

COMUNE DI PIOLTELLO (Milano)

***STUDIO DELL' ASPETTO SISMICO DEL
TERRITORIO COMUNALE A CORREDO
DEL P.G.T.***

Art.57 LR n.12/2005

“Legge per il Governo del Territorio”

Criteri attuativi DGR n°8/1566 del 22/12/05

Maggio 2008

Ric. 08.13a

INDICE

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

2. METODOLOGIA DI LAVORO

3. SINTESI DEI DATI RACCOLTI PER LA DEFINIZIONE DI UNA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

3.1 Generalità

3.2 Geografia

3.3 Geologia

3.4 Geomorfologia

3.5 Idrogeologia

3.6 Zonizzazione geotecnica

4. CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PRIMO LIVELLO)

4.1 Generalità

4.2 Descrizione della Carta

4.2.1 Scenario di pericolosità locale di tipo Z1 (frane)

4.2.2 Scenario di pericolosità locale di tipo Z2 (terreni scadenti)

4.2.3 Scenario di pericolosità locale di tipo Z3 (scarpate)

4.2.4 Scenario di pericolosità locale di tipo Z4 (terreni incoerenti)

4.2.5 Scenario di pericolosità locale di tipo Z5 (contatto)

5. APPROFONDIMENTO CONOSCITIVO (SECONDO LIVELLO) - INDAGINE SU CAMPO

5.1 Generalità

5.2 Parametrazione sismica del territorio comunale: zona di ciglio (Z3a)

5.2.1 Generalità del metodo

5.2.2 Parametrazione della zona di ciglio nel Comune di Pioltello

5.3 Parametrazione sismica del territorio comunale: zona con terreni costituiti da materiali incoerenti e con falda superficiale prossima al p.c. (Z2-Z4a)

5.3.1 Generalità sulla liquefazione

5.3.2 Valutazione del parametro Vs30

5.3.3 Prospezione geosismica con il metodo MASW

5.3.3.1 Modalità di esecuzione, strumentazione e squadra

5.3.3.2 Descrizione dei risultati: calcolo della Vs30

5.3.3.3 Descrizione dei risultati: calcolo del Fattore di Amplificazione (Fa)

6. CONSIDERAZIONI FINALI

7. PRESCRIZIONI

APPENDICE: GENERALITA' SULLE ONDE SISMICHE

ALLEGATI

<i>ALL.1</i>	<i>“Inquadramento territoriale”</i>	<i>Scala 1:10.000</i>
<i>ALL.2</i>	<i>“Carta di sintesi degli elementi fisici del territorio”</i>	<i>Scala 1:10.000</i>
<i>ALL.3</i>	<i>“Carta della pericolosità sismica locale”</i>	<i>Scala 1:10.000</i>
<i>ALL.4</i>	<i>“Ubicazione interventi e zonizzazione PRG vigente”</i>	<i>Scala 1:10.000</i>
<i>ALL.5</i>	<i>“Velocità delle onde S : grafico e sismogramma”</i>	

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Nel febbraio 1999 il Comune di Pioltello aveva incaricato la S.G.A. s.r.l. di Milano di approntare lo studio geologico a corredo del PRG comunale. Tale lavoro comprendeva l'individuazione e l'analisi dei diversi aspetti fisici del territorio che concorrono a caratterizzarlo dal punto di vista della fattibilità geologica.

Il lavoro rispondeva alle direttive evidenziate dalla normativa allora vigente, cioè la Legge n° 41/97 "Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti" e la successiva circolare n. 6/37918 del 6 agosto 1998 che specificava i criteri di impostazione degli elaborati tecnici e i contenuti necessari in relazione alle caratteristiche fisiche delle diverse parti del territorio comunale.

Con la formulazione della legge regionale n°12/2005 relativa al governo del territorio e dei successivi "Criteri attuativi dell' art. 57 della l.r. 12/2005 -Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio", approvati con D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005, si sono fornite le linee guida per la prevenzione del rischio idrogeologico attraverso una pianificazione territoriale compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico e con le condizioni di sismicità del territorio a scala comunale, in accordo con le disposizioni della l.r. 12/2005.

I nuovi criteri attuativi pertanto riprendono e perfezionano le precedenti direttive in materia, dettate dalle deliberazioni della Giunta regionale n. 5/36147/1993, n. 6/37918/1998 e n.7/6645/2001, e dalla l.r. n. 41/1997, in seguito abrogata dalla legge 12/2005.

La suddetta nuova normativa richiede una integrazione "relativamente alla componente sismica" esplicitandone le modalità di approccio.

Alla luce di tutto ciò il presente lavoro completa e integra l'allegato tecnico a suo tempo prodotto a supporto del PRGC di Pioltello, il cui TERRITORIO COMUNALE RICADE IN ZONA SISMICA 4.

2. METODOLOGIA DI LAVORO

La riclassificazione sismica del territorio italiano -effettuata nel 2000 ed esplicitata nell'Ordinanza n.3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003- ha individuato per ciascun comune una zona sismica di appartenenza (da 1 a 4) relativa alla maggiore (zona 1) o minore (zona 4) suscettività sismica del territorio.

Tale Ordinanza prevede altresì che in ogni comune si provveda -in caso di progetti interessanti grandi opere o comunque opere relative a zone sismiche verificate- a determinare i parametri fisici necessari a valutare il rischio cui tali opere si espongono.

Il parametro fisico più importante per tale valutazione è quello relativo alla Velocità delle Onde Trasversali o "di taglio" (V_s). A tale valore infatti corrisponde la propensione dei terreni a esaltare/contenere le sollecitazioni provocate dalle onde sismiche superficiali, le più pericolose nei confronti dei manufatti.

La metodologia di lavoro, come stabilito dalla D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005, è stata strutturata nelle seguenti e successive fasi di lavoro in cui si sono definite le procedure per l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei piani di governo del territorio.

Tali procedure consistono sinteticamente in:

1. *Sintesi bibliografica compilativa (raccolta dati)*
2. *Approfondimento – integrazione (indagini su campo)*
3. *Valutazioni parametriche*

1. La fase di *sintesi bibliografica compilativa* è stata basata sulla raccolta dati attinenti alla caratterizzazione geofisica del territorio (litologia, spessore delle unità geologiche, parametri geotecnici, presenza della falda, risultati di precedenti indagine dirette o indirette sui terreni, sismicità storica). Si tratta di un approccio di tipo qualitativo, che rappresenta lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento: si individuano, sulla base di dati fisici noti, reperiti sul luogo o desunti dalla bibliografia, le zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili (zone omogenee dal punto di vista sismico); si produce una *Carta della pericolosità sismica locale*
2. La fase di *approfondimento-integrazione* parte dalla documentazione di cui alla precedente fase. Sulla base della carta della pericolosità sismica locale si individuano zone campione per la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi: in tali zone si sono effettuate indagini specifiche di carattere geofisico per la valutazione del parametro " V_s "
3. Nota la stratigrafia del sito scelto e l'andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s si calcolano il *periodo "T"* specifico del sito e il *Fattore di Amplificazione "Fa"* specifico. Tale valore di *Fa* viene confrontato con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per ciascuna zona sismica. La conoscenza del parametro V_s permette inoltre di conoscere altri parametri geotecnici di interesse ingegneristico, quali i moduli di elasticità, importanti nell'elaborazione dei calcoli costruttivi.

Il rischio sismico è definibile dall'incrocio tra dati di:

- pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata)
- vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni)
- esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio)

3. SINTESI DEI DATI RACCOLTI PER LA DEFINIZIONE DI UNA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

3.1 Generalità

Il Politecnico di Milano ha prodotto nel marzo 2005 uno studio di carattere sismico avente il seguente esauriente titolo “ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO IN DETERMINATI COMUNI DEL TERRITORIO LOMBARDO E SUPPORTO TECNICO INERENTE L'ANALISI DI VULNERABILITA' SISMICA PREVISTA DAL PROGRAMMA TEMPORALE DELLE VERIFICHE DI CUI ALLA D.G.R. N. 14964 DEL 7 NOVEMBRE 2003”- In tale lavoro sono state messe a punto delle metodologie per la valutazione degli effetti sismici locali a scala urbanistica e per definire il tipo di indagini e di analisi numeriche indispensabili per raggiungere risultati ingegneristicamente utili per la pianificazione del territorio e per la progettazione delle costruzioni nelle zone sismiche. Di tale lavoro viene qui interamente citato il cap. 2 “Risposta sismica locale”, in quanto esplicita chiaramente i presupposti che portano a definire uno studio di **microzonazione sismica** che ovviamente si presenta come un'attività interdisciplinare, comprendendo studi sismologici, geologici, di ingegneria geotecnica e di ingegneria strutturale.

Con “microzonazione sismica” si suole definire *l'individuazione e la delimitazione di zone alle quali vengono attribuiti parametri e prescrizioni finalizzati alla riduzione del rischio sismico*, da utilizzare nella pianificazione urbanistica, nella progettazione di manufatti e in fase di emergenza. L'individuazione di tali zone avviene attraverso la valutazione della pericolosità di base (terremoto di riferimento) e della risposta sismica locale.

Il vero significato di uno studio di microzonazione sismica è quello di tradursi in uno strumento di uso del territorio e per questo al suo carattere spiccatamente scientifico deve affiancarsi l'aspetto politico, inteso come scelte di priorità precise da parte di amministrazioni locali e di attività volte nella direzione della sicurezza, prevenzione, pianificazione territoriale e conoscenza e salvaguardia dei beni fisici ed architettonici.

Si definisce:

- **Pericolosità sismica di base:** previsione deterministica o probabilistica che si possa verificare un evento sismico in una certa area in un determinato intervallo di tempo. L'evento atteso può essere descritto sia in termini di parametri di scuotimento del suolo (P_{ga} , P_{gv} , ecc.), sia in termini di Intensità macrosismica (I_{MCS}).
- **Terremoto di riferimento:** spettro elastico di risposta o accelerogramma relativo ad una formazione rocciosa di base o a un sito di riferimento.
- **Pericolosità sismica locale:** previsione delle variazioni dei parametri della pericolosità di base e dell'accadimento di fenomeni di instabilità dovute alle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito; è valutata a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici e geotecnici del sito.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono infatti influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo EFFETTI diversi che devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti: pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione del **livello di deformazione tangenziale** impresso al materiale si distinguono 3 campi di comportamento distinti ma tra loro contigui:

- *il comportamento a piccole deformazioni (o pseudo-lineare)*, in cui i livelli deformativi rimangono al di sotto della soglia di linearità del terreno e pertanto il legame τ/γ è rappresentabile con buona approssimazione con un modello elastico lineare; le caratteristiche di deformabilità del terreno dipendono unicamente dalla sua struttura e dal suo stato, mentre la minima dissipazione energetica presente dipende dalla viscosità dello scheletro solido e del fluido interstiziale ed è quindi marcatamente dipendente dalla velocità di carico e dalla frequenza di eccitazione; in un ciclo completo il modulo di taglio si può considerare costante e pari al valore G_0 iniziale, mentre l'energia dissipata è percentualmente molto ridotta rispetto a quella impressa e quindi trascurabile (D prossimo a zero);
- *il comportamento a medie deformazioni (o non lineare stabile)*, in cui i livelli deformativi superano la soglia di linearità restando comunque inferiori alla soglia volumetrica; il comportamento è marcatamente non lineare e dissipativo con diminuzione del modulo di taglio G ed aumento del rapporto di smorzamento D all'aumentare della deformazione; la deformabilità del terreno dipende non solo dallo stato corrente del materiale ma anche dal livello di sforzo o deformazione imposto, dalla velocità di deformazione e dalla storia tensio-deformativa pregressa; pertanto l'aspetto del ciclo del legame τ/γ si modifica al crescere dell'ampiezza della sollecitazione, ma dopo pochi cicli il comportamento diviene stabile e per sollecitazione ciclica costante il terreno ripercorre lo stesso ciclo tensione-deformazione; il comportamento è di tipo elastico non lineare con deformazioni plastiche di modesta entità e può approssimativamente essere simulato con un modello lineare equivalente, dopo aver definito per ogni valore di γ una coppia di valori G e D ;
- *il comportamento a grandi deformazioni (o non lineare degradabile)*, in cui i livelli deformativi superano la soglia volumetrica oltre il quale il terreno risente dell'accoppiamento tra deformazioni distorsionali e volumetriche; livelli deformativi così grandi generano, per effetto di ogni singolo ciclo τ/γ , valori residui particolarmente rilevanti delle deformazioni plastiche, in condizioni drenate, e delle sovrappressioni neutre, in condizioni non drenate; la deformabilità del terreno è fortemente influenzata dalla storia tensio-deformativa pregressa, dalla velocità di deformazione e dal numero di cicli di carico, il cui ripetersi produce una continua degradazione delle proprietà meccaniche del materiale; la dissipazione dell'energia è dovuta prevalentemente a fenomeni di non linearità. Il comportamento sforzi-deformazioni deve obbligatoriamente essere descritto con un modello non lineare di tipo elasto-plastico.

Come estrema conseguenza del fenomeno di degradazione ciclica si ha, in condizioni drenate, la rottura o instabilità del materiale, mentre, in condizioni non drenate, si ha l'improvvisa perdita di resistenza al taglio in seguito all'annullamento degli sforzi efficaci.

I **valori di soglia deformativi** variano in funzione del tipo di materiale e quindi, a parità di livello deformativo indotto dal sisma, i materiali si distinguono in due grandi categorie:

- A) terreni sismicamente stabili** quando gli sforzi ciclici generati dal terremoto rimangono inferiori alla resistenza al taglio che il terreno possiede sotto carichi ciclici; il comportamento potrà essere di tipo pseudo-lineare, non lineare stabile e non lineare degradabile senza comunque giungere alla rottura;
- B) terreni sismicamente instabili** quando gli sforzi ciclici indotti dal sisma raggiungono o superano la resistenza al taglio dei terreni stessi che pertanto diventano incapaci di trasmettere gli sforzi e quindi si deformano permanentemente (rottura).

La distinzione dei terreni in sismicamente stabili ed instabili è di fondamentale importanza: in funzione della categoria di terreno variano i parametri richiesti dalle procedure di calcolo per la stima della pericolosità e di conseguenza variano le prove necessarie da eseguire in sito e in laboratorio per la valutazione dei parametri richiesti.

