



ECOTER CPA S.r.l.
Via Selvagreca, 14H – 26900 Lodi
tel.: 0371/427203 (r.a.) – fax: 0371/50281
e-mail: ecoter@ecotercpa.it – web: www.ecotercpa.it

GEORISORSE • AMBIENTE • TERRITORIO

Progetto:
**TORRE UFFICI IN VIA A. GRANDI 6,
LODI: PERMESSO DI COSTRUIRE
CONVENZIONATO IN VARIANTE AL PGT
VIGENTE**

Attività:
**INDAGINI E STUDI SULLA
COMPONENTE SISMICA**

Committente:
ZUCCHETTI S.P.A.

Contenuti:
RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA

Rif. e data:
TU2/508/12 - LUGLIO 2012

<i>timbro e firma committente:</i>	<i>timbro e firma progettista:</i>  
------------------------------------	---

CONTENUTI

1. PREMESSE
2. INQUADRAMENTO DELL' AREA
3. REGIME VINCOLISTICO
4. QUADRO LEGISLATIVO E NORMATIVO DI RIFERIMENTO
5. DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA
 - 5.1. Indagine geofisica con metodologia MASW
 - 5.1.1. *Aspetti metodologici*
 - 5.1.2. *Acquisizione ed elaborazione dei dati*
 - 5.1.3. *Risultati*
 - 5.2. Risposta sismica locale
 - 5.3. 1° livello di approfondimento
 - 5.4. 2° livello di approfondimento
 - 5.5. Sintesi dei risultati ottenuti
6. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO
 - 6.1. Individuazione della pericolosità del sito
 - 6.2. Scelta della strategia di progettazione
 - 6.3. Determinazione dell'azione di progetto
7. CALCOLO DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA
8. ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE
9. CONCLUSIONI

1. PREMESSE

Nell'ambito degli interventi assoggettati a Permesso di Costruire Convenzionato in Variante al P.G.T. vigente, a carico della Torre Uffici attualmente esistente in via Achille Grandi n. 6 a Lodi, la scrivente Società ECOTER CPA S.r.l. (di seguito indicata anche come "Consulente"), su incarico della Società ZUCCHETTI S.p.A. (di seguito indicata anche come "Committente"), ha provveduto alla redazione della presente Relazione Geologico Sismica, che fornisce le richieste valutazioni e stime preliminari di carattere sismico.

Ai fini della presente Relazione Geologico Sismica, gli interventi di cui sopra:

- corrispondono ad una trasformazione del sopra citato edificio a torre, già attualmente destinato ad uffici, ad eccezione del piano terra e dell'ultimo piano che sono ripartiti in locali tecnici di servizio;
- implicano una variante al P.G.T. vigente e con essa le necessarie verifiche di fattibilità inerente tutte le componenti analizzate;
- prevedono la riqualificazione interna ed esterna dell'edificio, all'interno del quale sarà mantenuta la destinazione ad uffici, nonché soprattutto l'innalzamento di un piano rispetto alla situazione attuale;
- comprendono anche la realizzazione di un impianto geotermico a pompa di calore, relativamente al quale in sede di progettazione si è optato per un sistema a ciclo aperto ("open loop"), quindi a circolazione d'acqua, che verrà prelevata dalla falda idrica sottostante;
- sono descritti in ulteriore dettaglio nel paragrafo "1.6. Quadro Progettuale" della Relazione Geologica (luglio 2012) redatta dal Consulente, oltre che in tutti gli elaborati progettuali ai quali la presente Relazione Geologico Sismica è allegata.

La presente Relazione ha lo scopo di caratterizzare localmente la risposta sismica e di definire il quadro di micro-zonazione sismica del sito in sede di previsione degli interventi; il contenuto del documento, considerato lo stato attuale di definizione del progetto, corrisponde a quanto concordato con il Committente, con informazioni circa:

- i vincoli gravanti sull'area,
- il quadro legislativo e normativo di riferimento in materia sismica,
- gli esiti dell'indagine geofisica realizzata con metodologia MASW,
- la componente sismica intermini di risposta sismica locale (1° e 2° livello di approfondimento),
- i parametri sismici di progetto,
- l'individuazione della pericolosità del sito,
- la scelta della strategia di progettazione,
- la determinazione dell'azione di progetto,
- il calcolo degli spettri di risposta,
- il calcolo del valore di accelerazione massima attesa in superficie.

Oltre all'indagine geofisica realizzata, si sono assunti indicativi riferimenti:

- dallo studio della pericolosità sismica già disponibile a scala comunale;
- da studi di micro-zonazione sismica realizzati in territori con situazioni litostratigrafiche e geo-meccaniche simili a quelle dell'area in analisi;
- da riferimenti bibliografici e scientifici, nonché da allegati tecnici e normativi nazionali, regionali e provinciali.

Non esistono misure di mitigazione atte a contenere il danno provocato potenziale; le uniche raccomandazioni riguardano accorgimenti logistici e progettuali tali da prevenire un ulteriore rischio

di amplificazione locale e in generale un piano di sicurezza generale d'ambito che preveda anche l'eventualità di condizioni sovrastimate.

Il presente studio ha quindi lo scopo di valutare in maniera analitica la risposta sismica locale in base alle caratteristiche morfologiche, topografiche e litologiche dell'area oggetto di edificazione, e stabilire per essa un grado di interazione degli effetti indotti dagli eventi sismici allo scopo di indirizzare le scelte progettuali e realizzative non solo in fase di pianificazione generale ma anche e soprattutto in fase di dimensionamento delle opere.

Per gli edifici esistenti come quello in oggetto, l'Allegato 2 all'OPCM n. 3274/2003 concernente le "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", prevede l'obbligo di eseguire valutazioni di sicurezza sismica e di effettuare interventi di adeguamento a chiunque intenda:

- a) *sopraelevare o ampliare l'edificio [...];*
- b) *apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari (permanenti e accidentali) superiori al 20%;*
- c) *effettuare interventi strutturali volti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente;*
- d) *effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche, rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.*

Per tali edifici, per i quali il progetto originario riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione, non è da escludere che il progetto possa contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non immediatamente visibili, o che anche possano essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti.

Nelle successive fasi di attività, si dovranno pertanto acquisire i dati sugli aspetti seguenti:

- identificazione dell'organismo strutturale, sulla base dei disegni originali di progetto;
- identificazione delle strutture di fondazione;
- informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
- identificazione del periodo fondamentale di struttura T1 e del fattore di struttura q;
- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

I contenuti della presente Relazione Geologico Sismica devono essere valutati unitamente a quelli delle altre relazioni specialistiche prodotte dal Consulente:

- Relazione Geologica,
- Relazione Geotecnica Definitiva,
- Relazione Idrogeologica e Relazione Tecnica, prodotte a supporto della domanda di autorizzazione per opere di derivazione di acque sotterranee per l'impianto geotermico.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

Nel prosieguo del presente documento si farà riferimento a due ordini di perimetri all'interno dei quali si sono sviluppati gli studi ed approfondite le analisi:

- *un'area di studio*, termine con il quale si intende quell'ambito vasto entro il quale inquadrare l'intervento, al fine di coglierne le criticità rispetto al contesto esistente e alle previsioni della pianificazione;
- *un'area di intervento*, termine con il quale si intende l'ambito più ristretto entro il quale si opereranno le trasformazioni secondo il progetto che verrà redatto.

L'area di studio è inserita nel foglio B7 - quadrante e1 della Carta Tecnica della Regione Lombardia, alla scala 1:10.000 (C.T.R.).

Dal punto di vista altimetrico il suolo si presenta pianeggiante ed è posto alla quota di ca. 76 m s.l.m.. Localmente non è visibile e non è in altro modo nota la presenza di fenomeni di instabilità dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica, né si rilevano zone con emergenze o ristagni delle acque in superficie.

Il territorio indagato non è intersecato da corsi d'acqua di rilievo, ma solo da alcune rogge minori di portata ridotta; tali rogge nel loro complesso, sia pur tutte derivate dal canale Muzza, hanno andamenti poco ordinati, spesso intersecati e di recente in buona parte variati dalla riforma della distribuzione di acqua irrigua eseguita dal Consorzio di Bonifica Muzza.

La presenza delle rogge Tibera e Bertonica costituiscono l'elemento fisiograficamente più importante della zona; esse appartengono al Reticolo Idrico Minore gestito dal Consorzio Muzza – Bassa Lodigiana e, subito ad ovest dell'area di intervento, risultano intubate:

- la Roggia Bertonica in particolare prende origine da una derivazione del canale Muzza a Paullo; dopo un breve tratto in cui risulta tombinata (in via Buozzi e in via Grandi), ritorna a cielo aperto presso il distributore di benzina lungo la S.S. n. 9 e, sottopassata la via Emilia, irriga i campi a sud di Lodi, con uno sviluppo di ca. 10 Km;
- la roggia Tibera scorre parallela alla S.S. n. 9 e alla roggia Paderna, dopo C.na Calvenzano sottopassa il cavalcavia della S.S. n. 9 ed entra nella Bertonica, quindi entra in fognatura ed esce a valle della via Emilia.

