDROGEOLOGICI

Sulla base delle caratteristiche litologiche dedotte dalle stratigrafie dei pozzi dell'area, si riconoscono nel sottosuolo tre principali unità idrostratigrafiche, distinguibili per omogeneità di costituzione e continuità orizzontale e verticale, la cui denominazione fa riferimento alla classificazione 2002 proposta dalla Regione Lombardia, Eni-Divisione Agip.

La loro distribuzione è sintetizzata, secondo il seguente schema:

- A - Gruppo Acquifero A**, dello spessore medio di circa 45÷50 m, costituito in prevalenza da litologie grossolane ad elevata permeabilità (ciottoli, ghiaie e sabbie), con subordinate intercalazioni lenticolari di limi sabbiosi e argille giallo/brune, generalmente prive di continuità laterale. L'unità è sede della falda superiore di tipo libero (primo acquifero) maggiormente vulnerabile, attualmente caratterizzata da soggiacenze medie di circa 13-14 m dal p.c.



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

- B - Gruppo Acquifero B**, dello spessore medio di circa 40÷45 m, costituito da sabbie e ghiaie acquifere con intercalazioni metriche di limi e argille sabbiose caratterizzate da una buona continuità laterale. L'unità è sede di falde idriche intermedie e profonde da semiconfinata a confinata (secondo acquifero), tradizionalmente captate dai pozzi del pubblico acquedotto. In virtù della presenza di strati continui a bassa permeabilità, tali falde risultano maggiormente protette e indipendenti dalle strutture idriche superiori.
- C - Gruppo Acquifero C**, costituito da alternanze di limi e argille sabbiose con subordinate intercalazioni di sabbie medio-fini e ghiaie. Il limite superiore dell'unità, generalmente concorde con la superficie topografica, tende ad approfondirsi procedendo verso i settori meridionali. L'unità è sede di falde idriche profonde protette di tipo confinato, generalmente riservate all'uso potabile e captate dai filtri più profondi dei pozzi del pubblico acquedotto. A profondità > 150÷160 m da p.c. e con una distribuzione irregolare, si manifestano problematiche qualitative, con presenza di idrogeno solforato ed elevate concentrazioni di ferro e manganese.

### 2.3 PIEZOMETRIA

La morfologia della superficie piezometrica della falda superiore, illustrata in Tav. 1, fa riferimento alle elaborazioni effettuate dalla Provincia di Milano dei dati di livello al marzo 2015 dei pozzi di monitoraggio urbani della rete di controllo provinciale<sup>1</sup>.

Nell'area di studio si evidenzia una falda di tipo radiale debolmente convergente verso S, con quote comprese tra 126 e 110 m s.l.m. e un gradiente idraulico medio del 3,5÷4‰.

Le principali direzioni del flusso idrico sotterraneo sono mediamente orientate NNW-SSE nei settori occidentali e centrali e NNE-SSW nel settore sud-orientale.

In Tav. 1 sono stati riportati gli involucri delle zone di rispetto dei pozzi ad uso potabile del pubblico acquedotto di Milano; l'area di progetto è parzialmente inserita all'interno delle Z.R. dei pozzi della Centrale Suzzani.

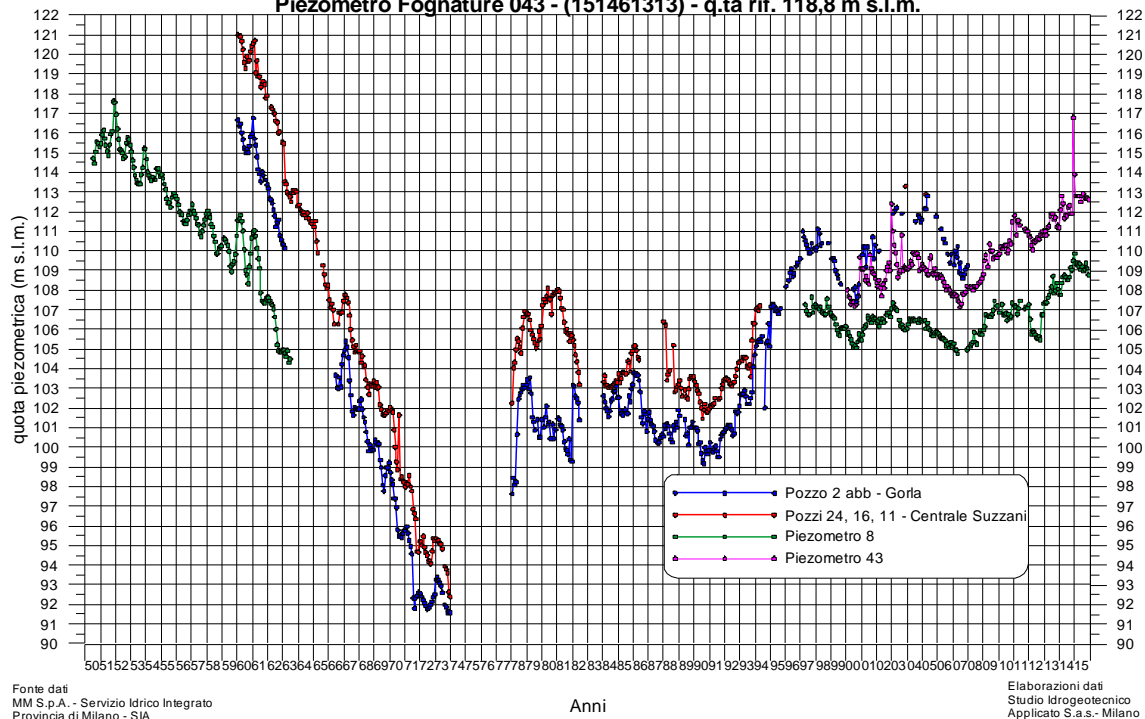
L'andamento dei livelli piezometrici di lungo periodo dell'area, di seguito graficizzato, è desumibile dalle misure periodicamente effettuate da Metropolitana Milanese S.p.A. sui pozzi n. 24, 16, 11 della Centrale "Suzzani" e n. 2 (abbandonato) della Centrale "Gorla", rispettivamente ubicati a circa 600 m a S e 2,1 km a SE del sito, nonché dal Comune di Milano - Settore Fognature - sui piezometri n. 43 di Viale Van Gogh (cod. 0151461313), ubicato circa 4,7 km a SE e n. 8 di Via D'Azeglio (cod. 0151461557), ubicato a circa 3,5 km a SW.

<sup>1</sup> Dati Sistema Informativo Falda (SIF) della Provincia di Milano



### ANDAMENTO DELLE QUOTE PIEZOMETRICHE

Milano - Centrale Suzzani - pozzi 24, 16, 11 - q.ta rif. 132.70 m s.l.m.,  
Centrale Gorla pozzo n. 2 abb (cod. 0151460297) - q.ta rif. 129.40 m s.l.m.  
Piezometro Fognature 008 - (0151461557) - q.ta rif. 123,76 m s.l.m.  
Piezometro Fognature 043 - (151461313) - q.ta rif. 118,8 m s.l.m.



