

Dott. Geol. Andrea Anelli, via S. Francesco 14, 26100 Cremona;
Tel. cell.: 3495747380; e-mail: anelliandrea@gmail.com; <http://www.geopadus.it>
P.IVA: 01405470194, (Albo Ordine Geologi Lombardia n. 1468 AP, sez. A)

COMUNE DI CREMA

Provincia di Cremona

(Zona sismica 4 - O.P.C.M. 20.3.03. N. 3274)

PROGETTO PER PIANO DI RECUPERO DENOMINATO "VIA DELL'ASSEDIO" RISTRUTTURAZIONE N. 3 UNITA' ABITATIVE RELAZIONE GEOLOGICA

Il geologo incaricato:

Dott. Geol. Anelli Andrea
Via S. Francesco 14,
26100 Cremona



Committente:

Dott. Strada R. *AS*

Referente:

Arch. Simona Prete

Ing. Boiocchi S.

Geom. Monico M.

Data:

1 Marzo 2013

INDICE:

PREMESSA	3
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO	10
3. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI	12
4. STIMA DELL'AZIONE SISMICA LOCALE	15
5. MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DI RIFERIMENTO	20
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	21

ALLEGATI

- 1 - Corografia;**
- 2 - Estratti di mappa.**

PREMESSA

E' in progetto, nel comune di Crema (CR), in Via dell'Assedio, la ristrutturazione di un edificio ad uso residenziale. L'ubicazione dell'area in esame è evidenziata in Allegato 1, corografia e in Allegato 2, estratti mappa. L'intervento non prevede la demolizione, ma il miglioramento strutturale dell'edificio esistente. Attualmente l'edificio non presenta lesioni strutturali (vedi immagine sottostante), e le fondazioni perimetrali seppur non in cemento armato, si presentano in discreto stato. Il progetto non prevede l'aumento dei carichi sulle fondazioni. Al fine di verificare la reale condizione delle fondazioni sono stati eseguiti 3 sondaggi esplorativi descritti e documentati nella relazione che segue.



Edificio da ristrutturare – via dell'Assedio.

La seguente perizia è eseguita avendo come riferimento le seguenti norme:

Disposizioni Europee e Nazionali:

- D.M. 11.3.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Decreto Ministeriale 14.01.2008, Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

- Eurocodice 8 (1998), Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997), Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali - UNI
- Eurocodice 7.2 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Eurocodice 7.3 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

Disposizioni Regionali:

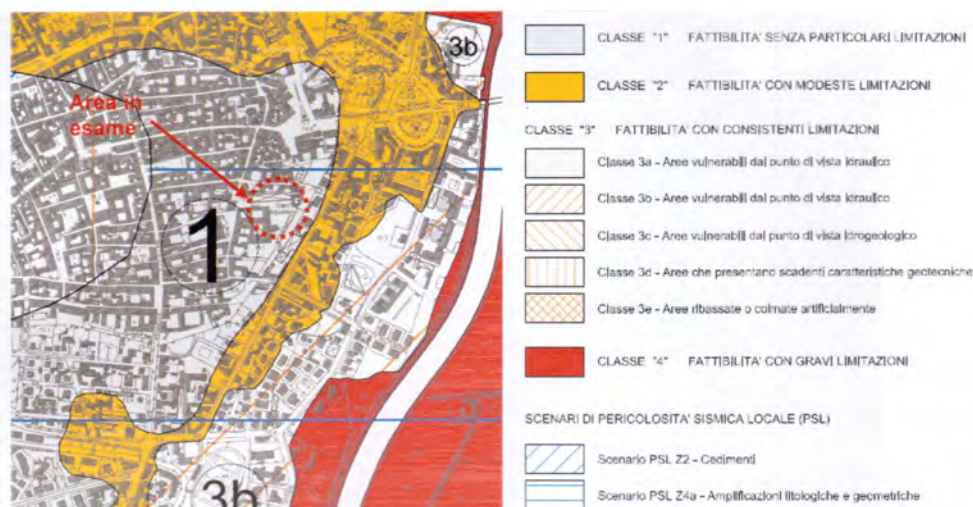
- L.R. 12/05, Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, DGR 22.12.05 N. 8/1566 e DGRL 28.5.08 n. 8/7374, All. 5.
- Regione Lombardia, Giunta Regionale, Direzione Generale Sicurezza, Polizia Locale e Protezione Civile "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 della O.P.C.M. 20.3.03 n. 3274, in attuazione della D.G.R. 7.11.03 n. 14964.

Il territorio di Crema è inserito in Zona sismica 4 (minimo pericolo sismico)¹; il comune attualmente è dotato di PGT, con aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica secondo la normativa vigente². L'area in esame ricade in una zona a fattibilità geologica 1 (fattibilità geologica senza particolari limitazioni - vedi immagine di seguito).

L'area studiata è posizionata nella porzione urbanizzata del territorio di Crema in prossimità del centro storico (estratto che segue), nella media pianura cremasca; il primo intorno dell'area in esame è formato dalla piana fluvio-glaciale terrazzata costituente il Livello Fondamentale della Pianura, caratterizzata in questo settore del territorio comunale da superfici piane debolmente rilevate circondate da aree ribassate su sabbie calcaree e da depositi prevalentemente alluvionali (Valle del Serio).