3. REGIME VINCOLISTICO

L'area oggetto di studio é stata estesa, all'interno del territorio comunale, ad alcune aree limitrofe a quella di intervento, per esigenze di completamento del quadro territoriale.

Il Comune di Lodi risulta dotato dello Studio Geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio, redatto ai sensi della L.R. 12/05 e relative Delibere attuative.

L'area di intervento é inserita all'interno dell'Unità di Paesaggio UP2 – Città consolidata, e ricade in Classe 2 – Sensibilità paesistica bassa (tessuto consolidato residenziale). Per quanto concerne la Fattibilità geologica, l'area é stata classificata in Classe 2 – Fattibilità geologica con modeste limitazioni. Essa ricalca l'Unità Wurm, caratterizzata da depositi sabbioso-ghiaiosi, con copertura variabile da 2.5 a 6 m di limi e sabbie fini. La falda si trova ad una profondità di circa 3 m dal p.c.. In tutta l'area la vulnerabilità idrogeologica é bassa a causa della profondità medio elevata della falda e della copertura, fine e poco permeabile. Il rischio idraulico é nullo in quanto l'area é situata ben più in alto del limite massimo di esondazione con Tempo di ritorno 500 anni e si mantiene in aree esterne alla Fascia C del PAI.

Nel Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia, per la zona in studio, non sono individuate particolari prescrizioni o salvaguardie in riferimento alle problematiche geologiche. Sull'area di intervento non gravano limitazioni particolari quali ad es. vincoli PAI, vincoli idrogeologici, vincoli geo-ambientali, presenza di aree S.I.C. o Z.P.S.; nei pressi dell'area esaminata, entro la fascia di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile (200 m di raggio), non risulta la presenza di pozzi per acqua comunali.

Nel territorio esaminato, infine, non sono individuate aree appartenenti alla Rete Ecologica Regionale, né sono presenti cave o discariche.

4. QUADRO LEGISLATIVO E NORMATIVO DI RIFERIMENTO

I criteri e indirizzi approvati con la D.G.R. 8/1566/05 sono stati aggiornati e integrati a seguito dell'approvazione del D.M. 14 gennaio 2008 «Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni», pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30, ed entrato in vigore il 6 marzo 2008, e della l. 28 febbraio 2008, n. 31 «Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248», recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria», pubblicata sulla G.U. n. 51 del 29 febbraio 2008. Tali normative modificano, rispettivamente, la sostanza dell'approccio alla tematica della difesa sismica e le relative modalità e tempistiche di applicazione.

Durante tale periodo, fino al 30 giugno 2009, si possono utilizzare per la progettazione sia le norme del D.M. 14 gennaio 2008, sia le norme previgenti, elencate al comma 2 del sopracitato art. 20 della L. 28 febbraio 2008, n. 31. Fanno eccezione le nuove progettazioni degli interventi relativi agli edifici e alle opere infrastrutturali di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21 ottobre 2003, per le quali si applicano da subito le disposizioni del D.M. 14 gennaio 2008.

Fino al termine del periodo di monitoraggio (30 giugno 2009), in zona 4, ai sensi della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, la progettazione antisismica è obbligatoria esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, individuati dal d.d.u.o. della Regione Lombardia n. 19904 del 21 novembre 2003 non rientranti nelle tipologie di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21 ottobre 2003. Qualora si optasse per l'utilizzo della normativa previgente in materia, si dovranno necessariamente considerare le specifiche di «sismicità media» ($S = 9$) per i comuni in zona 2 e di «sismicità bassa» ($S = 6$) per comuni sia in zona 3 che in zona 4. Dal 1° luglio 2009 la progettazione antisismica, per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici sarà regolata dal D.M. 14 gennaio 2008.

In relazione alla *definizione della componente sismica e alla pericolosità sismica locale*, in Allegato 5 alla D.G.R. VIII/7374/08 è riportata la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 «Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni», dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, e della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003. La metodologia utilizzata si fonda sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia, i cui risultati sono contenuti in uno "Studio-Pilota" redatto dal Politecnico di Milano – Dip. di Ingegneria Strutturale, reso disponibile sul SIT regionale. Tale metodologia prevede tre diversi livelli di approfondimento, organizzati nel diagramma di flusso riportato alla pagina seguente e successivamente sintetizzati.

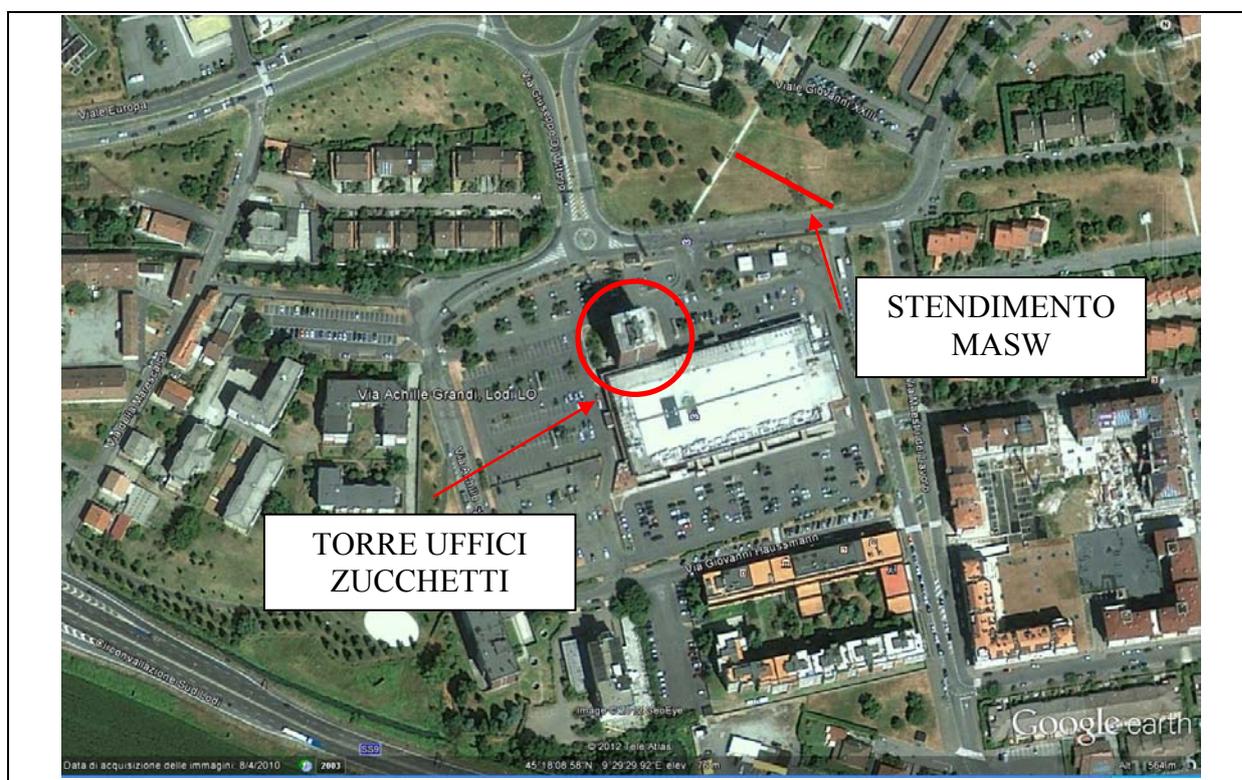
La recente D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12"*", ha recepito le disposizioni nazionali in materia di microzonazione sismica contenute nel D.M. 14 gennaio 2008 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*", già introdotte dall'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 e fatte proprie dalla Regione Lombardia con la D.G.R. VII/14964/2003. Oltre ad altri aspetti, l'obiettivo fondamentale della nuova D.G.R. IX/2616/2011 (che sostituisce in parte la D.G.R. VIII/1566/2005) è l'individuazione e la delimitazione di zone omogenee del territorio comunale (microzonazione sismica) alle quali vengono attribuiti parametri e prescrizioni finalizzati alla riduzione del rischio sismico da utilizzare nella pianificazione urbanistica, nella progettazione di manufatti e nella messa in sicurezza di edifici esistenti.

5. DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA

5.1. Indagine geofisica con metodologia MASW

5.1.1. Aspetti metodologici

A supporto delle attività di studio, è stata eseguita un'indagine geofisica per la determinazione delle velocità delle onde S (onde sismiche di taglio). Sulla base delle informazioni messe a disposizione dalle indagini geotecniche eseguite nell'area (sondaggio stratigrafico con SPT e prove penetrometriche dinamiche SCPT, v. Relazione Geotecnica Definitiva del luglio 2012), nonché tenuto conto dei disturbi locali creati dal traffico stradale lungo via Buozzi e dalla presenza della Linea elettrica ad Alta Tensione, si è ritenuto opportuno procedere in modo da ottenere una caratterizzazione del sottosuolo con una maggior risoluzione entro i primi 20 m di profondità, per poter apprezzare variazioni di velocità più dettagliate, variazioni che si sono riscontrate nel corso delle citate indagini geotecniche, le quali hanno mostrato un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni al di sotto di ca. 12,5-13,0 m dal p.c. La metodologia più idonea alla caratterizzazione del terreno dal punto di vista geofisico e alla definizione della Classe di suolo in base al D.M. 2005 e D.M. 2008 è la prova MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). I parametri ottenuti dall'indagine attraverso l'acquisizione e l'elaborazione dei dati consistono nei valori delle velocità sismiche V_s dei terreni e nel valore del parametro V_{S30} .