**Figura 2.1 - Andamento delle quote piezometriche**

La serie storica dei dati disponibili evidenzia il progressivo abbassamento dei livelli caratteristico degli anni '50-'60 e registrato fino alla prima metà degli anni '70 (-29 m), conseguente al sovraemungimento degli acquiferi in tale periodo.

A seguito delle intense precipitazioni del 1976-77, si assiste ad un significativo innalzamento dei livelli della falda (+16 m), culminato con i massimi piezometrici relativi del 1978-79 e 1980-81, cui segue un periodo di sostanziale stabilità, protrattosi sino al 1992.

Dal 1992 sino a tutto il 1997, si assiste ad un progressivo innalzamento dei livelli di falda (+10 m), la cui causa è da ricercarsi in una serie di fattori concomitanti, quali un aumento della ricarica efficace che ha interessato l'alta e media pianura, il progressivo approfondimento delle captazioni potabili dell'acquedotto a causa del diffuso inquinamento delle falde più superficiali (solventi clorurati, atrazina, ecc.), nonché la diminuzione dei prelievi industriali in ambito urbano e periurbano.

A partire dal 1998, si assiste ad una nuova tendenza alla progressiva decrescita piezometrica, interrotta dall'innalzamento dei livelli conseguente agli eventi alluvionali dell'ottobre 2000 e del novembre 2002.

Le scarse precipitazioni 2003-2007 hanno causato un nuovo abbassamento delle quote piezometriche medie, pur di minore entità.





STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

L'aumento delle precipitazioni registrato dal 2008 sino a tutt'oggi ha determinato una generalizzata risalita dei livelli in tutta l'area metropolitana, come attestato dai dati relativi al piezometro 43 di Viale Van Gogh (ultima misura disponibile novembre 2015).

Attualmente la falda si colloca in lieve regresso rispetto ai massimi piezometrici assoluti della serie storica del gennaio 2015 (ventennio), tenuto conto della non ripetibilità degli andamenti precedenti agli anni 90 (irreversibili trasformazioni d'uso dei suoli a condizionamento della infiltrazione efficace, consolidata riduzione dei prelievi industriali, cessazione dei prelievi potabili da prima falda, etc).

La dinamica della falda negli ultimi 50 anni mostra pertanto che il prelievo da falda ha esercitato un ruolo importante sull'andamento piezometrico fino agli anni 70 (deficit di bilancio afflussi/deflussi); al contrario, nelle attuali condizioni di prelievo pressoché costante (ad esempio nell'ultimo ventennio), le oscillazioni sono viceversa legate al prevalere di fattori naturali di ricarica degli acquiferi, principalmente correlati all'andamento dei regimi meteorici.

#### **2.4 VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI**

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero esprime la facilità con cui un inquinante generico idroveicolato, disperso sul suolo o nei primi strati del sottosuolo, può raggiungere la sottostante falda e contaminarla.

Tale caratteristica è definibile in funzione di molteplici fattori, tra cui la profondità del livello piezometrico rispetto al piano campagna (soggiacenza) e le caratteristiche di permeabilità dei depositi soprafalda, con particolare riferimento alla presenza di strati a bassa permeabilità a tetto, con funzione di protezione o riduzione dall'infiltrazione di eventuali inquinanti.

Per la definizione del grado di vulnerabilità intrinseca è stato utilizzato il metodo GNDCI-CNR (Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei - Civita et Al. 1989).

L'acquifero superiore (gruppo acquifero A+B) a fronte delle locali caratteristiche di soggiacenza media (13-14 m da p.c.) ed in considerazione dell'elevata permeabilità dei terreni superficiali, presenta un alto grado di vulnerabilità intrinseca ai fenomeni di inquinamento eventualmente presenti in superficie o nel primo sottosuolo.

Le falde più profonde, generalmente riservate alla captazione idropotabile, risultano localmente protette da livelli argillosi continui di un certo spessore, che conferiscono isolamento dalla falda superiore e garantiscono, in condizioni naturali, un basso grado di vulnerabilità intrinseca.

La vulnerabilità delle falde intermedie e profonde può localmente aumentare a causa della loro eventuale miscelazione con la falda superiore, determinata dalla mancata



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

ricostruzione dei setti geologici attraversati dalle perforazioni (pozzi strutturalmente datati a dreno continuo).

### 3 INQUADRAMENTO IDRAULICO

#### 3.1 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI

Il **Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po**, nella seduta del **17 dicembre 2015** con deliberazione n. 4 (in corso di perfezionamento) e relativo allegato, ha adottato il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)**.

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. 49/2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a **ridurre le conseguenze negative delle alluvioni** per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Per il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po, brevemente **PGRA-Po**.

Il PGRA-Po è stato predisposto **dalle amministrazioni competenti per la difesa del suolo e la protezione civile nel Distretto Padano**, in coordinamento tra loro e con gli enti sovra regionali competenti per le due materie. Per il Distretto Padano gli autori sono: l'Autorità di Bacino del Po, le Regioni Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Veneto, Emilia Romagna, la Provincia Autonoma di Trento e il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

Il PGRA-Po contiene in sintesi:

- la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio, con particolare riferimento alle situazioni a maggiore criticità;
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni;
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi.

Le **mappe di pericolosità** evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di bassa probabilità (P1 - alluvioni rare con T=500 anni), di media probabilità (P2- alluvioni poco frequenti T=100-200 anni) e alta probabilità (P3 - alluvioni frequenti T=20-50 anni), distinte con tonalità di blu, la cui intensità diminuisce in rapporto alla diminuzione della frequenza di allagamento.

Le mappe identificano ambiti territoriali omogenei distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico e alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL).



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

Le **mappe del rischio** segnalano la presenza nelle aree allagabili di elementi potenzialmente esposti (popolazione, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) e il corrispondente livello di rischio, distinto in 4 classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2-Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4-Rischio molto elevato).

Con deliberazione 5/2015, nella seduta del 17 dicembre 2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del F. Po **adotta il Progetto di Variante alle Norme di Attuazione del PAI** e del PAI Delta, articolato come segue:

PARTE PRIMA: introduzione del Titolo V delle NA del PAI, recante "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA)";

PARTE SECONDA: introduzione della Parte III delle NA del PAI Delta, recante "Norme in materia di coordinamento tra il PAI Delta e il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA)".

Con l'adozione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, il Comune può decidere di attuare le norme di autotutela per cui il Piano diventa temporaneamente vigente e si applicano i suoi dispositivi.

Di seguito si richiamano sinteticamente alcuni articoli desunti dall'Allegato alla sopracitata Deliberazione C.I. n. 5 del 17 dicembre 2015 (in corso di perfezionamento), significativi dal punto di vista urbanistico.