¹ O.P.C.M. 20.3.03. N. 3274, punto 3.1, categorie di suolo di fondazione; L.R. 12/05, Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, Allegato 5;
D.D.U.O. 21.11.03 n. 19904: "Approvazione elenco delle tipologie di edifici e opere ...di cui alla OPCM 3274/03, ART. 2, COMMA 3 e 4, in attuazione della DGR 7.11.03 n. 14964". Punto 2°.

² DGR 22.12.05 N. 8/1566 e successivi aggiornamenti.
Pagina 4 di 22



Estratto da PGT comunale: carta di fattibilità geologica.

I depositi alluvionali sono organizzati con superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici. In questa unità si riconoscono i seguenti tipi di suoli: Aquic Ustifluvents (coarse-loamy mixed (calcareous) mesic), da moderatamente profondi a profondi, limitati da falda o gley, a tessitura franco-sabbiosa, a reazione sub alcalina, saturazione alta e scarsamente calcarei; drenaggio lento e permeabilità moderata; diffusi nelle aree a moderato rischio di inondazione, poco rilevate rispetto al letto fluviale.

L'area è caratterizzata dalla presenza di una notevole ricchezza di forme di origine fluviale con idrografia superficiale orientata prevalentemente da N a S, dovute all'attività deposizionale del fiume Serio e da aree sufficientemente stabili per la presenza di un'idrografia prevalentemente di tipo meandriforme con sedimenti fluviali fini, privi di pietrosità in superficie e di scheletro nel suolo. Tuttavia queste caratteristiche geomorfologiche sono state storicamente obliterate dall'intensa urbanizzazione presente fin dalla dominazione veneta essendo l'area in esame posta all'interno delle mura venete (XV-XVIII).



Fig. 1 – Immagine Google Earth con coordinate geografiche WGS84 GD.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'evoluzione geologica di tutto il settore della Pianura Padana in cui è inserito il comune di Crema, è legata allo sviluppo della catena alpina inizialmente, e successivamente di quella appenninica, rappresentando all'inizio l'avanfossa del sistema alpino e poi di quello appenninico. Questa depressione è caratterizzata da un profilo asimmetrico con minore inclinazione del lato settentrionale rispetto a quello meridionale. Dal Pliocene (5.3 milioni di anni fa) ad oggi, questa depressione è stata progressivamente colmata da sedimenti in parte marini ed in parte continentali, di elevato spessore, mostrando un'elevata subsidenza.

L'assetto geologico e geomorfologico dell'area (fig. 2) è determinato dal succedersi di cicli erosivo-deposizionali che nel corso del Quaternario continentale contribuirono al

colmamento ed alla modellazione dell'area della Pianura Padana. Le sezioni AGIP (1981) hanno mostrato una superficie erosiva netta che tronca i depositi marini dell'avanfossa padana sui quali si sono sedimentati i depositi pleistocenici di facies transizionale e successivamente i depositi continentali del Pleistocene medio superiore dell'Olocene.

Durante il Quaternario continentale (inizio 1.75 milioni di anni fa) la coltre deposizionale è stata originata con fasi alterne di accrescimenti ed erosioni, strettamente correlate all'alternanza di cicli glaciali ed interglaciali che di conseguenza hanno comportato variazioni del livello del mare, determinando superfici di discordanza e terrazzamento presenti in molte aree della pianura cremasca. La dinamica fluviale è il principale fattore della formazione del settore della pianura di cui fa parte il comune in esame, pur con significativi condizionamenti ad opera delle glaciazioni, di fenomeni di subsidenza differenziale in corrispondenza delle strutture negative del substrato, rappresentate da sinclinali sepolte, e dei relativi movimenti neotettonici. La geologia quaternaria di questo tratto di pianura lombarda è strettamente influenzata dall'alternanza delle azioni di deposito ed erosione dei corsi d'acqua, connessi come già evidenziato, ai complessi fenomeni climatici che si sono susseguiti dal Pleistocene ai nostri giorni. Nella pianura cremasca sono attualmente riconoscibili una serie di terrazzi fluviali-scarpate morfologiche la cui altezza è direttamente proporzionale (erosione permettendo) all'età del terrazzo. La sua estensione areale attuale è maggiormente ridotta tanto più è datata l'età del terrazzo, in quanto sottoposto all'azione erosiva negli stadi interglaciali successivi.

La successione dei terrazzi nell'alta pianura cremasca è la seguente:

Fluviale Mindel (Pleistocene medio, da circa 455.000 a 300.000 anni fa): superfici più antiche e poste a quote maggiori, Fluviale Riss (Pleistocene medio, da circa 200.000 a 130.000 anni fa): superfici intermedie per quota ed età, Fluviale Würm (Pleistocene superiore, da circa 110.000 a 12.000 anni fa): superfici più recenti e disposte a quote inferiori.

Il "Livello fondamentale della pianura o piano generale terrazzato (LFdP-PGT)", è il risultato dell'ultima fase di esteso colmamento della pianura. Successivamente a tale colmamento alluvionale, nel corso del cataglaciale (fase di ripresa termica - optimum climatico, da 10300 anni fa), ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo

protrattosi nell'Olocene postglaciale, che ha determinato la formazione delle alte scarpate morfologiche che delimitano le valli dei principali fiumi occupate, a loro volta, dai successivi depositi alluvionali medio recenti.

Il territorio di Crema è posto nella parte centrale del territorio cremonese; l'area in esame è rappresentante dalla piana fluviale e fluvioglaciale terrazzata tardo pleistocenica costituente il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.), attraversata dalla valle alluvionale del fiume Serio.