Veduta aerea della zona di intervento.

Nell'area di interesse è stata quindi effettuata una indagine con metodologia sismica di tipo MASW a 24 canali, utilizzando un'equidistanza di 2,0 m ed effettuando n° 1 energizzazione a 12 m dal geofono esterno 1, le cui caratteristiche sono:

Nome	Lung. Stendimento	N° Energizzazioni	N. Geofoni	Passo
All1	46 m	1	24	2

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

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

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 rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

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

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

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, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. 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, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

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 di 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 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.

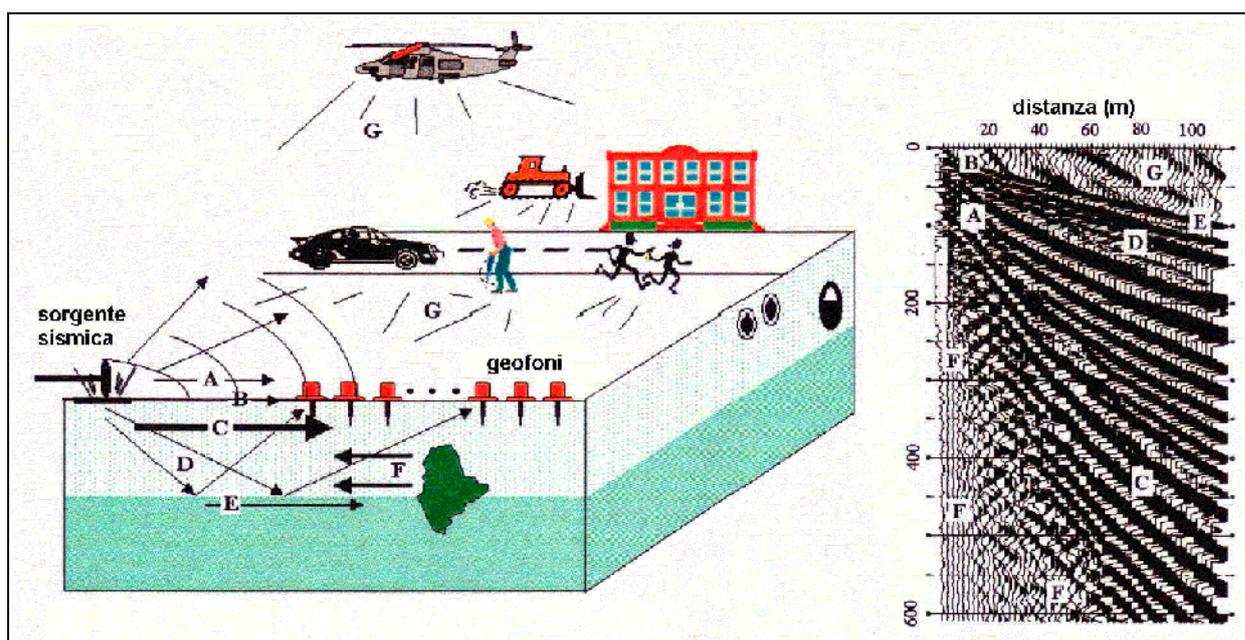
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. 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. MASW può essere efficace con anche 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.

5.1.2. Acquisizione ed elaborazione dei dati

La strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sismografo 16S24U PASI a 24 canali,
- 24 geofoni a 4.5Hz,
- fucile sismico o mazza da 10 Kg.

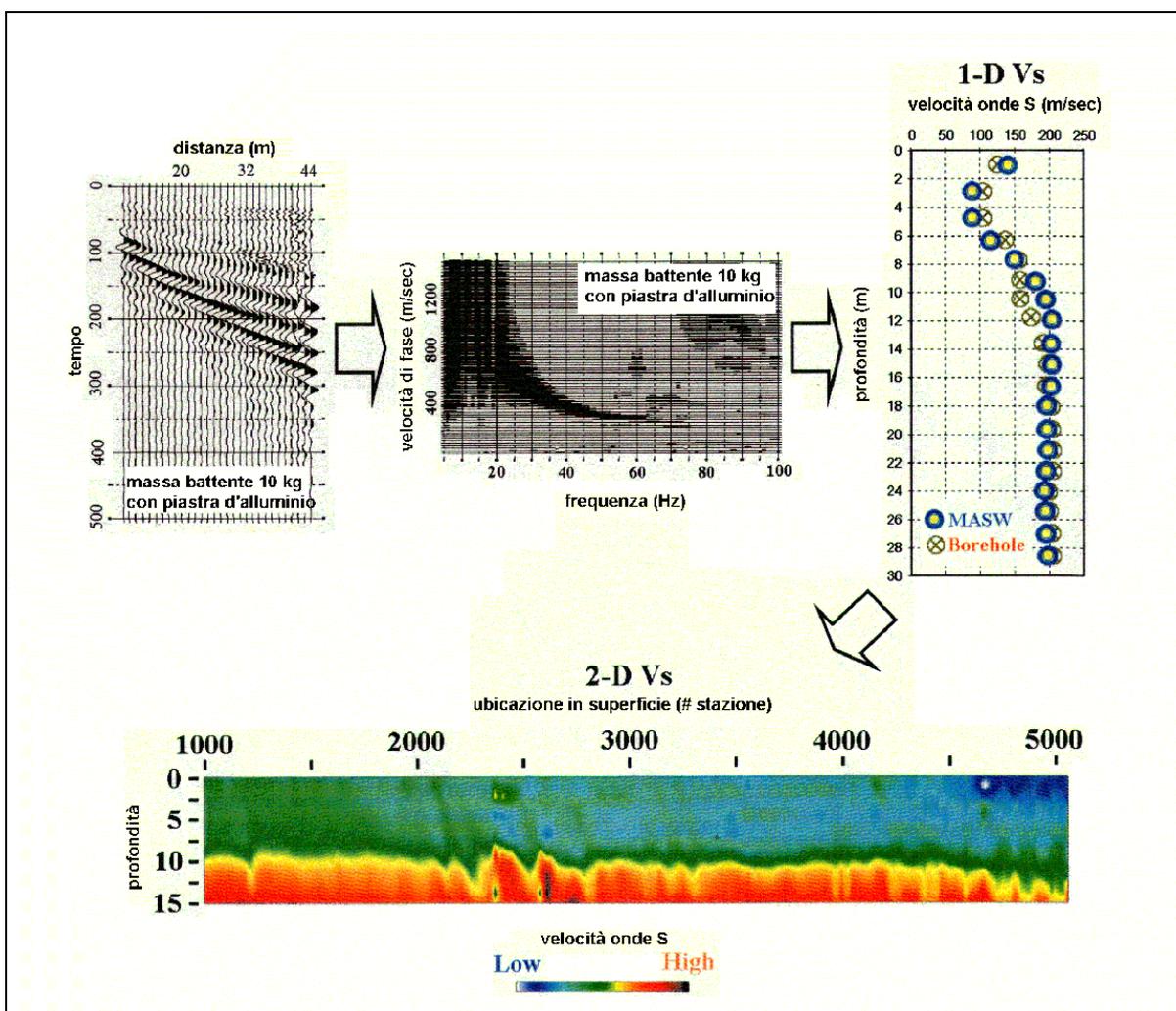


Schema esemplificativo della registrazione multicanale.

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria | E: onde rifratte |
| B: onde dirette | F: onde riverberate |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse | |

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili. La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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



Schema esemplificativo del metodo MASW.

5.1.3. Risultati

Alla figura seguente, nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova di cui sono state calcolate le curve di dispersione, nonché i modelli utilizzati. A sinistra in basso è visibile il sismogramma mentre in alto è riportato il valore del parametro V_{S30} calcolato utilizzando la stratigrafia Vs e la formula:

$$V_{S30} = 30 / (\sum_{i=1, N} h_i / V_i)$$

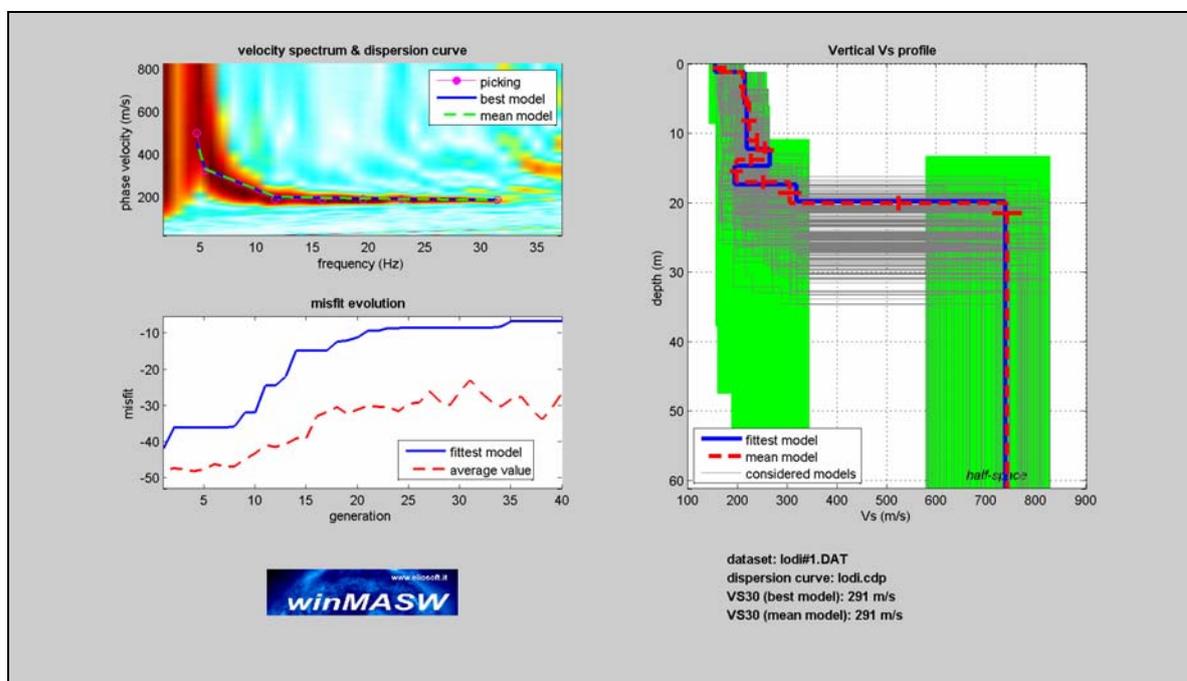
dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i – esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Dal modello medio sono stimati alcuni parametri:

Vs (m/s)	164	211	223	255	198	305	740
Standard deviations (m/s)	14	7	15	19	12	24	29
Thickness (m)	1,30	4,20	5,70	2,80	3,20	3,00	--
Standard deviations (m/s)	0,20	0,70	1,10	0,90	0,90	1,00	--
Density (gr/cm ³)	1,79	1,85	1,87	1,90	1,84	1,94	2,13
Shear modulus (MPa)	48	83	93	124	72	181	1168

Valori approssimati per Vp e Modulo Elastico:

Vp (m/s)	341	439	464	531	412	635	1384
Poisson	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3
Bulk modulus (MPa)	144	247	278	371	216	543	2528
Young's modulus (MPa)	130	223	251	334	195	488	3036
Lamé (MPa)	112	192	216	289	168	422	1750



Rielaborazione del segnale sismico tramite il software WinMASW.

Come si può rilevare dall'analisi dei dati restituiti:

1. la V_s media calcolata raggiunge i 226 m/s se riferita all'intervallo di profondità 00,00 – 20,20 m dal p.c., mentre la stessa V_s media raggiunge i 291 m/s circa se l'intervallo di profondità viene esteso a 30,00 m dal p.c.;
2. si registra una inversione di incremento delle velocità sismiche nell'intervallo di profondità compreso tra 14,0 e 17,2 m circa dal p.c., indice dell'esistenza di un possibile contrasto di rigidità tra gli orizzonti litologici, inversione evidenziata anche nel diagramma precedente;
3. una variazione analoga a quella di cui al punto precedente, è stata messa in evidenza anche dalle indagini geotecniche eseguite nell'area (sondaggio stratigrafico con SPT e prove penetrometriche dinamiche SCPT, v. Relazione Geotecnica Definitiva del luglio 2012), indagini che hanno mostrato un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni al di sotto di ca. 12,5-13,0 m dal p.c.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{S30} come da normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008).

Classe	Velocità sismica (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E	Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_S > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori 100 m/s (ovvero $10 < cu_{S30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

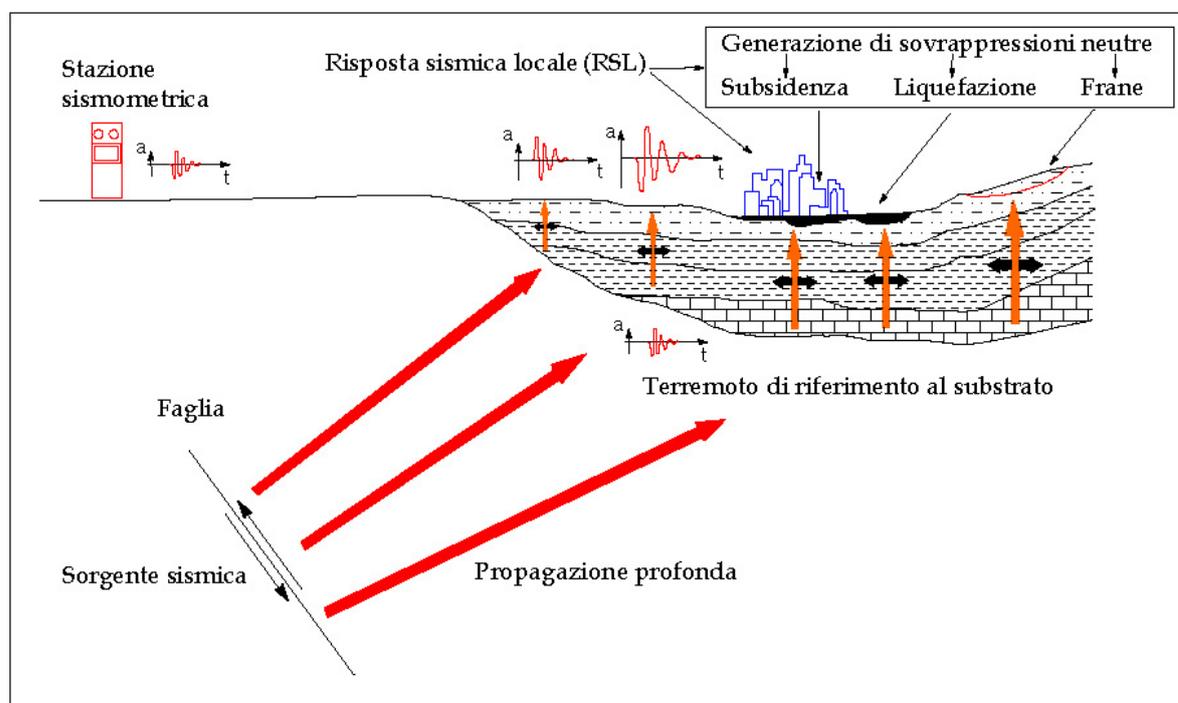
Le indagini geognostiche nel loro complesso hanno dato una generale omogeneità nei risultati, l'analisi sismica di tipo MASW, ha fornito i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici, raggiungendo così l'obiettivo dell'indagine, cioè la classificazione del terreno dal punto di vista geofisico a supporto di un più ampio studio di fattibilità e successivamente di caratterizzazione geologico-geotecnica, definendo meglio, in dettaglio, la stratigrafia locale, i rapporti tra le diverse litologie presenti e l'interpretazione areale-litologica del sito.

Sulla base del DM. 2005 e del DM. 2008 il terreno è risultato in **CLASSE C**, ossia: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fine)”*.

5.2. Risposta sismica locale

Con il termine risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare 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.



Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito (scala distorta).

L'analisi della sismicità dell'area di studio e la definizione della pericolosità sismica locale è eseguita secondo la metodologia definita dalla L.R. n. 12/2005 e dell'adeguamento dettato dalla recente D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616, Allegato 5.

Il comune di Lodi ricade in **ZONA SISMICA 4**, a minimo rischio sismico, pertanto la normativa vigente prevede un approfondimento obbligatorio di primo livello sull'intero territorio, atto al riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica locale sulla base della cartografia di inquadramento e dei dati esistenti.

Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che la caratterizzano. Tali indagini riguardano la definizione dei seguenti aspetti:

- stratigrafia delle formazioni superficiali con definizione dell'andamento dei contatti tra di esse;
- profili di velocità delle onde sismiche trasversali e longitudinali dentro le formazioni superficiali;
- caratteristiche meccaniche dei terreni delle formazioni superficiali con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;
- morfologia di dettaglio dell'area.

Per gli studi di risposta sismica locale finalizzati alla previsione delle azioni sismiche di progetto sui manufatti è necessario caratterizzare il comportamento meccanico del terreno mediante la determinazione dei parametri V_s (velocità delle onde di taglio) G_0 (modulo di taglio a piccole deformazioni), R (rigidità sismica), E_d (modulo di elasticità dinamico) e A (amplificazione sismica).

Sulla base dei dati contenuti nei cataloghi è possibile selezionare le notizie in modo da definire "Storie sismiche" dei singoli siti, identificanti cioè la successione temporale delle intensità risentite I_s in una definita località rispetto alle intensità epicentrali I_0 dei vari eventi nel corso dei secoli. La tabella seguente riporta gli eventi principali segnalati negli archivi storici come eventi risentiti dalla popolazione e dai manufatti presenti nel territorio del Lodigiano:

I_s	Anno –Me –Gi –Or –Mi –Se	Area Epicentrale	I_0	Magnitudo Momento
6	1951 –05 –15 –22 –54	LODIGIANO	6 - 7	5.24

5.3. 1° livello di approfondimento

Il 1° livello di approfondimento consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il 1° livello è obbligatorio per tutti i Comuni della Lombardia ed è basato sul riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche sia di dati esistenti.