**art. 51, comma 1:** gli elaborati cartografici rappresentati dalle Mappe della pericolosità e dalle Mappe del rischio di alluvione indicanti la tipologia e il grado di rischio degli elementi esposti (di seguito brevemente definite Mappe PGRA) e pubblicate sui siti delle Regioni, costituiscono integrazione al quadro conoscitivo del PAI....;

**art. 51, comma 3:** le suddette Mappe PGRA costituiscono quadro di riferimento per la verifica delle previsioni e prescrizioni del PAI ai sensi del precedente articolo 1, comma 9 delle Norme di Attuazione con riguardo, in particolare, all'Elaborato n. 2 (Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici- Inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo), all'Elaborato n. 3 (Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico) nonché per la delimitazione delle Fasce fluviali di cui alle Tavole cartografiche del PSFF en dell'Elaborato 8 del Piano;

**art. 58, comma 1:** le Regioni, ai sensi dell'art. 65, comma 6 del D. lgs. n. 152/2006, entro 90 giorni dalla data di entrata in vigore del presente Titolo V, emanano, ove necessario, disposizioni concernenti l'attuazione del PGRA nel settore urbanistico;

**art. 58, comma 2:** .....le Regioni individuano, ove necessario, eventuali ulteriori misure ad integrazione di quelle già assunte in sede di adeguamento dello strumento urbanistico al PAI. Dette misure, salva la possibilità di una loro migliore specificazione ed articolazione sulla base dei dati ed elementi a disposizione negli specifici casi, devono essere coerenti rispetto ai riferimenti normativi di seguito indicati:

Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP):



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

- nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3), alle limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme del precedente Titolo II del PAI;
- nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2), alle limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del precedente Titolo II del PAI;
- nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1), alle disposizioni di cui al precedente art 31 del PAI....;

**art. 59, comma 1:** in conformità con quanto stabilito dall'art. 7, comma 6, lett. a del D. lgs. n. 49/2010, tutti i Comuni, ove necessario, provvedono ad adeguare i rispettivi strumenti urbanistici....;

**art. 59, comma 2:** nell'ambito dell'attività di adeguamento di cui al comma precedente i Comuni, all'interno dei centri edificati (come definiti o nell'ambito delle legge regionali in materia, purché coerenti con le citate definizioni), adeguano i loro strumenti urbanistici al fine di minimizzare le condizioni di rischio esistenti, anche attraverso una valutazione più dettagliata delle condizioni di rischio locale.....

### 3.2 CARATTERI IDRAULICI DEL TORRENTE SEVESO

Il Torrente Seveso è stato oggetto di recenti studi di approfondimento a livello di bacino finalizzati all'analisi del comportamento idraulico del torrente e all'individuazione degli interventi di controllo delle piene, ed in particolare:

1. *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona'* condotto da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Po - 2003;
2. *Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa C.S.N.O. in località Palazzolo in comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del C.S.N.O. a Senago (MI)'*, predisposto da AIPO e redatto da ETATEC nel giugno 2011, in aggiornamento allo studio sopracitato.

Come già messo in evidenza nello studio dell'Autorità di Bacino del Fiume Po del 2003, l'apporto meteorico proveniente dal territorio dei comuni posti a valle del Canale Scolmatore supera da solo la capacità idraulica di portata del tratto tombinato del sistema Seveso-Redefossi. Pertanto, è risultato necessario che gli interventi da prevedersi nell'assetto di progetto dell'intera asta del torrente Seveso a monte della presa del C.S.N.O., consentissero di annullare la portata del Seveso a valle di tale opera di presa. Questo implica che la portata in arrivo da monte, convenientemente limitata per effetto di importanti laminazioni poste lungo l'asta del corso d'acqua, debba poter essere totalmente deviata nel C.S.N.O..

Inoltre, considerato che il C.S.N.O. nel tratto compreso tra il punto di presa sul Seveso e il punto di immissione dello sfioro del torrente Garbogera, è in grado di smaltire una portata di 25 m<sup>3</sup>/s, occorre prevedere che anche lungo il primo tratto del C.S.N.O. siano disposte opere di laminazione in grado di ridurre le portate derivate dal Seveso. In particolare, poiché l'onda di piena del Seveso (T=100 anni) a monte del C.S.N.O. è caratterizzata da un volume di circa 6,7 Mm<sup>3</sup> e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di 25 m<sup>3</sup>/s (0 m<sup>3</sup>/s a valle della presa del C.S.N.O. e



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

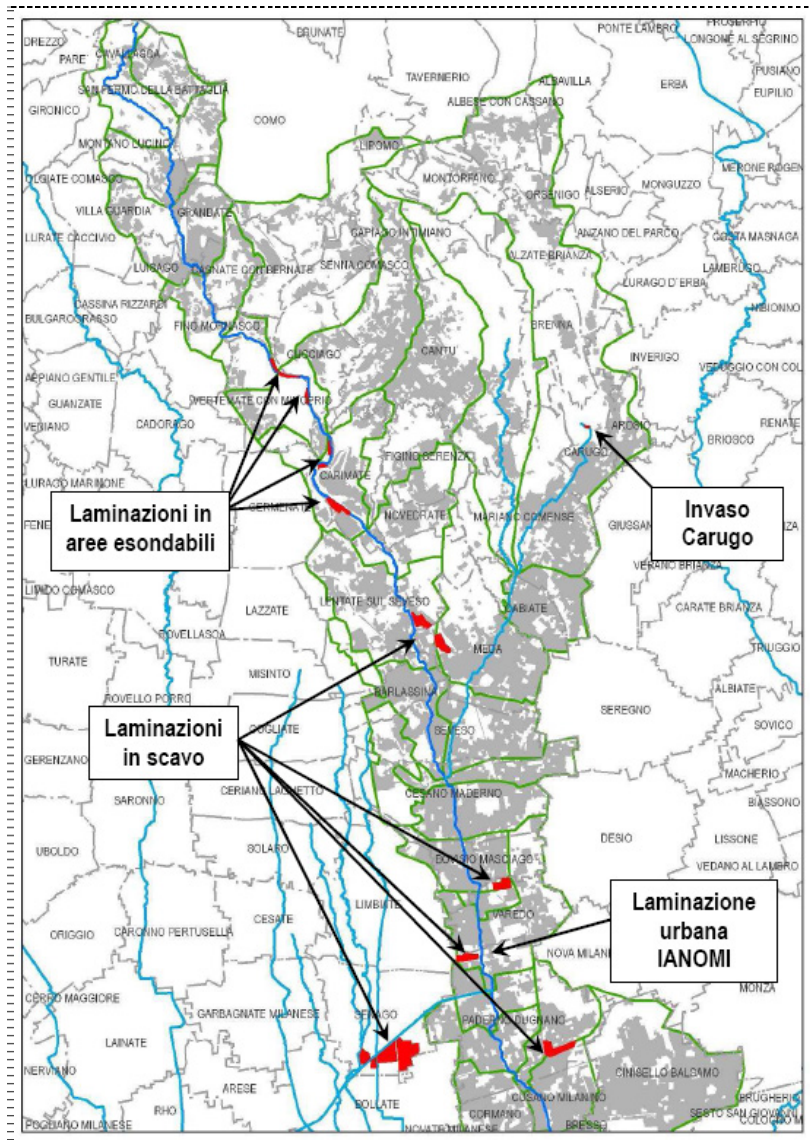
25 m<sup>3</sup>/s nel C.S.N.O. a monte dell'immissione dello sfioro del torrente Garbogera), il volume di laminazione necessario è risultato pari, in prima approssimazione, a circa 4,4 Mm<sup>3</sup>.