Inoltre a ciascuna categoria di appartenenza dei terreni corrispondono ben precisi scenari sismici, individuati qualitativamente attraverso **un'analisi di valutazione della pericolosità sismica locale di 1° livello**, riassunti nella Tabella seguente:

SITUAZIONI TIPO
Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana
Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)
Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)
Zona di cresta rocciosa, cocuzzolo
Zona di fondovalle con presenza di terreni incoerenti
Zona pedemontana di falda di detrito e cono di deiezione
Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

In funzione, quindi, della categoria del terreno si distinguono due grandi gruppi di effetti locali:

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

a) 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; tale amplificazione è condizionata dalle caratteristiche geometriche del rilievo (quali il fattore di forma h/L), che devono essere tali per cui la lunghezza d'onda incidente λ sia comparabile con la semilarghezza $L/2$ della base dell'irregolarità; lungo i fianchi del rilievo l'interazione tra onde incidenti ed onde diffratte produce rapide variazioni in ampiezza e frequenza delle onde sismiche generando un complesso campo di spostamenti con alternanza di amplificazioni ed attenuazioni che possono dare luogo a marcati movimenti differenziali; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;

b) 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 etc..) 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.

Durante il percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito l'ampiezza della vibrazione è soggetta ad un fenomeno di attenuazione totale, rappresentato dalla sommatoria di 3 termini fondamentali:

l'attenuazione geometrica o radiation damping dovuta all'effetto dell'espansione del fronte d'onda sferico ed è direttamente proporzionale alla distanza sorgente-sito;

l'attenuazione per diffusione o scattering damping dovuta alla perdita di energia da parte dell'onda primaria per generazione di onde secondarie; questo fenomeno è dovuto all'eterogeneità del mezzo, costituito da corpi con densità e rigidità diversa ed è direttamente proporzionale al numero di corpi "scatteratori" incontrati durante il tragitto;

l'attenuazione intrinseca (dissipazione anelastica) o material damping dovuta alla perdita di energia da parte delle onde sismiche per riscaldamento del mezzo attraversato (effetti termici).

Tali fenomeni sono raccolti in un'unica legge di attenuazione che può avere validità regionale o nazionale.

In sismologia le proprietà dissipative del mezzo vengono descritte dal fattore di qualità Q (dato dai diversi contributi), mentre in geotecnica si utilizza il decremento logaritmico (δ), funzione della velocità, frequenza e lunghezza d'onda e dal rapporto di smorzamento D espresso in %.

Nel caso di *materiali omogenei* e isotropi le modificazioni nella forma ed ampiezza del segnale sismico dipendono solo dalle caratteristiche della sorgente sismica (energia liberata, meccanismo di rottura etc.) e dalla distanza di propagazione tra sorgente e sito (radiation damping).

Nel caso di *materiali eterogenei* con condizioni geologiche e geotecniche molto variabili le modificazioni del moto sismico sono dovute anche a fenomeni di scattering, di riflessioni multiple, rifrazioni e trasformazione delle onde di volume in onde superficiali.

L'equazione che descrive l'andamento nel tempo dello spostamento di un punto di un corpo continuo posto alla distanza r dalla sorgente è costituita da termini che si attenuano in ragione di $1/r$ (termini far-field) e in ragione di λ/r e λ/r^2 (termini near-field). Si definiscono pertanto:

- *condizioni far-field* quando la distanza tra sorgente e sito è superiore ad 1-2 volte la lunghezza della rottura della faglia ed è quindi comparabile con le dimensioni dell'area di studio: in tali condizioni è possibile considerare gli effetti di sito come unici responsabili delle modificazioni delle onde sismiche, mentre si trascurano gli effetti di sorgente e tutti quei termini la cui ampiezza decade rapidamente già a breve distanza dalla sorgente; in tali condizioni è lecito considerare l'influenza delle sole onde trasversali, con direzione di incidenza normale alla superficie del suolo;

- *condizioni near-field* quando la sorgente sismica è relativamente vicina al sito di analisi e quindi il contributo dei termini di sorgente e di riduzione geometrica proporzionali a λ/r e λ/r^2 non sono più trascurabili; inoltre non sono più trascurabili sia la direzionalità di incidenza delle onde di volume sia l'influenza delle onde longitudinali in superficie.

Pertanto la valutazione degli effetti di sito è eseguita attraverso analisi in condizioni far-field determinando l'ampiezza e il contenuto in frequenza del moto sismico alla superficie libera del suolo in assenza di manufatti, cioè in condizioni free-field; infatti la presenza di una qualsivoglia sovrastruttura, poggiante sul terreno attraverso una struttura di fondazione, induce delle deformazioni al terreno (interazione inerziale) e quindi esercita una certa influenza sul moto sismico complessivo.

GRUPPO II: gli effetti di instabilità.

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.

a) versanti in equilibrio precario (in materiale sciolto o in roccia): si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.

b) strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche: si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture.

c) terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche: si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.

d) siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo: si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

La presenza degli effetti locali sopra elencati dimostra che una corretta progettazione strutturale antisismica non è da sola sufficiente a garantire condizioni di sicurezza adeguate e che strutture e infrastrutture, dimensionate per resistere ad azioni sismiche anche molto violente, possono perdere la loro efficienza per problemi dipendenti dalla natura del terreno di fondazione.

Il comportamento non lineare del terreno è espresso in termini di decadimento del modulo di taglio G ed aumento dello smorzamento interno D , in funzione della deformazione tangenziale e la sua influenza sulla risposta sismica in superficie è dipendente dal livello di eccitazione sismica.

Al crescere dell'input sismico l'influenza della non linearità si traduce in:

- una riduzione della trasmissione di frequenze elevate e quindi in uno spostamento del picco di amplificazione verso frequenze minori, a causa della riduzione delle caratteristiche di rigidità del terreno;
- un'attenuazione dei picchi di amplificazione delle ampiezze in spostamento, a causa dell'aumento del rapporto di smorzamento e tale attenuazione è direttamente proporzionale al valore di D ;
- un'attenuazione per elevati valori della frequenza.

Pertanto nel caso di modelli di analisi equivalenti lineari la non linearità del materiale è tenuta in conto attraverso la ridefinizione dei parametri meccanici G e D in funzione della deformazione tangenziale impressa dal moto sismico.

Per la valutazione della risposta sismica del sito è necessario calcolare la funzione di trasferimento (e quindi di amplificazione) che indica quali componenti del moto sismico sono amplificate o smorzate durante il passaggio attraverso il terreno e in che rapporto.

Esistono molteplici soluzioni numeriche per il calcolo della funzione di trasferimento a seconda della complessità del modello considerato: qualunque sia la soluzione teorica utilizzata la funzione di trasferimento dipende dai parametri meccanici del sottosuolo.

Nel caso di comportamento lineare le proprietà meccaniche del materiale sono costanti al variare della deformazione tangenziale impressa dalla sollecitazione sismica: in questo caso la funzione di trasferimento rappresenta una proprietà univoca del sito qualunque sia il moto sismico di riferimento.

Nel caso di comportamento non lineare le proprietà meccaniche dei materiali variano in funzione della deformazione tangenziale prodotta dalla sollecitazione sismica: pertanto considerando come metodo di analisi quello equivalente lineare la funzione di trasferimento non può essere considerata una proprietà univoca del sito, ma dipende dalla combinazione tra caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, ampiezza e contenuto in frequenza del moto sismico del basamento ed incidenza del comportamento non lineare dei terreni.

Pertanto a parità di caratteristiche stratigrafiche e di comportamento non lineare dei materiali nel caso di piccoli eventi sismici con basso contenuto energetico il modello lineare ben si presta all'analisi della risposta sismica in superficie e la funzione di trasferimento calcolata costituisce una proprietà intrinseca del sito; nel caso di forti eventi sismici con alto contenuto energetico l'influenza della non linearità non è più trascurabile, l'analisi può essere condotta con modelli equivalenti lineari, in cui la funzione di trasferimento calcolata non è una proprietà del sito ma varia in funzione dell'evento atteso oppure con modelli non lineari complessi e sofisticati che tengono conto del reale comportamento dei materiali tramite modelli e parametri plastici per cui la funzione di trasferimento calcolata può essere considerata una proprietà del sito.

A parità di terremoto atteso e di caratteristiche stratigrafiche del sito la risposta sismica in superficie è fortemente influenzata dalla suscettibilità dei terreni ad esibire un comportamento più o meno lineare (di fondamentale importanza per un corretto utilizzo di modelli di analisi equivalenti lineari è la conoscenza delle curve di degrado dei materiali).

Tutti i dati che possono costituire elementi importanti nella valutazione della sismicità comunale, raccolti sul territorio di Pioltello con l'indagine relativa allo studio del PRG, vengono qui di seguito sintetizzati.

Tali dati costituiscono il primo approccio conoscitivo del territorio dal punto di vista fisico e sono rappresentati in All.2 "*Carta di sintesi degli elementi fisici del territorio*" alla scala 1:10.000.

3.2 Geografia

Il territorio del Comune di Pioltello interessa una superficie di circa 13.2 kmq ed è ubicato nella parte orientale della Provincia di Milano.

In All. 1 "Inquadramento territoriale" l'area di studio è stata visualizzata alla scala 1:10.000.

L'area attualmente ad uso residenziale interessa una fascia centrale ed è disposta in senso NS. Tra la Strada Cassanese e la Strada Rivoltana tale fascia è affiancata ad Ovest da zone produttive.

All'altezza di Limite, a Est, si sviluppa la vasta area del polo chimico che interessa anche il Comune di Rodano.

Le restanti aree sono ancora agricole, con un vasto settore a Sud interessato da attività estrattive.

3.3 Geologia

L'intera area comunale è compresa entro la media pianura lombarda, costituita da terreni quaternari derivati da depositi fluvioglaciali. Essi sono composti da ghiaie sabbiose e sabbie, con strato superficiale di alterazione molto ridotto (40-60 cm), generalmente brunastro, in cui viene a prevalere una matrice limosa derivata da disfacimento dei materiali più grossolani.

Tali depositi, di età riferibile all'interglaciale Riss-Wurm, vengono indicati nella Carta geologica d'Italia come "*Diluvium Recente*".

Le stratigrafie, desunte dalle perforazioni effettuate per la terebrazione di pozzi per acqua, mostrano in profondità una costante successione di materiali ghiaiosi e sabbiosi intervallati da strati argillosi con spessore dell'ordine del metro, che diventano decisamente più consistenti oltre gli 80 metri di profondità dal piano campagna.

Presenti, in spessori limitati, anche livelli conglomeratici, derivati dalla cementazione di materiali alluvionali per la dissoluzione chimica dei componenti calcarei.

Sono state raccolte nello studio del territorio comunale, oltre alle stratigrafie dei pozzi disponibili, anche tre stratigrafie di pozzi terebrati dall'AGIP per la ricerca petrolifera effettuata alla fine degli anni 50 in località Cassina dè Pecchi (Pozzo Cernusco 1), Pioltello (Pozzo Cernusco 2) e Segrate (Pozzo Segrate 1).

Dall'esame delle varie stratigrafie si può notare come i depositi alluvionali interessino i primi 200-250 metri dal p.c. e sono seguiti da depositi sabbioso-argillosi pleistocenici, il cui letto è posto oltre i 650 metri (oltre i 1000 nel pozzo di Segrate 1). Intervallati a tali depositi, a volte, sono presenti anche strati torbosi e ciottolosi.

3.4 Geomorfologia

Dal punto di vista geomorfologico non vi sono particolari rilevanze in quanto l'area comunale è interamente pianeggiante e per gran parte urbanizzata. Le quote vanno da un massimo di 128 m s.l.m., a Nord, in corrispondenza della SS11 "Padana Superiore", ad un minimo di 107 m s.l.m. nei pressi della Cava Cantoni, a Sud, con una pendenza media del terreno pari a circa il 3-5 per mille.

Dalle carte della morfologia della Regione Lombardia alla scala 1:50.000 si sono riconosciuti i principali tracciati degli alvei abbandonati dei corsi d'acqua, quali si possono ancora rilevare dall'esame aereofotogrammetrico al livello del piano campagna. Tali paleoalvei, ormai obliterati dalle attività agricole e produttive, rappresentano l'antico sviluppo dell'idrografia superficiale prima che venisse artificialmente strutturata nell'attuale reticolo.

Ben più evidenti nel paesaggio morfologico sono invece gli attuali laghi di cava (Cava Concrete e Cava Cantoni, Lago Malaspina), che mettono a giorno la falda freatica sottostante e rappresentano il risultato dell'attività estrattiva per la coltivazione di sabbia e ghiaia.

3.5 Idrogeologia

L'area di studio è interessata dal punto di vista litologico da una spessa coltre alluvionale quaternaria costituita da sabbie, ghiaie, limi argille, di origine fluvioglaciale.

Lo schema idrogeologico generale della media pianura lombarda ad est di Milano è rappresentato da un sistema multistrato ove, ad una falda superficiale libera che si rinviene a pochi metri dal piano campagna, fanno seguito falde più profonde in pressione, divise tra loro sia verticalmente che orizzontalmente da lenti argillose o limose-argillose semipermeabili. La base impermeabile, a scala regionale, è costituita dai depositi limoso-argillosi del "Villafranchiano" e dai depositi del Pliocene. Da nord a sud i successivi eventi alluvionali hanno determinato una selezione granulometrica del materiale sedimentato che, semplificando, può essere rappresentata come una continua diminuzione delle dimensioni, con conseguente diminuzione del grado di permeabilità.

Le informazioni sull'andamento storico della superficie piezometrica derivano dai dati raccolti dalla Giunta Tecnica del Comune di Milano diventata poi Servizio Informativo falda (SIF) che ha elaborato una serie di carte delle isopiezometriche riferite agli anni 1990-2007

Tali carte presentano i seguenti valori di quota piezometrica per ciò che concerne il territorio Comunale di Pioltello:

- 1990 (media dell'anno) : tra 103 e 112 m s.l.m.
- Aprile 1992 : tra 104 e 113 m s.l.m.
- Settembre 1992 : tra 105 e 117 m s.l.m..
- Aprile 1995 : tra 105 e 115 m s.l.m.
- Settembre 1995 : tra 105 e 120 m s.l.m.
- Settembre 2001 : tra 105 e 118 m s.l.m.
- Marzo 2004 : tra 104 e 117 m s.l.m.