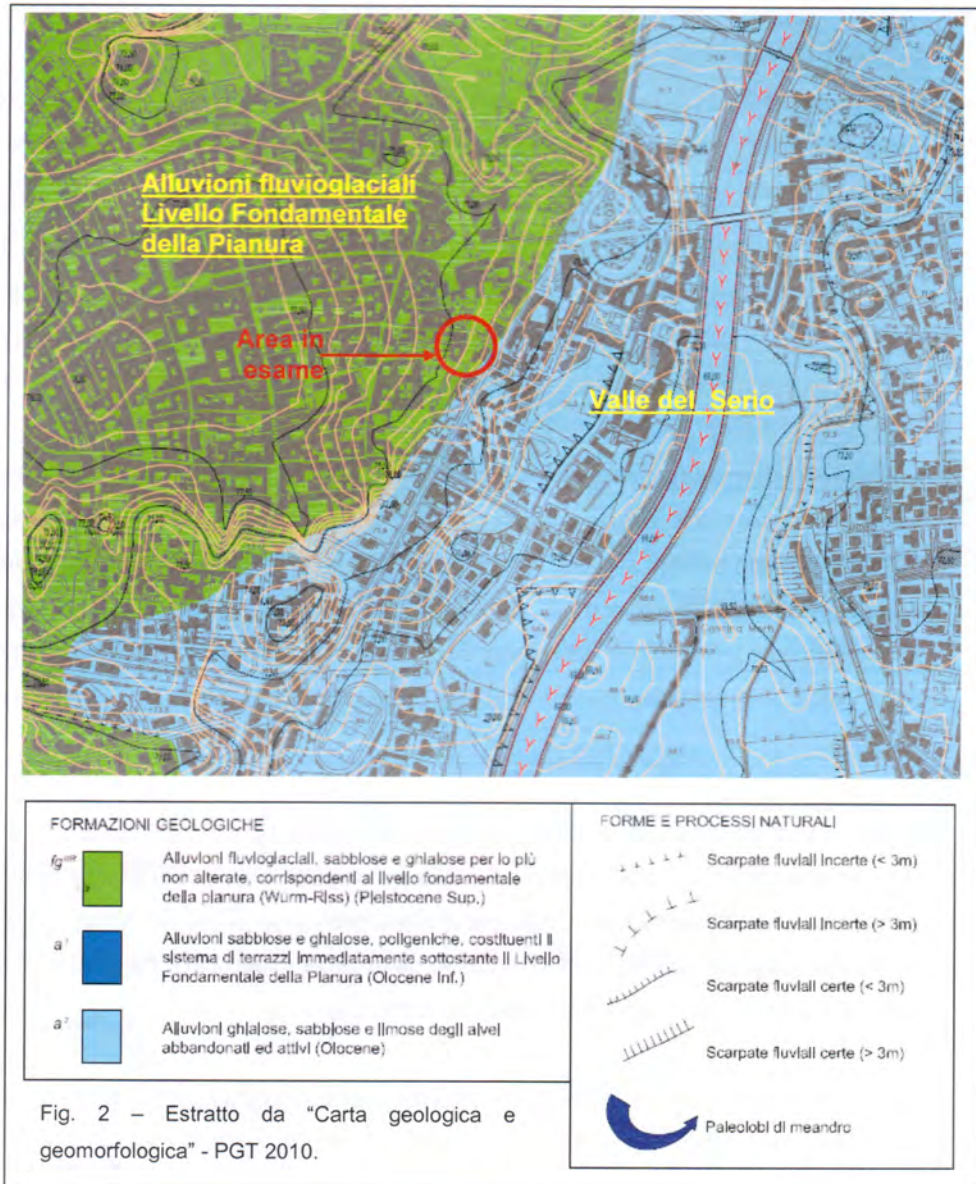
Il territorio comunale è posto in una zona di transizione tra il Livello Fondamentale della Pianura e i depositi della valle del Serio, caratterizzata da intensi fenomeni di idromorfia.

In fig. 2 vengono rappresentate le unità geomorfologiche principali in cui si pone il territorio in esame e in particolare l'area oggetto di intervento.

Si possono evidenziare 2 unità principali (fig. 2):

- Alluvioni fluvioglaciali prevalentemente urbanizzata costituite dal Livello Fondamentale della Pianura: costituisce gran parte della superficie pianeggiante corrispondente alla piana alluvionale delimitata dai terrazzi morfologici principali. E' caratterizzata da suoli moderatamente profondi, limitati da substrato sabbioso con scheletro comune, tessitura da media a grossolana, reazione alcalina, saturazione alta, scarsamente calcarei in superficie e calcarei in profondità e con drenaggio buono.

- Valle del Serio – alluvioni ghiaiose sabbiose limose degli alvei abbandonati o attivi: costituisce gran parte della superficie pianeggiante corrispondente alla piana alluvionale inondabile limitrofa ai corsi d'acqua. E' caratterizzata da suoli da moderatamente profondi, limitati da falda o clay con scheletro da assente a scarso, tessitura da media a grossolana, reazione subalcalina, saturazione alta, scarsamente calcarei e con drenaggio lento.