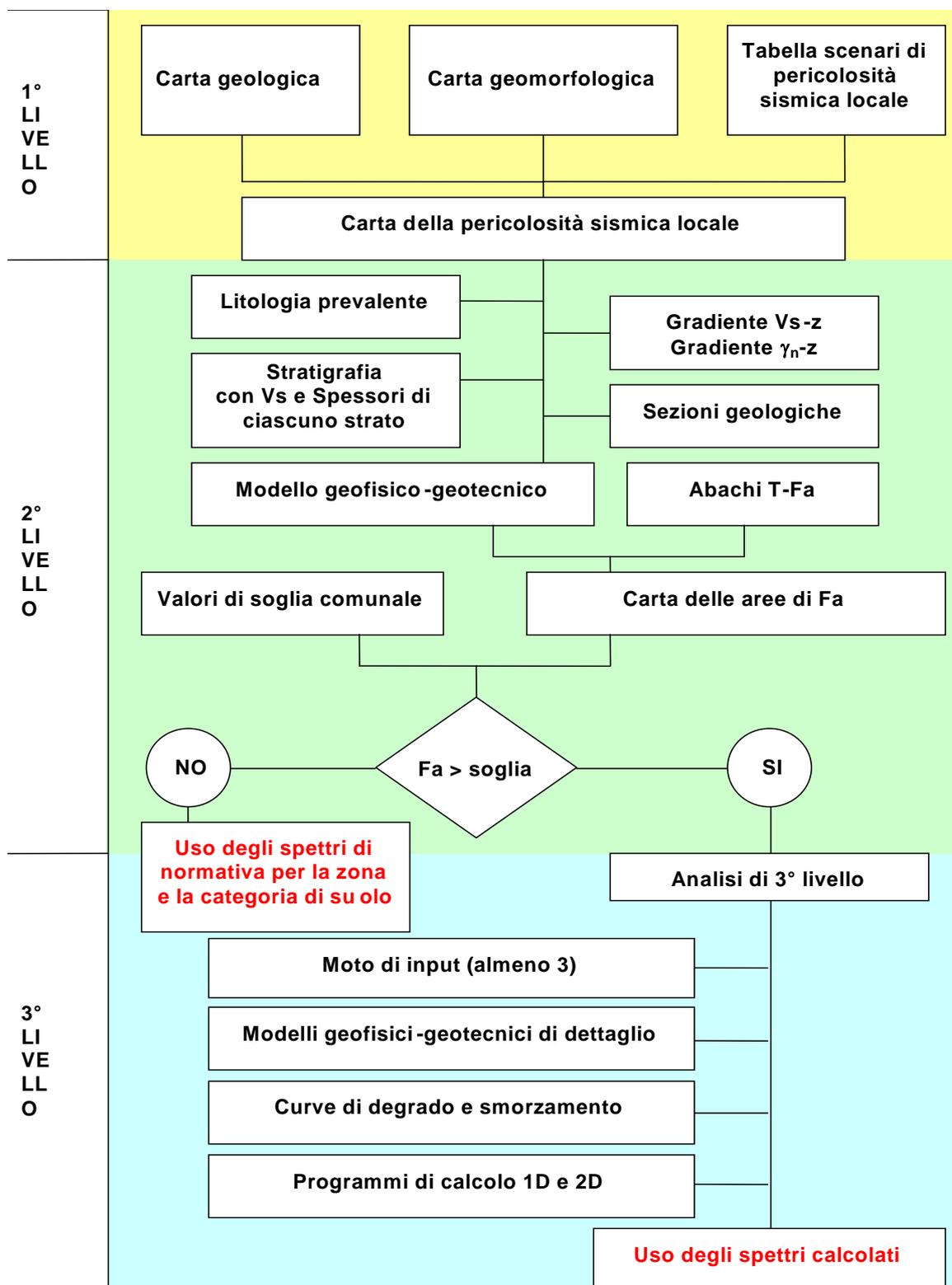
In quest'ottica è stato possibile individuare nell'area di studio lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a, in quanto costituita in prevalenza da depositi alluvionali di fondovalle granulari e/o coesivi (Livello Fondamentale della Pianura); i possibili effetti in questo scenario di pericolosità sismica locale sono principalmente amplificazioni litologiche.

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

<i>Sigla</i>	<i>Tabella 1: SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

<i>Sigla</i>	<i>Tabella 2: SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>CASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	H2 – livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	H2 – livello di approfondimento 3°
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	H2 – livello di approfondimento 2°
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	H2– livello di approfondimento 3°

Scenari previsti dalla norma (Tab. 1) in grado di determinare specifici effetti sismici locali. La valutazione della pericolosità sismica locale consente, oltre all'assegnazione della classe di pericolosità, anche di verificare l'eventuale necessità o meno di procedere ai successivi livelli di approfondimento (Tab. 2).



5.4. 2° livello di approfondimento

L'analisi della componente sismica finalizzata alla valutazione della pericolosità sismica locale relativamente al 2° livello di approfondimento ha lo scopo di definire i diversi effetti che questa esercita sul territorio comunale e i relativi scenari di pericolosità sismica.

Nell'ambito degli studi inerenti la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Lodi (Dott. Giovanni Bassi, dicembre 2009), sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori in varie aree del territorio comunale; le più vicine all'area di intervento sono quelle ubicate in viale Europa e in via San Fereolo.

La metodologia applicata consente la rilevazione della velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo, per definire i fattori di amplificazione sismica locale (Fa) per i due periodi caratteristici $0.1 < T < 0.5$ (edifici bassi e rigidi), e $T > 0.5s$ (edifici alti ed elastici).

Nella Tabella seguente sono sintetizzati i valori di Vs30 (velocità media delle onde trasversali nei primi 30 m), il suolo sismico, il periodo proprio del sito (Tp) calcolato dalle Vs, i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (Fa) per le due tipologie di edifici: $0.1 < T \leq 0.5$ s e $T > 0.5$ s ed il suolo sismico di riferimento; nell'ultima colonna sono riportati i valori soglia di riferimento indicati da Regione Lombardia.

Ubicazione linee	Distanza dall'area di intervento	Vs30	Periodo (Tp)	Categoria di sottosuolo	Periodo edifici	Fa calcolato	Fa di riferimento
Viale Europa	580 m	298	0,35	C	≤ 0.5	1.7	1.8
					> 0.5	1.5	2.4
Via San Fereolo	450 m	263	0,44	C	≤ 0.5	1.6	1.8
					> 0.5	1.7	2.4

I suoli sismici definiti in base alla Vs30 (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo C (sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza – $180 < Vs30 < 360$ m/s) in quanto sono comprese tra 245 e 251 m/s.

Il valore Vs30 desunto con l'indagine geofisica MASW realizzata nell'area (v. Paragrafo 5.1 precedente), è risultato essere pari a 291 m/s.

I valori soglia (Fa) indicati dagli allegati regionali nel territorio di Lodi, per suoli sismici di tipo C, sono 1.8 e 2.4 rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5s (bassi e rigidi) e superiore a 0.5s (edifici alti ed elastici).

I valori di Fa calcolati, per tutte le classi di edifici, risultano inferiori a quelli previsti per i suoli sismici di tipo C dalla Regione Lombardia, pertanto si adotteranno gli spettri di norma relativi ai suoli sismici di tipo C.

5.5. Sintesi dei risultati ottenuti

L'indagine geofisica con metodologia MASW realizzata nell'area ha registrato una inversione di incremento delle velocità sismiche nell'intervallo di profondità compreso tra 14,0 e 17,2 m circa dal p.c., indice dell'esistenza di un possibile contrasto di rigidità tra gli orizzonti litologici. Un'analoga variazione, di cui dovrà essere tenuto in debito conto in fase esecutiva, è stata messa in evidenza anche dalle indagini geotecniche eseguite nell'area (sondaggio stratigrafico con SPT e prove penetrometriche dinamiche SCPT, v. Relazione Geotecnica Definitiva del luglio 2012), indagini che hanno mostrato un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni al di sotto di ca. 12,5-13,0 m dal p.c.

Come detto, l'area è stata considerata come "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" (Sigla Z4a), per la quale lo schema predisposto dalla Regione Lombardia prevede amplificazioni litologiche e geometriche come effetti locali di un sisma.

L'Ordinanza n° 3274 del marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri: "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" aggiorna la normativa sismica in vigore, con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo. Inoltre tale ordinanza propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque (A – B – C – D – E) tipologie di suoli (più altri due speciali: S₁ e S₂), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}).

Le classi di cui sopra sono definite da parametri indicati nel EC8 (euro codice 8) e più specificatamente: velocità delle onde S, numero dei colpi della prova SPT, coesione non drenata.

Richiamando gli aspetti metodologici esposti in precedenza nel testo, si sottolinea che la valutazione del grado di protezione, in termini sismici, viene effettuata confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato (valore di soglia) calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (A, B, C, D, E), nonché per ogni intervallo di periodo.

