

Componenti Geologica, Idrogeologica e Sismica

Componente Sismica Analisi della sismicità del territorio e valutazione degli effetti sismici di sito

Allegato 2

Elaborato modificato a seguito dell'approvazione delle controdeduzioni alle osservazioni, dei pareri degli Enti e dei municipi e dell'accoglimento delle proposte di modifica presentate dal C.C.

Riferimento Codice Delibera di Approvazione PGT

T.1.2_0809_00_0101



Comune di
Milano

Adozione: Delibera n. 2 Seduta Consiliare del 05.03.2019
Approvazione: Delibera n. 34 Seduta Consiliare del 14.10.2019
Pubblicazione: BURL Serie Avvisi e Concorsi n...

Indice

1	Premessa e riferimenti normativi	1
1.1	Procedura di valutazione.....	2
1.1.1.	Primo livello di approfondimento	2
1.1.2.	Secondo livello di approfondimento.....	3
2	Inquadramento geomorfologico – geologico	6
2.1	Premessa	6
2.2	Caratteri geomorfologici e geologici	6
2.3	Stratigrafia	6
2.3.1.	Supersistema Lombardo Inferiore (LI)	7
2.3.2.	Supersistema Lombardo Superiore (LS)	7
2.3.3.	Unità di Superficie.....	7
2.3.3.1	Unità di Guanzate (BEZ)	8
2.3.3.2	Unità di Minoprio (BMI)	8
2.3.3.3	Unità di Bulgarograsso (BXE).....	9
2.3.3.4	Alloformazione di Cantù (LCN)	9
2.3.3.5	Alloformazione di Ronchetto delle Rane (LCN ₄).....	10
2.3.3.6	Sistema del Po (Pg)	10
3	Inquadramento idrogeologico	12
3.1	Struttura degli acquiferi	12
3.2	Caratteristiche freatiche.....	13
4	Primo livello di approfondimento.....	15
4.1	Procedura di riferimento	15
4.2	Carta Geologica	15
4.3	Sezioni geologiche	16
4.4	Carta geomorfologica	19
4.5	Pericolosità da liquefazione	20
4.5.1.	Analisi stratigrafica.....	22
4.5.2.	Soggiacenza della falda	24
4.5.3.	Accelerazione massima al suolo.....	25
4.6	Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL).....	26
5	Secondo livello di approfondimento	28
5.1	Caratterizzazione sismica del territorio.....	28
5.1.1.	Campagna di indagine	28
5.1.2.	Analisi dei fattori di amplificazione.....	31
5.2	Cartografia di microzonazione sismica.....	37
5.2.1.	Carta dei fattori di amplificazione.....	37

5.2.2. Confronto tra i fattori di amplificazione calcolati e di quelli previsti dalla normativa	38
---	----

1 Premessa e riferimenti normativi

Il presente documento descrive le attività di analisi e di studio condotte ai fini dell'aggiornamento della componente sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Milano.

La metodologia seguita è pienamente coerente con i contenuti della Delibera di Giunta Regionale 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 modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374.

Per quanto riguarda l'analisi della pericolosità sismica e con riferimento alle caratteristiche del territorio in esame assume rilevanza la valutazione degli effetti di sito o di amplificazione sismica locale.

Tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:

effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

gli effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

Lo studio della pericolosità sismica locale prevede tre livelli di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale individuati.

I livelli di approfondimento sono di seguito definiti:

1^o livello: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5 della DGR IX/2616 (Fig. 2), in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).

2^o livello: caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

- L'applicazione del 2^o livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3^o livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;

- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Il Comune di Milano è stato Classificato in Zona Sismica 3 e pertanto è tenuto a sviluppare anche gli approfondimenti di II° livello.

Per quanto riguarda il terzo livello di approfondimento deve essere evidenziato che esso è da sviluppare in fase progettuale.

1.1 Procedura di valutazione

La Procedura di valutazione per i diversi livelli di approfondimento è definita dal seguente diagramma di flusso:

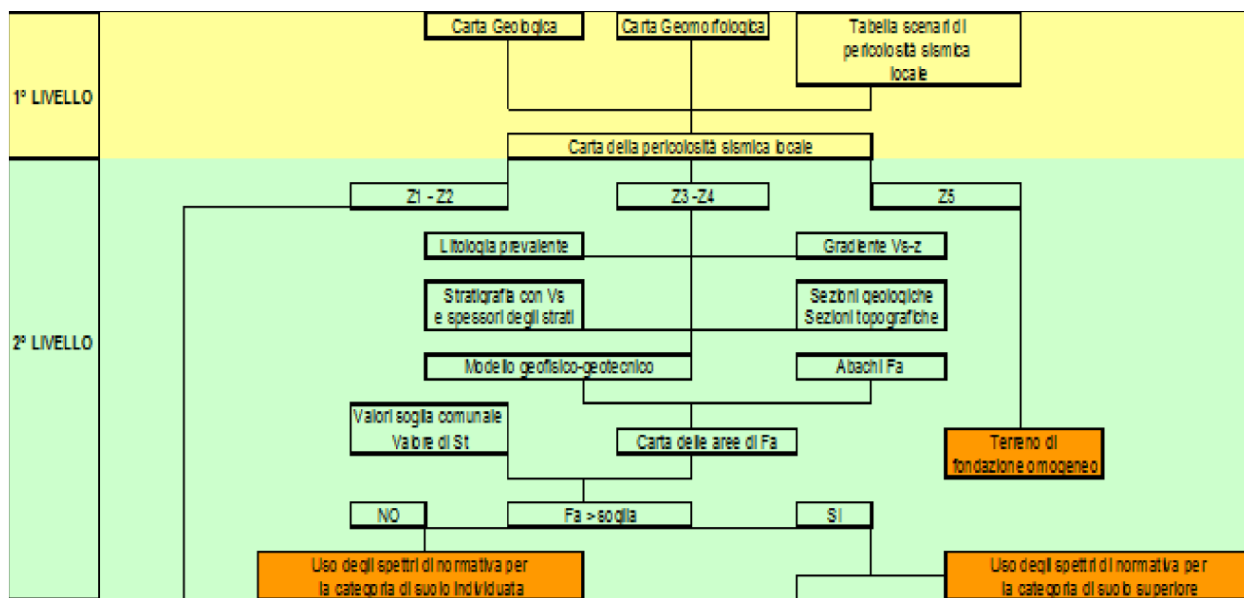


Fig. 1 Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei livelli di indagine

1.1.1. Primo livello di approfondimento

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovra-consolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.

Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:

- carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella seguente).

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Fig. 2 Scenari di pericolosità sismica locale - Tabella 1 allegato 5 della DGR IX/2616

Nel territorio in esame assumono rilevanza gli scenari di pericolosità sismica locale classificati con le sigle Z2, e Z4.

1.1.2. Secondo livello di approfondimento

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4). La procedura consiste in un approccio di tipo semi-quantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale;

in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle V_s può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa **scheda di valutazione** di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle V_s con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di V_s con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di V_s escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T_2 .

Il valore di V_s dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di V_s dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione).

Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità V_s calcolata come media pesata del valore di V_s degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

2 Inquadramento geomorfologico – geologico

2.1 Premessa

L'area di studio ricade quasi integralmente all'interno del Foglio n. 118 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Il Foglio è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG (Legge 226/1999) con convenzione tra Servizio Geologico Nazionale e Regione Lombardia. La recente pubblicazione della carta permette di considerare questo riferimento bibliografico come la sintesi più completa ed aggiornata delle conoscenze geologiche e come tale è stata utilizzata come riferimento essenziale per la redazione del presente lavoro.

2.2 Caratteri geomorfologici e geologici

Nell'ambito dell'area considerata, gli elementi geomorfologici sono connessi alle fasi erosionali di ambiente fluviale, pleistoceniche ed oloceniche e, soprattutto, alle modifiche apportate dall'attività antropica a partire dal XIII secolo. Il territorio risulta prevalentemente sub-pianeggiante; si riconoscono orli di terrazzo nel settore nord-occidentale (Parco delle Groane) lungo il corso del Lambro e nella zona meridionale del territorio comunale.

Dal punto di vista più strettamente geologico, il territorio è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali legati all'attività dei corsi d'acqua del bacino Lambro, Seveso, Olona. Una prima e fondamentale distinzione di tali depositi può essere effettuata su base morfologica: in questo ambito territoriale è infatti possibile identificare differenti livelli topografici, ognuno corrispondente a una o più unità geologiche. Questi sistemi morfologici sono, dal più al meno elevato: 1) sistema dei terrazzi dell'Alta Pianura; 2) livello modale della pianura; 3) sistema delle valli fluviali.

L'ambito di maggior estensione è il livello modale della pianura, che racchiude all'incirca il 75% del territorio.

Con il termine "livello modale della pianura" si intende la superficie pianeggiante di maggior estensione, apparentemente omogenea e priva di significative discontinuità morfologiche (ad eccezione di quelle delle valli fluviali) che si estende tra quota 200 e 100 m circa, con pendenza regionale verso SSE, insinuandosi ed isolando, nella sua parte settentrionale, i sistemi terrazzati. I depositi sono prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie prevalenti), testimoni di un ambiente fluviale di tipo braided; nel settore meridionale del Foglio sono localmente presenti depositi fini (limi e argille), legati ad isolate aree a sedimentazione palustre.

La piana è solcata dalle incisioni ("valli fluviali") dei principali corsi d'acqua, che tagliano il Foglio in direzione NO-SE (Fiume Olona e Torrente Bozzente) o N-S (Torrenti Lura, Seveso, Lambro Meridionale, Vettabbia e Fiume Lambro). Esse rappresentano le fasi più recenti dell'evoluzione della pianura, riconducibili al tardo Pleistocene superiore e all'Olocene. All'interno degli alvei sono confinati sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nel settore settentrionale, passanti a sabbioso-limosi in quello meridionale.

La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano. La successione sedimentaria plio-pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo (Regione Lombardia & EN I, 2002; Muttoni et alii, 2003): alla base sono presenti depositi torbidity di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all'azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici.

2.3 Stratigrafia

L'identificazione di due superfici principali di discontinuità di scala regionale, riconosciute e mappate su gran parte del bacino padano (Regione Emilia-Romagna & EN I Agip, 1998, Regione Lombardia & ENI, 2002, Muttoni et alii, 2003, Scardia et alii, 2012) ha portato dunque a definire le seguenti unità di sottosuolo: supersistema Padano (PD), supersistema Lombardo Inferiore (LI) e supersistema Lombardo

Superiore (LS). La scelta del rango di supersistema di queste unità è legata al fatto che esse sono definite da superfici di inconformità di rango regionale.

In sottosuolo, il riconoscimento delle superfici di separazione tra i tre supersistemi è avvenuto partendo dal quadro di riferimento delineato nello studio Regione Lombardia & ENI (2002) ed effettuando l'analisi dei cicli deposizionali di diverso ordine gerarchico riconoscibili nelle stratigrafie di pozzi e sondaggi.

Per gli scopi del presente studio e per la disponibilità di dati stratigrafici insufficienti a definire l'assetto delle unità più profonde, sono stati considerati e rappresentati nelle sezioni interpretative solo i supersistemi lombardo inferiore e superiore.

2.3.1. *Supersistema Lombardo Inferiore (LI)*

I depositi del supersistema Lombardo Inferiore LI sono costituiti da corpi spessi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora ciottoli, localmente cementati ("Ceppo" Auct. p.p.). I livelli sabbiosi sono generalmente massivi, talora laminati, con frequente presenza di ciottoli. I livelli pelitici (limi, limi argillosi ed argille limose), per quanto di ridotto spessore, mostrano comunque una certa continuità laterale. Localmente sono segnalati nelle stratigrafie di pozzi per acqua livelli di argille di colore rossastro, attribuibili a paleosuoli.

L'ambiente deposizionale è stato interpretato come piana alluvionale; data la presenza significativa di granulometrie sabbiose, tenuto anche conto del contesto sedimentario di questo settore di bacino, con un'elevata disponibilità di materiali grossolani provenienti, tra l'altro, dagli anfiteatri glaciali presenti al margine sudalpino, nonché la relativa organizzazione latero-verticale dei sedimenti, si ritiene che l'ambiente deposizionale sia più in particolare riferibile ad una piana a braided, relativamente distale. I corpi sabbioso ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, in una piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono del canale fluviale.

2.3.2. *Supersistema Lombardo Superiore (LS)*

Questa unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequenti ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. Le ghiaie sono prevalentemente clast supported, mal stratificate, passanti localmente a sabbie ghiaioso ciottolose interpretabili come sequenze amalgamate o incomplete di cicli fining upward. Litologie fini (limi e limi argillosi) sono talora presenti, ma con ridotta continuità laterale. La scarsità di livelli sabbiosi e di successioni fining upward ben definite sembra testimoniare la presenza di frequenti fenomeni di erosione in un ambiente fluviale di alta energia. L'ambiente deposizionale è riferibile ad una piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale, data la grossolanità dei sedimenti e la loro scarsa organizzazione.

2.3.3. *Unità di Superficie*

Il supersistema di Besnate rappresenta l'unità di superficie prevalente nell'ambito del territorio analizzato. È costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili d'alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte della pianura. Nonostante l'elevato numero di unità riconosciute, la litologia è alquanto omogenea in quanto è costituito da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; ghiaie a supporto di matrice; sabbie medie e grossolane. Clasti poligenici da arrotondati a subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

Le unità che costituiscono il supersistema sono descritte nella tabella riportata nella seguente immagine, tratta dalle note illustrative del Foglio 118.

unità	litologia	copertura	spessore suolo ₁	colore matrice	petrografia
Sumirago	ghiaie	loessico-colluviale	2 m	7.5YR-10YR	REM* e porfidi prevalenti
Guanzate	ghiaie prevalenti	non riconoscibile-assente	1,5-1,8 m	7.5YR (5YR)	REM, marne e terrigene REM e calcari prevalenti
Cadorago	ghiaie; sabbie limose	presente ad O delle Groane	1,5-2 m	7.5YR	REM, rocce terrigene, calcari marnosi/marne REM e rocce carbonatiche prevalenti
Minoprio	ghiaie prevalenti	non riconoscibile-assente	1,5 m	7.5YR-10YR	REM e porfidi prevalenti REM, marne e terrigene
Bulgarograsso	ghiaie	non riconoscibile-assente	~1 m (su LFP**)	7.5YR-10YR	REM, marne e terrigene

* REM = rocce endogene metamorfiche

** LFP = livello fondamentale della pianura

Fig. 3 Unità appartenenti al supersistema di Besnate

2.3.3.1 Unità di Guanzate (BEZ)

L'unità è costituita da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa e localmente sabbie limose con clasti residuali (depositi fluvioglaciali).

La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, con spessore inferiore a 2 m. I depositi fluvioglaciali di natura ghiaioso-sabbiosa comprendono ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate.