In data 23 febbraio 1999 è stato inoltre eseguito un rilievo piezometrico di dettaglio nel Comune di Pioltello, utilizzando pozzi accessibili alle misure, filtrati unicamente nella falda superficiale.

I pozzi selezionati dovevano avere le seguenti caratteristiche:

- profondità limitata;
- filtri nel solo acquifero superficiale;
- presenza di eventuale pompa spenta, in modo tale da rilevare l'effettivo livello statico di falda;
- ubicazione diffusa sul territorio comunale.

I valori delle quote piezometriche individuate sono stati mappati ed interpolati fra loro, permettendo la redazione di una carta ad isocurve a descrivere l'andamento della superficie freatica locale.

Dall'esame dell'andamento della superficie di falda si deduce una direzione di flusso idrico prevalentemente da N a S con un locale andamento NW-SE nel settore occidentale del comune ed un gradiente idraulico compresa fra il 0,2% (a Sud) ed il 0,4% (a Nord). La profondità della falda rispetto al piano campagna varia da 3,5 metri circa nel punto più meridionale del territorio a 12,5 metri circa nel punto più settentrionale dello stesso.

Per quanto concerne l'andamento storico della falda freatica è possibile trarre informazioni dal sistema informativo della falda (S.I.F.) della provincia di Milano che mensilmente rileva le quote dei pozzi dell'acquedotto (187 in tutta la provincia) pubblicando ogni anno, dal 1987, i valori raccolti.

I pozzi presi in considerazione sono stati i seguenti:

<i>N.di codice</i>	<i>Quota (m s.l.m.)</i>	<i>Comune</i>
070004	135.37	<i>Cernusco SN</i>
070003	126.97	<i>Cernusco SN</i>
175006	118.86	<i>Pioltello</i>
175003	113.96	<i>Pioltello</i>
205004	112.78	<i>Segrate</i>
240002	127.08	<i>Vimodrone</i>
167001	102.65	<i>Peschiera B.</i>
081003	133.51	<i>Cologno M.</i>
185001	110.14	<i>Rodano</i>
202001	117.46	<i>Segrate</i>

Dall'esame dei valori di livello piezometrico misurato negli anni 1987-1992 si può notare una generale tendenza all'abbassamento dei valori medi della falda, abbassamento che è stato riscontrato a livello regionale e che comunque fa parte di una fluttuazione dell'intero sistema idrico sotterraneo, con ciclicità ventennale.

I massimi valori di livello di falda nei pozzi citati, corrispondenti cioè alle minime soggiacenze, sono concentrati nei mesi estivi, specialmente settembre, periodo di massimo spagliamento nei campi di acque derivate dai canali adduttori, ad uso irriguo.

I minimi sono invece primaverili specie nei mesi di aprile-maggio, in curiosa concomitanza con il massimo delle precipitazioni. Ciò sta a significare che il notevole volume di acque diffuso sui terreni nei mesi più aridi, non solo compensa il naturale deficit idrico dato dalle mancate precipitazioni e dall'aumento dei prelievi per il consumo, ma ne eleva il livello di falda al punto da determinare i massimi annuali.

La variazione tra soggiacenza massima e minima negli anni 1987-1992 è varia nei pozzi considerati, passando da un'escursione massima di 6,3 metri nel pozzo 070004 di Cernusco (1987) ad un'escursione di un solo metro in quello di Cologno (anno 1991)

Nel territorio comunale di Pioltello l'escursione media è attorno ai 2-3 metri con un valore di picco nel 1987 ove nel pozzo n. 175006 si è avuta una differenza di 4-8 metri tra le minime soggiacenze di settembre e le massime di maggio.

A livello pianificatorio, relativamente alla sismicità, il dato più interessante è sicuramente la **soggiacenza minima**, cioè la maggior vicinanza del livello freatico alla superficie del terreno: tale dato infatti riguarda il settore di sottosuolo che viene interessato dalla saturazione. La soggiacenza minima è legata alla fluttuazione della falda a livello regionale e pertanto essa condiziona tutti i pozzi monitorati in un dato settore del territorio, anche se non necessariamente in tutti i pozzi si registra nello stesso mese il minimo valore di soggiacenza.

Analizzando i dati di soggiacenza riscontrati nei pozzi monitorati dal SIF risulta che i minimi assoluti nella maggioranza dei pozzi monitorati nell'area di studio si sono verificati nell'anno 1987. Partendo da questo dato si sono trasformati i valori di soggiacenza (che si ricorda corrispondere alla profondità del livello freatico dal p.c. -metri dalla bocca pozzo-) in valori di quota piezometrica (cioè valori assoluti in metri s.l.m.). La campagna di rilevamento della soggiacenza effettuata nel febbraio 1999 ha indicato valori di soggiacenza superiori a quelli del 1987.

3.6 Zonizzazione geotecnica

Le informazioni principali che hanno condotto alla classificazione geotecnica sono essenzialmente le seguenti:

- caratteristiche litologiche superficiali dominanti dal piano campagna a circa 20 metri di profondità;
- posizione e andamento delle falde idriche sotterranee.

Sono state analizzate le stratigrafie dei pozzi esistenti sul territorio evidenziandone le composizioni granulometriche dei primi 15/20 m di terreno in corrispondenza di ogni pozzo in cui era disponibile la stratigrafia.

Sono state inoltre prese in considerazione le indagini eseguite in alcune zone del territorio comunale (sondaggi geognostici, SPT, analisi granulometriche, ecc.) per ampliare la conoscenza sulle caratteristiche geotecniche dell'area, nonché le numerose informazioni bibliografiche ad esse relative.

Dal punto di vista litologico tutto il territorio di Pioltello si presenta, per i primi 20 metri, omogeneo, con presenza di sabbia e ghiaia che garantisce caratteristiche geotecniche sufficientemente prevedibili per il comportamento dei terreni, nei confronti dei carichi applicati.

A titolo di esempio, le indagini geotecniche effettuate per l'area cimiterale di Limite indicano, per i primi due metri di profondità dal p.c., terreni limoso-ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da Densità Relativa $Dr=20-21\%$ e angolo di attrito $\Phi=25$ gradi. Tra i 2 ed i 4 metri dal p.c. si hanno invece terreni costituiti da sabbia media con ghiaia ciottolosa debolmente limosa, con $Dr=54-56\%$ e $\Phi>35$ gradi.

Oltre i 4 metri i terreni mantengono le caratteristiche litologiche del livello sopra descritto, con aumento dell'addensamento ($Dr>70\%$).

La capacità portante dei terreni in funzione del tipo di carico e di fondazione che si adotterà sarà rilevata con apposite indagini geotecniche (p.es. prove penetrometriche) una volta noto il progetto edificatorio.

Tali indagini, permetteranno inoltre di valutare i cedimenti immediati e quelli a 20 anni, a seconda del carico applicato.

Le sabbie e ghiaie che costituiscono il deposito alluvionale prevalente per i primi 20 metri di profondità possono essere ora descritte nelle loro caratteristiche geotecniche generali; informazioni più dettagliate saranno invece ricavate da analisi di laboratorio sui campioni prelevati in corrispondenza dell'opera progettata, nei casi richiesti dalla normativa vigente.

Le sabbie sono composte da particelle con dimensioni comprese fra 0.06 e 3 mm mentre le ghiaie sono composte da frazioni con dimensioni comprese fra 3 e 200 mm. A volte sono presenti frammenti con diametro maggiore di 200 mm (ciottoli). La frazione limosa è costituita da particelle clastiche e scagliose che determinano una certa "plasticità" della matrice fine.

Nel complesso il materiale si presenta come un aggregato a struttura granulare con proprietà qualitativamente indicate dal termine "mediamente addensato". Dal punto di vista granulometrico tale materiale viene classificato a "granulometria grossolana", con più del 50% in peso costituito da particelle visibili (diametro > 0.074 mm).

La porosità (n), determinata dal rapporto fra il volume dei vuoti ed il volume totale del terreno, espressa in percentuale, è dell'ordine del 25-35%.

L'indice dei vuoti (e), o rapporto fra il volume dei vuoti e il volume della parte solida, è dell'ordine di 0.3-0.5.

Il contenuto d'acqua (w), o rapporto fra peso dell'acqua e peso dell'aggregato, espresso in percentuale, è dell'ordine di 10-20%.

Infine il peso specifico apparente, espresso in grammi/centimetro cubo è dell'ordine di 1.5-2.0 (allo stato secco) e di 1.9-2.3 (allo stato saturo).

Per quanto concerne le proprietà più prettamente idrauliche e meccaniche dei terreni in oggetto, si può dire che il coefficiente di permeabilità k (o conducibilità idraulica) è complessivamente elevato, con valori che variano da $10E-1$ fino a $10E-3$ cm/s.

L'angolo di attrito interno (ϕ) risulta compreso fra i 35 ed i 50 gradi.

L'unico elemento di variabilità che interessa l'aspetto edificatorio è la presenza della falda che può avere soggiacenze minime nella parte sud del territorio (2 metri dal p.c.) e della quale si dovrà tener conto a seconda della tipologia dell'opera intrapresa e delle relative fondazioni.

Non essendo disponibili dati specificatamente geotecnici a carattere quantitativo più diffusi è stata elaborata una carta geologica-applicativa semplificata, istituendo tre classi o zone, ciascuna delle quali è contraddistinta da un diverso livello di soggiacenza della falda.

Poichè il limite che definisce tale soggiacenza è un limite variabile nel corso dell'anno ed è legato alle variazioni morfologiche del p.c. la sua rappresentazione con una linea verrebbe a risultare oltre che approssimata anche di scarso significato; si è quindi scelta la rappresentazione di una fascia entro la quale si ha buone possibilità di riscontrare la massima soggiacenza della falda con variazione di +/-1 metro.

Le classi sono pertanto le seguenti:

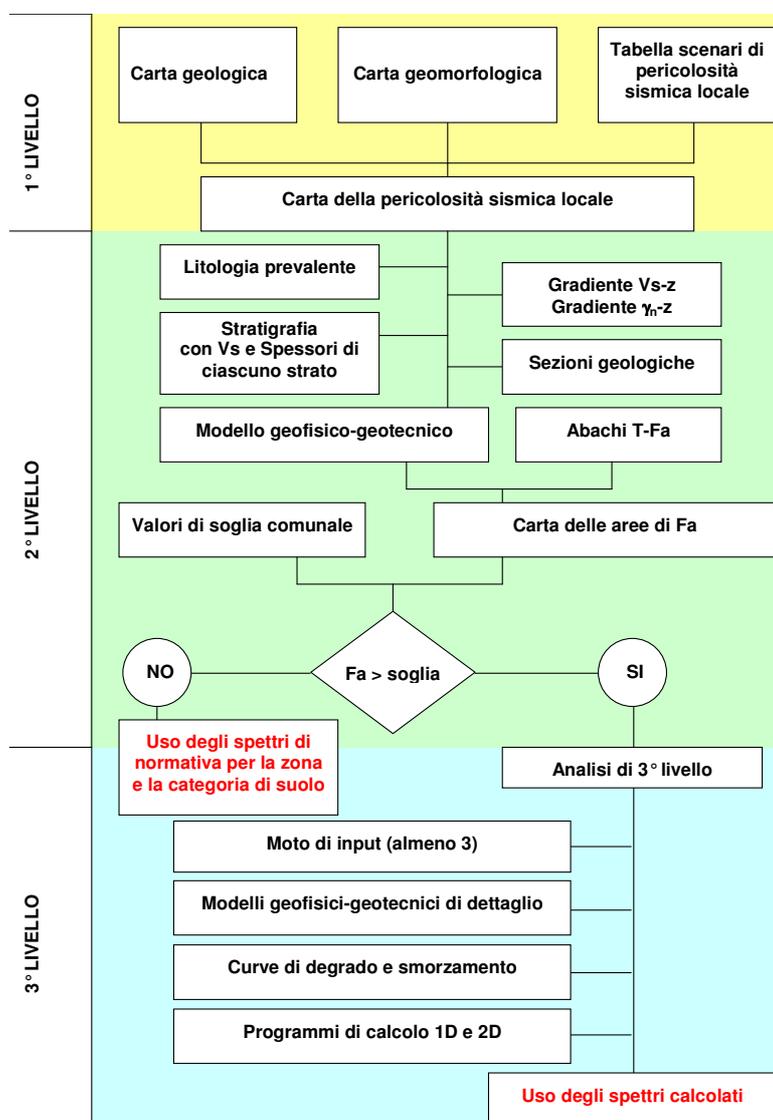
Classe	Litologia e falda freatica	Caratteristiche geotecniche
I	<i>Terreni sabbioso-ghiaiosi, con falda oltre i 6m</i>	Medie
II	<i>Terreni sabbioso-ghiaiosi, con falda a profondità tra 4 e 6m dal p.c.</i>	Mediocri, con particolare attenzione per le fondazioni e alla falda molto prossima al p.c.
III	<i>Terreni sabbioso-ghiaiosi con falda con profondità <4m dal p.c.</i>	Mediocri; le strutture sono da adeguare alla falda prossima al p.c.

4. CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PRIMO LIVELLO)

4.1 Generalità

La metodologia di studio per la determinazione del rischio nei territori comunali prevede 3 livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione, mentre il terzo livello è obbligatorio nei seguenti casi:

- in fase di progettazione quando il 2° livello dimostra che gli effetti di amplificazione sismica calcolati con prove in situ specifiche o sopralluoghi di dettaglio in aree di particolare instabilità sono superiori a quelle attese in via teorica di pianificazione regionale;
- in fase di progettazione di costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali ed essenziali.



La procedura messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

Il primo livello 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 probabilità prevedibili, sulla base delle indicazioni e delle osservazioni geologiche e sulla raccolta di tutti i dati disponibili per una determinata area (dati geotecnici, litologici, geofisici, idrogeologici, geologici, geomorfologici...)