Si sono ricercati lungo l'asta del T. Seveso i possibili siti ove poter realizzazione le opere di laminazione necessarie al riassetto idraulico. In primo luogo sono state prese in considerazione le attuali aree soggette a fenomeni di esondazione, che non necessitano di interventi di messa in sicurezza, in quanto già oggi caratterizzate da una destinazione d'uso del suolo compatibile con i fenomeni di esondazione (es. agricolo, parco, ecc.).

Successivamente si è verificata la disponibilità di aree, attualmente non interessate da fenomeni di esondazione e poste anche non direttamente in fregio al corso d'acqua, ove prevedere la realizzazione di invasi di laminazione. Dato l'attuale contesto di uso del suolo (le aree libere da urbanizzazioni sono solo residuali) e data la notevole entità dei volumi di laminazione necessari (~ 4,4 Mm<sup>3</sup>), tali invasi di laminazione possono essere realizzati in scavo, con profondità massime rispetto al piano campagna di circa 20 ÷ 25 m.

Sono stati individuati dieci differenti siti in cui prevedere la realizzazione di invasi di laminazione, di cui sei in corrispondenza di aree di esondazione allo stato attuale (tre a Vertemate con Minoprio, una a Cantù e due a Carimate) e quattro in aree esterne all'ambito fluviale (laminazioni in scavo) nei comuni di Lentate sul Seveso, Varedo, Paderno Dugnano, Senago (lungo il C.S.N.O.).

Nella seguente immagine si riporta una planimetria del bacino del Seveso con le ubicazioni degli invasi di laminazione in progetto (sia in corrispondenza di aree esondabili che in scavo); e con l'ubicazione degli unici invasi presenti (invaso in Comune di Carugo e intervento di laminazione delle reti di drenaggio urbano in comune di Varedo).

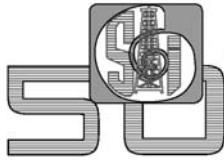


**Figura 3.1** – Ubicazione dei possibili invasi di laminazione (studio idraulico ETATEC s.r.l.)

Ad oggi le vasche di laminazione previste a Vertemate con Minoprio-Cantù-Carimate, a Lentate sul Seveso e a Senago sono in fase di avanzata progettazione esecutiva. La realizzazione/collaudo di tali opere sarà in grado di tutelare i comuni di valle dai fenomeni di esondazione.

### 3.3 RELAZIONI CON L'INTERVENTO

In riferimento all'area di studio, nelle seguenti immagini si riportano le mappature della pericolosità e rischio (aggiornamento 2015) relativi al **Torrente Seveso** (classificato come reticolo principale RP) desunte dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia.

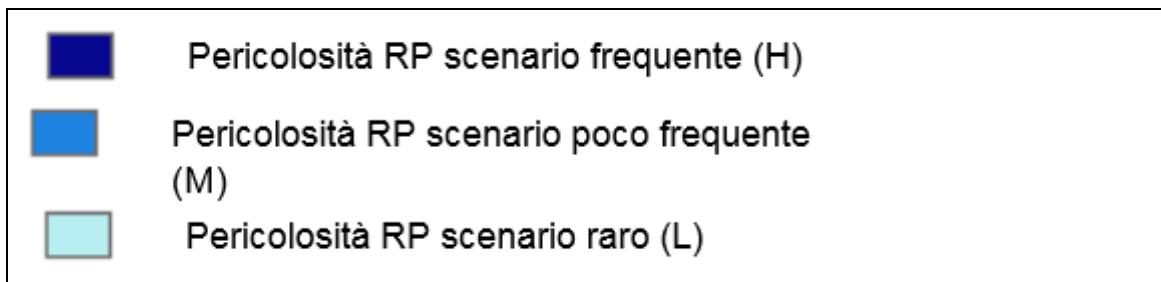
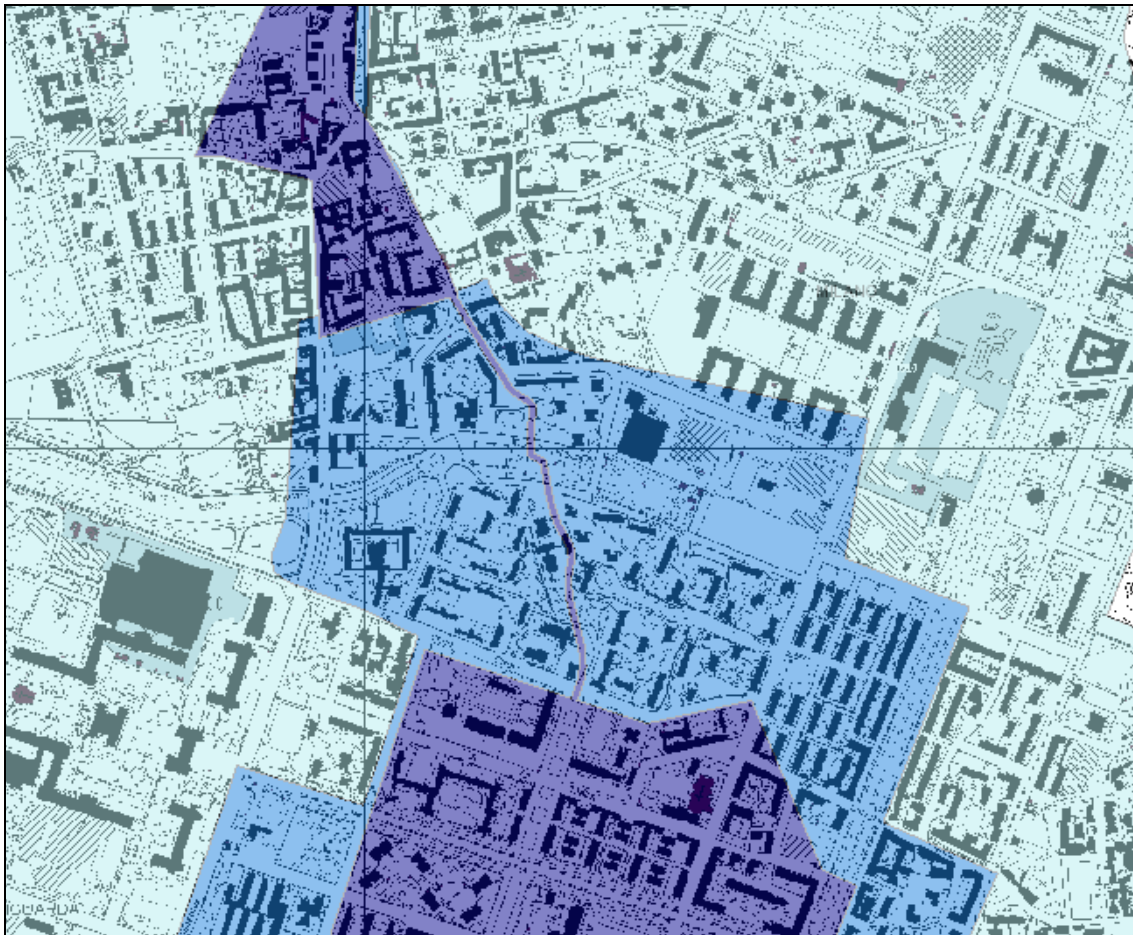