Le ghiaie formano l'ossatura della pianura in tutta l'area di affioramento dell'unità, ma supportano differenti sequenze sommitali: nella fascia più settentrionale del territorio le ghiaie arrivano ad affiorare in superficie, mentre nella zona più meridionale sono diffusi depositi limosi rubefatti, a contenuto variabile di sabbie e argilla, con clasti sparsi legati al riempimento di canali incisi nelle ghiaie.

Il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui giacciono i depositi di piana alluvionale del sistema di Cantù di provenienza Seveso e del sistema del Po (unità postglaciale).

2.3.3.2 Unità di Minoprio (BMI)

E' composta da ghiaie a supporto clastico e di matrice, con 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, presenza di suoli sepolti nel settore meridionale.

Dal punto di vista litologico l'unità è costituita da depositi fluvioglaciali ed in particolare da ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici (dimensioni più frequenti tra 1-5 cm e dimensione massima osservata 20 cm circa).

Le ghiaie, da massive a grossolanamente stratificate, costituiscono l'ossatura dei settori occidentale e orientale del territorio giungendo fino al suo limite meridionale. Nei due settori sono presenti successioni sommitali caratteristiche. In tutto il settore settentrionale sono discontinuamente presenti sedimenti fini rubefatti a clasti sparsi, che costituiscono il riempimento di canali incisi nelle ghiaie, fluitato dai suoli delle superfici circostanti. Sono presenti inoltre sequenze sommitali di sedimenti fini attribuite al sistema di Cantù (subsistema di Ronchetto delle Rane).

La superficie modale, pur essendo percorsa da una fitta rete di drenaggio, oggi quasi completamente artificializzata, appare estremamente livellata. Le depressioni in cui scorrono fontanili e cavi, il cui frequente andamento sinuoso e non regolare rivela un'origine naturale, sono generalmente poco o non percettibili all'osservazione diretta.

2.3.3.3 *Unità di Bulgarograsso (BXE)*

L'unità è costituita da ghiaie a prevalente supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvioglaciali). La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, di spessore variabile.

L'area di affioramento forma una ristretta fascia che taglia l'intero territorio, da Cesate a San Giuliano Milanese.

Dal punto di vista litologico essa è costituita da depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi ed in particolare da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate con intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose, che aumentano spostandosi verso S.

Le sequenze sommitali differiscono fortemente: nel settore settentrionale, l'unità è profondamente incassata nel terrazzo delle Groane e sono, pertanto, presenti coperture di sedimenti fini (limi, limi sabbioso argillosi) rubefatti, derivati in parte dall'erosione di depositi loessici pedogenizzati del pianalto. Al di fuori delle Groane, i depositi di copertura scompaiono e si rinvencono ghiaie fin dalla superficie.

I caratteri della superficie limite superiore variano in parallelo con la litologia:

- 1) in area Groane prevalgono suoli acidi e desaturati, di prevalente colore 7.5YR, sviluppati su sedimenti loessici e sedimenti di suolo colluviati. Non sono noti i caratteri di alterazione delle ghiaie, per la mancanza di osservazioni utili;
- 2) nelle aree a S di Milano, prevalgono suoli moderatamente evoluti (Inceptisuoli e subordianti Alfisuoli) di spessore in genere non superiore al metro, impostati su ghiaie.

Il limite superiore è una superficie erosionale su cui giacciono i depositi erosi dalle unità più antiche, mentre al di fuori delle Groane coincide con la superficie topografica. Il limite inferiore è una superficie erosionale che mette a contatto l'unità con il supersistema del Bozzente, l'unità di Cadorago (Groane) e il sistema di Cantù (livello fondamentale della pianura).

Dal punto di vista morfologico e paleogeografico l'unità di Bulgarograsso corrisponde al più recente degli eventi Besnate. Morfologicamente è associata ad un evidente paleoalveo, profondamente incassato sia rispetto al pianalto delle Groane che alle superfici terrazzate contigue (unità di Cadorago), scavato da uno scaricatore glaciale che prendeva origine dalle morene di Vertemate. Al di fuori delle Groane l'unità concorre alla formazione del livello fondamentale della pianura.

2.3.3.4 *Alloformazione di Cantù (LCN)*

L'unità affiora nei seguenti distinti settori:

- lungo la Lura e l'Olonà;
- nel settore NE della città di Milano;
- lungo il Fiume Lambro Meridionale a S di Milano;
- lungo il Fiume Lambro a E e SE di Milano.

Poiché non è possibile caratterizzare in modo univoco da un punto di vista litologico e pedologico i depositi del sistema e poiché ampie aree, particolarmente nel settore occidentale, nel bacino del Fiume Olona, sono prive di ogni evidenza morfologica, è possibile che l'unità sia più estesa e rappresentata di quanto indicato.

In tutte le aree l'unità è costituita da depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, che si differenziano per variazioni litologiche nelle sequenze sommitali; le più importanti si osservano lungo il Fiume Lambro, a partire da Vimodrone e nelle parti meridionali di pertinenza Olona, con la comparsa sistematica di sedimenti fini di spessore metrico.

Le ghiaie sono sempre caratterizzate da supporto clastico, matrice sabbiosa o sabbioso limosa e clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

La petrografia differisce in funzione dei bacini di alimentazione.

Il sintema di Cantù, sulla base di studi regionali è ritenuto espressione dell'ultima glaciazione (LGM): viene pertanto attribuito al tardo Pleistocene superiore. Dal punto di vista della cronologia assoluta, datazioni ¹⁴C, effettuate nell'area prealpina e di alta pianura nelle ultime decine di anni, hanno permesso di stabilire che esso inizia tra 25.000 e 20.000 anni e termina prima dei 12.000 anni BP (Würm superiore).

2.3.3.5 Alloformazione di Ronchetto delle Rane (LCN₄)

E' rappresentata da sabbie e sabbie limose da massive a laminate; limi e limi argillosi massivi (depositi fluvioglaciali a bassa energia) con spessori da 2 a 4 m. Superficie limite superiore caratterizzata da suoli moderatamente evoluti (Alfisuoli).

L'unità affiora discontinuamente nel settore occidentale del territorio, a S di Rho e, con maggior continuità, in quello meridionale (aree ad E di Corsico) e sud-orientale (Peschiera Borromeo).

L'unità è caratterizzata da una certa variabilità litologica nell'ambito delle tessiture fini. Si distinguono:

- successioni dominate da sabbie, limi e/o da termini intermedi; massive, o, raramente, a stratificazione molto sottile e laminate;
- successioni dominate da limi e limi argillosi, prevalentemente massivi. In rari casi, le sequenze possono essere chiuse da sottili orizzonti di sabbie ghiaiose o di ghiaie fini.

Per quanto osservato e per quanto ricavato dalle carte pedologiche, gli spessori possono essere ritenuti mediamente compresi tra 2 e 3 m, con massimi segnalati di 4 m circa.

La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli a diverso grado di evoluzione. I più diffusi sono Alfisuoli, che si sviluppano sia sulle sequenze sabbiose che su quelle fini. Nei termini più argillosi può manifestarsi una forte aggregazione e formazione di spesse pellicole sulle facce dei pedis.

Il limite superiore coincide con la superficie topografica o, subordinatamente, con superfici erosionali ricoperte da depositi fluviali del sistema del Po.

Inferiormente l'unità poggia con limite netto sulle ghiaie delle unità di Minoprio e Bulgarograsso.

La definizione stratigrafica dell'unità è molto incerta. Gli aspetti principali sono i seguenti: i depositi corrispondenti sono associati alla superficie modale della pianura e non a valli fluviali o altre vie di drenaggio riconoscibili; l'articolazione delle sequenze litologiche, lo spessore e l'estensione areale dei depositi implica flussi idrici di una certa importanza; il grado evolutivo e lo spessore dei suoli sono comparabili sia con quello delle unità del supersintema di Besnate stratigraficamente più prossime, che con il sintema di Cantù.

Morfologia e paleogeografia. L'unità non dà origine a morfologie proprie, in quanto sutura le ghiaie che strutturano la pianura, livellandone parzialmente la superficie.

2.3.3.6 Sintema del Po (Pg)

Ghiaie a supporto clastico e di matrice; sabbie, limi e limi debolmente argillosi (depositi fluviali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli poco evoluti.

Il sistema del Po affiora in diversi settori del Foglio e in differenti situazioni morfologiche. Si rinviene lungo le valli del Fiume Olona, del Lambro Meridionale, della Vettabbia e del Lambro. Inoltre affiora sul livello modale della pianura in ristretti ambiti sia a O che a E di Milano.

I sedimenti dell'unità postglaciale sono prevalentemente di natura ghiaiosa e sabbioso-ghiaiosa. Si distinguono:

- depositi fluviali: ghiaie a matrice sabbioso limosa e sabbie ghiaiose;
- depositi di esondazione: sabbie e limi.

Il limite superiore coincide sempre con la superficie topografica. Il sistema del Po può coprire, con limite erosionale, qualunque deposito precedente.

L'unità comprende sedimenti depositi a partire dalla deglaciazione fino all'attuale.

3 Inquadramento idrogeologico

3.1 Struttura degli acquiferi

Il sottosuolo della pianura milanese è formato da una successione di sedimenti plio-pleistocenici, costituiti nella parte basale prevalentemente da limi ed argille d'origine marina con rare sabbie e ghiaie, mentre nella parte sommitale si hanno alternanze di ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine alluvionale e fluvioglaciale.

Sono riconoscibili diverse Unità idrogeologiche che dal basso verso l'alto possono essere schematizzate come segue:

a. Unità argilloso-sabbiosa

Questa Unità attribuita al Pleistocene inferiore si rinviene nei pozzi con profondità superiore ai 220-280 m nella media pianura e 130-180 m nell'alta pianura.

Si tratta prevalentemente di argille e limi di colore grigio cinereo con micro e macro fossili marini, ai quali sono subordinati livelli sabbiosi generalmente di modesto spessore.

I sedimenti della parte basale, riferiti al Pliocene – Pleistocene Inf. (Calabriano), sono rappresentati da limi e argille d'origine marina.

b. Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inferiore – Pliocene superiore, Unità C della classificazione regionale)

Questa Unità rappresenta una successione di sedimenti di origine continentale, i litotipi che caratterizzano tale Unità, spesso indicata in letteratura come “Argille Villafranchiane”, sono costituiti da argille e limi di colore grigio e talora giallo, con frequenti intercalazioni di livelli torbosi più o meno continui, e di orizzonti lenticolari a tessitura sabbiosa, più raramente, ghiaiosa; questi costituiscono i livelli acquiferi con falde confinate (“terzo acquifero” di Francani V. & Pozzi R., 1981).

c. Unità sabbioso - ghiaiosa (Pleistocene Medio), Unità B della classificazione ENI-Regione Lombardia

Si caratterizza per una successione di sedimenti sabbioso - ghiaiosi e sabbiosi, con frequenti intercalazioni lenticolari limoso - argillose.

Questi depositi, che costituiscono un sistema deposizionale fluviale (fluvioglaciale) tradizionalmente attribuito al Pleistocene Medio, nelle aree pedemontane e di alta pianura, affiorano in corrispondenza dei terrazzi morfologicamente più elevati, mentre più a Sud si immergono al di sotto dell'Unità ghiaioso - sabbiosa più recente, costituendo così la parte basale dell'acquifero tradizionale.

Alla base dell'Unità sabbioso-ghiaiosa, non è infrequente trovare una serie di livelli a conglomerati e arenarie, che alcuni Autori tendono a distinguere come una vera e propria Unità idrogeologica, che si raccorda con gli affioramenti del Ceppo Lombardo. Perde invece la sua connotazione stratigrafica nella zona di Milano dove una diminuzione del grado di cementazione impedisce di distinguerla dagli adiacenti depositi ghiaioso - sabbiosi sciolti.

d. Unità ghiaioso-sabbiosa (Pleistocene superiore e Olocene, Unità A della classificazione Eni-Regione Lombardia)

La litozona ghiaioso - sabbiosa, identificata per la prima volta da Martinis B. B. & Mazzarella S. S. (1971), si sviluppa dal piano campagna fino a una profondità di circa 40 m, è costituita da ghiaie e sabbie, talora cementate, con rare intercalazioni argillose, che vanno aumentando come continuità e spessore nella parte meridionale della città.

Essa corrisponde al fluvioglaciale Wurm (Diluvium recente Auct.) e all'Unità A della classificazione regionale.

Gli Autori successivi (Cavallin A. et al, 1983; Provincia di Milano, 1995), hanno identificato questa litozona con una successione caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani e dal limitato spessore e continuità laterale degli orizzonti a tessitura più fine.

L'ambiente deposizionale di questi sedimenti è del tutto analogo a quello dell'Unità ghiaioso - sabbiosa anche se cronologicamente correlabili con le ultime fasi dell'espansione glaciale quaternaria e con episodi alluvionali recenti e attuali.

Lo spessore saturo dei depositi dell'Unità ghiaioso - sabbiosa ("primo acquifero") è rilevante nella media e bassa pianura dove è contenuta la falda libera.

3.2 Caratteristiche freatimetriche

Nel complesso il deflusso è orientato da Nord-Ovest verso Sud-Est, e risulta molto evidente il cono di depressione determinato dai pompaggi effettuati nell'area del centro storico. In particolare il centro di tale struttura cade nell'area compresa tra via S. Sofia, Corso Porta Romana e Corso Italia, quindi leggermente a Sud del Duomo. Il cono di depressione è peraltro apparentemente deformato dalla presenza della Darsena e del Redefossi che con ogni probabilità alimentano l'acquifero superficiale. I dati di monitoraggio, nel complesso, confermano le irregolarità della superficie freatimetrica descritte in quanto è evidente che, soprattutto nell'area centrale, si hanno forti deformazioni della suddetta superficie determinate sia dai pompaggi sia dagli apporti del reticolo idrografico superficiale. Il gradiente idraulico si riduce notevolmente passando da poco meno dell'1% dei confini meridionali allo 0,2% delle aree meridionali a valle del centro storico. Si intende che questa condizione è uno dei fattori che ha favorito la formazione di risorgive nell'area Milanese.

In relazione alla soggiacenza si osserva un'ampia fascia a ferro di cavallo che segue i confini occidentali, meridionali e orientali del comune ove la fascia di oscillazione del livello piezometrico è a una profondità inferiore a 5 m. In particolare il livello idrico appare particolarmente superficiale nel settore di Muggiano, ove i livelli sono prossimi a quelli ottocenteschi e dove quindi si concentrano quasi tutti i fontanili attualmente attivi. Altre modeste aree di risorgenza sono presenti lungo il Lambro e nell'area di Pero. Nell'area del centro storico e in tutto il settore settentrionale verso Bresso e Sesto San Giovanni la soggiacenza è sempre superiore a 10 m, con valori che spesso salgono a 15 m e in particolare nella zona del Duomo arrivano a 16-17 m.