Per i terreni presenti nell'area di studio le velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di sottosuolo si sono mostrate comprese nella **CATEGORIA C** dei suoli di fondazione, secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03, - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s [$15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa].

I calcoli e le verifiche di Fa, effettuati per l'area in studio e nei termini esposti in precedenza nel testo, hanno mostrato che per i terreni associati ai depositi del Livello Fondamentale della Pianura (suoli di categoria C) i valori di soglia comunali sono "verificati", ovvero non sono superati indipendentemente dal periodo considerato.

6. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

Con il nuovo Decreto 14/01/2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 29 del 4 febbraio 2008, vengono pubblicate le nuove "Norme tecniche per le costruzioni", frutto della revisione delle norme approvate nel 2005. Tali prescrizioni, che in linea generale confermano l'impostazione di base delle norme 2005, introducono alcune novità e forniscono una serie di precisazioni su aspetti particolari, alcuni dei quali ripresi dalla OPCM 3274/03 e sue successive modifiche. Nello specifico si arriva alla definizione dei parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione; viene inoltre proposta un'introduzione all'analisi pushover come metodo complementare o alternativo per la verifica di sicurezza delle costruzioni soggette a sisma.

Come definito nel testo unico allegato al D.M. del 14/01/2008, *“le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag ...”*.

L'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle NTC-08 prevede l'analisi e la valutazione dei seguenti parametri sismici di progetto:

- *vita nominale,*
- *classe d'uso,*
- *vita di riferimento,*
- *categoria di sottosuolo,*
- *condizioni topografiche,*
- *fattore di struttura.*

6.1. Individuazione della pericolosità del sito

In data 23/09/2005 è stato pubblicato sulla G.U. n. 222 il testo del Decreto Ministeriale approvato il 14/09/05 relativo a “Norme Tecniche per le Costruzioni”(Ex Testo Unico). Le “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici” dell’Ordinanza 3431/2005 forniscono i valori dell’accelerazione orizzontale di picco del suolo (a_g), sulla base dei quali applicare le norme progettuali e costruttive fornite dalla normativa. Sulla base dei valori di accelerazione orizzontale, il territorio nazionale è stato suddiviso nelle seguenti zone:

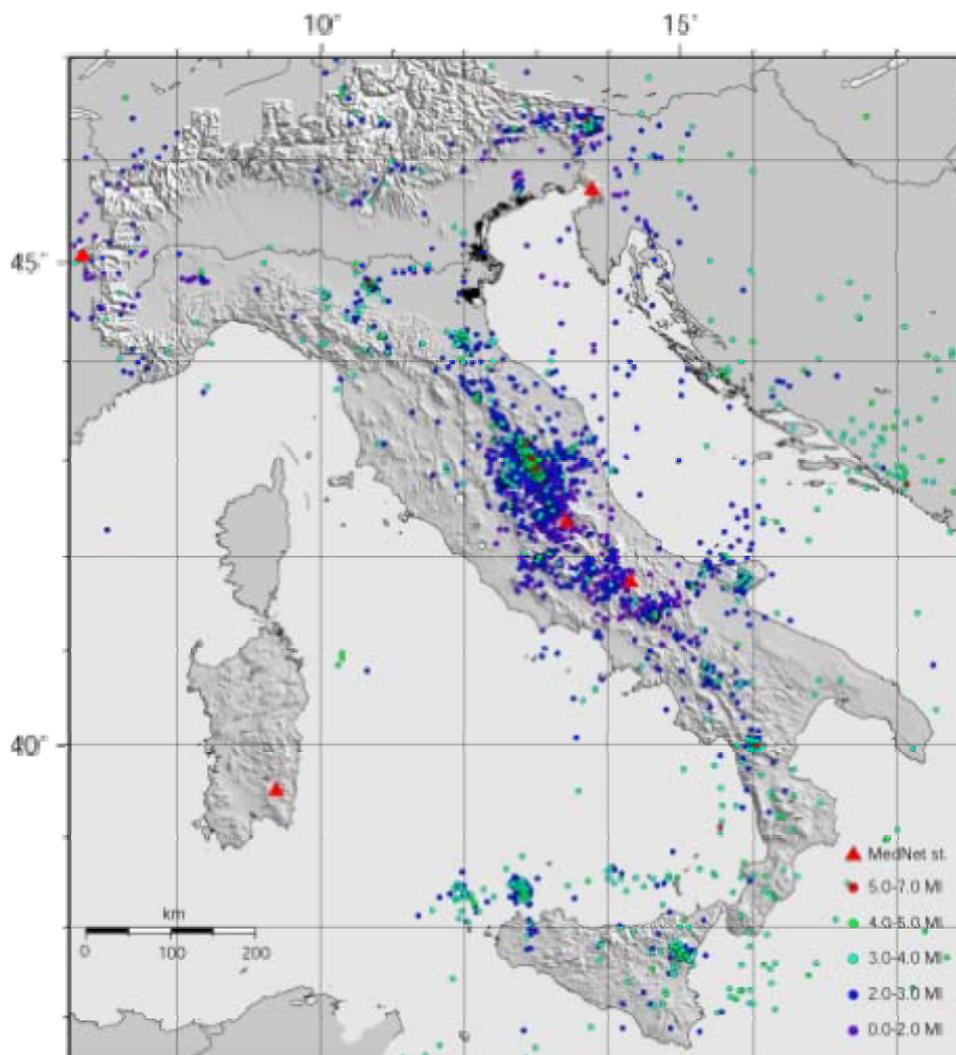
Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

Le nuove NTC hanno introdotto un sisma di progetto non per ogni comune (NTC05), ma per ogni punto del territorio (punti di ancoraggi nodali di un reticolo di 4 km di lato). Vengono introdotti gli SL sismici probabilistici; in sintesi, l’intensità della componente orizzontale del sisma viene trattata come un campo aleatorio (in ogni punto del territorio il sisma viene rappresentato da una variabile aleatoria).

È il caso di sottolineare, inoltre, la non elevata sismicità storica del territorio in esame, come è possibile desumere dagli epicentri contenuti nei cataloghi storici; in occasione di un “terremoto poco probabile” come nel caso che si sta esaminando, le strutture devono comunque essere in grado di sopportare azioni sismiche “gravose” senza evidenziare fenomeni di collasso globale o locale, rimanendo pertanto integre dal punto di vista strutturale ed in grado di assicurare una residua capacità di resistenza anche dopo il sisma.

Alla maggior parte degli eventi sismici è associata una stima di durata del segnale sismico determinata dagli analisti dell’INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), per la Rete Sismica Nazionale, e degli istituti a cui afferiscono le reti regionali. Le MI calcolate dall’INGV riguardano circa 5000 terremoti (1996-2000) registrati dalla rete MedNet, i quali rappresentano geograficamente un buon campione della sismicità italiana con una variabilità di magnitudo tra 1.9 e 5.8.

Per quanto riguarda la Magnitudo locale, alla Figura seguente compare una mappa delle MI calcolate, nella quale non distante dall’area di interesse sono segnalati sismi di MI calcolata compresa tra 4 e 5, per quanto tale informazione contenga un certo margine di aleatorietà.



Mapa dei terremoti registrati dalla rete MedNet con MI calcolata (1996-2000).

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al § 3.2 della normativa e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate del sito in oggetto (coordinate geografiche decimali) sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV):

Latitudine: ϕ_{ED50} 45.1805
 Longitudine: λ_{ED50} 9.2932

6.2. Scelta della strategia di progettazione

Nella scelta della strategia di progettazione, mediante l'utilizzo di software dedicato reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si sono considerati i seguenti parametri di input:

- vita nominale $V_N = 50$ anni,
- classe d'uso $C_u = 3$,
- vita di riferimento per la costruzione $V_r = V_N \cdot C_u = 150$ anni;
- coefficiente di smorzamento viscoso $\xi = 5\%$.

Vita nominale

La vita nominale V_N di un'opera strutturale viene intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, debba poter essere usata per lo scopo a cui è destinata; la vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tab. 2.4.I delle NTC-08: per le "opere ordinarie" deve essere utilizzata una vita nominale (in anni) $V_N \geq 50$.

Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso (v. § 2.4.2 delle NTC-08). L'opera qui considerata ricade in **Classe d'uso III**: "costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi".

Vita di riferimento

Le azioni sismiche su una costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U ($V_R = V_N \cdot C_U$) (v. anche tab. 2.4.II delle NTC-08). Nel caso in esame, il periodo di riferimento per la costruzione è pari a **150 anni**.

6.3. Determinazione dell'azione di progetto

Categoria di sottosuolo

Per definire l'azione sismica di progetto è necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. L'identificazione di questa categoria va di norma eseguita in base ad un'indagine ad hoc che fornisca i valori delle V_{s30} , cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità; tuttavia, come specificato nella suddetta normativa, nei terreni non coesivi può essere effettuata anche in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica N_{SPT} .

Tipo di terreno	Profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} m/s	N_{SPT}	cu kPa
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi	> 800		
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	< 800 > 360	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s			

Categorie sismiche di suolo di fondazione.