2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO

In base a quanto osservato in ambito locale è possibile indicare il seguente modello idrogeologico di riferimento, basato sulla suddivisione del sottosuolo nelle due distinte litozone:

- **litozona superficiale:** sede di falda freatica o semifreatica, costituita da una facies a sabbie prevalenti con ghiaie. La potenza di strato è di 40-45 m, l'alimentazione dell'acquifero sotterraneo è diretta, dalla superficie immanente, per infiltrazione di acqua meteorica o irrigua. Vulnerabilità molto elevata.
- **litozona intermedia:** ospita falde più semiartesiane verso il tetto, decisamente artesiane verso il letto della litozona, che può essere collocato intorno a 100-120 m. Sabbie alternate a livelli argillosi con torbe denunciano un ambiente di deposizione di transizione tra continente e mare. Le falde sono sufficientemente ricche di acque ed alimentate per infiltrazione non dalla superficie immanente ma da zone remote o dalla falda soprastante. Buona la protezione costituita dagli acquicchiusi potenti 10-20 m.

La soggiacenza media della falda in quest'area è segnalata a circa -6-7 m da p.c. (fig. 3), ricavato dagli studi recenti a scala provinciale sul flusso idrico del sistema acquifero della Provincia di Cremona (Università degli Studi di Milano, 2007) e confermata dai dati del PGT 2010. Il flusso della falda superficiale ha direzione locale NO-SE risentendo dell'azione drenante del fiume Serio (fig. 3-4-5).

La permeabilità media dei primi 15 m di terreno, analizzando le precedenti campagne geognostiche, è pari a $K = 10^{-4}$ m/s, tipica di sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita.

L'area in esame è posta in destra idrografica del Fiume Serio a circa 350 m di distanza; localmente si segnala la roggia Cresmiero che scorre a sud dell'area in esame.

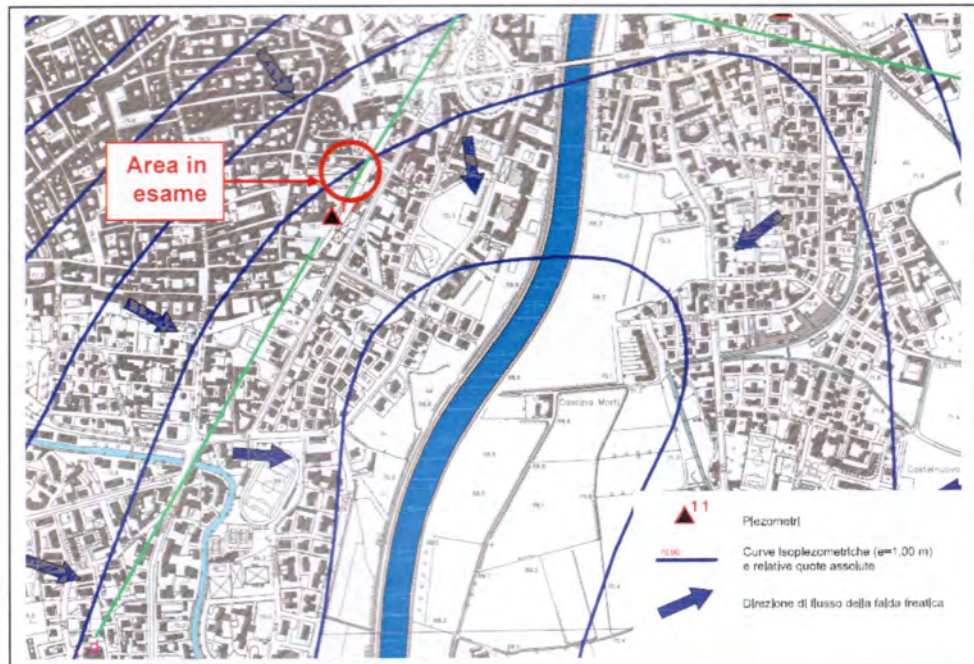


Fig. 3 – Estratto da "Carta Idrogeologica" - PGT 2010.

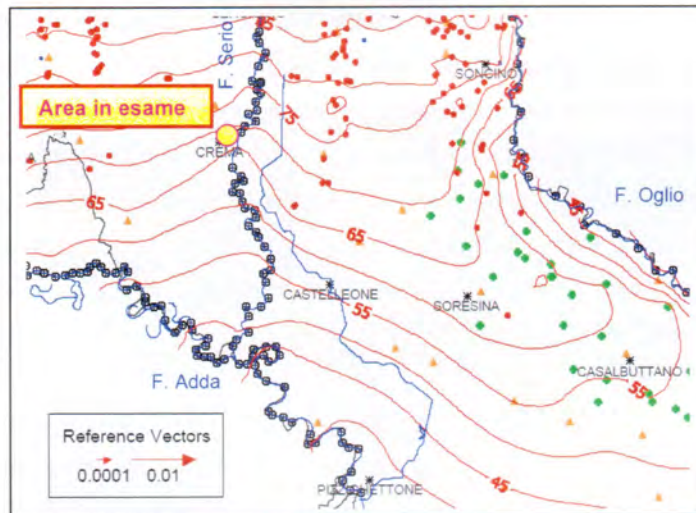


Fig. 4 - Curve isopiezometriche acquifero invernale. (da "Realizzazione di un modello preliminare del flusso idrico del sistema acquifero della Prov. Di Cremona" Università degli Studi di Milano, 2007).