Nella figura sottostante è riportato l'andamento del gradiente medio annuo di evoluzione della falda. Si intende che valori positivi indicano una riduzione della soggiacenza ovvero una risalita del livello piezometrico. Si nota che la massima velocità di risalita si ha nell'area Nord, dove viceversa la soggiacenza è generalmente maggiore. Ove invece la falda è più superficiale per lo più i livelli sono stabilizzati. Fanno eccezione l'area Expo, in cui si ha un gradiente relativamente elevato pur in presenza di un livello idrico abbastanza superficiale, ma probabilmente il processo di risalita ha raggiunto ora i suoi limiti fisiologici, e il centro storico ove il livello è stabile pur con soggiacenza elevata, ma in questo caso è probabile che la risalita sia contrastata dalla presenza di numerosi sistemi di pompaggio attivi.

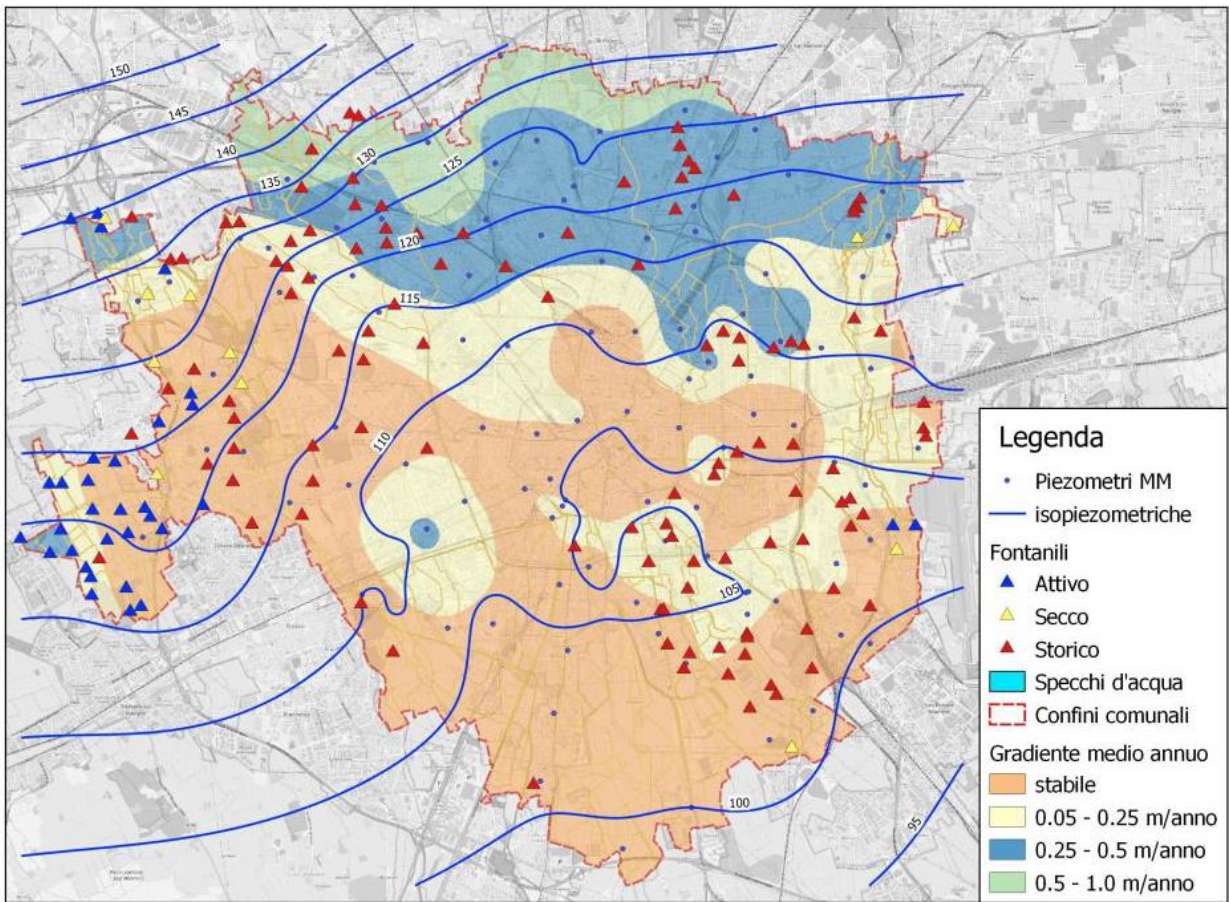


Fig. 4 Gradiente medio annuo di risalita della falda nel comune di Milano

4 Primo livello di approfondimento

4.1 Procedura di riferimento

La DGR IX/2616 definisce in dettaglio le procedure specifiche da seguire per lo sviluppo dello studio di primo livello che, come già ricordato, è finalizzato alla definizione degli scenari di pericolosità sismica locale.

Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:

- **carta geologica** con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- **carta geomorfologica**, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- **carta della pericolosità sismica locale (PSL)**, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (tabella in Fig. 2).

4.2 Carta Geologica

La carta geologica è stata realizzata sulla base delle informazioni contenute nel Foglio n. 118 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Come già ricordato, il Foglio è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG (Legge 226/1999) e la sua recente pubblicazione permette di considerare questo riferimento bibliografico come la sintesi più completa ed aggiornata delle conoscenze geologiche disponibile attualmente.

La carta è stata elaborata alla scala 1:10.000 sulla base della carta tecnica regionale e in essa trovano rappresentazione sia le unità stratigrafiche descritte nel Par.2.3 sia le litologie prevalenti in superficie, nonché l'idrografia e gli elementi antropici principali. I contenuti della legenda sono riportati in Fig. 5.



Fig. 5 Legenda della carta geologica alla scala 1:10.000

La rappresentazione planimetrica degli affioramenti delle unità stratigrafiche, unitamente alle caratteristiche dei rapporti stratigrafici hanno permesso di tracciare, sia in senso longitudinale che trasversale all'orientazione del drenaggio naturale, un totale di 10 sezioni stratigrafiche, di supporto all'interpretazione del modello geologico e sismico del sottosuolo.

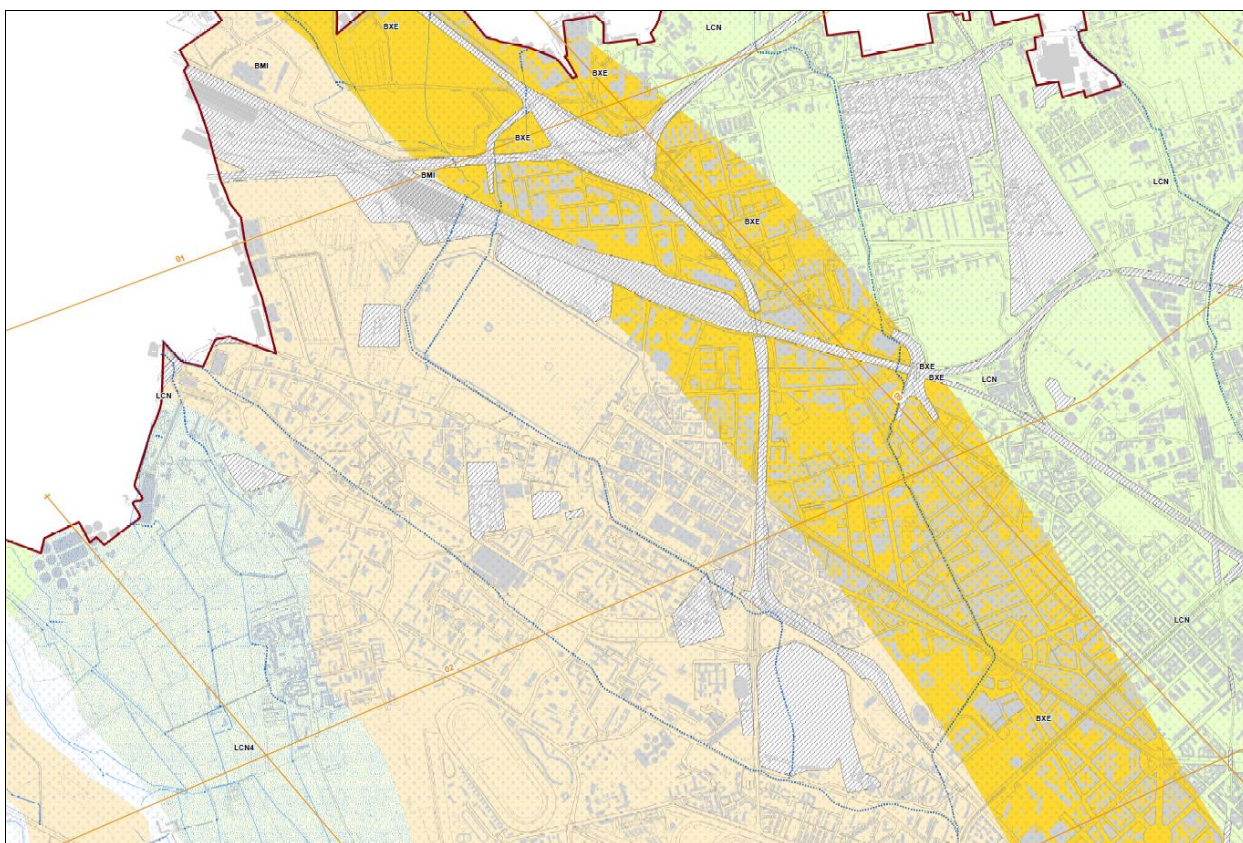


Fig. 6 Stralcio Carta Geologica alla scala 1:10.000

4.3 Sezioni geologiche

Sono state interpretate un totale di 10 sezioni stratigrafiche del territorio milanese orientate sia in senso longitudinale che trasversale alla direzione di drenaggio prevalente.

Le sezioni sono state definite utilizzando sia le informazioni riportate nella carta geologica sopra descritta, sia le informazioni stratigrafiche contenute nella Banca dati geologica sottosuolo.

La “Banca dati geologica sottosuolo” pubblicata all’interno del portale cartografico regionale, permette di visualizzare quota, profondità e stratigrafia di pozzi ed indagini geognostiche realizzati sul territorio lombardo. Alla data del 21 marzo 2019 la banca dati contiene 20.642 indagini suddivise tra indagini dirette (pozzi e sondaggi in prevalenza) e indagini indirette (prove penetrometriche) distribuite sulle varie province. Di ciascuna indagine è possibile visualizzare e consultare i dati relativi all’ubicazione, alla quota e profondità. E’ inoltre presente una funzionalità attraverso la quale, interrogando il punto di indagine, è possibile visualizzare la stratigrafia dell’indagine e di pubblicarla in .pdf. Per le indagini indirette è disponibile la scansione dell’originale della prova.

La stratigrafia delle indagini dirette riporta esclusivamente il dato geologico (numero di strati attraversati, spessore e descrizione litologica degli stessi). La descrizione litologica corrisponde a quella riportata nella stratigrafia originaria compilata dal soggetto che ha eseguito materialmente l’opera. Non sono riportate informazioni relative, alla proprietà dell’opera (pubblica o privata), all’uso (idropotabile, irriguo, agricolo ecc.), agli schemi di completamento (tipologia e struttura tubazioni, presenza, profondità e tipologia filtri, attrezzature di estrazione dell’acqua installate). L’ubicazione delle opere è desunta o verificata in gran parte nelle tavole di analisi della componente geologica dei PGT, predisposte alla scala 1:10.000. A questa scala occorre quindi far riferimento in generale in merito alla precisione dell’ubicazione stessa.

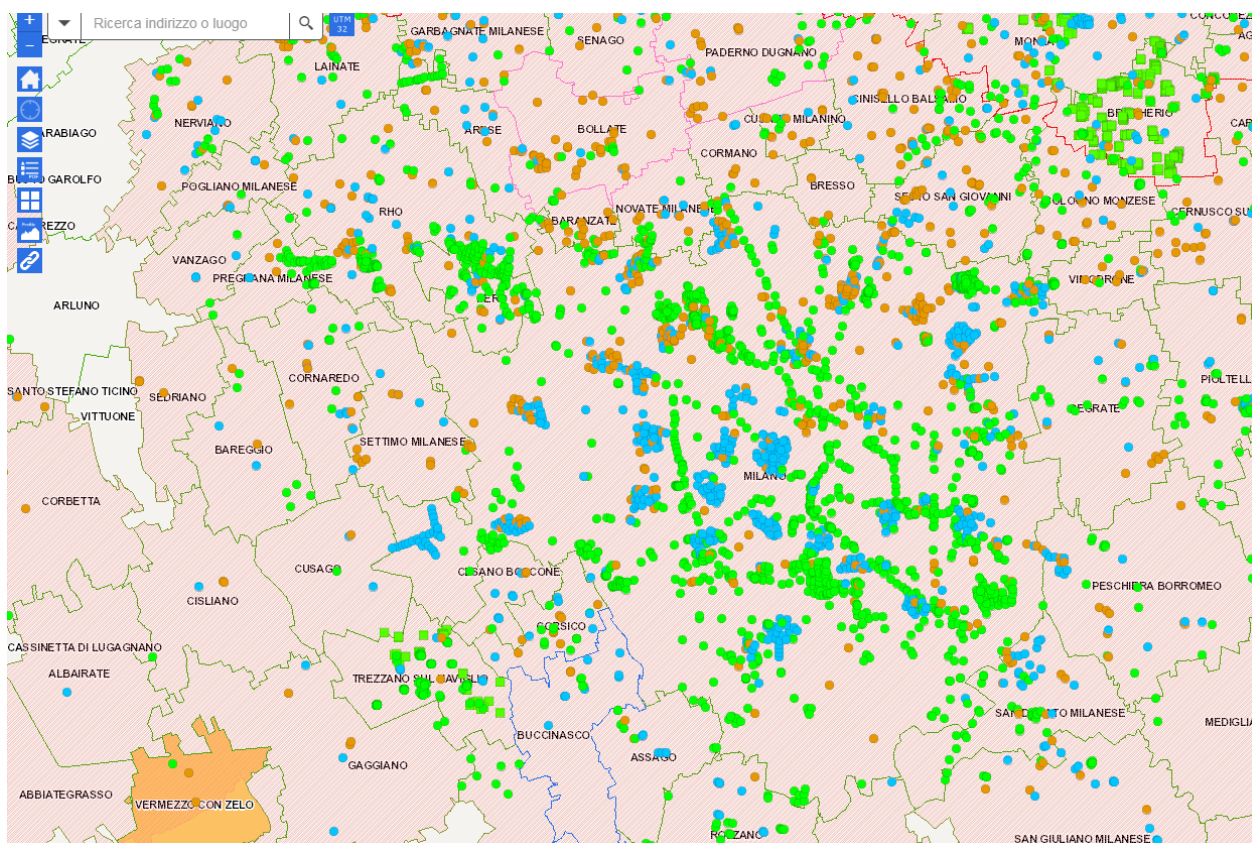


Fig. 7 Immagine tratta dal visualizzatore della Banca dati geologica del sottosuolo

Per ogni punto di indagine la banca dati fornisce la descrizione della stratigrafia sia in termini analitici che grafici, così come riportato nelle seguenti figure.