**STUDIO  
IDROGEOTECNICO**

1964 - 2014

**STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153



**Figura 3.2 - Direttiva Alluvioni - Mappe della pericolosità**

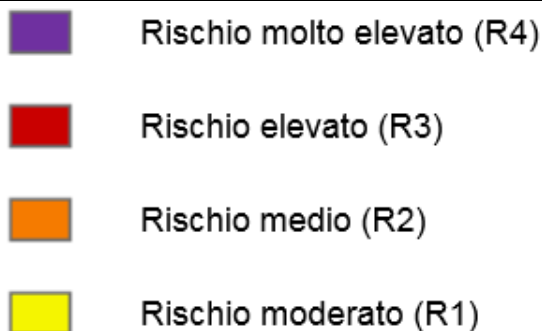
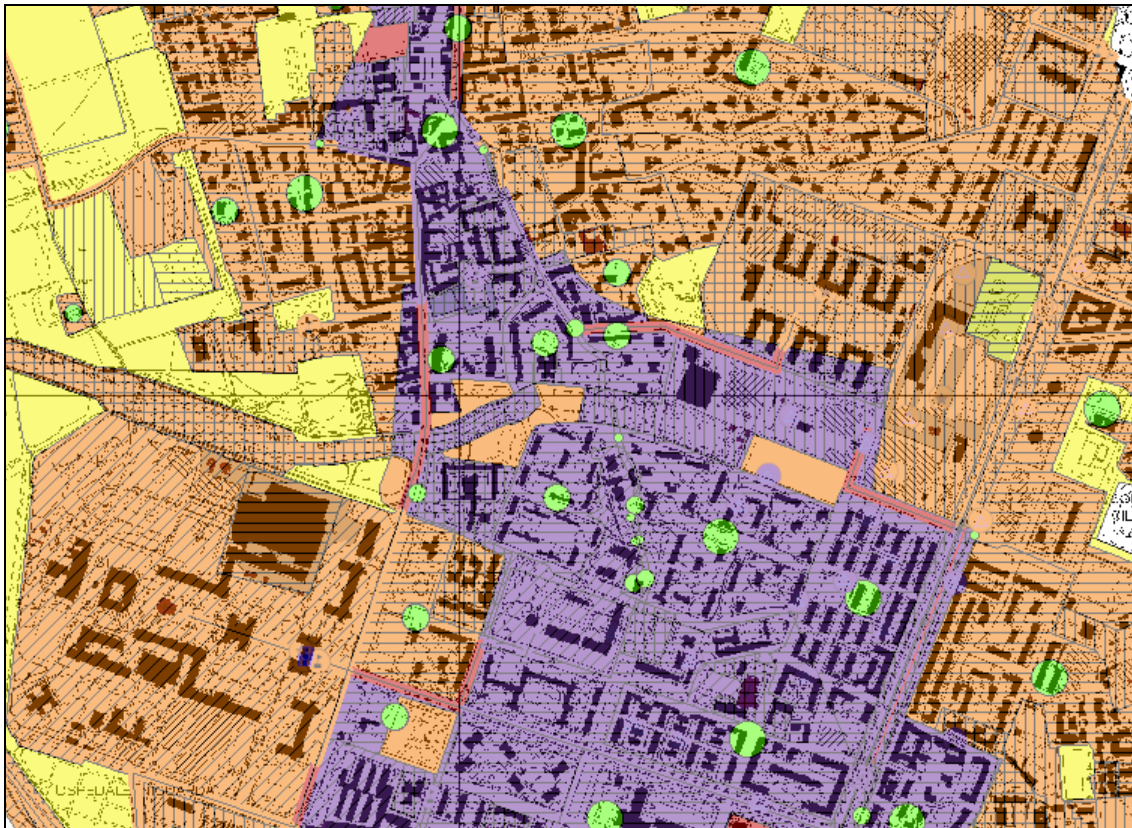


**STUDIO  
IDROGEOLOGICO**

1964 - 2014

**STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153



**Figura 3.3 - Direttiva Alluvioni - Mappa del rischio**

L'individuazione delle aree a differente pericolosità per l'area in esame e un suo significativo intorno è stata riportata in **Tav. 1**.

**Si osserva che l'area della ex Caserma Mameli ricade per la quasi totalità, per quanto riguarda la Mappa della pericolosità, nell'ambito a *Pericolosità RP scenario raro (L)* per un tempo di ritorno di 500 anni, ad eccezione di una minima porzione a sud lungo via Gregorovius (dove non sono previste nuove edificazioni) ricadente nell'ambito a *Pericolosità RP scenario poco frequente (M)* per  $Tr = 100$  anni.**





STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

**Rispetto alla Mappa del rischio la quasi totalità dell'area ricade nell'ambito a Rischio medio (R2), ad eccezione di una minima porzione a sud lungo via Gregorovius (dove non sono previste nuove edificazioni) ricadente nell'ambito a Rischio molto elevato (R4).**

L'individuazione delle classi di pericolosità idrauliche nel sito in esame evidenziate dalla mappa di pericolosità relativa alla Direttiva Alluvionali si ripercuote sulla fattibilità geologica allo stato attuale della porzione a sud lungo via Gregorovius.

L'applicazione della Tabella 1 alla D.G.R. IX/2616/2011<sup>2</sup> che indica i criteri per l'attribuzione delle classi di fattibilità geologica, attribuisce alle aree allagabili una **classe di fattibilità geologica minima 3, con consistenti limitazioni** all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso per la condizione di vulnerabilità idraulica; tale classificazione comporta l'effettuazione di supplementi di indagine finalizzati all'approfondimento delle problematiche idrauliche.

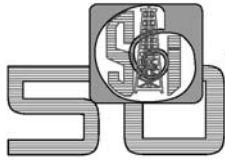
In sede di progettazione esecutiva degli interventi dovrà essere quindi redatto uno studio di compatibilità idraulica locale (SCI) secondo l'allegato 4 alla D.G.R. IX/2616/2011 "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione" e la Direttiva dell'Autorità di Bacino "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B", finalizzato alla verifica delle interferenze tra assetto idraulico ed intervento in progetto con individuazione delle opere di mitigazione del rischio sia in fase di cantiere che ad opere ultimate.

#### **4 INDAGINE GEOGNOSTICA IN SITO**

Al fine di ottenere i parametri necessari per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere in progetto è stata condotta una specifica campagna di indagini in sito, consistenti in 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT e in 2 prove sismiche MASW.

L'ubicazione delle indagini è illustrata nella seguente figura; in **All. 1** alla presente relazione è riportata l'ubicazione delle indagini sulla planimetria di progetto, mentre negli **All. 2 e 3** sono riportate le risultanze delle indagini eseguite.