Lo studio per l'approccio di 1° livello consiste quindi nell'analisi dei dati esistenti e nella redazione di una *Carta della pericolosità sismica locale* a scala adeguata al territorio ed agli elementi considerati come fattori condizionanti la sismicità, come rappresentato nella seguente tabella:

SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Zona di cresta rocciosa, cocuzzolo	
Zona di fondovalle con presenza di terreni incoerenti	Amplificazioni litologiche e geometriche
Zona pedemontana di falda di detrito e cono di deiezione	
Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

4.2 Descrizione della Carta

Sulla base dei rilievi su campo effettuati durante la redazione del PRGC comunale sull'intero territorio comunale e sull'analisi di tutti i dati fisici raccolti relativi alla descrizione e parametrizzazione del suolo e del sottosuolo è stata prodotta la "*Carta della pericolosità sismica locale*", come risultato di sintesi di primo livello dell'indagine sulla sismicità comunale.

Tale carta è stata rappresentata in all. 3 alla scala 1:10.000.

Più in particolare riprendendo la precedente tabella relativa agli scenari di sismicità locale si elencano in dettaglio gli elementi riscontrati nell'area comunale di Pioltello.

4.2.1 Scenario di pericolosità locale di tipo Z1 (frane)

SITUAZIONI TIPO (SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE)	sigla	TERRITORIO COMUNALE DI PIOLTELLO
<i>Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi</i>	Z1a	Il territorio è completamente pianeggiante salvo la parte meridionale interessata da escavazione a cielo aperto di sabbia e ghiaia (cave) con messa a giorno della falda freatica, con versanti subacquei che arrivano alla profondità di circa 30m dal p.c. Tali scarpate si conformano per successivi franamenti operati dalla draga, che scava al loro piede il materiale da estrarre. I franamenti pertanto sono indotti dall'attività estrattiva stessa, controllati e monitorati da precisi controlli topografici e batimetrici e regolamentati dal Piano Cave Provinciale di Milano. L'attività estrattiva ha l'obbligo di conformare profili finali di scavo con pendenza non superiore ai 27°.
<i>Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti</i>	Z1b	Il territorio è totalmente pianeggiante e pertanto non presenta fenomeni di frane quiescenti.
<i>Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana</i>	Z1c	La potenzialità di frana può derivare SOLO dall'apertura di nuovi fronti di scavo, cioè per attività umane suscettibili di regolamentazione.

4.2.2 Scenario di pericolosità locale di tipo Z2 (terreni scadenti)

SITUAZIONI TIPO (SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE)	sigla	TERRITORIO COMUNALE DI PIOLTELLO
<i>Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)</i>	Z2	I terreni di fondazione sono costituiti in generale dai depositi fluvioglaciali, cioè sabbie e ghiaie con terreno di copertura derivato dall'alterazione delle stesse, con formazione di uno strato superficiale argilloso con spessore attorno al metro. Tali terreni non presentano problemi dal punto di vista della sismicità tranne in quei casi ove si possono rinvenire orizzonti sabbiosi di spessore considerevole in concomitanza di una falda superficiale prossima al p.c. In tali luoghi è possibile, in caso di sisma, l'innescarsi del fenomeno della fluidificazione delle sabbie, con grave rischio per le fondazioni dei manufatti esistenti. Non è nota la stratigrafia di dettaglio del sottosuolo; è nota invece l'area ove la falda può arrivare in periodi di minima soggiacenza a 1m dal p.c.

4.2.3 Scenario di pericolosità locale di tipo Z3 (scarpate)

SITUAZIONI TIPO (SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE)	sigla	TERRITORIO COMUNALE DI PIOLTELLO
<i>Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)</i>	Z3a	L'orlo di cava degli esercizi estrattivi esistenti presenta un'altezza di scarpata (differenza tra la quota ciglio e la quota piede) sempre superiore ai 10m, determinando pertanto la segnalazione di tale zona come zona di rischio Z3a
<i>Zona di cresta rocciosa, cocuzzolo</i>	Z3b	Non è presente sul territorio comunale nessun elemento di rilievo di questo tipo

4.2.4 Scenario di pericolosità locale di tipo Z4 (terreni incoerenti)

SITUAZIONI TIPO (SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE)	sigla	TERRITORIO COMUNALE DI PIOLTELLO
<i>Zona di fondovalle con presenza di terreni incoerenti (depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi)</i>	Z4a	I terreni incoerenti che costituiscono il substrato del territorio comunale derivano dalle antiche deposizioni fluvioglaciali che hanno riempito la valle del Po fino a costituire l'attuale Pianura Padana nella parte di pianura "MEDIA". Non sussistono pertanto le condizioni di "fondovalle" richiamate dalla tabella, intendendo con ciò situazioni con un ben diverso rapporto tra larghezza della stessa "valle" e spessore dei depositi. Ciò però non esclude a priori la presenza di possibili orizzonti sabbiosi sotto falda, di spessore significativo e posti nei primi 15m di profondità. Poiché la falda nell'intero territorio comunale è SEMPRE a profondità inferiore ai 15m (limite di sicurezza determinato da studi sul rischio di liquefazione dei terreni) è risultato giocoforza comprendere <u>l'intero territorio</u> sotto questa classificazione in quanto possono sussistere le condizioni atte a determinare l'amplificazione sismica per ragioni litologiche.
<i>Zona pedemontana di falda di detrito e cono di deiezione</i>	Z4b	Non siamo in presenza di condizioni di questo tipo
<i>Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi</i>	Z4c	Non siamo in presenza di condizioni di questo tipo
<i>Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale</i>	Z4d	Non siamo in presenza di condizioni di questo tipo

4.2.5 Scenario di pericolosità locale di tipo Z5 (contatto)

SITUAZIONI TIPO (SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE)	sigla	TERRITORIO COMUNALE DI PIOLTELLO
<i>Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse</i>	Z5	Tutto il territorio comunale è interessato da un'unica formazione geologica, costituita da alluvioni fluvioglaciali sabbioso-ghiaiose. Tale formazione presenta al proprio interno, a livello locale, delle variazioni litologiche determinate dalla maggiore o minore presenza percentuale nella composizione granulometrica di elementi fini. Tali variazioni comunque non sono nettamente distinguibili e pertanto non vanno a costituire contatti fisico-meccanici di sensibile rilevanza.

La Carta presenta pertanto due elementi riconducibili a scenari di pericolosità sismica locale:

- la zona di ciglio della scarpata morfologica con altezza superiore ai 10m;
- la zona con terreni costituiti da materiali granulari di origine alluvionale e/o fluvioglaciale con possibile presenza di orizzonti fini, non coesivi, e con falda superficiale prossima al p.c. Tale zona è particolarmente vasta, interessando tutto il territorio comunale, pertanto sono stati condotti due accertamenti in aree campione per definire una parametrizzazione sismica nei siti indagati.

In entrambi i casi quindi si è ritenuto opportuno effettuare un approfondimento conoscitivo di secondo livello.

5. APPROFONDIMENTO CONOSCITIVO (SECONDO LIVELLO)

5.1 Generalità

Come già precedentemente accennato i primi due livelli conoscitivi riguardo la suscettività sismica del territorio comunale sono considerati obbligatori dalla L.R. n.12 dell'11 marzo 2005.

Il secondo livello parte dalla *Carta di pericolosità sismica* locale e permette “*la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici*” (L.R. testè citata, all.5, § 2)

Tali scenari qualitativi suscettibili di amplificazione comprendono caso le seguenti aree:

- **zona di ciglio** $H > 10\text{m}$: scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica (Zona Z3a) ove si possono avere amplificazioni topografiche;
- **zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo**, appuntite – arrotondate (Zona Z3b) ove si possono avere amplificazioni topografiche;
- **zona di fondovalle con presenza di depositi** alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi (Zona Z4a) ove si possono avere amplificazioni litologiche e geometriche;
- **zona pedemontana di falda di detrito**, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre (Zona Z4b) ove si possono avere amplificazioni litologiche e geometriche;
- **zona morenica** con presenza di depositi granulari e/o coesivi, comprese le coltri loessiche (Zona Z4c) ove si possono avere amplificazioni litologiche e geometriche;
- **zone con presenza di argille residuali e terre rosse** di origine eluvio-colluviale (Zona Z4d) ove si possono avere amplificazioni litologiche e geometriche.

In tali aree tutte le tipologie di costruzioni della zona sismica 2 e 3 devono essere fatte oggetto di approfondimento del 2° livello tramite una procedura di approccio semiquantitativo finalizzata a fornire la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di **Fattore di Amplificazione (Fa)**.

Per la zona sismica 4 (caso del Comune di Pioltello) l'approfondimento andrà effettuato per le sole costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, nonché costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali, essenziali.

Gli studi possono essere 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 0,1-0,5s e 0,5-1,5s, cioè i due intervalli di periodo nei quali il valore di *Fa* calcolato è stato scelto in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale:

- strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (0,1-0,5s) ovvero edifici con strutture particolarmente rigide e sviluppo verticale indicativamente fino a 5 piani

$$SI_{0.1-0.5}(PSV) = \int_{0.1}^{0.5} PSV(T, \xi) dT$$

- strutture più alte e più flessibili (0,5-1,5s) assunto come rappresentativo del periodo proprio dei alcuni edifici presenti nei centri urbani più sviluppati del territorio regionale, ovvero edifici con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani

$$SI_{0.5-1.5}(PSV) = \int_{0.5}^{1.5} PSV(T, \xi) dT$$

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici la procedura considera solo l'intervallo 0,1-0,5s.

Le costruzioni devono essere dotate di un livello di protezione antisismica differenziato in funzione della loro importanza e del loro uso e quindi delle conseguenze più o meno gravi di un loro danneggiamento per effetto di un evento sismico.

I terreni di fondazione sono suddivisi per categorie a seconda delle loro caratteristiche litologiche, la loro risposta elastica alle onde superficiali (V_{s30}), la loro resistenza penetrometrica (N_{spt}), la loro coesione non drenata (C_u). Nella seguente tabella tali categorie vengono così elencate:

CATEGORIE DI SUOLI DI FONDAZIONE

CAT.	DESCRIZIONE	V_{s30}	N_{spt}	C_u
A	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore max pari a 5m</i>	>800m/s		
B	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	360-800 m/s	>50	>250kPa
C	<i>Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri</i>	180-360 m/s	15-50	70-250 kPa
D	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i>	<180m/s	<15	<70kPa
E	<i>Profili di terreni costituiti da strati superficiali alluvionali, con spessore compreso tra 5 e 20m, giacenti su un substrato di materiale più rigido avente $V_{s30}>800m/s$</i>	<360m/s	<50	<250kPa
S1	<i>Depositi costituiti da (o che includono) uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza con elevato indice di plasticità e contenuto in acqua</i>	<100m/s		10-20 kPa
S2	<i>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nelle categorie precedenti</i>			

5.2 Parametrazione sismica del territorio comunale: zona di ciglio (Z3a)

5.2.1 Generalità del metodo

Le direttive emanate dalla R.L. “*Criteri attuativi dell’ art. 57 della l.r. 12/2005 -Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*”, approvate con D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005 stabiliscono nella parte 1 “Analisi del rischio sismico” che “*il secondo livello è obbligatorio per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, nelle aree di Pericolosità sismica locale individuate attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche e interferenti con l’urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica. Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nelle aree a Pericolosità sismica locale Z3 e Z4 nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003 fermo restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche nelle altre categorie di edifici*”.

Nell’area Comunale di Pioltello è presente una zona di tipo **Z3a**, corrispondente alle fasce delle “*Zone di ciglio*” delle cave esistenti (Cava Cantoni, Cava Giunone/Holcim) con presenza di scarpata morfologica >10m.

In tale fascia sono state effettuate le analisi di risposta sismica locale su scenari di scarpata seguendo la metodologia riportata dalle direttive del Politecnico di Milano precedentemente citate. Tale metodologia si basa su analisi morfologiche eseguite su casistiche reali presenti nel territorio regionale in cui sono stati individuati i criteri geometrici da utilizzare per l’identificazione dello scenario Z3a.

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10°.

In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

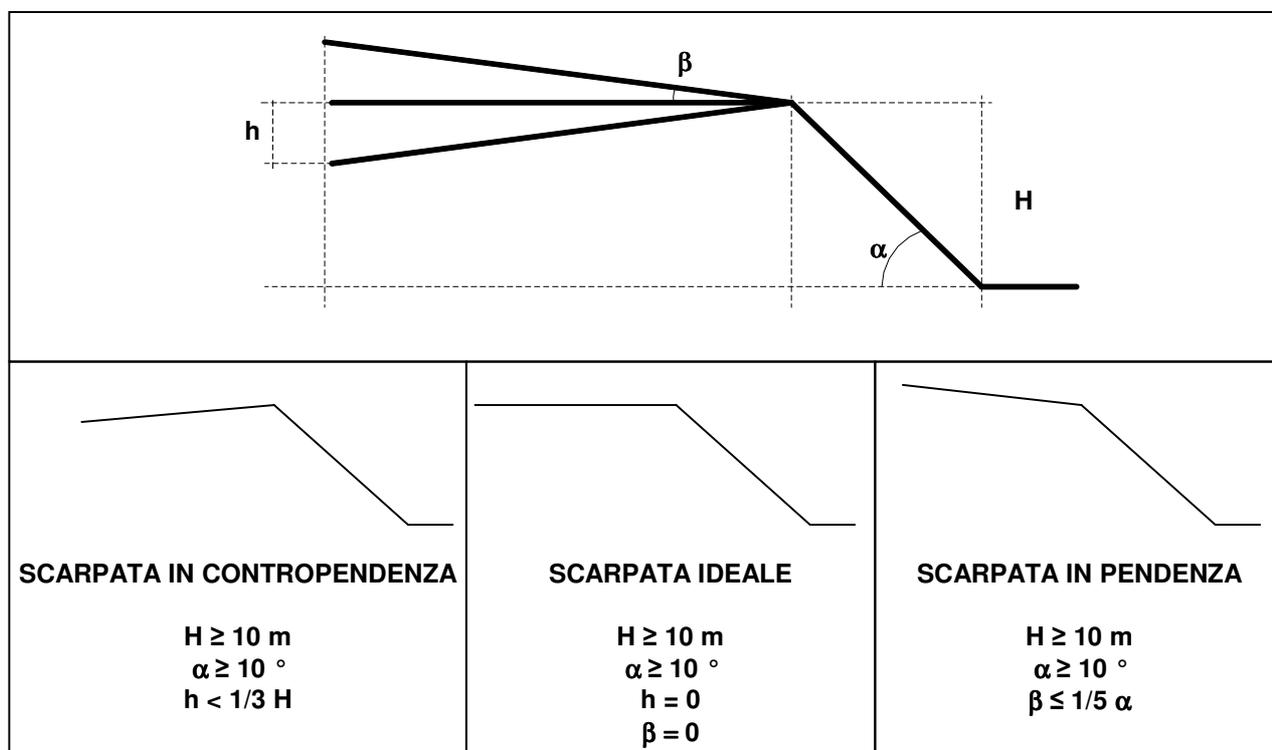
- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell’altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m;
- l’inclinazione (β) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell’inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5\alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

Di seguito si riporta lo schema identificativo e le tipologie delle situazioni di scarpata:



Sulla base delle situazioni reali identificate sono stati costruiti modelli caratterizzati da diverse altezze H , diverse inclinazioni α del fronte principale e diversa tipologia del fronte superiore ed è stato calcolato l'andamento del valore del **Fattore di amplificazione** per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s lungo il fronte superiore, identificando anche l'area di influenza (A_i) dei fenomeni di amplificazione sismica.