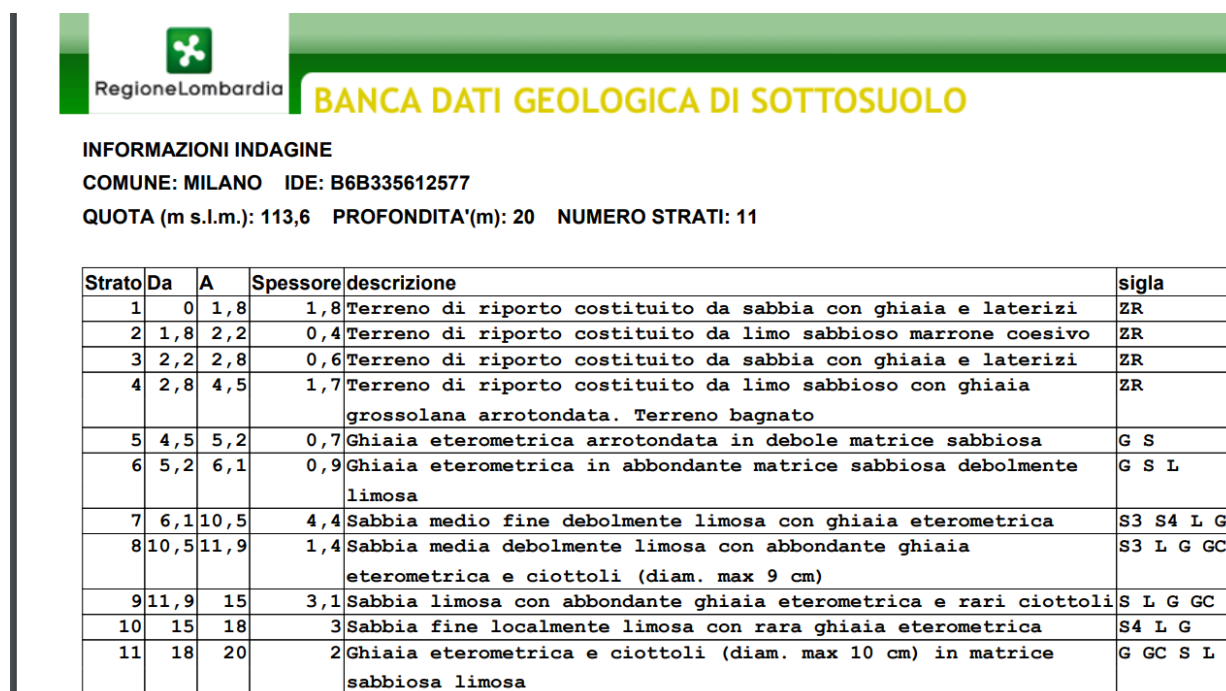


Fig. 8 Immagine tratta dal visualizzatore della Banca dati geologica del sottosuolo

INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: MILANO IDE: B6B335612577

QUOTA (m s.l.m.): 113,6 PROFONDITA'(m): 20 NUMERO STRATI: 11

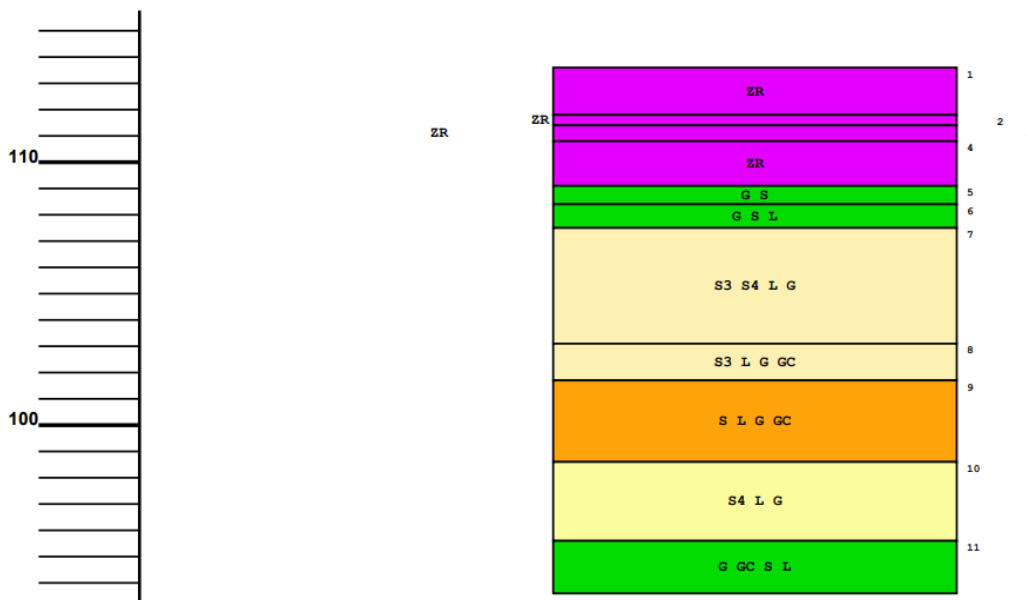


Fig. 9 Immagine tratta dal visualizzatore della Banca dati geologica del sottosuolo

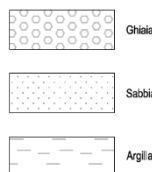
Integrando le informazioni di superficie con quelle relative al sottosuolo è stato pertanto possibile definire i profili interpretativi riportati nelle 3 tavole denominate “Sezioni geologiche”.

I profili descrivono l’assetto ed i rapporti stratigrafici tra le unità appartenenti ai supersistemi Lombardo superiore, Lombardo inferiore e Padano individuando e distinguendo al loro interno le caratteristiche granulometriche predominanti, secondo lo schema indicato in legenda (Fig. 10).

SUCCESSIONE QUATERNARIA CONTINENTALE

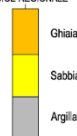
- SUPERSISTEMA LOMBARDO SUPERIORE :**
 - ant - Terreni di riporto generici ATTUALE
 - POI - Sistema del Po - Ghiaie a supporto clastico e di matrice; sabbie, limi e limi debolmente argillosi (depositi fluvio-glaciali) PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
- SUPERSISTEMA DEI LANGHI**
 - LCN - Sistema di Cantù - Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; sabbie, sabbie limose, limi sabbioso argillosi massivi (depositi fluvio-glaciali) PLEISTOCENE SUPERIORE
 - LCN4 - Subsystema di Ronchetto delle Rane - Sabbie e sabbie limose, da massive a laminare; limi e limi argillosi massivi (depositi fluvio-glaciali a bassa energia) PLEISTOCENE SUPERIORE
- SUPERSISTEMA DI BESNATE**
 - BXE - Unità di Bulgarograsso - Ghiaie a prevalente supporto clastico; matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvio-glaciali) PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE
 - BIM - Unità di Minoprio - Ghiaie a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso limosa, limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvio-glaciali) PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE
 - BEZ - Unità di Guanzate - Ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvio-glaciali) PLEISTOCENE MEDIO
- SUPERSISTEMA LOMBARDO INFERIORE**
- SUPERSISTEMA PADANO**

LITOLOGIE PREVALENTI



SONDAGGI

CODICE REGIONALE



FALDA FREATICA



Fig. 10 Legenda Sezioni geologiche interpretative

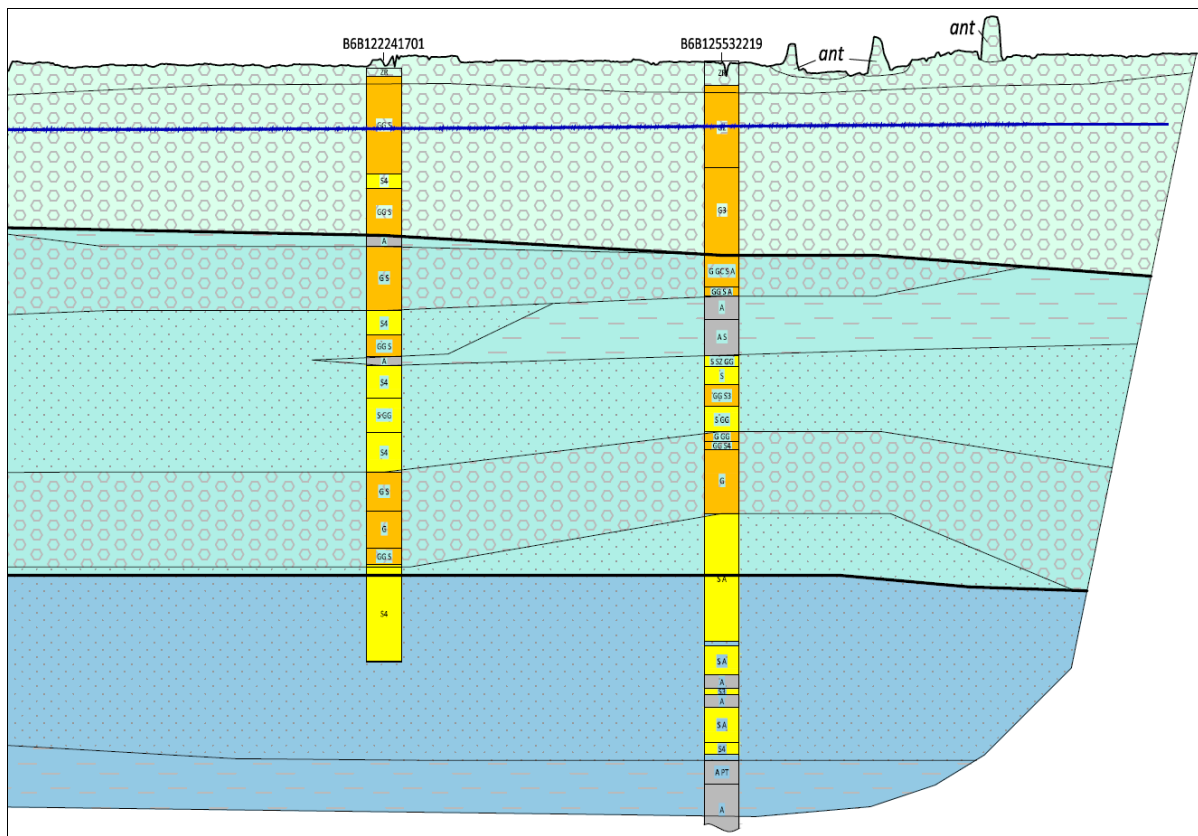


Fig. 11 Stralcio Sezione geologica 1

Complessivamente l'assetto stratigrafico mostra una sostanziale omogeneità sul territorio milanese per quanto riguarda le geometrie dei corpi sedimentari appartenenti alle diverse unità.

Unica eccezione rilevabile è legata al progressivo ispessimento delle unità più recenti verso sud ed una altrettanto progressiva riduzione delle granulometrie procedendo nello stesso senso.

L'unità del Supersistema Lombardo Superiore a differenza delle unità sottostanti risulta costituita essenzialmente da corpi ghiaiosi e sabbiosi all'interno dei quali i livelli a granulometria fine limosi ed argillosi rappresentano sottili intercalazioni.

4.4 Carta geomorfologica

Come già ricordato, scopo principale della carta geomorfologica è quello di individuare i settori del territorio caratterizzati da elementi del rilievo in grado di determinare effetti instabilizzanti in conseguenza dello sviluppo di energia sismica.

Il territorio in esame, caratterizzato da una energia di rilievo estremamente bassa, non manifesta le tradizionali forme di dissesto gravitativo come le frane e non presenta al contempo pendenze della superficie topografica né tantomeno forme come creste o scarpate in grado di determinare amplificazioni del moto sismico. L'indagine si è pertanto concentrata nell'individuazione di eventuali microforme come scarpate o cumuli significativi dal punto di vista della microzonazione sismica.

Di interesse ai fini della descrizione geomorfologica del territorio risultano inoltre le forme fluviali relitte ancora visibili o interpretabili sulla superficie della pianura, dal momento che esse, oltre a risultare sede di deflusso in caso di esondazione, possono presentare riempimenti sedimentari con caratteristiche granulometriche e di addensamento molto diverse dal substrato.

L'indagine ha inoltre riguardato la descrizione di dettaglio dell'altimetria attraverso l'elaborazione del dtm pubblicato dal portale cartografico regionale ed il tracciamento delle curve di livello.




La legenda della Carta Geomorfologica è riportata nella seguente Fig. 12.

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI AREALI

Sottoambiti geomorfologici

	Alta pianura
	Media pianura idromorfa
	Pianure alluvionali attuali e recenti
	Terrazzi fluviali
	Terrazzi intermedi

Attività antropiche

	Terreno di riporto generico
	Area estrattiva
	Area di scavo o discarica

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI LINEARI











	dossi fluviali
	orlo di terrazzo di erosione fluviorientata smussato
	paleovalvei
	traccia di paleovalveo poco evidente
	ri di scarpata antropica evidente
	orlo di scarpata antropica poco evidente
	terrazzo naturale e/o scarpata erosionale evidente
	terrazzo naturale e/o scarpata erosionale poco evidente
	Linee delle risorgive
	Curve di livello (espresse in m. s.l.m.)

Fig. 12 Legenda della carta geomorfologica alla scala 1:10.000

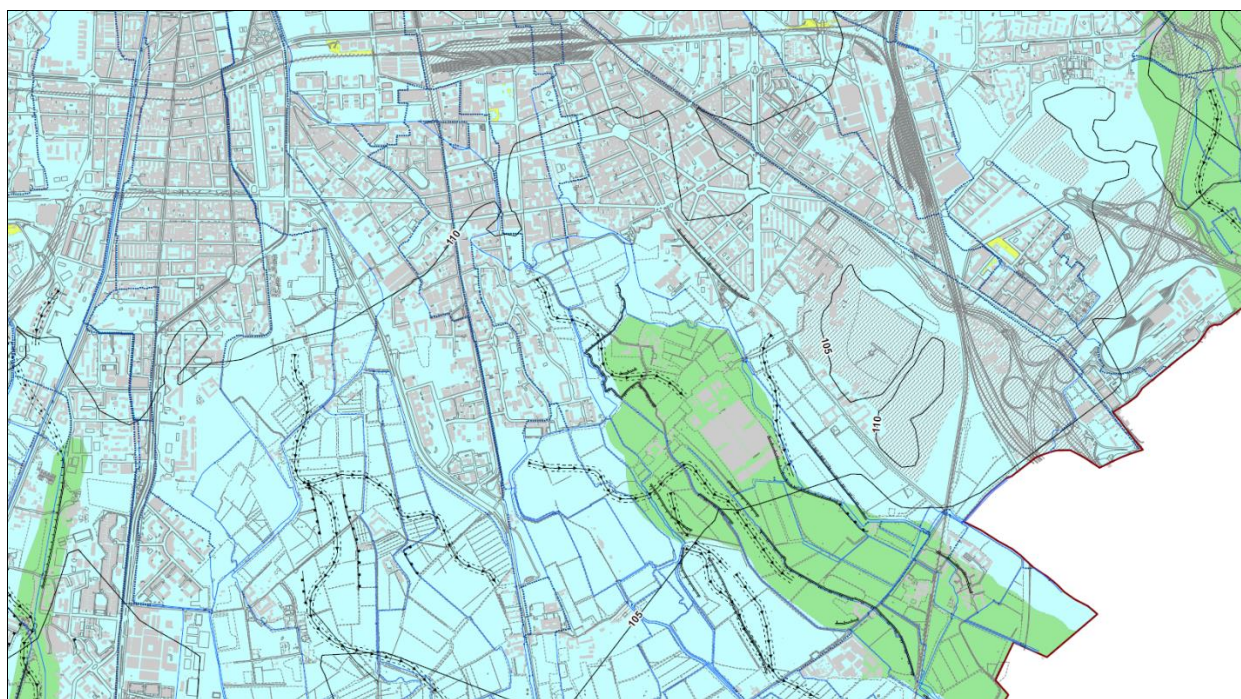


Fig. 13 Stralcio della carta geomorfologica alla scala 1:10.000 Tav 1/3 SE

4.5 Pericolosità da liquefazione

Ai fini dello studio del pericolo di liquefazione risultano determinanti sia le caratteristiche stratigrafiche che sismiche ed idrogeologiche del territorio, così come indicato dalle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).