<sup>2</sup> D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616 - Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 8/1566 e successivamente con D.G.R. 28 maggio n. 8/7374

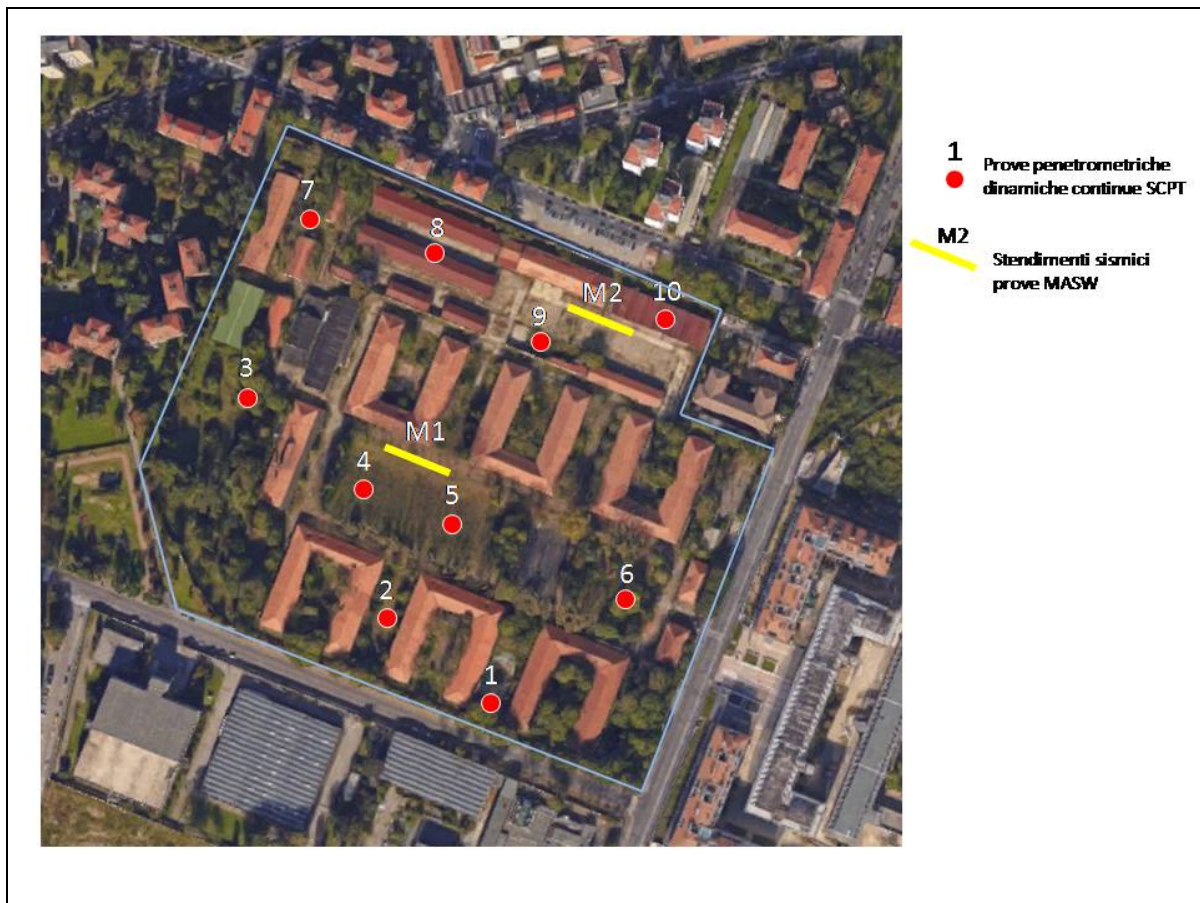


**STUDIO  
IDROGEOTECNICO**

1964 - 2014

**STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153



**Figura 4.1 - Ubicazione delle indagini**

## **4.1 METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI**

### **4.1.1 Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT**

La prova penetrometrica standard (Standard Cone Penetration Test) consiste nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.

#### *Caratteristiche tecniche:*

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg
- punta conica: conicità 60°,  $\phi = 51$  mm;
- aste:  $\phi = 34$  mm



**STUDIO IDROGEOLOGICO APPLICATO S.p.A.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

Il risultato viene restituito in forma di grafico con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).



**Figura 4.2 Esecuzione delle prove penetrometriche**

#### **4.1.2 Prova sismica MASW**

Le prove sismiche sono state eseguite al fine di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vs30.

Le caratteristiche della prova vengono schematizzate nella seguente tabella:

| <b>Stendimento geofonico (m)</b> | <b>Energizzazioni</b> | <b>Geofoni</b> |
|----------------------------------|-----------------------|----------------|
| 46                               | 8                     | 24             |



**Figura 4.3 Esecuzione delle prove sismiche**

#### 4.1.2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

L'intero processo comprende tre passi: l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente, come nelle indagini effettuate per il caso in esame.

In **All. 3.1** e **3.2** sono riportati i risultati delle prove MASW. Nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro **V<sub>s30</sub>** calcolato.



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

## 4.2 DESCRIZIONE DEL CANTIERE

Il piano di inizio indagini coincide col piano stradale.

Le prove penetrometriche sono state spinte fino a rifiuto strumentale ad una profondità variabile tra 12 e 14 metri.

**Le quote sui grafici di penetrazione sono riferite al piano di inizio delle indagini e non allo "zero" di progetto.**

## 4.3 CONDIZIONI PIEZOMETRICHE LOCALI

Durante l'esecuzione delle prove non è stato rilevato il livello della falda freatica. In coerenza con le elaborazioni piezometriche di cui al paragrafo 2.3, è possibile collocare la soggiacenza a circa 13 - 14 m dal piano campagna, ovvero prossima alla profondità massima di prova.

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 5.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Le prove penetrometriche eseguite hanno permesso di rilevare lo stato di addensamento degli strati di terreno investigati, prevalentemente sabbioso ghiaiosi (vedi sezioni di Tav. 1); in particolare, dai valori rilevati, è possibile definire la seguente stratigrafia:

- da piano inizio indagini a - 4.5/6 m sabbia con ghiaia avente grado di addensamento scarso;
- da - 4.5/6 m a - 12/14 m ghiaia sabbiosa avente grado di addensamento buono.

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche.

I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.

I valori delle resistenze all'avanzamento delle prove penetrometriche dinamiche sono stati correlati ai valori di  $N_{SPT}$ , utilizzati per la valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità, mediante la seguente relazione:

$$N_{SPT} = 1,5 N_{scpt}$$



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e della caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn$$

dove: **N'(60)** = valore di resistenza normalizzato  
**Cr** = fattore di correzione funzione della profondità  
**Cd** = fattore di correzione funzione del diametro del foro  
**Cn** = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno  
**1.08** = valore di correzione funzione delle caratteristiche di restituzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura.

La stima del valore della densità relativa ( $D_r$ ) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$D_r \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.