Secondo quanto previsto nella tab. 3.2.II delle NTC-08, il sottosuolo in esame può essere assimilato alla **categoria C** - “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*”

Condizioni topografiche

Nella tab. 3.2.IV delle NTC-08, riportata nel seguito, sono classificate le diverse configurazioni superficiali; per ciascuna categoria la tab. 3.2.VI delle NTC-08 prevede un coefficiente topografico S_T .

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per configurazioni superficiali semplici come quella in esame, adottando la classificazione prevista dalla tab. 3.2.IV delle NTC-08, risulta la **categoria T1**: “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”. Il valore del coefficiente topografico S_T (v. tab. 3.2.VI delle NTC-08) corrispondente alla categoria topografica T1, è pari a $S_T = 1$.

Fattore di struttura

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica (v. § 7.3.1 delle NTC-08) dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

- q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1,0 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

7. CALCOLO DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Tali “Stati limite” sono intesi come gli stati oltre i quali la struttura non soddisfa più i pertinenti criteri di progetto, ovvero gli stati situati alla frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono, come detto, a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” V_r espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} .

Per il sito in esame, i periodi di ritorno T_r per la definizione dell’azione sismica sono:

<i>Valori di progetto</i>		<i>Tr (anni)</i>
Stati limite di esercizio - SLE	SLO – $P_{VR} = 81\%$	90
	SLD – $P_{VR} = 63\%$	151
Stati limite ultimi - SLU	SLV – $P_{VR} = 10\%$	1424
	SLC – $P_{VR} = 5\%$	2475

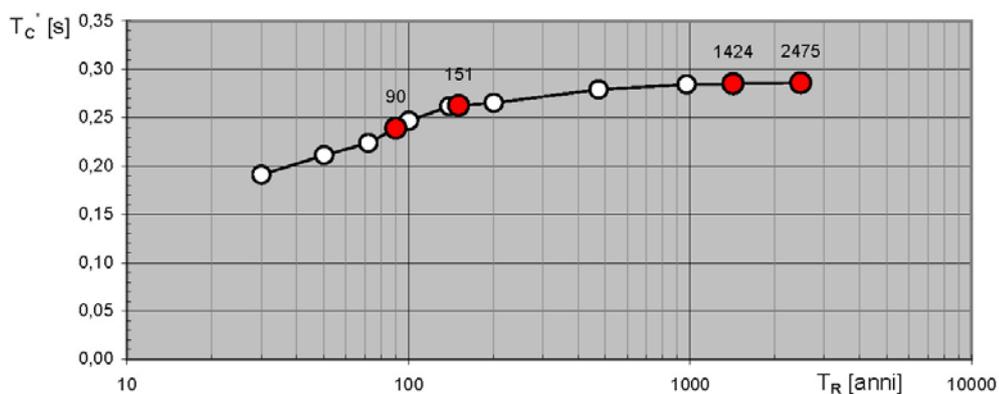
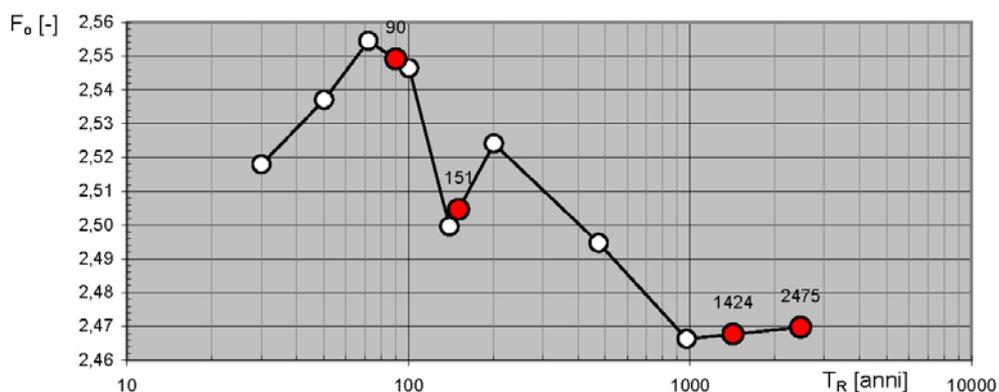
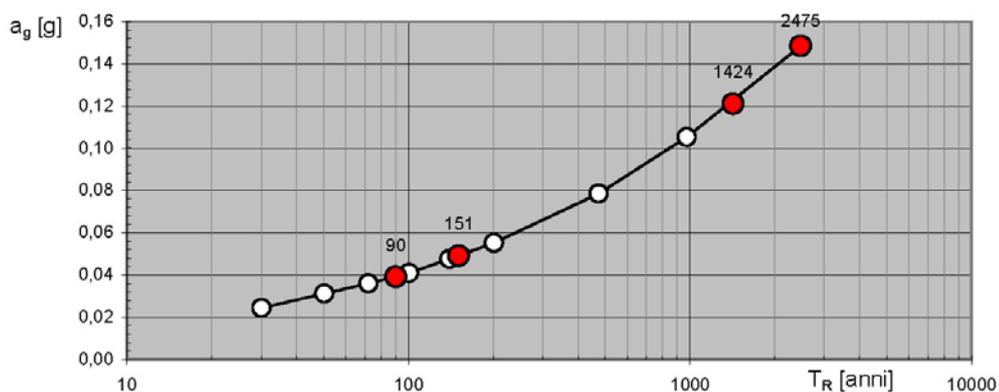
dove:

- *SLO = Stato Limite di Operatività*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed intenzioni d'uso significativi;
- *SLD = Stato Limite di Danno*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.
- *SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Gli SLE sono attinenti a deformazioni del terreno dovute al peso proprio (pressione litostatica) o a forze esterne, senza considerare le condizioni di sollecitazione a rottura (problema dei cedimenti); gli SLU si riferiscono invece a condizioni poste immediatamente prima della rottura ultima del terreno per flusso plastico, senza considerare gli effetti deformativi (creazione di superficie di rottura – metodi di plasticità per la stabilità di fondazioni, strutture di contenimento, rilevati...).

Si ricorda che, in conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità di eventuali plinti di fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento ed a quello per rottura generale. Per ogni ULS si dovrà inoltre verificare che l'Effetto delle azioni di progetto (E_d) sia non superiore alle Resistenze di progetto (R_d):

$$E_d \leq R_d$$



Grafici parametri di azione: valori di progetto dei parametri a_g , F_o e T_c in funzione del periodo di ritorno T_r .

Per quanto concerne le accelerazioni massime attese (v. anche il successivo Capitolo 8), utilizzando il database dell'Atlante Sismico Nazionale come prescritto dalle NTC, si desumono i seguenti parametri sismici relativi ai differenti Stati Limite di riferimento:

<i>Stati Limite</i>	<i>Tr (anni)</i>	<i>ag (g)</i>	<i>Fo (-)</i>	<i>T*C (s)</i>
SLO	90	0,039	2,549	0,239
SLD	151	0,049	2,505	0,262
SLV	1424	0,121	2,468	0,285
SLC	2475	0,148	2,470	0,286

Valori dei parametri ag , Fo , T^*C per i periodi di ritorno Tr associati a ciascuno Stato Limite.

I parametri Ag , Fo e T^*C di cui sopra definiscono le forme spettrali:

- ag = accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il periodo di ritorno Tr è il periodo medio intercorrente fra un sisma ed il successivo di eguale intensità. Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento Vr , il periodo di ritorno Tr del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR}) \quad (C.3.2.1)$$