Le NTC 2018, infatti, definiscono le condizioni che determinano il fenomeno della liquefazione individuando, nel contempo, anche i criteri che permettono di escludere il fenomeno stesso anche in assenza di verifiche specifiche.

La liquefazione rappresenta lo stato raggiunto da terreni sabbiosi sciolti saturi quando perdono la loro resistenza al taglio come conseguenza di un incremento delle pressioni interstiziali. Tali fenomeni possono verificare grandi deformazioni del terreno, comportando danni sia lievi che catastrofici.

Secondo le NTC18 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 1(a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

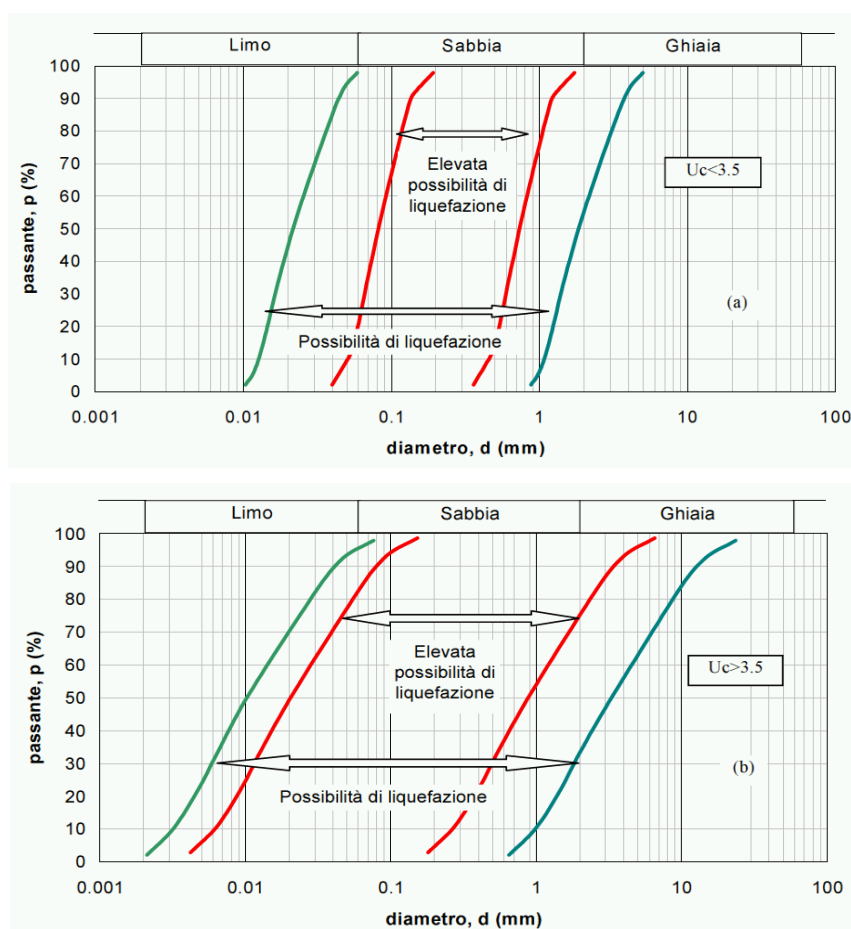


Fig. 14 Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno a differente coefficiente di uniformità: a) $U_c < 3,5$; b) $U_c > 3,5$ (fonte: AGI, 2005)

Altre considerazioni possono essere fatte sull'età del deposito, sulla storia sismica, sul grado di addensamento e sulla granulometria. Un terreno con un basso grado di addensamento (indice dei vuoti elevato e bassa densità relativa) per esempio avrà maggiore probabilità che raggiunga lo stato di liquefazione; di conseguenza un deposito antico, a parità di condizioni, sarà meno soggetto a liquefazione perché nella sua storia avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti.

Nell'ambito del presente studio la valutazione della pericolosità da liquefazione è stata condotta verificando in primo luogo la presenza di strati a granulometria prevalentemente sabbiosa nel primo

sottosuolo e determinando l'entità della loro interferenza con la falda freatica, in rapporto all'intensità delle sollecitazioni sismiche in termini di accelerazione massima in superficie.

4.5.1. Analisi stratigrafica

Le informazioni contenute nella banca dati stratigrafica regionale sono state analizzate allo scopo di verificare la presenza di livelli sabbiosi negli strati più superficiali del terreno interessati anche dalla presenza della falda.

Sono stati analizzati i dati relativi ai 2.134 sondaggi riguardanti il territorio comunale di Milano ed in particolare ai 24.435 strati presenti al loro interno per l'individuazione delle granulometrie prevalentemente sabbiose.

Le operazioni di selezione delle informazioni sono state condotte seguendo i seguenti criteri (implementati in MS Access):

- litologia prevalente sabbiosa,
- profondità dello strato inferiore a 20 metri dalla superficie (per tenere in considerazione gli effetti su edifici con fondazioni profonde)
- interferenza dello strato con la falda freatica.

Per ciascun sondaggio è stato quindi possibile valutare l'esatto spessore dei terreni sabbiosi interessati dalla falda rendendo possibile anche la valutazione dello spessore cumulato per ciascun sondaggio.

Il database di access utilizzato per l'analisi stratigrafica ha permesso inoltre di elaborare un rapporto completo dell'analisi effettuata, all'interno del quale possono essere consultate, per ciascun punto rappresentato in carta, le caratteristiche costitutive e gli spessori degli strati selezionati. Il rapporto di analisi è consultabile nell'elaborato "Analisi stratigrafica - Note esplicative e database sondaggi".

Sabbie a profondità < 20 m interferenti con la falda							
Sondaggio	Prof.base (cm)	Spessore strato (cm)	Descrizione strato	Nr_strato	Quota p.c. (m s.l.m.)	Spessore immerso (cm)	Sogg (cm)
B6A173901753	-1200	340	Sabbia grigia con ghiaia e ghiaietto poligenici	6	150	340	470,477
	Somma	340				340	
B6A176240951	-645	15	Sabbia grossolana e molto grossolana, debolmente limosa con rari ciottoli	4	143,8	15	218,883
	-1470	7	Sabbia medio - grossolana, pulita, ben selezionata	13		7	
	-1630	30	Sabbia molto grossolana con ghiaia	16		30	
	Somma	52				52	

Fig. 15 Esempio di scheda contenuta nel Rapporto di analisi dei dati stratigrafici

Il risultato dell'elaborazione, rappresentato nella "Carta degli spessori di sabbie in falda" evidenzia come l'intero territorio comunale sia interessato dalla presenza di livelli sabbiosi, anche se sono osservabili maggiori livelli di concentrazione in alcune zone.

Rispetto ad un totale di 2.134 punti di sondaggio, 904 sono risultati interessati dalla presenza di sabbie in falda con spessori compresi tra un minimo di poco più di 2 centimetri ed un massimo di oltre 16 metri.

La legenda della carta degli spessori (Fig. 16) è stata definita per permettere una visione complessiva del territorio del Comune di Milano. All'interno di esso viene evidenziato come la presenza di sabbie nei livelli più superficiali risulti diffusa e come gli spessori complessivi risultino molto variabili.

Da un punto di vista generale si evidenziano una maggiore concentrazione e spessori più consistenti di sabbie in corrispondenza della fascia di territorio più meridionale ed in quelle periferiche orientali ed occidentali, mentre la zona centrale di Milano, complice anche la maggiore soggiacenza della falda, risulta meno caratterizzata dalla presenza di sabbie in falda.

Il territorio nel suo complesso non risulta pertanto caratterizzato da zone in cui il fenomeno della liquefazione, almeno dal punto di vista della presenza di sabbie sature, possa essere escluso poiché la litologia sabbiosa risulta in ogni caso largamente rappresentata.

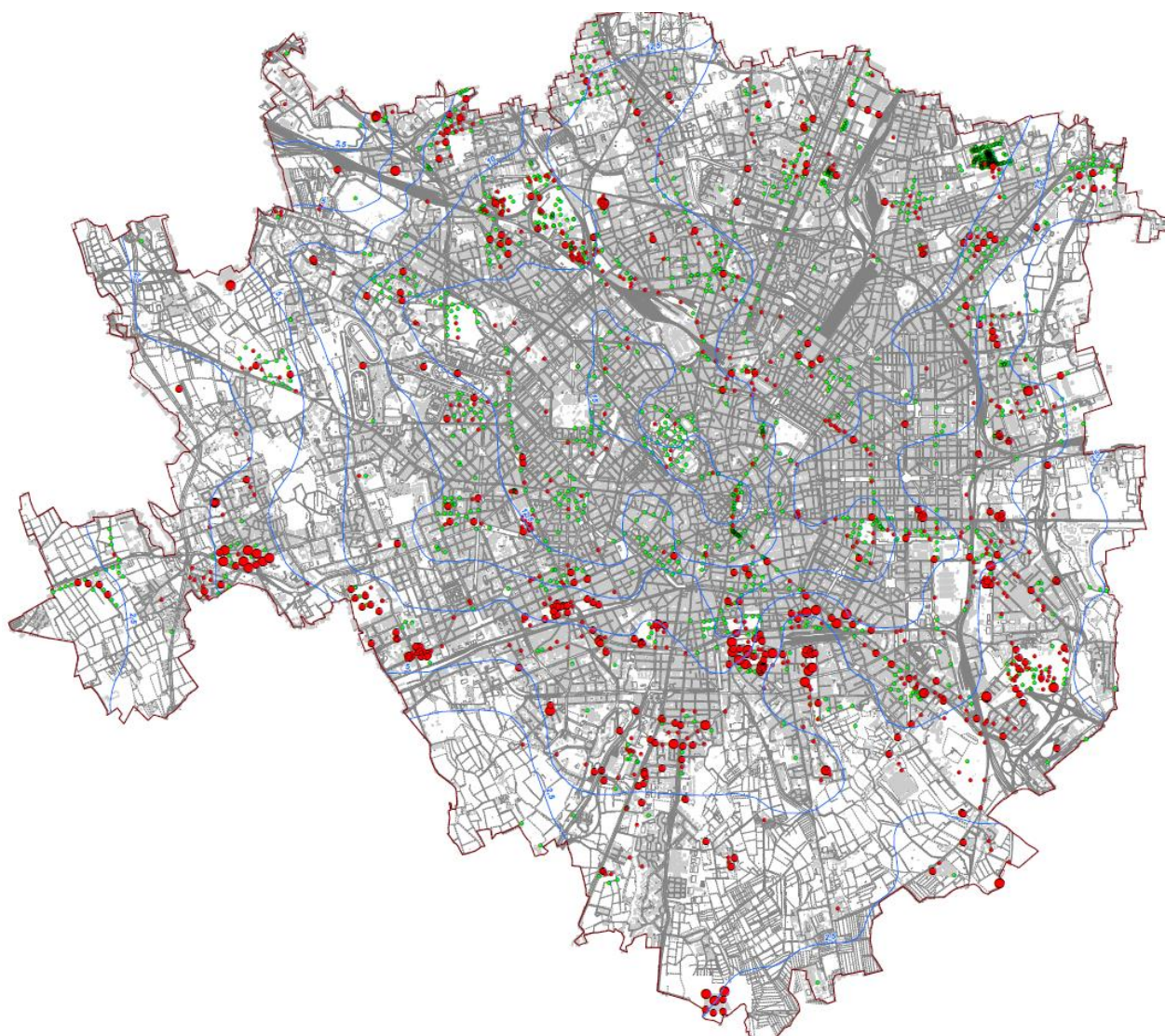


Fig. 16 Stralcio della Carta degli spessori di sabbie in falda

Legenda

SPESORE CUMULATO DELLE LITOLOGIE SABBIOSE IN FALDA

Variabilità degli spessori (espressi in m)



SOGGIACENZA DELLA FALDA FREATICA

Linee di ugual soggiacenza (esprese in m da p.c.)

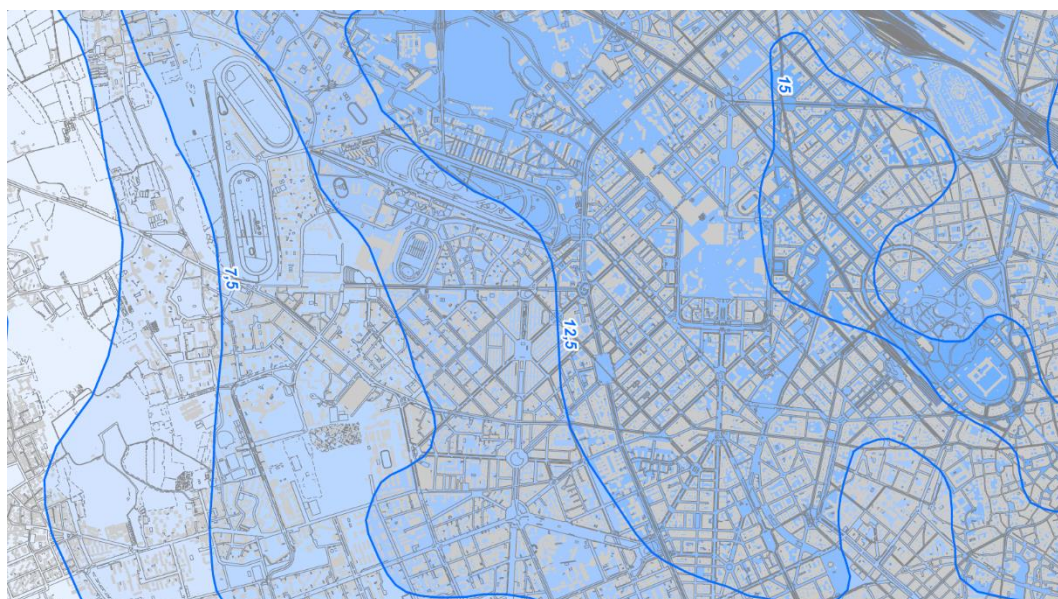
LIMITI AMMINISTRATIVI

Limite comunale

Fig. 17 Legenda della Carta degli spessori di sabbie in falda

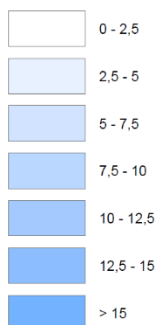
4.5.2. Soggiacenza della falda

L'analisi della soggiacenza della falda in corrispondenza dei punti di monitoraggio della rete freatimetrica presente nel sottosuolo di Milano ha permesso di effettuare una mappatura di dettaglio dei valori di profondità, estesa all'intero territorio. La Carta della Soggiacenza alla scala 1:20.000 rappresenta il risultato delle elaborazioni finalizzate alla individuazione delle aree del territorio caratterizzate dalla potenziale presenza di terreni sabbiosi saturi nella fascia di profondità in cui il fenomeno della liquefazione può avere luogo.