Il valore di Fa così calcolato è stato messo in relazione al corrispondente valore di α .

Le diverse coppie α/Fa (per ogni intervallo calcolato) sono state riportate su appositi grafici: i risultati sono apparsi poco dispersi per l'intervallo (0.1-0.5 s), mentre per l'intervallo (0.5-1.5 s) sono apparsi influenzati sensibilmente dalla variabilità del moto di input e quindi non sufficientemente adatti a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito.

Di conseguenza si è scelto di operare utilizzando il solo intervallo di periodo 0.1-0.5 s, analogamente a quanto eseguito per gli scenari di cresta rocciosa (Z3b).

La dispersione evidenziata nei risultati considerando l'intervallo 0.1-0.5 s è stata limitata distinguendo le varie coppie di valori in funzione dell'altezza H del fronte principale.

La fase di validazione dei valori di Fa caratteristici e delle aree di influenza degli effetti di amplificazione sismica è stata condotta su casi reali e ha evidenziato una variabilità massima nei valori di Fa inferiore a ± 0.1 .

Nella tabella seguente si riporta per ciascuna classe altimetrica e classe di inclinazione il valore caratteristico di F_a e l'estensione della relativa area di influenza A_i :

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
H > 40 m	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

5.2.2 Parametrazione della zona di ciglio nel Comune di Pioltello

I valori di soglia calcolati per il Comune di Pioltello dalla Regione Lombardia sono i seguenti per i vari tipi di terreni considerati:

Tabella dei Valori di Soglia del Fattore di Amplificazione (F_a) ricavati dalla Banca Dati della Regione Lombardia riferiti al Comune di PIOLTELLO (ZONA SISMICA 4)

Comune	Valore di soglia (0.1-0.5 s)			Valore di soglia (0.5-1.5 s)		
	A	B-C-E	D	A	B-C-E	D
PIOLTELLO	0,9	1,2	1,3	1,3	2,0	3,2

Sulla base della procedura specificata nel precedente paragrafo, la scarpata morfologica esistente, corrispondente ad una zona sismica di **tipo Z3a**, è assimilabile al caso della classe altimetrica con H (altezza della scarpata) compreso tra 20 e 40m. In questo caso il valore di F_a (*fattore di amplificazione*) da riferirsi solo al caso 0,1-0,5s è:

$$F_a = 1,2$$

Tale valore è compatibile a quello previsto dalla Regione Lombardia per il Comune di Pioltello, nel caso dei terreni di tipo B, C, D ed E, che è valutato tra 1,2 e 1,3.

In questo caso la nuova normativa è da considerarsi sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro di norma.

Si stabilisce inoltre in 20m l'area di influenza della amplificazione sismica, da considerarsi dal ciglio di scarpata e da estendersi verso la pianura retrostante.

Il valore di soglia trovato con l'applicazione del metodo topografico risulta invece inferiore per i terreni di tipo A, ove il valore di soglia massimo ammissibile è pari a = 0,9.

I terreni di tipo "A" sono costituiti da "Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore max pari a 5m". Tale tipologia di terreni non è presente nel Comune di Pioltello: i cigli di cava che possono determinare eventuali amplificazioni sismiche sono costituiti da materiali sabbioso-ghiaiosi sciolti o debolmente cementati.

5.3 Parametrazione sismica del territorio comunale: zona con terreni costituiti da materiali incoerenti e con falda superficiale prossima al p.c. (Z2-Z4a)

5.3.1 Generalità sulla liquefazione

Nel caso considerato (terreni incoerenti) gli effetti derivati da un eventuale sisma sono quelli che comportano cedimenti e/o liquefazioni del terreno e pertanto possibili danni alle fondazioni e agli edifici e manufatti presenti.

Per liquefazione dei terreni si intende la perdita quasi totale della resistenza al taglio e l'assunzione di un comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. In pratica ciò accade quando una sollecitazione sismica induce nel terreno sforzi tangenziali che superano la pressione interstiziale: nei terreni in falda i rapidi cambiamenti di pressione indotti dalle onde d'urto determinano l'espulsione dell'acqua verso l'esterno della porzione di terreno sollecitata, con mutamenti di volume del terreno. I fenomeni di liquefazione pertanto interessano essenzialmente i depositi sabbiosi saturi e dipendono dai seguenti fattori:

- proprietà geotecniche dei terreni (granulometria, spessore, addensamento, presenza della falda)
- caratteristiche del sisma (in termini di durata e di ampiezza d'onda)
- tipologia geologica dei terreni (età e genesi)
- fattori ambientali

Semplificando si possono ritenere a rischio liquefazione quei terreni appartenenti a depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

- sono costituiti da sabbie fini-medie, con matrice fine compresa tra 0-25%
- siano in falda
- siano da poco a mediamente addensati
- si trovino a basse profondità (di solito inferiori ai 15m)

La valutazione del sisma di riferimento rispetto al quale si deve effettuare la stima della suscettibilità del terreno alla liquefazione viene fatta con diverse metodologie, così come diversi sono i metodi di calcolo della suscettibilità dei terreni alla liquefazione. Se ne elencano alcuni:

A) Metodi empirici, che prendono in considerazione i parametri geologici-geotecnici del sito

- Sherif & Ishibashi (1978): considerano a rischio liquefazione quei livelli di terreno sabbiosi o sabbioso-limosi che si trovino in falda con uno strato di copertura inferiore ai 3m.
- Youd & Perkins (1978): la proprietà di liquefazione è ricavabile dal tipo di deposito sedimentario e dalla sua età geologica: molto bassa per i depositi antichi (pre-pleistocene), più alta in quelli più recenti; tra questi alta nei depositi sedimentari dei canali fluviali, pianure di esondazione, depositi di delta, di lago, colluviali, eolici, di spiaggia e di estuario.
- Chinese Building Code (1974): utilizza la prova SPT, considerando il numero di colpi SPT critico dello strato sabbioso
- Ambraseys (1988): pone in relazione distanza epicentrale del sisma (analizzando la serie storica e i tempi di ritorno) con la magnitudo di soglia del sisma che può indurre fenomeni di liquefazione in terreni suscettibili e determina la probabilità che il fenomeno si manifesti.

B) Metodi semplificati, che prendono in considerazione i parametri fisici del sito, cioè l' accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e la magnitudo di riferimento.

Tali metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza (F_s) dato dalla rapporto:

$$F_s = R / T$$

Ove:

R: resistenza al taglio nello strato di terreno suscettibile di liquefazione (caratteristiche meccaniche dello strato)

T: sforzo tagliente indotto dal sisma (parametri del sisma: magnitudo e accelerazione sismica)

Con $F_s > 1$, il terreno "resiste" al sisma, non si ha liquefazione; diversamente si è in presenza di liquefazione.

Il calcolo di **T** viene ricavato conoscendo l' accelerazione sismica massima, la pressione verticale totale ed efficace alla profondità dello strato a rischio, coefficienti geometrici in funzione della profondità e in funzione della magnitudo del sisma.

Il calcolo di **R** avviene con

- prove penetrometriche dinamiche: metodo Seed & Idriss (1982), metodo Tokimatsu & Yoshimi (1983), metodo Iwasaki & al (1984), metodo Seed e al. modificato (1985);
- prove penetrometriche statiche: metodo Robertson & Wride (1997);
- sismica a rifrazione (parametro V_{s30}): metodo Andrus & Stokoe (1997).

5.3.2 Valutazione del parametro V_{s30}

La parametrizzazione della vasta area che potrebbe comprendere orizzonti suscettibili alla liquefazione, cioè strati sabbiosi contenuti nei primi 15m di terreno sotto falda, risulta ovviamente impossibile e priva di senso se non effettuata solo in quei siti ove sono previste costruzioni che rientrano nelle seguenti categorie "costruzioni, il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provoca situazioni di emergenza, costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003"

E' stato comunque effettuato un approfondimento geofisico, consistente in due interventi di sismica, in due zone campione del territorio comunale. Sono state scelte aree indicate dal vigente PRG come produttive e residenziali, in zone non distanti da siti di cui era nota la stratigrafia e poste in situazioni di soggiacenza prossima al p.c.

L'indagine di carattere sismico effettuata ha permesso di determinare il valore del parametro sismico " V_s equivalente" negli strati superficiali di terreno (primi 30m); con tale valore, tramite una procedura matematica, si calcola il **Fattore di amplificazione (Fa)** di tali terreni nei confronti di una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (valutazione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi sul territorio italiano).

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia dei materiali presenti nel sito (litologie ghiaiose e litologie argilloso limose);
- stratigrafia del sito fino alla profondità in cui le velocità V_s dei materiali raggiungono e superano gli 800 m/s;
- spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato;

In data 21 febbraio 2008 è stata eseguita pertanto un'indagine geosismica utilizzando la procedura MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) in due aree campione del territorio comunale, caratterizzate da depositi sedimentari con diversa soggiacenza media della falda freatica.

Tali aree sono state scelte sulla base della *Carta della pericolosità sismica locale* e sulla base di aree di possibile futuro interesse pianificatorio da parte del comune.

L'indagine è consistita nella effettuazione di due linee sismiche con il metodo MASW. Le linee sismiche eseguite prevedevano ciascuna uno stendimento di 24 geofoni, con interdistanza di 2m e lunghezza totale della singola linea di 46 ml. Alle estremità di ogni linea è stata effettuata l'energizzazione con un offset di 20m.

In all.4 sono state rappresentate le ubicazioni degli interventi sulla base cartografica fornita dal Comune ove sono state sintetizzate le zonazioni del vigente PRG che delimita aree a diversa destinazione d'uso.

Sono state infatti evidenziate:

- aree residenziali (centro storico, residenziali attuali e future)
- area produttiva
- area agricola
- area servizi
- area attrezzature pubbliche
- area estrattiva (cave esistenti)

5.3.3 Prospezione geosismica con il metodo MASW

Per lo studio delle V_s nel presente lavoro si è adottato il metodo MASW (acronimo di *Multichannel Analysis Surface Waves*). Tale metodo analizza la proprietà dispersiva delle onde superficiali per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde_piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la resistenza al taglio dei terreni, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- A) l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll),
- B) la costruzione di una curva di dispersione (grafico velocità di fase/frequenza)
- C) l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione è necessario conoscere i valori approssimati del rapporto di Poisson e della densità; tali valori vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali (stratigrafie di pozzi limitrofi).

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane ed infine le onde riverberate (back scattered), generate dalle disomogeneità superficiali, dal rumore ambientale e da quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale: le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni), mentre quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità.

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali, quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative a ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione, così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

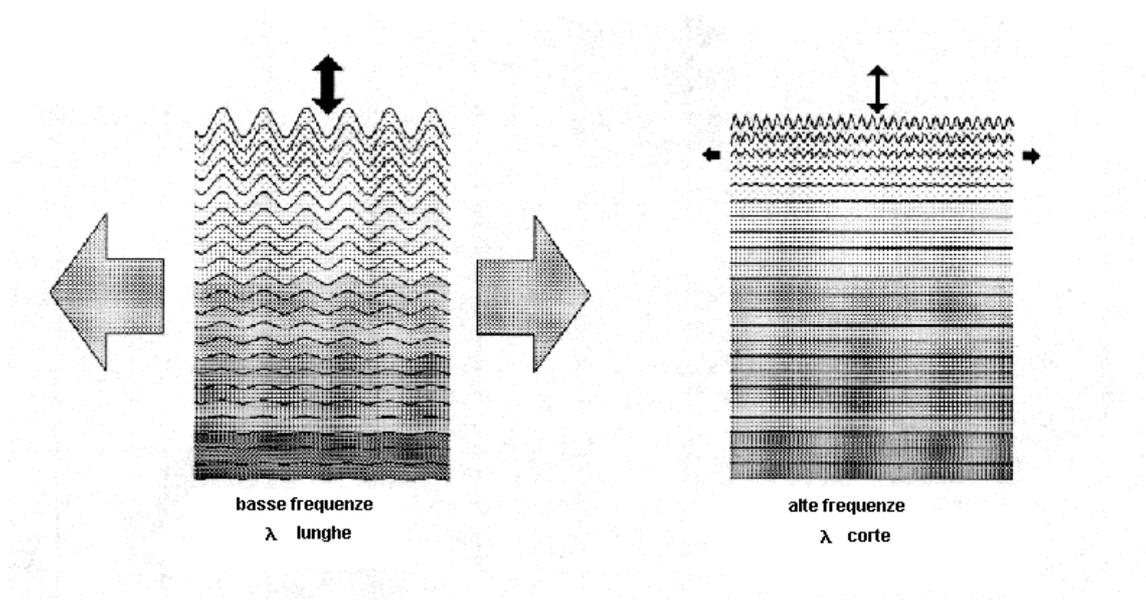
La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la

pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti Segnale/Disturbo (S/N). Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP).

Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. La procedura MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

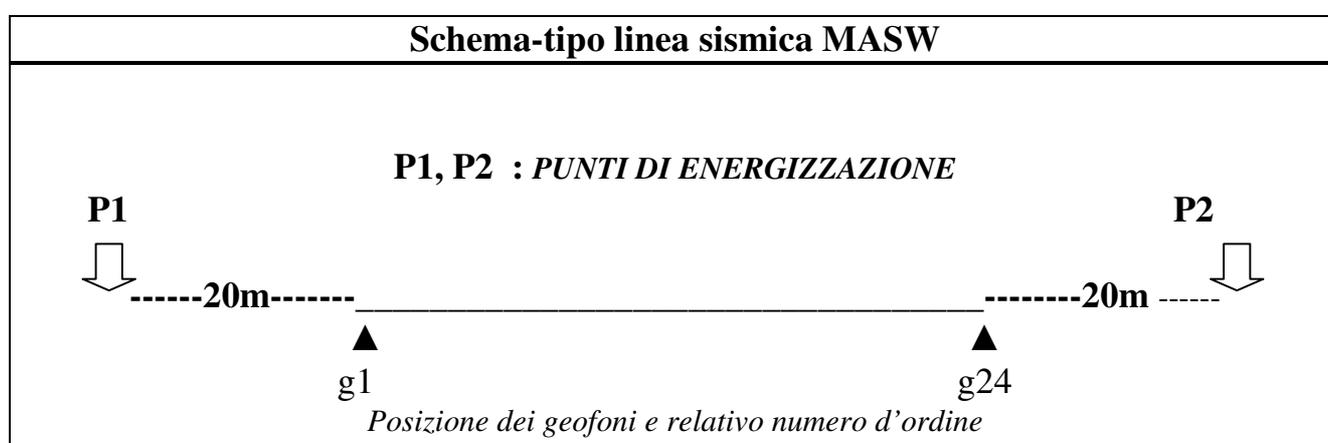
Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

5.3.3.1 Modalità di esecuzione, strumentazione e squadra

La base sismica è costituita da uno stendimento formato da un cavo multipolare cui sono collegati 24 geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz). Tali geofoni vengono infissi nel terreno con un intervallo di 2 metri.

Attraverso tali geofoni (ricevitori) vengono rilevati gli impulsi sismici generati artificialmente da una sorgente di energia; gli impulsi sismici vengono poi trasformati in impulsi elettrici dal sismografo registratore che ha la possibilità di ampliarli e decodificarli.

I punti di energizzazione “P1” e “P2” sono stati ubicati secondo uno schema che ne pone ognuno a 20 metri dalle estremità della linea (cioè dal geofono 1 e dal geofono 24). La linea sismica pertanto è lunga 46m lineari e l’energizzazione alle estremità con offset di 20m consente l’investigazione dei primi 30m di terreno in profondità sotto lo stendimento.



L'energizzazione è stata prodotta mediante fucile sismico che sparava cartucce industriali in un foro appositamente preparato nel terreno; il tempo “zero”, corrispondente all’attimo della energizzazione veniva inviato al sismografo registratore da un geofono starter, collegato via cavo.

Per ogni punto di energizzazione è stata effettuata una registrazione dei tempi di arrivo ai geofoni degli impulsi generati per una finestra di ricezione di 1600millisecondi (1,6 sec) sufficiente a captare tutti gli arrivi d’onda e le relative attenuazioni.

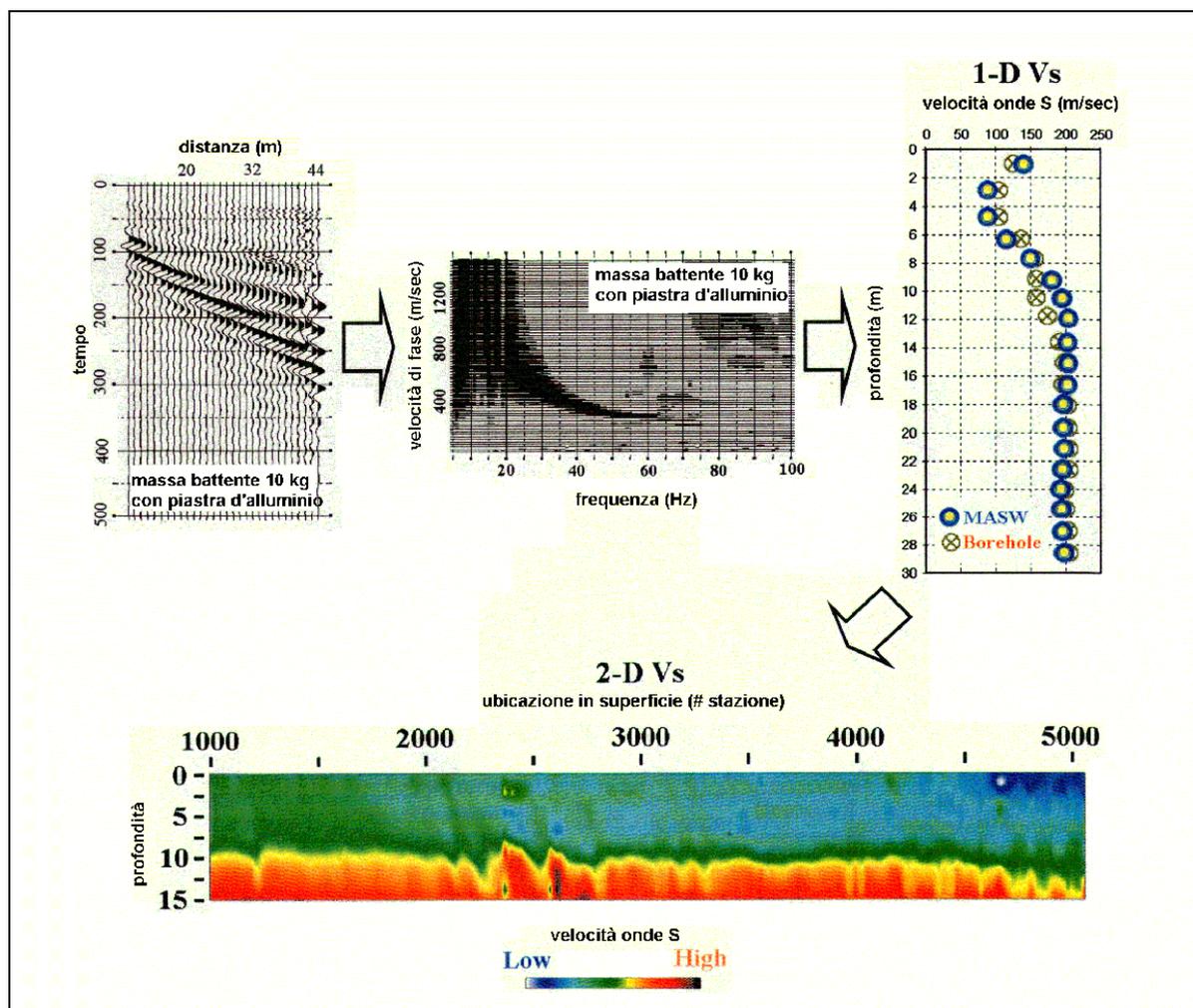
La strumentazione utilizzata è stata la seguente:

- sismografo registratore BISON 9048 a 48 canali;
- geofoni Sensor ad asse verticale da 4,5 Hz;
- cavi sismici multipolari con 24 prese intervallate di 2 metri;
- fucile sismico e relative cartucce industriali;
- geofono starter, munito di "switch" per l'invio via cavo del "time break" al sismografo;
- cavi di prolunga e collegamento.

La squadra geofisica è stata composta da:

- geologo-geofisico responsabile dell'unità operativa;
- n. 2 manovale comuni.

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW



La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

5.3.3.2 Descrizione dei risultati: calcolo della Vs30

I terreni su cui è stata effettuata l'indagine sono costituiti da depositi fluvioglaciali rappresentati da una eterogenea aggregazione di materiali sciolti quali ghiaie, ciottoli, sabbie, in matrice argillosa e limosa, con spessori che arrivano al centinaio di metri. La stratigrafia dei pozzi dell'acquedotto, seppur da prendersi con le dovute cautele sull'uso dei termini litologici descrittivi, definisce nei primi 30m di profondità strati costituiti da “ghiaia e argilla gialla” “ghiaia e sabbia”, “ghiaia grossa, ghiaietto e sabbia fine”. Tali descrizioni escludono la presenza di strati unicamente sabbiosi. C'è da rilevare comunque che poche stratigrafie non possono fotografare perfettamente il sottosuolo comunale e che non è da escludersi la possibilità che possano essere presenti, seppure in forma arealmente limitata lenti di materiale sabbioso di spessore anche significativo. Con talie possibilità in situazione di falda freatica prossima al p.c. si manifesterebbero i presupposti del rischio liquefazione in caso di evento sismico.

L'esecuzione delle due prove MASW nei due terreni campione, ha permesso di definire i valori della Vs30 media nei primi 30m di profondità del terreno. La procedura di trattamento dei dati ricavati è prettamente matematica e lascia poco margine all' “interpretazione”.

Di ogni frequenza presente nell'onda viene valutata la velocità e quindi viene ricavata la curva di dispersione (velocità-frequenza). Una procedura iterativa consente di ricavare il modello di velocità delle onde S del terreno.

Tale iterazione che viene effettuata come descritto nel capitolo precedente con l'ausilio di apposito software, ha individuato una serie di unità strato (Hi) nei primi 30 m di profondità. Ogni unità-strato è stata definita da una sua specifica Vs (Vi), come indicato nella tabella seguente:

PROVA MASW “A” (Via Grandi)

Prof	Hi	Vi		Hi/Vi
0-1,1	1,1	221		0,0048
1,1-2,4	1,3	211		0,0064
2,4-4,1	1,7	215		0,0078
4,1-6,2	2,1	241		0,0087
6,2-8,8	2,6	274		0,0096
8,8-12,1	3,3	362		0,009
12,1-16,2	4,1	466		0,0088
16,2-21,3	5,1	515		0,0099
21,3-27,7	6,4	497		0,0129
27,7-30,0	2,3	676		0,0035

Non avendo a disposizione una stratigrafia del terreno limitrofa all'intervento geofisico, si può tentare un comparazione derivata da dati bibliografici tra i valori desunti dalla sismica e la litologia:

Prof (m)	Hi (m)	Vi (m/s)	Litologia ipotizzata
0-4,1	4,1	215-220	Suolo, terreno superficiale molto poco addensato, terreno di riporto
4,1-30	25,9	241-676	Sabbie e ghiaie in falda con aumento dell'addensamento con il crescere della profondità

PROVA MASW “B” (Via Federico Caffè)

Prof	Hi	Vi		Hi/Vi
0-1,6	1,6	319		0,0049
1,6-3,5	1,9	214		0,0091
3,5-5,9	2	240		0,0101
5,9-9	3,1	253		0,0121
9-12,8	3,8	634		0,006
12,8-17,5	4,7	639		0,0075
17,5-23,5	6	514		0,0115
23,5-30	6,5	723		0,009

Anche in questo caso non avendo a disposizione una stratigrafia del terreno limitrofa all'intervento geofisico, si correlano i dati geofisici con la litologia utilizzando i dati bibliografici :

Prof (m)	Hi (m)	Vi (m/s)	Litologia ipotizzata
0-1,6	1,6	319	Suolo, terreno superficiale molto addensato, terreno di riporto costipato
1,6-3,5	1,9	214	Sabbie e ghiaie asciutte
3,5-17,5	14	240-639	Sabbie e ghiaie in falda con aumento dell'addensamento con il crescere della profondità
17,5-23,5	6	514	Diminuzione della Vs: presenza di livello con proprietà elastiche inferiori (limi?)
23,5-30	6,5	723	Sabbia e ghiaia c.s. sempre più addensate con la profondità

La Vs30 viene definita dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

ove: h_i = spessore dello strato individuato con specifica velocità V_s

V_i = Velocità V_s dello strato h_i

Pertanto la **Vs30**:

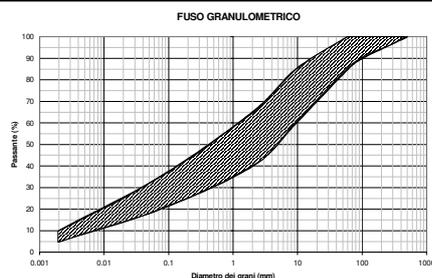
- **corrisponde nella MASW “A” al valore di 369,0 m/s**
- **corrisponde nella MASW “B” al valore di 427,0 m/s**

5.3.3.3 Descrizione dei risultati: calcolo del Fattore di Amplificazione (F_a)

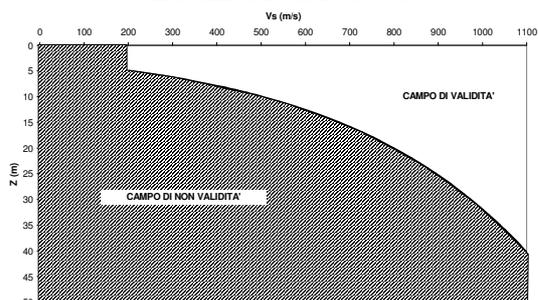
Il valore del Fattore di amplificazione viene quantificato graficamente mediante l'utilizzo degli abachi di correlazione riportati nei “*Criteri attuativi dell' art. 57 della l.r. 12/2005 -Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*”, approvate con D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005” o numericamente mediante l'utilizzo delle equazioni valide per ciascun tratto delle curve di correlazione.