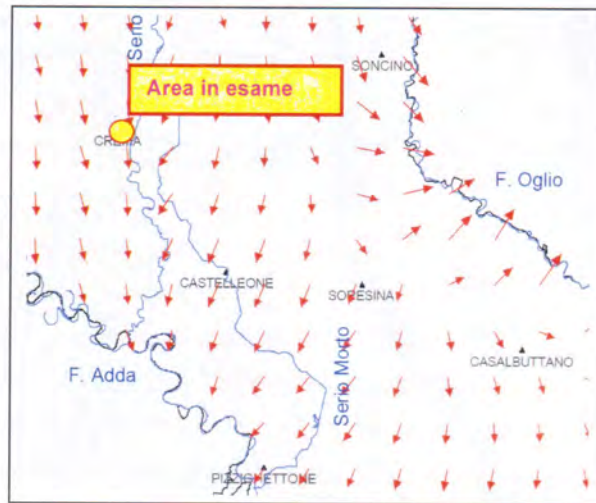


Fig. 5 - Gradienti idraulici medi dell'acquifero freatico (da "Realizzazione di un modello preliminare del flusso idrico del sistema acquifero della Prov. Di Cremona" Università degli Studi di Milano, 2007).

3. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI

Si descrivono, nel capitolo che qui segue, le caratteristiche litologiche del sito. Al fine di qualificare la natura del sottosuolo dell'area in esame, e delle condizioni delle fondazioni dell'edificio ci si avvale di 3 sondaggi con escavatore meccanico.

Si riporta di seguito la definizione litologica da PGT 2010. L'area è caratterizzata da terreni prevalentemente sabbiosi, sabbioso limosi, e/o sabbioso limosi.

In fig. 6 si evince che l'area in esame è caratterizzata da sabbia fino a -2.00 m da p.c. e sabbia e ghiaia fino a -6.00 m da p.c. Le caratteristiche geomeccaniche definite nel PGT (2010) sono buone fino ad almeno 6 m di profondità.

Analisi dei sondaggi – condizioni fondazioni esistenti: sono stati eseguiti 3 sondaggi esplorativi perimetrali al fine di verificare la condizione delle fondazioni, e la granulometria dei primi strati di fondazione. La profondità massima raggiunta è circa 1.00/1.20 m. Il primo sottosuolo è stato raggiunto in corrispondenza del sondaggio T3, in cui si notano depositi sabbiosi fini bruni. Nei sondaggi T1 e T2 non è stato raggiunto la base di appoggio sul terreno. Le fondazioni non presentano nei punti analizzati dai sondaggi nessuna presenza di vuoti da dissoluzione idrochimica (fig. 7, 8, 9).

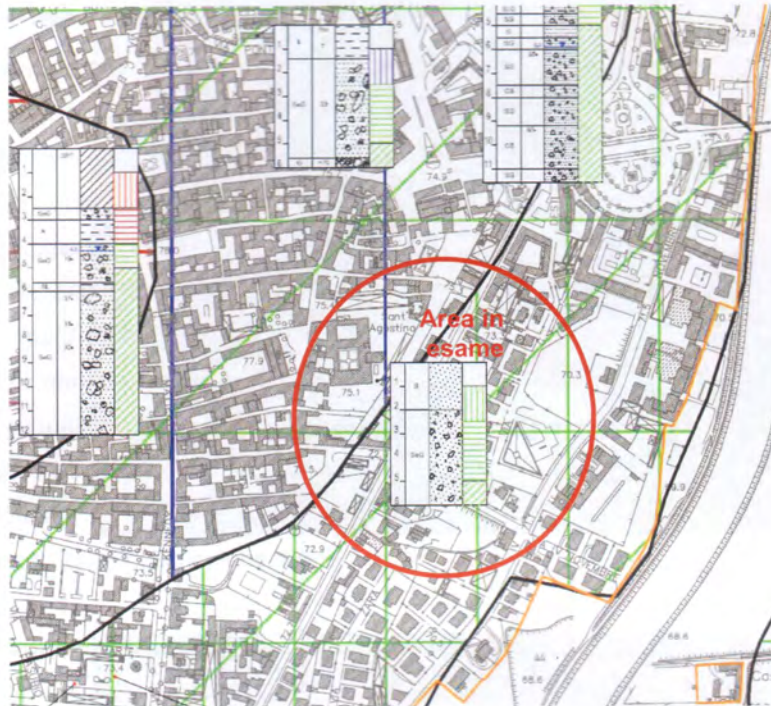


Fig. 6 – Estratto Carta geologica- tecnica, PGT 2010.



Fig. 7 – Sondaggio T1, sono evidenti fondazioni perimetrali in buone condizioni.

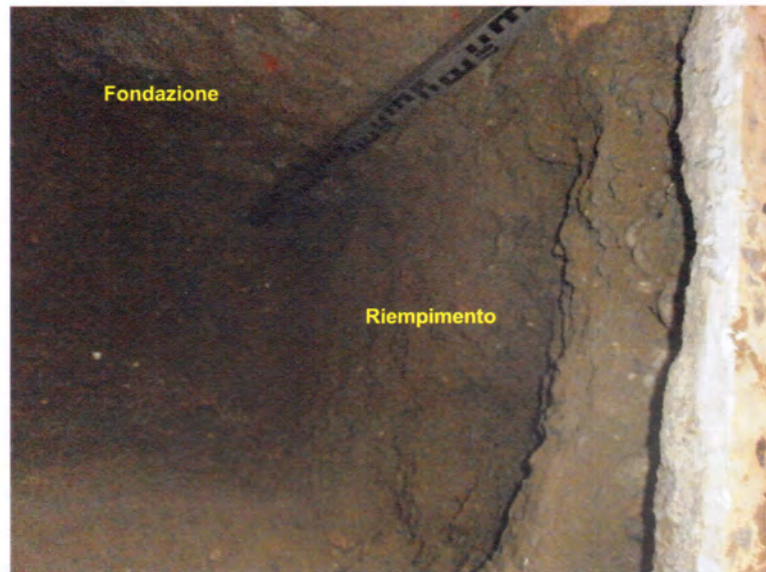


Fig. 8 – Sondaggio T2.