SOGGIACENZA DELLA FALDA FREATICA

(espressa in m dal piano campagna)



2,5 Linee di ugual soggiacenza

Fig. 18 Stralcio della carta della soggiacenza della falda

La carta evidenzia come nell'intero territorio comunale l'unica zona in cui la falda presenta una soggiacenza superiore ai 15 metri dalla superficie (valore soglia oltre al quale i criteri introdotti dalle NTC 2018 escludono il verificarsi del fenomeno della liquefazione) sia quella comprendente il castello Sforzesco e le aree limitrofe.

4.5.3. Accelerazione massima al suolo

Per la valutazione dell'accelerazione massima al suolo, ulteriore criterio di potenziale esclusione del fenomeno della liquefazione ai sensi delle NTC 2018 è stato fatto riferimento ai dati relativi alla maglia di punti indicati nell' Allegato B alle norme tecniche per le costruzioni: tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica (pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it>).

Nella tabella vengono forniti, per 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri a_g , F_0 , T^*C da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

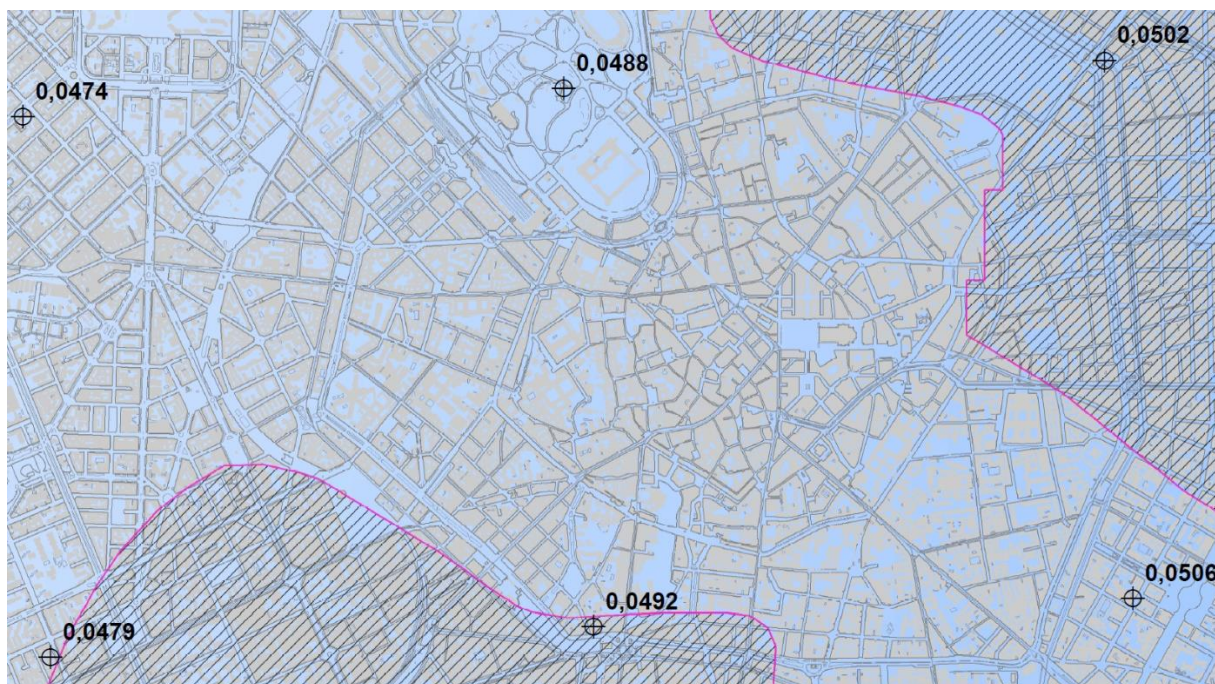
p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

La Carta dei valori accelerazione massima al suolo è stata quindi ottenuta mappando i valori di a_g relativi al tempo di ritorno di 475 anni (rappresentativi dello stato limite ultimo di "salvaguardia della vita" per le tipologie di costruzione più diffuse) moltiplicati per i fattori di amplificazione calcolati nell'ambito delle attività di approfondimento descritte nei paragrafi che seguono.

In questo modo è stato possibile, sulla base delle informazioni disponibili, definire per l'intero territorio comunale le aree in cui i valori di accelerazione massima attesa al suolo superano il valore soglia di 0,1 g definito come criterio di esclusione dalle NTC 2018.

La Carta dei valori di accelerazione massima al suolo allegata al presente documento sintetizza i risultati dell'analisi e fornisce la rappresentazione delle aree in cui viene superato il valore soglia a causa dell'amplificazione stratigrafica. La seguente Fig. 19 riporta uno stralcio fuori scala della carta e della relativa legenda.

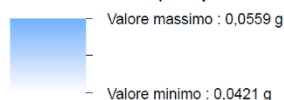


ACCELERAZIONE AL SUOLO DI RIFERIMENTO (MAGLIA NTC 2018)

Valori puntuali

0,04 Valore puntuale di accelerazione orizzontale al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suoli rigidi ($V_s > 800 \text{ m/s}$ - Tipo A - NTC'18), espresso in g (accelerazione di gravità)

Variabilità areale (interpolazione del dato puntuale)



ACCELERAZIONE MASSIMA AL SUOLO

Area in cui il valore di accelerazione massima al suolo risulta superiore a 0,1 g (valore soglia di accelerazione oltre il quale può avere luogo il fenomeno della liquefazione) nel periodo $T = 0,5 - 1,5 \text{ s}$

LIMITI AMMINISTRATIVI

— Limite comunale

Fig. 19 Stralcio della carta dell'accelerazione massima al suolo con individuazione delle aree in cui viene superato il valore soglia di 0,1 g in grado di determinare il fenomeno della liquefazione

4.6 Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)

La Carta della pericolosità sismica locale rappresenta la sintesi dei risultati delle analisi appartenenti al primo livello di approfondimento definito dalla DGR IX/2616.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento:

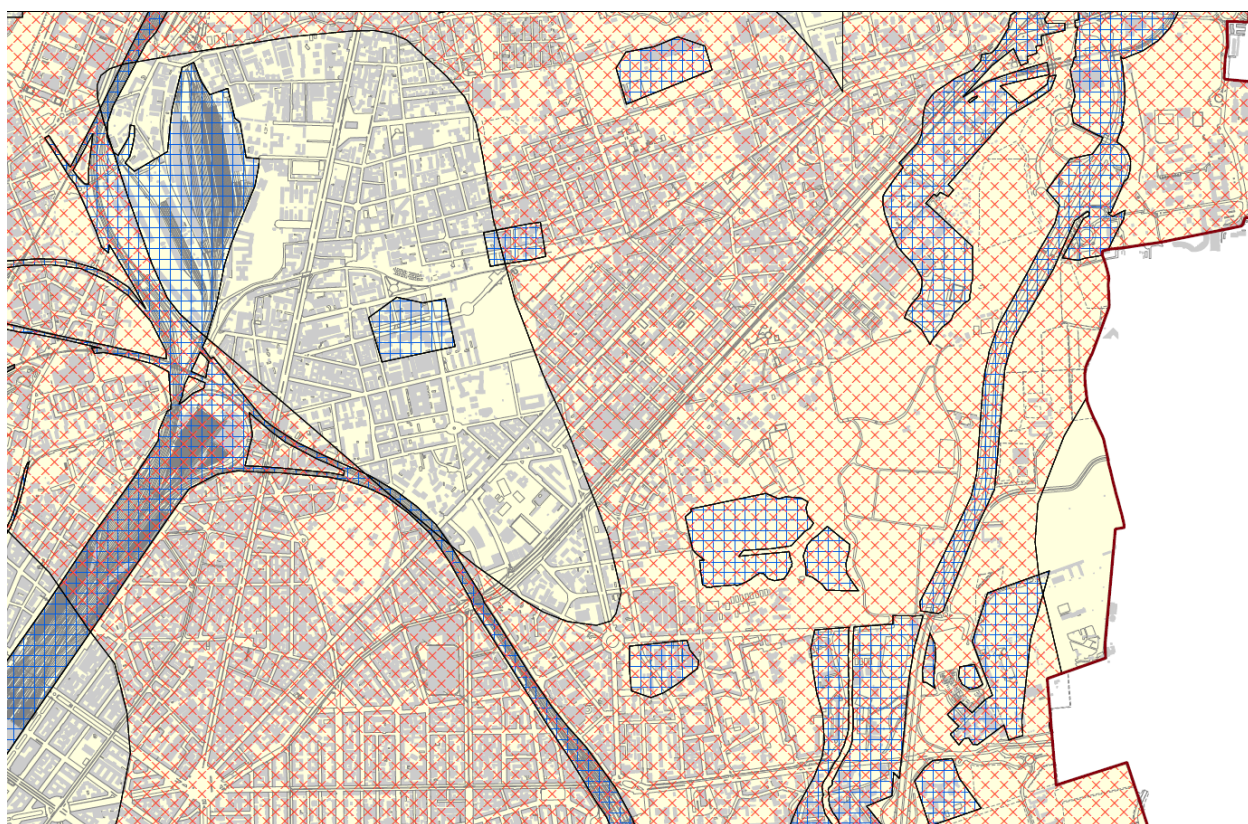
- il 2° livello permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici;
- il 3° livello (non previsto ai fini della pianificazione territoriale) permetterà sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone Z2).

Come già ricordato essa è finalizzata a classificare il territorio comunale individuando le zone in cui i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area.

Le analisi descritte nei precedenti paragrafi hanno in particolare evidenziato che l'intero territorio, ricade al di sopra di una estesa copertura detritica al di sopra del bedrock sismico (substrato rigido) e risulta pertanto caratterizzato dal potenziale sviluppo di amplificazioni del segnale sismico.




Nonostante, inoltre, l'intero territorio sia interessato dalla presenza di livelli a granulometria sabbiosa saturi a profondità prossime al piano campagna, solo una limitata porzione del territorio è caratterizzata dal rischio di liquefazione, in quanto potenzialmente soggetta a valori di accelerazione massima al suolo superiori al valore di 0,1 g (valore soglia definito dalla NTC 2018).

Il quadro di pericolosità sismica descritto comprende inoltre le aree interessate da riporti antropici in quanto potenzialmente soggetti a cedimenti per lo scarso addensamento, per l'elevata compressibilità o per i rapporti con la falda.



SCENARIO DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Descrizione delle aree e i relativi effetti

	Z2a - Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	→	CEDIMENTI
	Z2b - Zone con depositi granulari fini saturi	→	LIQUEFAZIONI
	Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	→	AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

LIMITI AMMINISTRATIVI

 Limite comunale

Fig. 20 Stralcio carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) alla scala 1:10.000

5 Secondo livello di approfondimento

5.1 Caratterizzazione sismica del territorio

5.1.1 Campagna di indagine

Le metodologie d'indagine impiegate sono di tipo indiretto non invasive e hanno comportato l'utilizzo di:

- n. 1 sismografo Geode a 24 bit per registrazione MASW, ReMi e ESAC,
- n. 1 tromografo Tromino per registrazione HVSR con geofoni a frequenza propria di 4,5 Hz,
- n. 24 geofoni verticali a frequenza 4,5 Hz,
- n. 2 cavi da 12 canali,
- una massa battente da 8 kg e idonea piastra di battuta in alluminio,
- un pc portatile e batteria di alimentazione a del sistema a 12 volt.

Le attività in campo sono consistite nella realizzazione di stendimenti sismici lineari mediante il posizionamento di n.2 cavi da 12 geofoni ciascuno a 4.5Hz ad equidistanza compresa tra 2 e 5 m per la registrazione delle prove sismiche di tipo Masw e Remi.

Nel corso della prova MASW l'energizzazione è stata prodotta con massa battente di 8 kg con registrazione ai lati a distanza pari all'equidistanza intergerfonica.

La prova ESAC è stata condotta mediante lo stendimento in direzione ortogonale dei n.2 cavi da 12 geofoni. Le prove ReMi e ESAC hanno avuto durata pari a 30 secondi ciascuna, per un totale di almeno 20 registrazioni a sito.

La prova HVSR ha comportato il posizionamento del tromografo nel punto d'indagine e l'acquisizione passiva del rumore ambientale per 20 minuti a frequenza di 256 Hz.

L'esecuzione delle prove ha comportato l'intervento di 3 tecnici, di cui almeno n.1 operatore geofisico iscritto all'Ordine dei Geologi.

Il piano di indagine ed in particolare il posizionamento dei punti di prova, è stato definito individuando una maglia pseudo-regolare di copertura territoriale corrispondente a celle di 2.5 km² di lato per un totale di 72 punti sui 180 km² del Comune. Il posizionamento definitivo è stato condotto individuando aree verdi di proprietà comunale aventi caratteristiche idonee al posizionamento delle attrezzature.

Nel corso dell'indagine sono state impiegate differenti metodologie di acquisizione del segnale sismico finalizzate alla migliore definizione del modello sismostratigrafico nel punto d'indagine. L'analisi congiunta dei risultati ha consentito la determinazione del modello in termini di velocità Vs, la definizione del parametro Vs30 e l'individuazione della profondità del substrato con Vs>800 m/s.

La metodologia sismica attiva con registrazione di prove MASW è stata finalizzata alla migliore risoluzione nel campo di frequenza rappresentativo della porzione sismostratigrafica più superficiale del modello (0-30 m),

La metodologia sismica passiva con registrazione prove Re.Mi. e ESAC è stata finalizzata ad una migliore risoluzione nel campo di frequenza rappresentativo della porzione sismostratigrafica intermedia del modello (20-100m).

L' HVSR è stato infine utilizzato per vincolare l'inversione sismostratigrafica in profondità e determinare il Vs>800 m/s).

In funzione del grado di rumore sismico presente nelle aree da indagare, sono state privilegiate soluzioni diverse per quanto attiene alle registrazioni passive; in particolare, per aree a basso rumore è stata utilizzata la tecnica passiva MASW, mentre per situazioni in cui il grado di rumore sia alto o proveniente da sorgenti più localizzate, è stata utilizzata la metodologia ESAC che tiene conto della direzionalità delle onde registrate.

Nel corso dell'indagine sono state utilizzate particolari tecniche esecutive che hanno migliorato il dataset acquisito ai fini di una migliore interpretazione dei risultati.

In primo luogo, nel corso delle prove MASW, l'energizzazione è stata effettuata su entrambi i lati anche a distanze superiori pari a 2 e 3 volte la distanza intergeofonica su ogni lato ed in posizione centrale per una migliore risoluzione statistica e analitica dei risultati.