Sono state pertanto riconosciute **2 unità geotecniche** aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:



STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

|  | PARAMETRO              | VALORE               | NOTE                            |
|--|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| <b>UNITA' 1</b><br><b>Da piano strada a</b><br><b>circa - 4.5 / 6 m</b>    | <b>N<sub>SPT</sub></b> | 5                    | Numero colpi/30 cm              |
|  | <b>Φ</b>               | 26°                  | Angolo di attrito del materiale |
|  | <b>γ</b>               | 18 kN/m <sup>3</sup> | Peso di volume                  |
|  | <b>Dr</b>              | 20%                  | Densità relativa                |
| <b>UNITA 2</b><br><b>da circa -6 / 7 m a</b><br><b>termine delle prove</b> | <b>N<sub>SPT</sub></b> | 34                   | Numero colpi/30 cm              |
|  | <b>Φ</b>               | 34°                  | Angolo di attrito del materiale |
|  | <b>γ</b>               | 19 kN/m <sup>3</sup> | Peso di volume                  |
|  | <b>Dr</b>              | 70%                  | Densità relativa                |

Secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche, tali parametri meccanici devono essere trattati in maniera statistica, adottando valori a cui sia associata una probabilità di superamento non superiore a 5% (2.3 – NTC2008), ottenendo parametri definiti "caratteristici". Nel caso in esame appare giustificato il riferimento a valori medi, vista la confrontabilità delle prove.

| profondità             | Φ <sub>nominale</sub> (da prove) | Φ <sub>k</sub> (caratteristico) |
|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0.00 – 4.5 / 6 m       | 26°                              | 26°                             |
| 4.5 / 6 m – fine prove | 34°                              | 34°                             |

## 5.2 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

L'intervento prevede la realizzazione di un complesso residenziale, con edifici costituiti da uno/due piani interrati e da quattro a undici piani fuori terra.

Il piano di posa delle fondazioni, considerate di tipo "dirette e continue" sarà posizionato a - 4,0 metri dal piano di inizio prove nel caso di un piano interrato, a - 8,0 metri nel caso di due piani interrati.

Le fondazioni avranno una larghezza massima di 2/3 metri e una profondità di incasso di 1 metro.

I carichi, allo stato limite ultimo, saranno compresi tra 60, 80 e 100 tonnellate a metro lineare.

## 5.3 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO

Per il calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , la normativa impone l'utilizzo di coefficienti parziali riduttivi, da applicare ai valori caratteristici dei parametri meccanici del terreno, secondo due approcci (6.4.2.1 – NTC2008).

Le verifiche devono essere effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

- SLU di tipo strutturale (STR)

accertando che sia valida la condizione  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione e  $R_d$  è il valore di progetto di resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

E' stato scelto l'utilizzo dell'approccio 2, dove è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

### Approccio 2: (azioni A1 + materiali M1 + resistenze R3)

**I coefficienti parziali dei parametri di resistenza del terreno (M) sono unitari e la resistenza globale del sistema (R) è ridotta tramite il coefficiente del gruppo R3, pari a 2,3.**

Una volta conosciuti ed elaborati i parametri geotecnici, calcoliamo la resistenza di progetto; la valutazione è eseguita sulla base dell'equazione proposta da Brinch-Hansen (1970); l'equazione adottata, nella sua forma più generale, è la seguente:

$$R_k = 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma + c N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q$$

|  |                           |   |   |
|--|---------------------------|---|---|
| dove: <b>R<sub>k</sub></b>                         | <b>(kPa)</b>              | = | resistenza allo stato limite ultimo                 |
| <b>γ</b>   | <b>(kN/m<sup>3</sup>)</b> | = | peso di volume                                      |
| <b>B</b>   | <b>(m)</b>                | = | larghezza della fondazione                          |
| <b>c</b>   | <b>(kPa)</b>              | = | coesione  |
| <b>q</b>   | <b>(kPa)</b>              | = | $\gamma \times D$ = sovraccarico dovuto al rinterro |
| <b>D</b>   | <b>(m)</b>                | = | profondità di incasso della fondazione              |
| <b>N<sub>γ</sub>, N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub></b> |                           | = | fattori di capacità portante                        |
| <b>s<sub>γ</sub>, s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub></b> |                           | = | fattori forma                                       |
| <b>d<sub>γ</sub>, d<sub>c</sub>, d<sub>q</sub></b> |                           | = | fattori profondità                                  |

Alle quote di imposta considerate, il risultati ottenuti sono:

**P.p.f. a – 4 metri → Approccio 2: R<sub>k</sub> = 435 kPa;**

**P.p.f. a – 8 metri → Approccio 2: R<sub>k</sub> = 1014 kPa.**

Per il calcolo del valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, l'approccio impone il coefficiente parziale R3 = 2,3.





STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

Ne consegue che la resistenza di progetto  $R_d$ , che non deve essere superata dalle azioni di progetto  $E_d$ , è:

**P.p.f. a – 4 metri → Approccio 2:  $R_d = 189$  kPa (> $E_d$ );**

**P.p.f. a – 8 metri → Approccio 2:  $R_d = 441$  kPa (> $E_d$ ).**

Per il calcolo dei cedimenti, si valuta il carico di esercizio (Stato Limite di Esercizio), ovvero considerando le azioni non amplificate dai coefficienti  $A_1$ ; pertanto il valore di progetto  $R_d$  viene diviso per il valore medio dei coefficienti di amplificazione delle azioni ( $A_1$ ) che, nel caso dell'approccio considerato, è quantificabile in **1,4**.

Viene infine condotta la verifica dei cedimenti relativa ad una pressione sul terreno da parte delle fondazioni pari a circa:

**P.p.f. a – 4 metri → Approccio 2:  $SLE = 135$  kPa;**

**P.p.f. a – 8 metri → Approccio 2:  $SLE = 315$  kPa.**

#### 5.4 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti viene utilizzato il metodo di Burland & Burbidge, basato su un'analisi statistica di oltre 200 casi reali comprendenti fondazioni di dimensioni variabili tra 0.8 e 135 m. L'espressione per il calcolo dei cedimenti è la seguente:

$$s = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{vo} \cdot B^{0.7} \cdot \frac{I_C}{3} + (q' - \sigma'_{vo}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right]$$

dove:  $q'$  = pressione efficace lorda (kPa),

$\sigma'_{vo}$  = tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione (kPa)

$B$  = larghezza della fondazione (m)

$I_C$  = indice di compressibilità

$f_s, f_H, f_t$  = fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, della spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

I valori dei cedimenti forniti dall'equazione sopra esposta sono espressi in mm.

Il valore medio di  $I_C$  è dato da:

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$



**STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
CF- P.Iva 11581170153

dove  $N_{AV}$  rappresenta la media dei valori  $N_{SPT}$  all'interno di una profondità significativa,  $z_i$ , deducibile da dati tabulati da Burland & Burbidge (1984) e reperibili in letteratura tecnica.