LITOLOGIA GHIAIOSA

Ghiaie e ghiaie ciottolose con matrice sabbioso limosa subordinata, presenza anche di trovanti ($D > 50$ cm) e di locali orizzonti cementati. Viene riportato un fuso

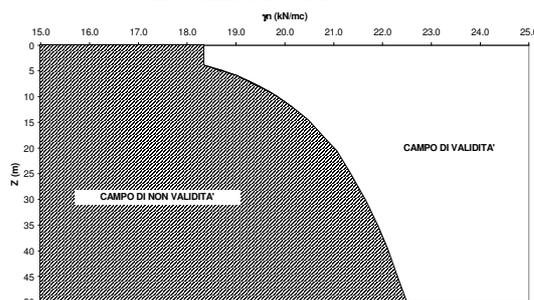


VALIDITA' DELLE ANALISI PER LITOTIPI GHIAIOSI

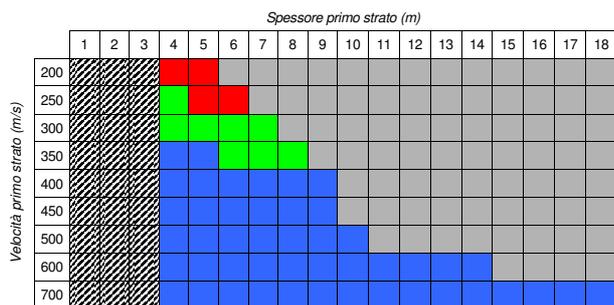


$$Vs = 430 \ln(z) - 490$$

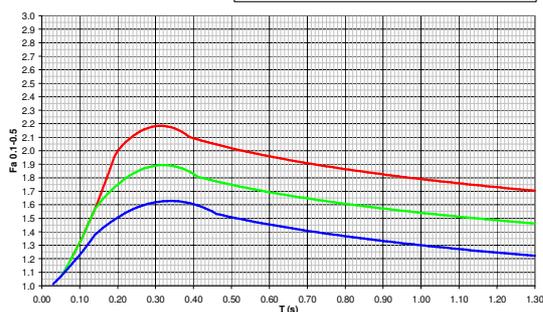
VALIDITA' DELLE ANALISI PER LITOTIPI GHIAIOSI



$$\gamma_n = 1.62 \ln z + 16.15$$

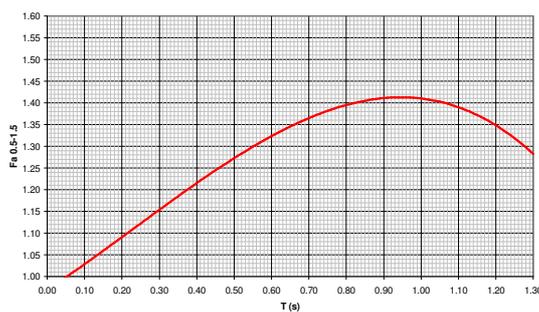


Correlazione T - Fa 0.1-0.5



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.42T^3 + 0.3T^2 + 0.56T + 0.9$$

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



Curva	esponenziale	polinomiale	logaritmico
1	$0.10 \leq T \leq 0.18$	$0.18 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.30$
	$Fa_{0.1-0.5} = e^{4.8T}$	$Fa_{0.1-0.5} = -9.41T^2 + 6.63T + 1.53$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.19 - 0.54 \ln T$
2	$0.08 \leq T \leq 0.15$	$0.15 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.30$
	$Fa_{0.1-0.5} = 0.76e^{5.28T}$	$Fa_{0.1-0.5} = -12.2T^2 + 8.47T + 0.72$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.86 - 0.32 \ln T$
3	$0.02 \leq T \leq 0.15$	$0.15 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.30$
	$Fa_{0.1-0.5} = 0.9e^{3T}$	$Fa_{0.1-0.5} = -6.72T^2 + 4.83T + 0.85$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.56 - 0.16 \ln T$

La procedura semplificata rappresenta *un'analisi di valutazione degli effetti di sito di 2° livello* e richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito fino alla profondità in cui le velocità V_s dei materiali raggiungono e superano i 1000 m/s;
- spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato.

In funzione della litologia prevalente presente nel sito, del gradiente di velocità V_s e del gradiente del peso di volume naturale con la profondità si sceglie l'abaco di riferimento. Non conoscendo esattamente la successione stratigrafica esatta sotto ciascuna prova MASW, i calcoli per la definizione del parametro Fa sono stati fatti utilizzando la scheda "*litologia ghiaiosa*" (di cui è stato riportato un esempio).

In funzione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s, mentre per l'intervallo 0,5-1,5 la curva è unica.

Il periodo "**T**" proprio del sito necessario per l'utilizzo dell'abaco di correlazione deve essere calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s supera i 1000 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.

Il valore di Fa determinato, approssimato alla prima cifra decimale, dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della nuova normativa sismica allegata all'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici: pertanto il valore di Fa ottenuto dall'abaco va confrontato con un parametro di analogo significato calcolato per il comune di Pioltello e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro ottenuto e riportato nella "*Tabella dei Valori di Soglia del Fattore di Amplificazione (Fa) ricavati dalla Banca Dati della Regione Lombardia riferiti al Comune di Pioltello*" rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla nuova normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

In tale tabella sono mostrati i valori dell'intensità spettrale calcolate sugli intervalli tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per il Comune di Pioltello; si ricorda che:

- 0.1-0.5s : è il periodo assunto come rappresentativo di quello proprio della maggior parte degli edifici presenti nel territorio regionale, ovvero edifici con strutture particolarmente rigide e sviluppo verticale indicativamente fino a 5 piani
- 0.5-1.5s : è il periodo assunto come rappresentativo di quello proprio di alcuni edifici presenti nei centri urbani più sviluppati del territorio regionale, ovvero edifici con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani .

Si riporta per meglio comprendere la tabella l'elenco delle categorie dei vari suoli di fondazione, già citata in altra parte della presente relazione

CATEGORIE DI SUOLI DI FONDAZIONE

CAT.	DESCRIZIONE	V_{s30}	N_{spt}	C_u
A	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore max pari a 5m</i>	>800m/s		
B	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	360-800 m/s	>50	>250kPa
C	<i>Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri</i>	180-360 m/s	15-50	70-250 kPa
D	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i>	<180m/s	<15	<70kPa
E	<i>Profili di terreni costituiti da strati superficiali alluvionali, con spessore compreso tra 5 e 20m, giacenti su un substrato di materiale più rigido avente V_{s30}>800m/s</i>	<360m/s	<50	<250kPa

Tabella dei Valori di Soglia del Fattore di Amplificazione (Fa) ricavati dalla Banca Dati della Regione Lombardia riferiti al Comune di PIOLTELLO (ZONA SISMICA 4)

Comune	Valore di soglia (0.1-0.5 s)			Valore di soglia (0.5-1.5 s)		
	A	B-C-E	D	A	B-C-E	D
PIOLTELLO	0,9	1,2	1,3	1,3	2,0	3,2

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SUI TERRENI DELLA PROVA MASW "A" *con litologia ghiaiosa*

Il calcolo è stato effettuato prendendo come riferimento la scheda "**litologia ghiaiosa**".

I terreni in questione, valutando il valore complessivo medio della Vs30, che è = 369m/s appartengono alla categoria dei suoli di fondazione di tipo "B" (*Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità*)

Come da procedura, avendo riscontrato nel primo strato, quello più superficiale superiore ai 3m, valori di Vs intermedi tra 200 e 250m/s è stata scelta la curva n.2 per l'intervallo T-Fa (0,1-0,5).

Il valore di T calcolato per tutti i 30m indagati è di T = 0,28

Applicando tale valore nella funzione della curva 2 espressa come

$$-7,4T^2 + 4,8T + 0,84$$

si ottiene Fa =1,6

Tale valore è superiore a quello dei valori di soglia della Banca Dati della Regione Lombardia, che individua per questo tipo di terreni nell'intervallo considerato un Fa=1,2; pertanto la nuova normativa è insufficiente per tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite per individuare gli spettri di risposta da utilizzare a livello progettuale.

Per l'intervallo T-Fa (0,5-1,5), l'equazione della curva di riferimento è la seguente (ricordando che il valore di T calcolato per tutti i 30m indagati è di T = 0,28):

$$-0,58T^2 + 0,84T + 0,94$$

si ottiene Fa =1,1

Tale valore è inferiore a quello dei valori di soglia della Banca Dati della Regione Lombardia, che individua per questo tipo di terreni nell'intervallo considerato un Fa = 2; la nuova normativa è da considerare sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro di norma;

CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SUI TERRENI DELLA PROVA MASW “B”
con litologia ghiaiosa

Analogamente al precedente, anche con la MASW “B” è stato fatto il calcolo prendendo come riferimento la scheda “**litologia ghiaiosa**”.

I terreni in questione, valutando il valore complessivo medio della Vs30, che è = 427m/s appartengono alla categoria dei suoli di fondazione di tipo “B” (*Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità*)

Come da procedura, avendo riscontrato nel primo strato, quello più superficiale superiore ai 3m, valori di Vs compresi tra 200 e 250m/s è stata scelta la curva n.2 per l’intervallo T-Fa (0,1-0,5).

Il valore di T calcolato per tutti i 30m indagati è di T = 0,23

Applicando tale valore nella funzione della curva 2 espressa come

$$-7,4T^2 + 4,8T + 0,84$$

si ottiene Fa =1,5

Tale valore è superiore a quello dei valori di soglia della Banca Dati della Regione Lombardia, che individua per questo tipo di terreni nell’intervallo considerato un Fa=1,2; pertanto la nuova normativa è insufficiente per tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite per individuare gli spettri di risposta da utilizzare a livello progettuale.

Per l’intervallo T-Fa (0,5-1,5), l’equazione della curva di riferimento è la seguente:

$$-0,58T^2 + 0,84T + 0,94$$

Il valore di T calcolato per tutti i 30m indagati è di T = 0,23

si ottiene Fa =1,1

Tale valore è inferiore a quello dei valori di soglia della Banca Dati della Regione Lombardia, che individua per questo tipo di terreni nell’intervallo considerato un Fa = 2; la nuova normativa è da considerare sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro di norma;

TABELLA DI SINTESI VALORI DI Fa

Tipologie di suolo	Valore di soglia (0.1-0.5 s)			Valore di soglia (0.5-1.5 s)		
	A	B-C-E	D	A	B-C-E	D
Valori di soglia precalcolati dalla Regione Lombardia per il comune di Pioltello	0,9	1,2	1,3	1,3	2,0	3,2
MASW A Litologia ghiaiosa		1,6			1,1	
MASW B Litologia ghiaiosa		1,5			1,1	

In entrambe le prove MASW, considerando il tipo di litologia *ghiaiosa* i valori di Fa riscontrati nell'intervallo 0.1-0,5s, corrispondenti al periodo assunto come rappresentativo di quello proprio della maggior parte degli edifici presenti nel territorio regionale, ovvero edifici con strutture particolarmente rigide e sviluppo verticale indicativamente fino a 5 piani, sono sempre maggiori rispetto alla Fa precalcolata.

Nell'intervallo 0,5-1,5s, corrispondente al periodo assunto come rappresentativo di quello proprio dei alcuni edifici presenti nei centri urbani più sviluppati del territorio regionale, ovvero edifici con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, i valori di Fa calcolati sono sempre inferiori rispetto alla Fa precalcolata.

Si fa comunque presente che:

- Le due prove MASW effettuate hanno avuto valore indicativo in quanto non supportate da specifiche stratigrafie di dettaglio locali.
- Tali prove evidenziano difformità nell'intervallo di soglia 0.1-0,5s (edifici rigidi inferiori ai 5 piani) con quanto previsto nei valori precalcolati dalla Regione Lombardia per il Comune di Pioltello: si fa presente, in tutti i casi, che altri Comuni con caratteristiche litogeologiche e idrogeologiche simili al Comune di Pioltello (alluvioni fluvio-glaciali wurmiane consistenti con falda prossima al p.c.) presentano valori di soglia di Fa meno riduttivi e compatibili con i valori riscontrati nella presente indagine.
- Le prove effettuate evidenziano, per contro, valori inferiori a quelli di soglia per l'intervallo 0,5-1,5 (edifici con strutture flessibili e altezze superiori ai 5 piani), indicando che non sussistono preclusioni sismiche per tali costruzioni rispettando i valori di Fa tabulati;
- Si sottolinea comunque che, secondo le indicazioni contenute nell'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 (*Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*), sono comunque da prevedere indagini sismiche di 3° livello SEMPRE in fase di progettazione per i seguenti casi:
 - **costruzioni strategiche e rilevanti** ai sensi della D.g.r. 14964/2003; tali costruzioni sono elencate nel d.d.u.o. n.19904/2003.
 - **costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi o attività pericolose per l'ambiente**
 - **costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti o con funzioni sociali essenziali**
 - **reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza**

6. CONSIDERAZIONI FINALI

Lo studio dell'aspetto sismico del territorio comunale di Pioltello, condotto secondo i "Criteri attuativi dell' art. 57 della l.r. 12/2005 - Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio", approvati con D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005, ha permesso di sintetizzare le seguenti conclusioni finali:

- 1) La zonizzazione sismica del territorio comunale ha identificato due aree suscettibili di amplificazioni sismiche in caso di evento tellurico:
 - **un'area di ciglio scarpata (zona di tipo Z3a)**, corrispondente alle zone di ciglio dei laghi di cava esistenti nella parte centromeridionale del comune, ove si possono avere amplificazioni sismiche determinate dalla conformazione topografica.
 - **un'area costituita da sedimenti incoerenti di origine fluvio-glaciale, con falda prossima al p.c. (zona assimilabile sia al tipo Z2 che al tipo Z4a)** ove si possono avere *amplificazioni di tipo litologico*, cioè determinate dalle locali caratteristiche geotecniche, geometriche e stratigrafiche dei terreni (costipamento, addensamento, granulometria, presenza d'acqua, spessore dei singoli strati), nonché *cedimenti del terreno a seguito di possibili fenomeni di liquefazione* in caso di presenza nel sottosuolo di strati sabbiosi che presentano le caratteristiche di rischio.
- 2) L'area di ciglio è facilmente definita e comporta una fascia di rischio ampia 20m per tutto il tratto della scarpata morfologica che presenta le caratteristiche geometriche definite dai criteri citati.
- 3) La più vasta area Z2-Z4 è di più difficile delimitazione, in quanto non si conosce in dettaglio la successione stratigrafica dei depositi nel sottosuolo. Dalla bibliografia si evince che la presenza di strati sabbiosi a granulometria fine, di spessore considerevole e immersi in falda, comportano un possibile rischio al fenomeno della liquefazione fino a circa 15m di profondità. Le stratigrafie note (comunque poche) non evidenziano strati sabbiosi di rilevante spessore tali da indurre il rischio della liquefazione. E' comunque cautelativo, in ambienti di depositi sciolti alluvionali non escluderne a priori la presenza. Riscontrando altresì in tutta l'area comunale la presenza della falda a quote sempre inferiori ai 15m è risultato giocoforza, nel perseguire una linea logica di pianificazione, classificare l'intero territorio comunale come ambito di pericolosità sismica possibile, anche perché l'eventuale presenza di strati a mediocre comportamento elastico può determinare l'amplificazione del sisma. Tale classificazione comporta -per edifici di particolare entità- l'accertamento geognostico fino a -15m dal p.c. tramite sondaggio o prova SCPT della possibile presenza di livelli sabbiosi di rilevante spessore (>2m).
- 4) Nel territorio comunale sono state effettuate due prove sismiche campione per la parametrizzazione dei terreni, utilizzando il metodo MASW per la definizione del valore di Vs30: una in via Grandi (area industriale) e una in via Federico Caffè (area residenziale)