Nel corso delle prove HVSR, per ogni sito di misura è stata aggiunta un'ulteriore registrazione simultanea con una seconda terna di geofoni con frequenza propria di 2 Hz, al fine di migliorare la "robustezza" e il controllo qualitativo per minimizzare le possibili problematiche legate al corretto posizionamento dei sensori sul terreno nonché ottenere una maggiore accuratezza nel campo delle frequenze più basse (<1 Hz) per il riconoscimento in profondità del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s).

L'indagine sismica è finalizzata all'applicazione della metodologia di analisi proposta dalla DGR 2616/2011 nella quale si prescrive di valutare il Fattore di amplificazione attraverso l'utilizzo degli abachi proposti nell'allegato, basati sull'individuazione del profilo delle V_s e della litologia.

Preliminarmente alla definizione del programma di indagine definitivo è stato analizzato il patrimonio informativo disponibile presso il comune di Milano. Sono in particolare state analizzate le pratiche edilizie riguardanti interventi di nuova edificazione o riguardanti nuove strutture in cemento armato realizzate successivamente all'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) le quali richiedono la classificazione sismica del terreno di fondazione e di conseguenza l'acquisizione dei dati necessari per la sua determinazione.

Come già ricordato, le indagini di nuova realizzazione sono state condotte in corrispondenza di 72 siti di prova, così come descritti nella seguente tabella.

Tab. 1 Elenco dei siti di prova

Codice	Sito	Codice	Sito
01	Via Senigallia, 11	37	Via Conca del Naviglio, 25
02	Via Val Lagarina, 71	38	Via Francesco Olgiati, 14
03	Via Cristina Belgioioso, 19	39	Via Davide Campari, 10
04	Cascina Merlata, Prato Nord	40	Via S. Marchetto, 11-9
05	Strada Vicinale della Cornacchia	41	Via Cascina Bianca, 9
06	Parcheeggio di Trenno	42	Via Don Ferrante, 2
07	Via Novara (SPexSS11), 381	43	Via Nicola Palmieri, 24
08	Via Fratelli Gorlini, 1	44	Via Pompeo Leoni, 5
09	Via Giacomo Quarenghi, 14	45	Via Pietro Colletta, 65
10	Via Console Marcello, 39-35	46	Piazzale Martini Ferdinando, 9
11	Via Bovisasca, 70	47	Viale Corsica, 94
12	Via Ernesto Teodoro Moneta, 37	48	Via Salesina
13	Via Luigi Ornato, 140	49	Via Mecenate, 150
14	Viale Sarca, 230	50	Via Alberto Savinio
15	Via Racconigi, 1	51	Viale Omero, 19-17
16	Via Benigno Crespi, 57	52	Via S. Dionigi, 90
17	Via Giuseppe Guerzoni, 15	53	Via Giuseppe Ripamonti, 334
18	Via Tolentino, 32	54	Via Nicola Romeo, 14
19	Via Gattamelata, 41	55	Via Michele Saponaro, 22
20	Via Novara, 110	56	Via Camporgnago, 12
21	Via Anselmo da Baggio, 10	57	Via Giuseppe Ripamonti, 440
22	Via Cusago, 203	58	Via Sant'Arialdo, 81
23	Via Cusago, 275	59	Via S. Arialdo, 102
24	Via Francesco Primaticcio, 562	60	Via Marignano, 16
25	Via Rubens, 24	61	Via Giovanni Segantini
26	Piazzale Giulio Cesare, 16	62	Piazza Po
27	Corso Sempione, 26	63	Piazza Castello

Codice	Sito	Codice	Sito
28	Piazzale Massari Giuseppe, 10	64	Piazza Luigi di Savoia
29	Via della Giustizia, 6	65	Via Palmanova
30	Via Virgilio Ranzato, 14	66	Via Caduti in missione di pace
31	Via Adriano, 96,	67	Via Bisceglie, 110
32	Viale Turchia, 44	68	Cascina Gobba - Tra via Olgettina e A51
33	Via Passo Sella, 16	69	Via Marco D'Agrate
34	Via Bronzino, 9	70	Parco della Cava di Muggiano
35	Viale Luigi Majno, 17	71	Viale Enrico Fermi
36	Piazza Fontana, 11	72	Viale Campania

Le schede relative ai singoli siti di prova contenenti gli elementi di identificazione, ubicazione e i risultati delle indagini effettuate sono riportate nel documento "Risultati prove in sito".

I risultati sono inoltre rappresentati nell'elaborato Carta delle Vs30 (Fig. 21).

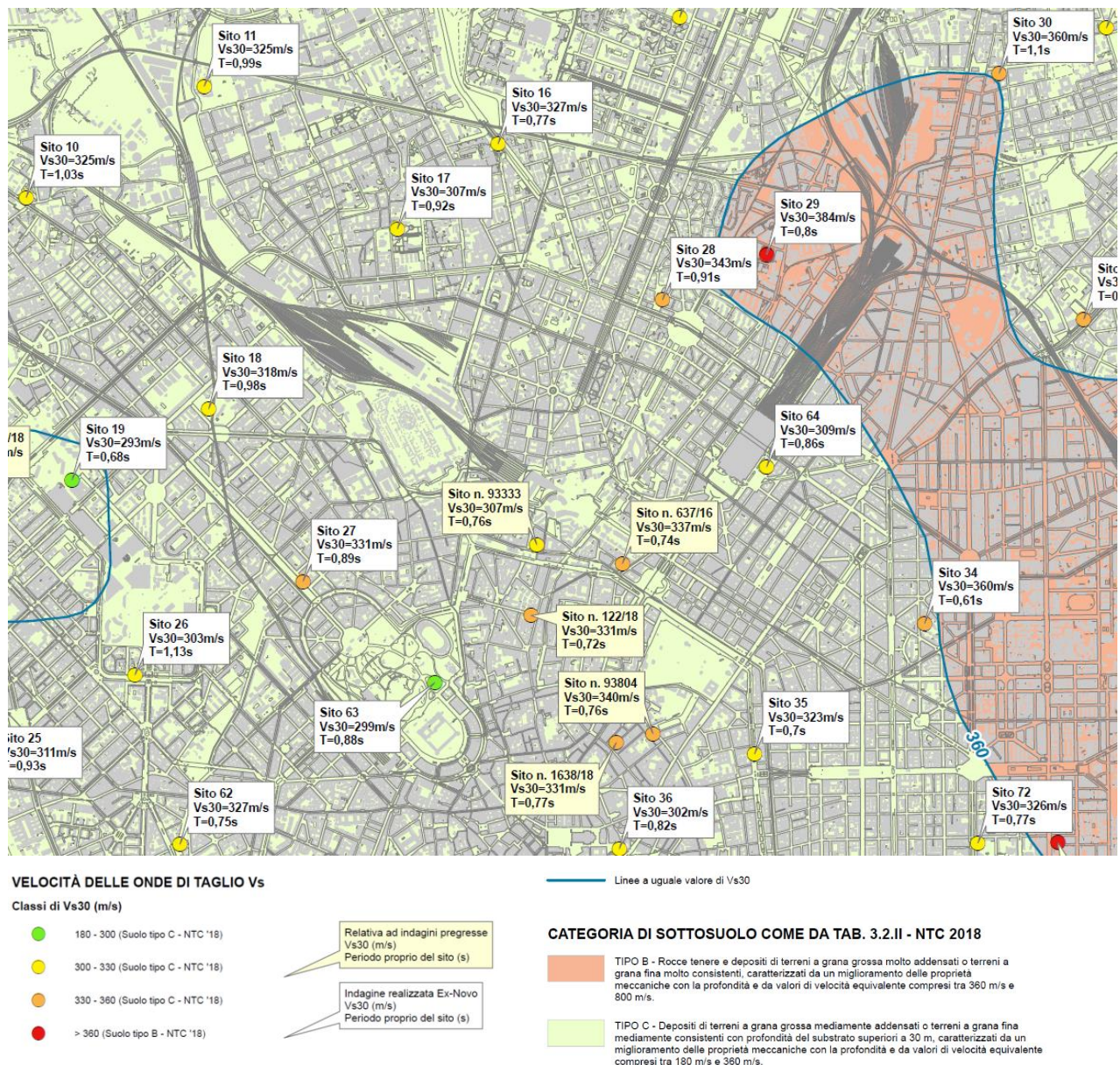


Fig. 21 Stralcio della Carta delle Vs30

5.1.2. *Analisi dei fattori di amplificazione*

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Gli effetti di amplificazione litologica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Per quanto attiene in particolare al 2° livello di approfondimento previsto per il territorio di Milano, viene prevista la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, allo scopo di fornire la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di **Fattore di Amplificazione (Fa)**.

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano).

Le aree a pericolosità sismica locale individuate saranno riportate nella carta di fattibilità con appositi retini "trasparenti", distinguendo quelle con Fa maggiore al valore soglia comunale da quelle con Fa minore.

Tale sovrapposizione non comporta quindi un automatico cambio di classe di fattibilità ma fornisce indicazioni su dove poter utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dalle NTC 2018, oppure dove sia necessario realizzare preventivamente gli studi di 3° livello, fermo restando la possibilità di utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la categoria di suolo superiore.

Il valore di Fa è stato calcolato per gli intervalli di periodo compresi tra 0.1-0.5 s e tra 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs è stata ottenuta attraverso l'utilizzo di metodi di indagine diretti ed indiretti, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) sulla base delle indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;

- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, è stata individuata la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Da un punto di vista generale la scelta delle schede è stata effettuata seguendo le indicazioni della DGR IX/2616 ed in particolare secondo il seguente schema procedurale:

- una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle Vs con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di Vs inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2,
- in presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà utilizzare a scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;
- nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;
- nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di Vs con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte;
- in presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione;
- all'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T2;
- il valore di Vs dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di Vs dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione);
- qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore;
- il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V s_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e $V s_i$ sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello;

- il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

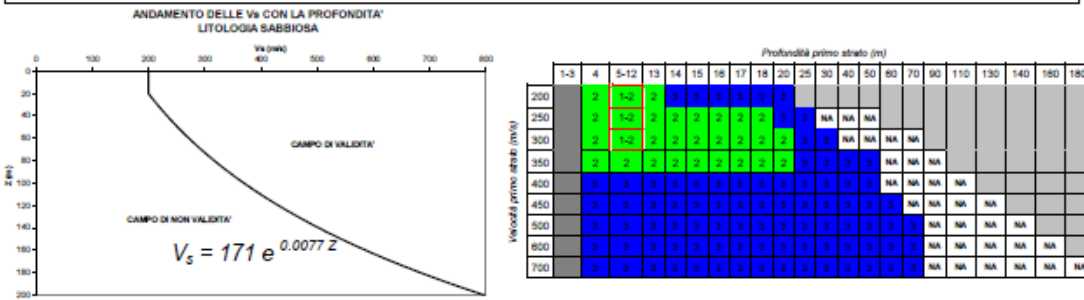
Tutti profili di velocità analizzati sono risultati compatibili solo con l'applicazione della scheda per le litologie prevalentemente sabbiose, nel seguito riportata.

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ove la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

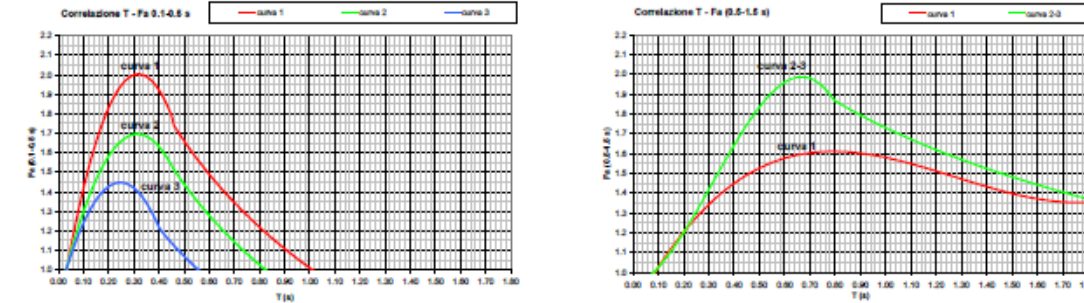
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s

$V_s > 500$ m/s

0

5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $F_{a(0.03)} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.78$	$0.50 < T \leq 1.00$ $F_{a(0.50)} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $F_{a(1.00)} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $F_{a(0.03)} = -8.95 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $F_{a(0.45)} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $F_{a(0.80)} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $F_{a(0.03)} = -9.98 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $F_{a(0.50)} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $F_{a(0.55)} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $F_{a(0.08)} = 0.57 T^2 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $F_{a(0.08)} = -6.11 T^2 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $F_{a(0.80)} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Fig. 22 Scheda di valutazione del fattore di amplificazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi.

La seguente tabella sintetizza i risultati delle analisi effettuate in corrispondenza dei 72 punti di indagine.

