

COMUNE DI CASALMAIOCCO

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO ex L.R. 12/05

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
(d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566)

ANALISI RISCHIO SISMICO DI 2° LIVELLO

marzo 2012

a cura di:



Ufficio rilievi e cartografia
Via del Mulino 2, Edificio U10
20090 ASSAGO (MI)

gruppo di lavoro:

Dott. Geol. Alberto Maccabruni

Dott. Geol. Giuseppe Manfredi



INDICE

1. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	3
1.1. - PREMESSA	3
1.2. - 2° LIVELLO	3
2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	6

ALLEGATI:

- INDAGINE GEOFISICA CON SISMICA A RIFRAZIONE

1. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

1.1. - PREMESSA

L'analisi di 1° livello è già stata predisposta (gennaio 2009) nell'ambito dello studio relativo alla "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica" a supporto del PGT comunale.

E' stata predisposta la "Carta della pericolosità sismica locale", che ha individuato le diverse situazioni tipo presenti nel territorio comunale, in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Il territorio comunale di Casalmaiocco presenta un unico scenario di pericolosità sismica riconducibile a Z4a che deriva dall'origine alluvionale dello stesso, suscettibile di amplificazioni sismiche litologiche, legate alla natura dei terreni.

Poiché sono previsti la costruzione di un nuovo asilo nido e di una R.S.A., ricompresi tra gli edifici strategici e rilevanti, si è reso necessario un approfondimento di 2° livello.

1.2. - 2° LIVELLO

Nelle aree suscettibili di amplificazione sismica (nel nostro caso litologiche Z4), la normativa regionale prevede, per la valutazione della pericolosità sismica nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003 in Comuni ricadenti in zona sismica 4, l'applicazione di un approfondimento di 2° livello.

Per il Territorio di Casalmaiocco si può avere solo un tipo di effetto di sito o di amplificazione sismica locale, che fa parte del 2° livello di approfondimento per la definizione della pericolosità sismica; si tratta degli effetti connessi con l'amplificazione litologica. Questi effetti dipendono dall'assetto stratigrafico locale.

La procedura prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree individuate, con stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (*Fa*). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (nel caso di un *Fa* calcolato

superiore al F_a di soglia comunale desunto dalla banca dati predisposta dal Politecnico di Milano ed accessibile attraverso il sito istituzionale della Regione Lombardia).

Per queste aree, in questo caso, si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3^a livello o, in alternativa, si può utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

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

Il Comune prevede in futuro la costruzione di un nuovo asilo nido e di una R.S.A. nella zona meridionale del capoluogo,.

Ai fini della valutazione della pericolosità sismica si è proceduto alla realizzazione di un approfondimento di 2° livello, basata su dati geofisici ottenuti mediante l'esecuzione di una prova sismica a rifrazione superficiale. In allegato viene integralmente riportata la relazione sulla prova e la sua interpretazione, eseguite da studio specializzato (Servizi Geologici snc).

I dati fondamentali ricavati dalla indagine geofisica sopracitata (v. in allegato) sono i seguenti:

- V_{s30} : 215 m/s
- Classificazione terreno: classe C
- $F_a = 1,70$ (periodo 0.1-0.5 s); **1,55** (0.5-1.5 s)

Viene di seguito riportata la tabella 3.2.II - categorie di sottosuolo tratta dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi , caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
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 e valori di V_{S30} compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata media $c_u > 2.5$ Kg/cmq).
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 fra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $0.7 < c_u < 2.5$ Kg/cmq).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti , caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 0.7$ Kg/cmq).
E	Depositi di terreni 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.

Le tabelle seguenti riportano i valori di soglia calcolati per il comune di Casalmaiocco come indicati nella banca dati messa a disposizione dalla Regione, per edifici bassi (max 4 piani) regolari e rigidi (periodo 0.1-0.5 s) e per edifici più alti (5 o più piani) e flessibili (periodo 0.5-1.5 s).

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s			
Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1,4	1,8	2,2	1,9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s			
Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1,7	2,4	4,1	3,0

2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il territorio comunale di Casalmaiocco presenta scenari di pericolosità sismica riconducibili alla zona Z4a (V. Tav. A - Carta della pericolosità sismica locale), suscettibili di amplificazioni sismiche di tipo litologico.

La previsione di interventi ex novo o di riconversione di edifici strategici e rilevanti, si è reso necessario eseguire uno specifico approfondimento di 2° livello.

Attraverso le indagini di 2° livello eseguite sull'area di pertinenza del futuro nuovo asilo nido sono stati ricavati valori di F_a inferiori al valore di soglia calcolati per il comune di Casalmaiocco. Pertanto in fase di progettazione e calcolo strutturale degli interventi si potrà applicare lo spettro previsto dalla Normativa in quanto la stessa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

Si ritiene che tali considerazioni possano essere estese a tutta la parte meridionale del capoluogo di Casalmaiocco (V. Carta di fattibilità geologica aggiornata).