Fig. 9 – Sondaggio T3. Sono evidenti i depositi sabbiosi al di sotto del magrone e delle fondazioni di muratura.

4. STIMA DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

Il territorio di Crema è inserito in Zona sismica 4 (minimo pericolo sismico)³. Con l'entrata in vigore del D.M.14.01.2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La Regione Lombardia e il PGT (2010) definisce lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a che associa *"la bassa pianura parte integrante dell'immenso fondovalle costituito dalla Pianura Padana (PSL Z4a); quindi di "default" tutta l'area comunale verrà dunque associata alla PSL Z4a (Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi).*

Quindi gli effetti possibili degli scenari di pericolosità sismica locale evidenziati sono i seguenti:

- amplificazioni litologiche e geometriche (Z4A).

- Definizione dell'accelerazione orizzontale propria del sito (Ag):

Applicando le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 08), per definire principalmente l'accelerazione orizzontale propria del sito, si introduce un sisma di progetto, considerando punti di ancoraggio (nodi) di una rete di 4 km di lato. Sono introdotti gli Stati Limite sismici probabilistici e l'intensità della componente orizzontale del sisma è trattata come campo aleatorio (in ogni punto del territorio il sisma è rappresentato da una variabile aleatoria).

Qui di seguito sono definiti i parametri da inserire nella NUOVA VERSIONE SPETTRI DI RISPOSTA VER.1.03 del programma sperimentale che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, fornito dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per la verifica geotecnica in aree sismiche e secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n. 29 del 04.02.2008 Suppl. Ordinario n. 30.

³ O.P.C.M. 20.3.03. N. 3274, punto 3.1, categorie di suolo di fondazione; L.R. 12/05, Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, Allegato 5;
D.D.U.O. 21.11.03 n. 19904: "Approvazione elenco delle tipologie di edifici e opere ...di cui alla OPCM 3274/03, ART. 2, COMMA 3 e 4, in attuazione della DGR 7.11.03 n. 14964". Punto 2°.

Il D.M. 14.01.08 classifica la struttura e il sito in esame come:

- categoria topografica T1 (orizzontale);
- edificio con vita nominale della struttura $V_n = 50$ anni;
- classe d'uso (classe di importanza secondo EC8): II;
- coefficiente d'uso $C_u = 1.0$;
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_r = V_n \times C_u = 50 \times 1.0 = 50$ (anni);
- coordinate geografiche del sito:
(WGS84 GD) 45.362016 N, 9.692120 E.

Di seguito sono trascritti i dati utili per i calcoli relativi all'ipotesi di fondazione (Tab. 1).

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,030	2,487	0,199
SLD	50	0,037	2,530	0,217
SLV	475	0,091	2,513	0,284
SLC	975	0,117	2,512	0,294

Tab. 1

Dove si ha che:

A_g : accelerazione orizzontale massima al sito (SLV: 0,091g);

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c : periodo di inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

SLO: stato limite di operatività;

SLD: stato limite di danno;

SLV: stato limite di salvaguardia della vita;

SLC: stato limite di prevenzione del collasso.

- Stima delle V_{s30} e degli effetti litologici:

Si considerano alcune linee sismiche (microtremore) eseguita a sud del centro storico (zona ospedale) a poca distanza dall'area in esame, appartenente alla stessa unità geomorfologica dell'area in esame.

La prova sismica, è stata eseguita per rilevare la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo. Successivamente si è proceduto all'elaborazione dei dati con la finalità di ricostruire il periodo di vibrazione del sito ed il fattore di amplificazione

sismica ai sensi della LR 12-2005.

Le analisi effettuate, a partire dalla distribuzione verticale delle onde S, seguono la metodologia, in particolare in Allegato 5⁴ della L.R. 12 / 2005, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazioni litologiche e geotecniche e dalla distribuzione delle Vs si individua il tipo di suolo di fondazione a cui appartengono i depositi dell'area (categoria di suoli sismici a, b, c, d, e), utilizzando la classificazione di cui alla OPCM 3274/03. In ogni comune, per ogni classe di suolo sono fissati dei valori massimi del fattore di amplificazione sismica (Fa), riportati nel file *soglie_lombardia.xls* redatto dalla Regione Lombardia.
- Dalla distribuzione in profondità delle Vs si calcola il periodo di oscillazione del terreno.
- Sulla base degli stessi dati si procede alla valutazione della litologia dominante in ogni sito, confrontando la distribuzione verticale delle Vs con quella delle schede, redatte dalla Regione Lombardia, a cui sono associate equazioni e curve che permettono di ricavare, per via matematica, il fattore di amplificazione Fa, a partire dal periodo di oscillazione del terreno. Poiché la varietà di situazioni geologiche che è possibile incontrare è pressoché infinita, il confronto con le schede litologiche risulta difficile e va condotto con molta attenzione.
- In ogni scheda sono riportate 3 serie di curve (corrispondenti a 3 diverse equazioni) per gli edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi e una sola curva per edifici con periodo maggiore di 0.5 secondi. Una volta individuata la scheda che meglio risponde alla distribuzione delle Vs rilevata, sulla base dello spessore e della velocità del primo strato s'individua a quale dei tre tipi di curva (1, 2 o 3) si deve far riferimento nel calcolo del periodo del terreno, per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi.
- Una volta individuata la curva, si calcolano i due fattori Fa per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e >0.5 secondi). Se i due valori di Fa calcolati sono inferiori (o eguali o minori per non più di 0.1) a quelli del file *soglie_lombardia.xls* l'analisi di II livello è terminata con esito positivo altrimenti si segnalerà la necessità, in fase progettuale, di passare ad analisi di III livello o di inserire l'area in oggetto nella categoria di suolo sismico superiore.