Codice	Sito	Vs30	Prof. bedrock sismico	T	Scheda	FA0105	FA0515
01	Via Senigallia, 11	320	104	0,78	Sabbiosa	1,10	2,00
02	Via Val Lagarina, 71	324	127	1,02	Sabbiosa	1,10	1,80
03	Via Cristina Belgioioso, 19	334	101	0,83	Sabbiosa	1,10	1,90
04	Cascina Merlata, Prato Nord	323	102	0,80	Sabbiosa	1,10	1,90
05	Strada Vicinale della Cornacchia	296	86	0,66	Sabbiosa	1,30	2,10
06	Parcheggio di Trenno	314	106	0,81	Sabbiosa	1,10	2,00
07	Via Novara (SPexSS11), 381	318	96	0,81	Sabbiosa	1,10	2,00
08	Via Fratelli Gorlini, 1	290	120	0,98	Sabbiosa	1,10	1,80
09	Via Giacomo Quarenghi, 14	325	106	0,84	Sabbiosa	1,10	1,90
10	Via Console Marcello, 39-35	325	131	1,03	Sabbiosa	1,10	1,80
11	Via Bovisasca, 70	325	98	0,99	Sabbiosa	1,10	1,80
12	Via Ernesto Teodoro Moneta, 37	339	109	0,80	Sabbiosa	1,10	2,00
13	Via Luigi Ornato, 140	348	96	0,67	Sabbiosa	1,30	2,10
14	Viale Sarca, 230	347	82	0,64	Sabbiosa	1,30	2,10
15	Via Racconigi, 1	314	93	0,80	Sabbiosa	1,10	2,00
16	Via Benigno Crespi, 57	327	108	0,77	Sabbiosa	1,20	2,00
17	Via Giuseppe Guerzoni, 15	307	83	0,92	Sabbiosa	1,10	1,90
18	Via Tolentino, 32	318	127	0,98	Sabbiosa	1,10	1,80
19	Via Gattamelata, 41	293	90	0,68	Sabbiosa	1,30	2,10
20	Via Novara, 110	300	107	0,91	Sabbiosa	1,10	1,90
21	Via Anselmo da Baggio, 10	288	112	0,89	Sabbiosa	1,10	1,90
22	Via Cusago, 203	264	109	0,89	Sabbiosa	1,10	1,90
23	Via Cusago, 275	278	148	1,22	Sabbiosa	1,10	1,70
24	Via Francesco Primaticcio, 562	290	136	1,07	Sabbiosa	1,10	1,80
25	Via Rubens, 24	311	113	0,93	Sabbiosa	1,10	1,90
26	Piazzale Giulio Cesare, 16	303	131	1,13	Sabbiosa	1,10	1,80
27	Corso Sempione, 26	331	111	0,89	Sabbiosa	1,10	1,90
28	Piazzale Massari Giuseppe, 10	343	123	0,91	Sabbiosa	1,10	1,90
29	Via della Giustizia, 6	384	103	0,80	Sabbiosa	1,10	2,00
30	Via Virgilio Ranzato, 14	360	93	1,10	Sabbiosa	1,10	1,80
31	Via Adriano, 96,	355	111	0,87	Sabbiosa	1,10	1,90
32	Viale Turchia, 44	335	143	1,10	Sabbiosa	1,10	1,80
33	Via Passo Sella, 16	375	97	0,77	Sabbiosa	1,20	2,00
34	Via Bronzino, 9	360	80	0,61	Sabbiosa	1,40	2,10
35	Viale Luigi Majno, 17	323	89	0,70	Sabbiosa	1,20	2,10
36	Piazza Fontana, 11	302	104	0,82	Sabbiosa	1,10	1,90
37	Via Conca del Naviglio, 25	345	71	0,53	Sabbiosa	1,50	2,00

Codice	Sito	Vs30	Prof. bedrock sismico	T	Scheda	FA0105	FA0515
38	Via Francesco Olgiati, 14	350	76	0,82	Sabbiosa	1,10	2,00
39	Via Davide Campari, 10	316	97	0,91	Sabbiosa	1,10	1,90
40	Via S. Marchetto, 11-9	394	129	1,09	Sabbiosa	1,10	1,80
41	Via Cascina Bianca, 9	300	121	1,00	Sabbiosa	1,10	1,80
42	Via Don Ferrante, 2	316	92	0,79	Sabbiosa	1,10	2,00
43	Via Nicola Palmieri, 24	301	113	0,97	Sabbiosa	1,10	1,80
44	Via Pompeo Leoni, 5	297	102	0,92	Sabbiosa	1,10	1,90
45	Via Pietro Colletta, 65	323	108	0,89	Sabbiosa	1,10	1,90
46	Piazzale Martini Ferdinando, 9	327	94	0,81	Sabbiosa	1,10	2,00
47	Viale Corsica, 94	315	85	0,75	Sabbiosa	1,20	2,00
48	Via Salesina	348	76	0,62	Sabbiosa	1,40	2,10
49	Via Mecenate, 150	342	86	0,71	Sabbiosa	1,20	2,10
50	Via Alberto Savinio	304	82	0,62	Sabbiosa	1,40	2,10
51	Viale Omero, 19-17	320	86	0,73	Sabbiosa	1,20	2,10
52	Via S. Dionigi, 90	301	75	0,61	Sabbiosa	1,40	2,10
53	Via Giuseppe Ripamonti, 334	301	106	0,92	Sabbiosa	1,10	1,90
54	Via Nicola Romeo, 14	286	98	0,84	Sabbiosa	1,10	1,90
55	Via Michele Saponaro, 22	294	106	0,87	Sabbiosa	1,10	1,90
56	Via Camporngano, 12	274	97	0,77	Sabbiosa	1,20	2,00
57	Via Giuseppe Ripamonti, 440	290	72	0,55	Sabbiosa	1,50	2,00
58	Via Sant'Arialdo, 81	308	63	0,48	Sabbiosa	1,60	1,90
59	Via S. Arialdo, 102	273	74	0,65	Sabbiosa	1,30	2,10
60	Via Marignano, 16	303	97	0,84	Sabbiosa	1,10	1,90
61	Via Giovanni Segantini	324	82	0,69	Sabbiosa	1,30	2,10
62	Piazza Po	327	95	0,75	Sabbiosa	1,20	2,00
63	Piazza Castello	299	106	0,88	Sabbiosa	1,10	1,90
64	Piazza Luigi di Savoia	309	102	0,86	Sabbiosa	1,10	1,90
65	Via Palmanova	345	100	0,87	Sabbiosa	1,10	1,90
66	Via Caduti in missione di pace	325	99	0,85	Sabbiosa	1,10	1,90
67	Via Bisceglie, 110	291	112	0,93	Sabbiosa	1,10	1,90
68	Cascina Gobba - Tra via Olgettina e A51	355	110	0,87	Sabbiosa	1,10	1,90
69	Via Marco D'Agrate	287	92	0,72	Sabbiosa	1,20	2,10
70	Parco della Cava di Muggiano	266	106	0,92	Sabbiosa	1,10	1,90
71	Viale Enrico Fermi	356	87	0,73	Sabbiosa	1,20	2,10
72	Viale Campania	326	87	0,77	Sabbiosa	1,20	2,00

Le singole schede di valutazione dei fattori di amplificazione sono riportate nell'elaborato "Schede dei fattori di amplificazione".

5.2 Cartografia di microzonazione sismica

5.2.1. Carta dei fattori di amplificazione

I valori di amplificazione calcolati in corrispondenza dei siti di indagine, unitamente a quelli derivanti dai progetti individuati negli archivi comunali sono stati analizzati e interpolati anche con riferimento alle caratteristiche del substrato e di conseguenza estesi spazialmente a copertura dell'intero territorio comunale.

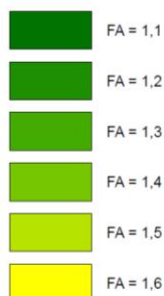
Il risultato dell'operazione di spazializzazione è sintetizzato nelle carte dei fattori di amplificazione.

Come prescritto dalla DGR sono state realizzate due carte dei fattori di amplificazioni relative agli intervalli di periodo 0,1 – 0,5 secondi e 0,5 – 1,5 secondi riferibili rispettivamente agli edifici e strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, e alle strutture più alte e più flessibili (Fig. 23 Fig. 24).



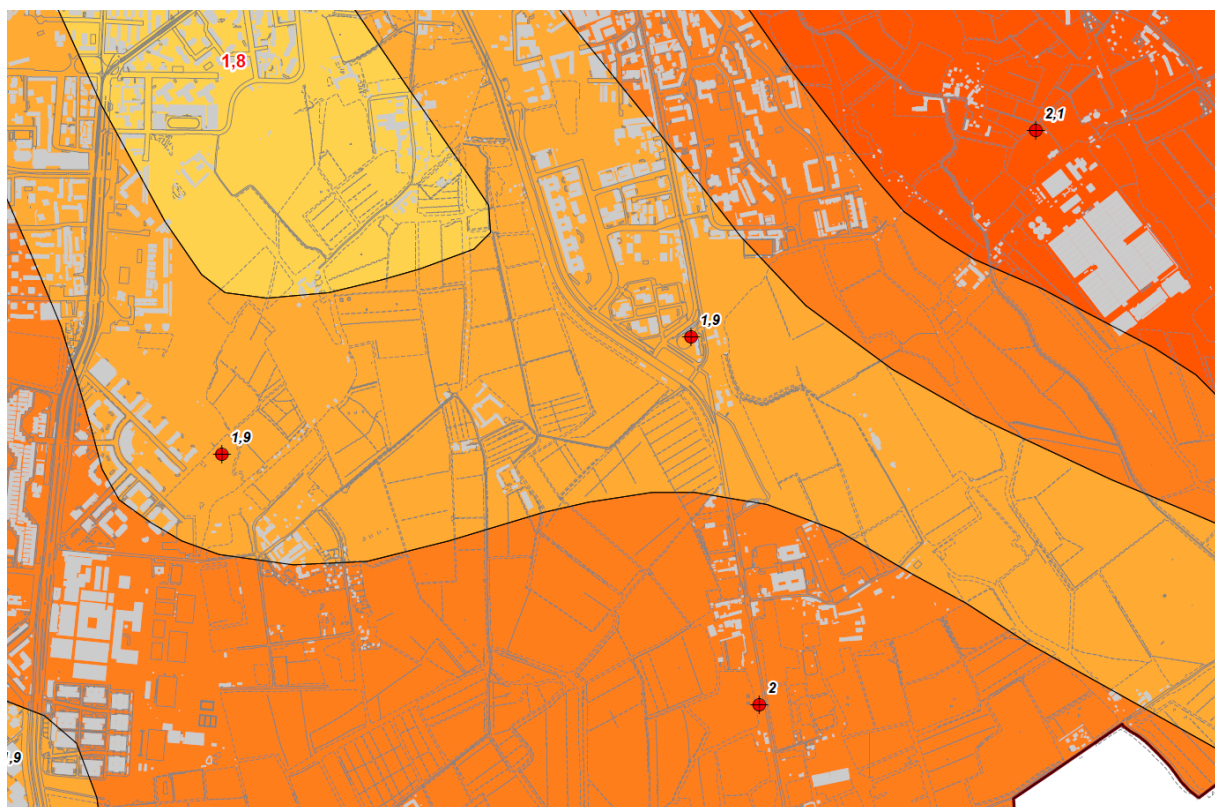
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Periodo di riferimento $T = 0,1 \text{ s} - 0,5 \text{ s}$



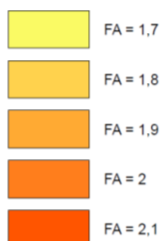
 Fattori di Amplificazione calcolati nei Siti di indagine

Fig. 23 Stralcio carta dei fattori di amplificazione nel Periodo di riferimento $T = 0,1 - 0,5 \text{ s}$



FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Periodo di riferimento T = 0,5 s - 1,5 s



 1,7
Fattori di Amplificazione calcolati nei Siti di indagine

Fig. 24 Stralcio carta dei fattori di amplificazione nel Periodo di riferimento T = 0,1 – 0,5 s

5.2.2. Confronto tra i fattori di amplificazione calcolati e di quelli previsti dalla normativa

Come già evidenziato, lo scopo del secondo livello di approfondimento della microzonazione sismica è quello di verificare dove i fattori di amplificazione calcolati risultano superiori a quelli previsti dalla normativa regionale per il territorio comunale di riferimento.

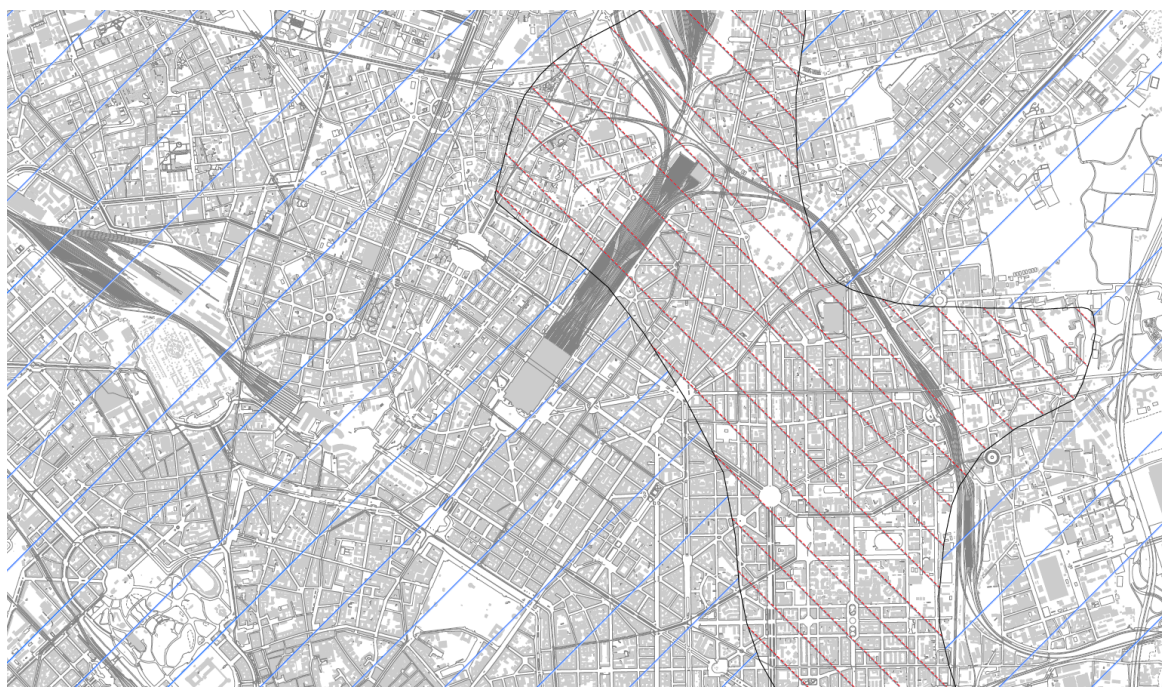
I fattori di amplificazione da normativa risultano definiti per le differenti tipologie di suolo di fondazione definite dalle NTC 2018. Nella carta di confronto tra i valori di amplificazione calcolati e quelli da normativa sono pertanto state evidenziate anche le aree caratterizzate dalle differenti tipologie di suolo di fondazione, in modo da rendere evidenti i valori di confronto.

La seguente tabella evidenzia i valori soglia di amplificazione previsti per il territorio di Milano.

Tab. 2 Parametri soglia di amplificazione per il comune di Milano

COMUNE	INTERVALLO (s)	Valori soglia per tipo di suolo			
		B	C	D	E
MILANO	0,1 - 0,5	1,4	1,8	2,2	2,0
MILANO	0,5 - 1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

Le carte di confronto evidenziano come le zone caratterizzate da valori di amplificazione superiori alla normativa siano limitate dal punto di vista dell'estensione e come i superamenti siano verificabili solo con riferimento all'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 secondi in corrispondenza delle aree caratterizzate da suoli di fondazione di categoria B.



**CONFRONTO TRA I FATTORI DI AMPLIFICAZIONE CALCOLATI
E I PARAMETRI SOGLIA DEFINITI PER IL COMUNE DI MILANO
(PERIODO 0,5 - 1,5 s)**

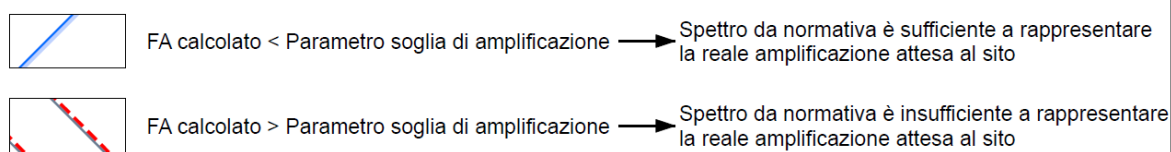


Fig. 25 Stralcio fuori scala della Carta di confronto tra i fattori di amplificazione calcolati ed i parametri soglia definiti dalla normativa (periodo 0,5 – 1,5)

Per le aree in cui l' Fa calcolato è maggiore al parametro soglia, pertanto, in fase di progettazione degli interventi edilizi si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3^a livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.



Comune di
Milano