Se lo strato compressibile ha uno spessore  $H$  inferiore ai valori di  $z_i$ , nell'equazione per il calcolo del cedimento se ne tiene conto tramite il fattore  $f_H$  dalla seguente relazione:

$$f_H = \frac{H}{z_i} \cdot \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right)$$

Il fattore di forma  $f_s$  è dato da:

$$f_s = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2$$

Infine, il fattore correttivo  $f_t$ , è dato da:

$$f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

in cui  $t$  = tempo espresso in anni ( $\geq 3$ );

$R_3$  = costante pari a 0,3 nel caso di carichi statici.

| <b>P.p.f. a – 4 metri</b>                                    |                     |                       |
|--|---------------------|-----------------------|
| <b>Calcolo dei cedimenti - Burland &amp; Burbidge (1984)</b> |                     |                       |
|  | <b>Tempo, 0 sec</b> | <b>Tempo, 10 anni</b> |
| Pressione: 135 kPa (SLE),<br>Carico = 100 t/ml               | $s_t = 15$ mm       | $s_t = 25$ mm         |
| Pressione: 135 kPa (SLE),<br>Carico = 80 t/ml                | $s_t = 9$ mm        | $s_t = 16$ mm         |
| Pressione: 135 kPa (SLE),<br>Carico = 60 t/ml                | $s_t = 5$ mm        | $s_t = 10$ mm         |



**STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.a.s.**  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

| <b>P.p.f. a – 8 metri</b>                                    |                     |                       |
|--|---------------------|-----------------------|
| <b>Calcolo dei cedimenti - Burland &amp; Burbidge (1984)</b> |                     |                       |
|  | <b>Tempo, 0 sec</b> | <b>Tempo, 10 anni</b> |
| Pressione: 315 kPa (SLE),<br>Carico = 100 t/ml               | $s_i = 12$ mm       | $s_t = 23$ mm         |
| Pressione: 315 kPa (SLE),<br>Carico = 80 t/ml                | $s_i = 8$ mm        | $s_t = 15$ mm         |
| Pressione: 315 kPa (SLE),<br>Carico = 60 t/ml                | $s_i = 4$ mm        | $s_t = 8$ mm          |

### 5.5 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER

Il valore del coefficiente di Winkler è il parametro che permette di determinare la rigidità di una fondazione; viene calcolato con il metodo di Vesic che lega il coefficiente ai cedimenti (immediati) della fondazione ed al carico allo SLU.

L'espressione generale adottata per il calcolo è la seguente:

$$K_w = R_d \times C$$

Dove C è un coefficiente adimensionale inversamente proporzionale al valore di cedimento.

| <b>P.p.f. a – 4 metri</b> |                        |                       |   |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| <b>CARICO (t/ml)</b>      | <b>PRESSIONE (kPa)</b> | <b>CEDIMENTI (mm)</b> | <b>COEFF. DI WINKLER (kN/m<sup>3</sup>)</b> |
| 100                       | 189                    | 15/25                 | 13230                                       |
| 80                        | 189                    | 9/16                  | 22680                                       |
| 60                        | 189                    | 5/10                  | 32130                                       |



STUDIO IDROGEOLOGICO  
 APPLICATO S.a.s.  
 Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
 tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
 e-mail: stid @ fastwebnet.it  
 PEC: stid@pec.studioidrogeologico.com  
 CF- P.Iva 11581170153

| P.p.f. a – 8 metri |                 |                |  |
|--------------------|-----------------|----------------|--|
| CARICO (t/ml)      | PRESSIONE (kPa) | CEDIMENTI (mm) | COEFF. DI WINKLER (kN/m <sup>3</sup> ) |
| 100                | 441             | 12/23          | 39690                                  |
| 80                 | 441             | 8/15           | 61740                                  |
| 60                 | 441             | 4/8            | 79380                                  |

## 6 ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE

Il Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" impone la verifica delle azioni sismiche sulle nuove costruzioni.

Come prima fase si determinano i parametri delle azioni sismiche di progetto proprie del sito oggetto di intervento; ai sensi della Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129, il territorio comunale di Milano è collocato in zona sismica 3, con parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento  $T_r$ , riportati nella seguente tabella:

| Stato Limite         | $T_r$ [anni] | $a_g$ [g[-] | $F_o$ [-] | $T^*_c$ [s] |
|----------------------|--------------|-------------|-----------|-------------|
| Operatività          | 30           | 0.019       | 2.557     | 0.160       |
| Danno                | 50           | 0.024       | 2.543     | 0.190       |
| Salvaguardia Vita    | 475          | 0.050       | 2.655     | 0.280       |
| Prevenzione Collasso | 975          | 0.060       | 2.688     | 0.300       |

dove:  **$A_g$**  = accelerazione orizzontale massima al sito  
 **$F_o$**  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  
 **$T_c$**  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza dell'opera, è stata assegnata ai manufatti una vita nominale  $V_n$  (2.4.1 - NTC2008) maggiore di 50 anni e una classe d'uso "II" (2.4.2 - NTC2008).

Ne consegue che il periodo di riferimento  $V_r$  per le azioni sismiche è pari a

$$V_n \times C_u \text{ (coefficiente d'uso = 1 per classe d'uso "II")} = 50 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto tiene inoltre conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 - NTC2008); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi



STUDIO IDROGEOLOGICO  
APPLICATO S.p.A.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

30 metri, e definite dai seguenti parametri: velocità delle onde S, numero colpi SPT e/o coesione non drenata.

Le NTC2008 raccomandano la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio VS; a tale scopo sono state eseguite due prove sismiche MASW, i cui risultati sono stati:

**$V_{s30} = 332 \text{ m/s e } 350 \text{ m/s}$**

L'area oggetto di indagine presenta quindi terreni rientranti nella **categoria C**, definiti nel Decreto Ministeriale come "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

## **7 RIASSUNTO DEI PARAMETRI E DELLE CARATTERISTICHE DEL TERRENO**

CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE: **sabbia con ghiaia fino a - 4,5/6 metri; ghiaia sabbiosa da - 4,5/6 metri a - 12 metri.**

STATO DI ADDENSAMENTO ALLE QUOTE DI IMPOSTA: **scarso a - 4 metri, buono a - 8 metri.**

STATO LIMITE DI ESERCIZIO ALLE QUOTE DI IMPOSTA: **135 kPa a - 4 metri, 315 kPa a - 8 metri**

COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO (WINKLER):

- **P.p.f. a - 4 metri → per 100 t/ml, 13230 kN/mc; per 80 t/ml, 22680 kN/mc; per 60 t/ml 32130 kN/mc.**
- **P.p.f. a - 8 metri → per 100 t/ml, 39690 kN/mc; per 80 t/ml, 61740 kN/mc; per 60 t/ml 79380 kN/mc.**

PRESENZA DI ACQUE SOTTERRANEE: **livello di falda ad una profondità di circa 13-14 metri dal piano strada**



STUDIO IDROGEOTECNICO  
APPLICATO S.a.s.  
Dott. Ghezzi Efrem & C.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
e-mail: stid @ fastwebnet.it  
PEC: stid@pec.studioidrogeotecnico.com  
CF- P.Iva 11581170153

CATEGORIA SISMICA DEL SUOLO: **C - Vs30 = 332 m/s e 350 m/s.**

## **8 CONCLUSIONI**

L'indagine ha definito il modello geotecnico dell'area per la attuale fase di pianificazione attuativa; in fase di progettazione esecutiva degli interventi, in relazione alle piu' scadenti caratteristiche geotecniche presenti fino a 4,5-6 m, nel caso di realizzazione di edifici con un unico piano interrato e qualora non si opti per una soluzione fondazionale piu' profonda dei 4 m indicati si consiglia un'integrazione dell'indagine geognostica, atta a definire in modo più puntuale lo spessore dello strato sciolto superficiale, tramite sondaggi geognostici a carotaggio, SPT in foro ed analisi di identificazione in laboratorio.

Un numero limitato di sondaggi geognostici a carotaggio continuo (30 m), a valere come taratura dei dati piu' profondi dei 14 m investigati sono infine parimenti consigliati per le zone interessate dagli edifici di piu' alti.

**Il tecnico incaricato**  
**Dott. Geol. Efrem Ghezzi**