- 5) Le due prove effettuate in aree di possibile interesse pianificatorio hanno segnalato, sotto il punto di vista dell'elasticità, terreni con proprietà geotecniche buone (sabbie e ghiaie addensate)
- 6) La presenza della falda a scarsa profondità e l'eventuale presenza di livelli di sabbie fini sotto falda, con spessori significativi nei primi 15m di profondità, induce una certa attenzione in fase edificatoria per il possibile rischio del manifestarsi dei fenomeni di liquefazione delle sabbie.
- 7) E' stato calcolato, nei siti d'indagine MASW, il *Fattore di amplificazione* dei terreni, utilizzando le schede litologiche di riferimento allegate ai criteri citati e seguendo la procedura di calcolo enunciata in detti criteri. Non conoscendo nel dettaglio la successione stratigrafica al di sotto dei siti d'indagine, sono stati fatti i calcoli utilizzando la scheda "*litologia ghiaiosa*"
- 8) I valori calcolati del Fattore di Amplificazione F_a in entrambi i siti sono risultati:
 - maggiori della F_a precalcolata nell'intervallo 0.1-0,5s, corrispondenti al periodo assunto come rappresentativo di quello proprio della maggior parte degli edifici presenti nel territorio regionale, ovvero edifici con strutture particolarmente rigide e sviluppo verticale indicativamente fino a 5 piani.
 - minori della F_a precalcolata nell'intervallo 0,5-1,5s, corrispondente al periodo assunto come rappresentativo di quello proprio di alcuni edifici presenti nei centri urbani più sviluppati del territorio regionale, ovvero edifici con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani .

7. PRESCRIZIONI

L'intero territorio comunale è stato classificato come zona di pericolosità sismica sia sotto la definizione di *“Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) - Z2”* sia sotto la definizione *“Zona di fondovalle con presenza di terreni incoerenti (depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi) - Z4a”*.

La ragione per cui sono state accorpate e prese in considerazione entrambe le situazioni di rischio è determinata da:

- Limitata conoscenza dell'andamento litologico nel sottosuolo
- I potenti depositi fluvioglaciali wurmiani possono localmente contenere strati e/o lenti costituiti unicamente da sabbia fine, di spessore significativo e situati a meno di 15m dal p.c.
- Presenza di falda freatica a quote minori di 15m.

Sulla base delle considerazioni precedentemente esposte, si danno pertanto le seguenti prescrizioni:

- 1) Si stabilisce in 20m l'area di influenza della amplificazione sismica, da considerarsi dal ciglio di scarpata e da estendersi verso la pianura retrostante. Tale area è da considerarsi vincolata e in fase progettuale, (Pericolosità sismica Z3a -ciglio di scarpata) sono soggetti ad analisi di 3° livello, secondo le indicazioni contenute nell'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 (*Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*) le costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della D.g.r. 14964/2003; tali costruzioni sono elencate nel d.d.u.o. n.19904/2003.
- 2) In fase progettuale, nelle aree a Pericolosità sismica Z2-Z4a (aree con possibile presenza di strati a mediocre comportamento geotecnico ed eventuale rischio di liquefazione) sono soggetti ad analisi di 3° livello, secondo le indicazioni contenute nell'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 (*Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*) le costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della D.g.r. 14964/2003; tali costruzioni sono elencate nel d.d.u.o. n.19904/2003.
- 3) Tutte le costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi o attività pericolose per l'ambiente, le reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti o con funzioni sociali essenziali devono essere obbligatoriamente sottoposte ad analisi di 3° livello di cui all'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 al punto 2.3 e successive integrazioni.
- 4) Nella zona sismica Z2-Z4a in fase di progettazione **per edifici di significativa consistenza (maggiori di 3 piani e/o capannoni industriali) è richiesta la valutazione delle caratteristiche geologiche e dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione (sondaggi geognostici, prove SPT).** Si sottolinea l'importanza che tale valutazione deve avere nel definire la successione stratigrafica per i primi 15m di profondità, con accertamento della presenza o meno di **significativi spessori continui di livelli sabbiosi (>2m) suscettibili di venire interessati dalla falda freatica** e pertanto soggetti al rischio liquefazione. Se presenti uno o più di tali livelli, l'indagine dovrà prevedere la valutazione del Fattore di Amplificazione (*Fa*) dei terreni con una delle metodologie contemplate dalla DGR citata. Nel caso che tale valore risulti superiore a quello precalcolato dalla Regione Lombardia per il Comune di Pioltello (vedi tabella qui sotto riportata), il progetto dovrà essere sottoposto ad analisi di 3° livello, di cui all'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 al punto 2.3 e successive integrazioni..

Tabella dei Valori di Soglia del Fattore di Amplificazione (Fa) ricavati dalla Banca Dati della Regione Lombardia riferiti al Comune di PIOLTELLO (ZONA SISMICA 4)

Comune	Valore di soglia (0.1-0.5 s)			Valore di soglia (0.5-1.5 s)		
	A	B-C-E	D	A	B-C-E	D
PIOLTELLO	0,9	1,2	1,3	1,3	2,0	3,2

Sintetizzando:

Analisi di 3° livello, secondo le indicazioni contenute nell'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 (*Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*) nei seguenti casi:

- costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della D.g.r. 14964/2003; tali costruzioni sono elencate nel d.d.u.o. n.19904/2003.
- costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi o attività pericolose per l'ambiente
- costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti o con funzioni sociali essenziali
- reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza

Accertamenti di 2° livello, secondo le indicazioni contenute nell'all. 5 della DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005 (*Analisi e valutazioni degli effetti sismici di sito in Lombardia, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*) **per le restanti tipologie di costruzioni, nel caso in cui l'analisi geotecnica condotta sui terreni di fondazione individuasse terreni suscettibili del rischio liquefazione** (strati sabbiosi nei primi 15m di profondità e sotto falda) **o con caratteristiche tali da risultare suscettibili del rischio di amplificazione sismica** (mediocre qualità geotecnica dei terreni, bassa velocità delle onde Vs, considerevoli spessori di strati con numero di colpi SPT particolarmente basso, ecc); tali analisi possono scaturire da un più mirato utilizzo degli interventi conoscitivi a suo tempo prescritti nella stesura del PRGC che vengono qui di seguito richiamate:

CLASSE 1: Tutti gli interventi di urbanizzazione che interessano il suolo ed il primo sottosuolo fino a 4 metri dal p.c. non richiedono alcuna prescrizione.

Per gli interventi urbanistici che interessano profondità superiori ai 4 metri dal p.c. dovranno essere effettuati accertamenti geognostici e geotecnici limitati all' area di impronta dell' intervento.

CLASSE 2: Per tutti gli interventi urbanistici dovranno essere effettuati accertamenti geognostici e geotecnici, limitati all' area di impronta dell' intervento, i cui risultati condizioneranno il tipo di approccio fondazionale, soprattutto in relazione alle opere di impermeabilizzazione. Per i nuovi insediamenti e per gli ampliamenti di edifici produttivi, le indagini dovranno essere finalizzate a determinare l'eventuale necessità di impermeabilizzare le superfici scoperte interessate dal transito dei mezzi e dalle attività produttive, anche in funzione delle caratteristiche dei prodotti trattati.

APPENDICE GENERALITA' SULLE ONDE SISMICHE

La prospezione sismica consiste in una serie di misure, condotte in superficie, sulla variazione nello spazio della proprietà fisica dei terreni denominata "elasticità".

Tale metodo non sfrutta campi di forze naturali ma richiede l'immissione artificiale nel terreno di una certa quantità di energia, la cui intensità, così come la distanza fra sorgente di energia e apparecchi di misura, può essere regolata al fine di rispondere al meglio ai quesiti posti dall'indagine. Tale energia genera nel terreno delle onde sismiche che si dividono in due grandi categorie:

- onde di corpo (o di volume): onde P (Primarie) e onde S (Secondarie)
- onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love)

Tra le onde generate più di due terzi viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata *velocità di fase*) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama *dispersione*.

1. Onde di corpo

Le **Onde P** sono delle onde di corpo di compressione (o longitudinali) e corrispondono a compressioni e rarefazioni del mezzo in cui viaggiano; al loro passaggio le particelle di terreno infatti oscillano in avanti e indietro nella stessa direzione di propagazione dell'onda. Sono le onde più veloci generate da un sisma, quindi sono le prime avvertite, da cui il nome di Onda P (Primaria). La velocità dell'onda può essere ricavata dall'equazione:

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

con :

- k che rappresenta il modulo di incompressibilità;
- μ è il modulo di rigidità;
- ρ la densità del materiale attraversato dall'onda.

Le **Onde S** sono onde di corpo che oscillano perpendicolarmente rispetto alla direzione di propagazione. Possono essere immaginate come le onde che si propagano su una corda che viene fatta oscillare. Un'importante caratteristica di queste onde è che non possono propagarsi in mezzi fluidi.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

con:

- μ che rappresenta il modulo di taglio del materiale;
- ρ la densità.

Si può vedere che la velocità di queste onde è necessariamente inferiore alla velocità delle Onde P (in quanto manca il termine K) e raggiungono una velocità che si aggira solitamente intorno al 60-70% della velocità delle Onde P (il valore del rapporto V_p/V_s , in solidi "poissoniani" e' generalmente pari alla radice quadrata di 3 = 1.732...) Questo è il motivo per cui queste onde vengono avvertite sempre dopo le Onde P (da cui onde **S** come Secondarie).

2. Onde superficiali

Le **onde superficiali** (o **onde di superficie**) vengono a crearsi a causa dell'intersezione delle onde di corpo con la superficie. Queste onde vengono trasmesse lungo la superficie e decadono esponenzialmente con la profondità (è questo il motivo per cui si dicono superficiali). Queste onde vengono generate facilmente nelle situazioni in cui la sorgente sismica è poco profonda. È da sottolineare che in caso di terremoto, dalla sorgente sismica vengono generate solo Onde P e Onde S, in quanto queste sono le *onde di corpo*, cioè le onde che si propagano all'interno della terra mentre non vengono generate direttamente le onde superficiali.

La velocità delle onde di superficie è inferiore alla velocità delle onde di corpo, per cui il loro arrivo è successivo all'arrivo delle Onde P ed S. D'altro canto, l'ampiezza di queste onde è notevolmente maggiore di quella delle onde di corpo. Questo fatto si spiega notando che hanno fronti d'onda cilindrici, la cui area risulta $2\pi xz$, ciò significa che per conservare l'energia (e poichè l'energia è proporzionale all'ampiezza dell'onda) l'ampiezza dell'onda di superficie alla distanza X deve essere proporzionale a $X^{-1/2}$. Il fronte d'onda delle Onde P ed S invece è sferico e l'area relativa è quindi $4\pi x^2$ e ciò significa che l'ampiezza delle onde di corpo alla distanza X è proporzionale a X^{-2} e quindi decade molto più velocemente dell'ampiezza delle onde di superficie.

Onde di Rayleigh

Viene generata quando un'onda S, che incide sulla superficie libera, viene in parte riflessa, determinando un'ulteriore onda che si propaga sulla superficie stessa.

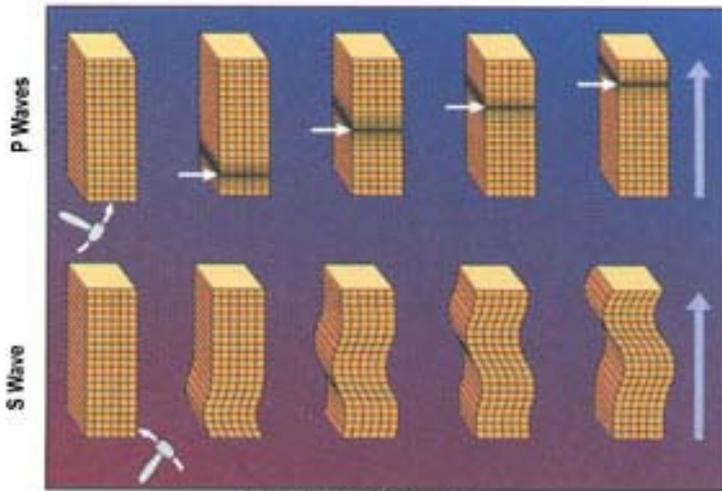
Queste onde esistono sia in semispazi omogenei (in questo caso la sua velocità è circa 0,92 volte la velocità delle onde S) che disomogenei (in cui risulta essere un'onda dispersa, cioè la sua velocità dipende dalla frequenza). Per meglio visualizzarle possono essere immaginate come molto simili a quelle che si creano gettando un sasso nello stagno, provocando quindi uno scuotimento o un sussulto del terreno. Il loro moto è vincolato in uno spazio verticale contenente la direzione di propagazione dell'onda.

Onde di Love

Sono anch'esse generate dalla riflessione delle Onde S sulla superficie libera del terreno, ma vengono generate solo nei mezzi in cui la velocità delle Onde S aumenta con la profondità (quindi siamo in presenza di un mezzo disomogeneo) e quindi sono sempre *onde disperse*. Le Onde di Love fanno vibrare il terreno sul piano orizzontale lungo la direzione ortogonale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La velocità delle onde di Love è maggiore di quella delle onde S negli strati più superficiali della crosta, ma minore della stessa negli strati più bassi.

Body Waves



Surface Waves