L'approfondimento sismico con indagine sismica (microtremore) ha consentito di misurare le velocità delle onde di taglio (onde Vs₃₀) nel sottosuolo. L'elaborazione dei risultati è finalizzata alla definizione del periodo naturale dei siti e a definire il fattore di amplificazione sismica locale (Fa), come indicato dai Criteri attuativi di natura geologica, idrogeologica e sismica della L.R. 12/2005 (DGRL 28.05.09 N. 8/7374). I dati individuati con le indagini sismiche effettuate nel territorio cremasco (velocità, m/s e profondità, m) dei singoli strati sono compendati in Tab. 1.

⁴ Criteri attuativi della L.R. 12/05, Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, BURL Ed. Spec.28.3.06, Allegato 5, D.G.R.L. 28/5/2008, n. 8/7374.

Le velocità V_{s30} , calcolate nei primi 30 m in **m/s** sono riportate in Tab. 1.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3		Vs4
osp-1	7.0	200	36	360	70	280		800

Tab. 1 – distribuzione verticale delle Vs

I risultati dell'analisi sismica si sintetizzano come qui segue:

- Il modello delle Vs è a 4 strati, con inversione di velocità tra secondo e quarto strato;
- Il suolo sismico, definito in base alla V_{s30} (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) è di tipo **C**: sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza – $180 < V_{s30} < 360$ m/s (303 m/s velocità rilevata);
- Il primo strato ha potenza 7 m e velocità 200 m/s. Il secondo strato presenta velocità 360 m/s e si sviluppa fino a 36 metri di profondità;
- Nel terzo strato si rileva una lieve inversione di velocità, con valore di Vs pari a 280 m/s. L'inversione potrebbe essere dovuta a strati con prevalenza di torbe in profondità. Il substrato veloce è, con sufficiente chiarezza, a circa 70 m di profondità.
- Date le caratteristiche rilevate, la scheda litologica con la distribuzione delle Vs più simile a quella riscontrata (vedi fig. 10), è la scheda "sabbie". La curva utilizzata per il calcolo del periodo è la Curva 2, scelta sulla base dello spessore e della velocità del primo strato. Per gli edifici con periodo inferiore a 0.5 s, la formula utilizzata per il calcolo di F_a (periodo proprio del sito maggiore di 0.8 s) è quella relativa al tratto rettilineo ($F_a=1$).
- In conclusione si sono ottenuti valori del fattore di amplificazione inferiori a quelli previsti da Regione Lombardia, sia per gli edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5s che per quelli con periodo superiore a 0.5 s, riferiti a suoli di tipo "C" nel comune di Crema.

I valori soglia, indicati dalla Regione per il comune di Crema, 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 0.5 s (edifici alti ed elastici).

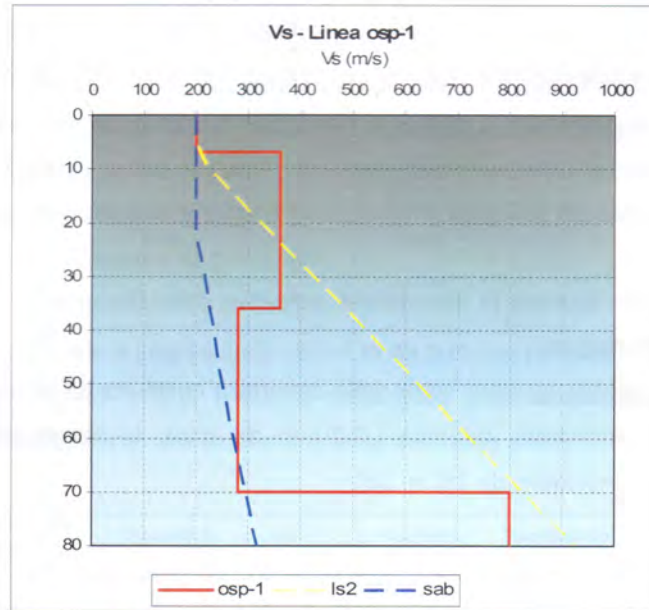


Fig. 10

In Tabella 2 sono sintetizzati i valori di V_{s30} (velocità media delle Vs nei primi 30 m), il tipo di suolo sismico, il periodo proprio del sito (T_p) calcolato dalle Vs ed i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (Fa) per le due tipologie di edifici: $0.1 < T \leq 0.5s$ e $T > 0.5s$. Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti da Regione Lombardia.