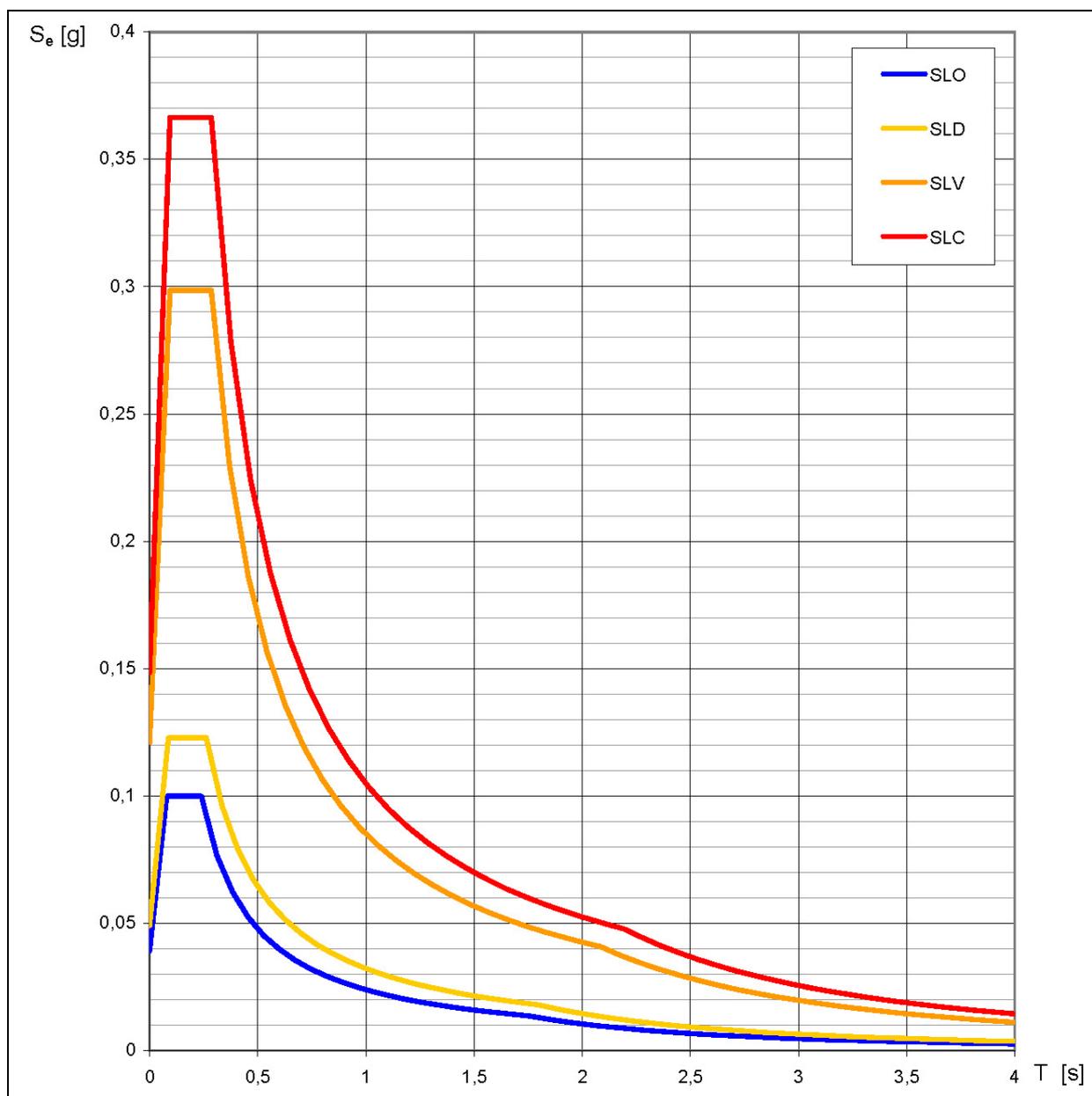
Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

<i>Stati Limite</i>	<i>P_{VR} = Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr</i>	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Ipotizzando la strategia di progettazione sopra descritta, si è calcolato il taglio sismico o Vsd in funzione della ordinata dello spettro di progetto ai periodi fondamentali della struttura:

$$Vsd = Sd(T1) * Nd$$

Da qui si sono ricavati gli spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite, come riportati nella figura alla pagina successiva.



Spettri di risposta elastici ricavati per i diversi Stati Limite.

Da tali spettri di risposta elastici, introducendo il periodo fondamentale di struttura T_1 ed il fattore di struttura q , che saranno forniti dal Progettista e/o Ing. strutturista responsabile, si potranno ricavare gli spettri di progetto.

Gli spettri di progetto $S_d(T)$ che saranno utilizzati per gli stati limite, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, sono gli spettri elastici corrispondenti riferiti alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato.

Si ricorda che tali spettri non servono nel caso di opere e situazioni di interesse geotecnico quali pendii, muri di sostegno e paratie; per queste opere si deve fare riferimento esclusivamente alle accelerazioni massime (S_{ag}) o, in alternativa, si possono utilizzare gli accelerogrammi.

Gli accelerogrammi vengono utilizzati per l'analisi dinamica non lineare delle strutture, in quanto consentono di ottenere una stima accurata e statisticamente corretta della domanda sismica.

Un accelerogramma è un diagramma in funzione del tempo che rappresenta le accelerazioni indotte al suolo in un dato sito, durante un evento sismico.

A seguito dell'emanazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-2008) e della relativa circolare del 2009, la Regione Lombardia ha sostituito i vecchi accelerogrammi con accelerogrammi registrati rappresentativi della sismicità del sito in analisi, compatibili con le caratteristiche sismogenetiche della sorgente, con la coppia magnitudo-distanza dalla sorgente e con la massima accelerazione orizzontale attesa e registrate su bedrock sismico, provenienti dai database nazionali ed internazionali più accreditati.

A tal proposito, il territorio regionale è stato suddiviso in fasce caratterizzate da severità sismica omogenea; in particolare sono state individuate 8 fasce nelle quali i comuni presentavano valori di accelerazione massima attesa al suolo (Gruppo di Lavoro, 2004) e valori dell'ordinata spettrale massima (NTC-2008) compresi in un range del $\pm 10\%$ dal valore medio.

Il Comune di Lodi appartiene alla **FASCIA 4**; i limiti dei valori dell'ordinata spettrale massima per la fascia 4 sono 0.170 - 0.204.

Si ricorda inoltre che in situazioni di pericolosità sismica molto bassa come quella in esame, sono ammessi dalle NTC metodi di progetto-verifica semplificati; in tal senso, per le opere realizzate in siti ricadenti in Zona sismica 4, per tutti i tipi di costruzione e le classi d'uso (sempre in Zona 4), le verifiche di sicurezza nei confronti dello SLV possono essere condotte per una forza di progetto calcolata assumendo uno spettro di progetto costante e pari a $0,07g$, ed ammettendo implicitamente un possibile danneggiamento delle strutture, corrispondente ad un fattore di struttura di valore comunque non superiore a $q = 2,15$. Maggiori indicazioni al riguardo sono riportate nei paragrafi 3.2.1 - 3.2.4 - C7.2.6. delle NTC.

8. ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE

Il § 7.2.5.1 delle NTC-08 recita che: "in assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione: $a_{max} = ag \cdot S$, in cui S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (St), di cui al § 3.2.3.2, e ag è l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido."

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot ag / g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot ag / g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot ag / g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot ag / g \leq 1,60$

Espressioni di S_s (estratte da Tabella 3.2.V D.M. 14.01.2008)

Nel caso in esame, utilizzando lo stato limite di riferimento e una categoria di sottosuolo del tipo C:

- Accelerazione orizzontale massima attesa sito rigido: $ag [g/10] = 0,121$ (Tr = 1424 anni)
- Fattore di amplificazione in accelerazione orizzontale: $F_0 [-] = 2,468$ (Tr = 1424 anni)
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante: $T^*C [s] = 0,285$ (Tr = 1424 anni)
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_s = 1,5$ (categoria C)
- Coefficiente di amplificazione topografica: $St = 1,0$

si ottiene quale valore massimo di accelerazione attesa al piano campagna in condizioni di *free-field*:

$$a_{max} = S_s \cdot St \cdot ag = 0,181 \text{ g}$$

9. CONCLUSIONI

Nell'ambito degli interventi assoggettati a Permesso di Costruire Convenzionato in Variante al P.G.T. vigente, a carico della Torre Uffici attualmente esistente in via Achille Grandi n. 6 a Lodi, la scrivente Società ECOTER CPA S.r.l., su incarico della Società ZUCCHETTI S.p.A., ha provveduto alla redazione della presente Relazione Geologico Sismica, che fornisce le richieste valutazioni e stime di carattere sismico, nonché (v. §§ precedenti) informazioni inerenti:

- i vincoli gravanti sull'area,
- il quadro legislativo e normativo di riferimento in materia sismica,
- gli esiti dell'indagine geofisica realizzata con metodologia MASW,
- la componente sismica intermini di risposta sismica locale (1° e 2° livello di approfondimento),
- i parametri sismici di progetto,
- l'individuazione della pericolosità del sito,
- la scelta della strategia di progettazione,
- la determinazione dell'azione di progetto,
- il calcolo degli spettri di risposta,
- il calcolo del valore di accelerazione massima attesa in superficie.

Relativamente agli aspetti sismici hanno fatto e faranno riferimento norme e prescrizioni fornite dalla Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e dal Capitolo C.8. della relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008" (GU n. 47 del 26-2-2009 – S.O. n. 27).

Nella futura fase di progettazione esecutiva, sulla base di quanto già identificato e valutato e delle norme vigenti e già citate, si dovrà valutare insieme agli altri progettisti l'attuazione di un programma di ulteriori studi, indagini e verifica nell'ambito dei quali:

1. ricostruire l'andamento stratigrafico del sottosuolo di fondazione, mediante metodologia sismica a rifrazione con elaborazione tomografica dei dati, ove la risoluzione ottenuta permette di apprezzare variazioni di velocità più dettagliate, nonché sulla base delle indagini ulteriori già programmate (sondaggio pilota - v. relazione idrogeologica);
2. eseguire l'analisi storico-critica dell'edificio, sulla base quantomeno di:
 - identificazione dell'organismo strutturale, sulla base dei disegni originali di progetto;
 - identificazione delle strutture di fondazione;
 - informazioni sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
 - identificazione del periodo fondamentale di struttura t_1 e del fattore di struttura q ;
 - informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
 - informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi;
 - rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
 - informazioni su natura ed entità di eventuali danni subiti in precedenza e riparazioni effettuate;
 - eventuali rilievi e caratterizzazione meccanica dei materiali.
3. identificare di conseguenza al di fuori di ogni ragionevole incertezza la tipologia e la geometria della tipologia fondazionale esistente, cui riferire le verifiche geotecnico-sismiche esecutive.