Linea	V_{s30}	Terreno di fondazione	Periodo (T_p)	Fa ($T=01-0.5 s$)	Fa ($T>0.5 s$)
osp-1	303	C	0.92	1.0	1.8
Fa di riferimento Regione Lombardia – Comune di Crema				1.8	2.4

Tab. 2 – V_{s30} , Terreno di Fondazione, T_p e Fa

Poiché i valori di Fa calcolati sono **inferiori** di quelli forniti dalla regione Lombardia, sia per gli edifici con periodo inferiore che superiore a 0.5 s, in fase progettuale, in tutte le aree indagate soggette a predominante rischio di tipo litologico (scenario di PSL Z4) potranno essere utilizzati gli spettri di normativa validi per la **categoria di suolo sismico C**.

Questa definizione viene confermata inoltre dall'analisi sismica effettuata nella componente geologica del PGT (2010).

5. MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DI RIFERIMENTO

Il **modello geologico di riferimento (NTC D.M. 14.01.08, cap. 6)**, relativo al sito in discussione, considerando il contesto geologico locale in cui si inserisce, è definito come qui segue. Le litozone individuate evidenziano soprattutto per gli strati superficiali una discreta variabilità litologica che contraddistingue il modello geologico.

Di seguito viene riportata la descrizione indicativa della litozone individuate subito al disotto delle fondazioni:

Litofacies A sabbiosa: al di sotto della copertura costituita da riporto antropico fino alla massima profondità indagata (-1.20 m da p.c.), si hanno depositi sabbiosi, sabbioso fini ϕ indicativo da 28° a 33°;

La falda superficiale è segnalata a -6-7 m da p.c. con probabile risalita di 0.50-1.00 m durante i periodi irrigui. Il flusso della falda superficiale ha direzione NO-SE risentendo direttamente dell'azione drenante del fiume Serio.

Sulla scorta dei dati geognostici e di quelli prodotti dall'analisi geofisica si definisce, nella seguente Tabella 3, il **modello geologico-geofisico di riferimento**, con evidenziate le litozone, i relativi angoli di attrito interno, la velocità V_{s30} e la tipologia di suolo sismico:

Litofacies	$\Delta \phi$	V_{s30} (m/s)	Categoria suolo sismico	Ag (SLV)
A	28° - 33°	303	C per verifica SLU	0.091 g

Tab. 3 - Modello geologico - geofisico

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il sito in discussione è stato indagato sia sotto l'aspetto geologico che sismico e se ne riassume, qui di seguito e in Tabella A, il modello geologico - geofisico generale:
Litofacies A sabbiosa: al di sotto della copertura costituita da riporto antropico fino alla massima profondità indagata (-1.20 m da p.c.), si hanno depositi sabbiosi, sabbioso fini ϕ indicativo da 28° a 33°;

La falda superficiale è segnalata a -6 / -7 m da p.c. con probabile risalita di 0.50-1.00 m durante i periodi irrigui. Il flusso della falda superficiale ha direzione NO-SE risentendo direttamente dell'azione drenante del fiume Serio.

Profondità indicativa indagata	Litozona	$\Delta \phi$	V_{s30} (m/s)	Tipo di suolo	Ag (SLV)	Profondità falda
-1,20 m	A	28°-33°	303	C per verifica SLU	0.091 g	-6.00-7.00 m

Tab. A - Modello geologico – geofisico

Dal punto di vista sismico per la verifica agli SLU gli strati di fondazione sono associati al suolo sismico C (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 di V_{s30} compresi tra 180 m/s 360 m/s (ovvero con $15 < N_{SPT} < 50$, o $70 < c_u < 250$ kPa).

Il Comune è in **Zona Sismica 4** (livello di pericolosità minimo); l'analisi sismica ha evidenziato, che al terreno di fondazione è associata il suolo sismico C, caratterizzata da periodo $S = 1.25$; l'accelerazione di riferimento a_g , attesa per l'area in esame, secondo il D.M. 14.01.2008, è 0.085g (SLV); pertanto il relativo valore di progetto utilizzato è $S \times a_g = 1.25 \times 0.085g$.

La ristrutturazione dell'edificio non dovrà variare le forze agenti sulle fondazioni in muratura aumentando l'attuale carico. Col trascorrere del tempo, può avvenire che il legante interposto fra i blocchi delle fondazioni venga disgregato e dilavato dall'azione dell'acqua o dell'aria, oppure che venga alterato dall'azione chimica di diversi fenomeni, anche atmosferici. L'asporto di materiale dall'interno della sezione muraria dà origine alla presenza di vuoti con conseguente netta diminuzione della

sezione resistente ed aumento della permeabilità.

In alcuni casi tale diminuzione di resistenza può provocare il collasso del manufatto, mentre in altri può portare ad una perdita di funzionalità della struttura. Quindi si dovrà verificare in fase esecutiva l'effettiva condizione delle fondazioni e valutare eventuale interventi di consolidamento, seguendo i seguenti criteri:

- ridurre le carenze dei collegamenti;
- ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento;
- ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed alloro consolidamento;
- incrementare la resistenza degli elementi murari, pilastri e colonne;
- interventi su elementi non strutturali e su fondazioni.

Se durante le opere di sbancamento globale si verificherà la presenza di terreno di fondazione non sabbioso ma di granulometria palesemente inferiore e di comportamento coesivo, con caratteristiche geotecniche scadenti, si dovrà predisporre un'ulteriore verifica più approfondita con l'esecuzione di indagini geognostiche (prove penetrometriche e/o sondaggi esplorativi) in loco.

IL GEOLOGO

dott. Andrea Anelli

1 Marzo 2013