ALLEGATI

COMUNE DI CASALMAIOCCO
(Lodi)

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW FINALIZZATA ALLA
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO IN UN'AREA DEL TERRITORIO
COMUNALE DI CASALMAIOCCO (LO)

a cura di Servizi Geologici s.n.c.

marzo 2012

INDICE

1 – INDAGINE GEOFISICA.....	2
2 – ATTREZZATURA UTILIZZATA.....	2
3 - INTERPRETAZIONE QUALITATIVA DELLE INDAGINI GEOFISICHE	3
4 – RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI.....	3
4.1 Interpretazione dei dati.....	4
4.1.1 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S.....	5
5 – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	7
5.1 - Stima della pericolosità sismica locale	8
6 - VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' SISMICA DELL'AREA	14
6.1 - Effetti litologici.....	14

Documentazione fotografica

Tavole:

TAV. 1 – Corografia generale	Scala 1: 10.000
TAV. 2 – Ubicazione base sismica	Scala 1: 5.000

1 – INDAGINE GEOFISICA

In data 6 marzo 2012 è stata effettuata, presso un'area sita nel comune di Casalmaiocco (LO), un'indagine geofisica a supporto del progetto che interessa due aree di futura trasformazione. L'indagine è stata finalizzata alla ricostruzione sismica del sottosuolo così da fornire indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico.

L'indagine ha previsto la realizzazione di una base sismica (L1), ubicata come riportato in Tavola 2, attrezzata con geofoni con registrazione verticale per la ricezione delle onde P (onde di compressione) mediante l'applicazione della metodologia MASW che consente, attraverso alcune trasformazioni, di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

2 – ATTREZZATURA UTILIZZATA

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 24 canali, 24 geofoni con frequenza pari a 4,5 Hz, cavi con take-out distanziati di 5 metri, mazza e piastra di battuta.

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale, con formato in uscita pari a 24 bit, viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

Per l'energizzazione sono state eseguite più ripetizioni di battuta alle due estremità della base sismica: punto di "andata" e di "ritorno". I punti di energizzazione di andata così come quello di ritorno sono stati eseguiti a 6,0 metri di distanza dal primo e dall'ultimo geofono.

La determinazione delle velocità delle onde di taglio (V_s) avviene per mezzo di indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, energizzando il sottosuolo e registrando gli arrivi delle onde rifratte in corrispondenza di geofoni verticali disposti secondo un allineamento con interdistanza tra i geofoni di tre metri.

L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW è stata effettuata per mezzo del software SWAN che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde V_s .

3 - INTERPRETAZIONE QUALITATIVA DELLE INDAGINI GEOFISICHE

E' necessario sottolineare che l'interpretazione dell'indagine geofisica viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele, raramente verificato. Si rammenta in ogni caso che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15 %.

4 – RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI

Come già precedentemente esposto è stata effettuata una stesa sismica, di lunghezza pari a 72 m, applicando il metodo MASW, con distanza intergeofonica 3,0 metri mentre l'energizzazione è stata effettuata a distanza di 6,0 m dal primo geofono e dal ventiquattresimo geofono.

L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente in senso verticale su di una piastra aderente al suolo. L'energizzazione è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Di seguito si riporta il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione:

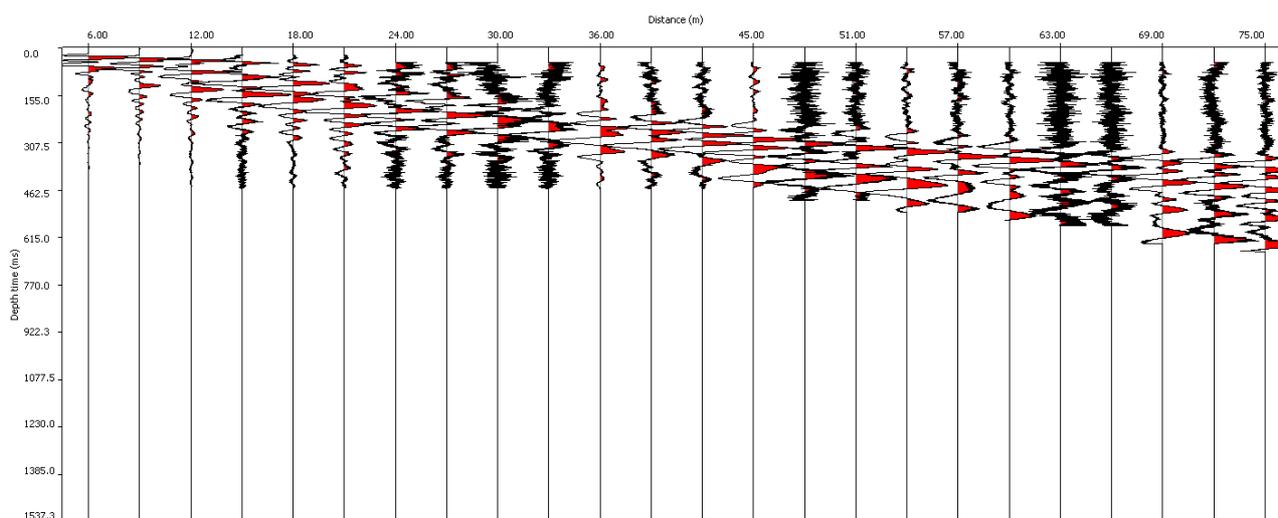


Fig. 4.1 – Sismogramma della base sismica L1.

4.1 Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha consentito di estrapolare la trasformata di Fourier dalla quale si risale alla curva di dispersione confrontata, mediante sovrapposizione, con quella teorica è possibile ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

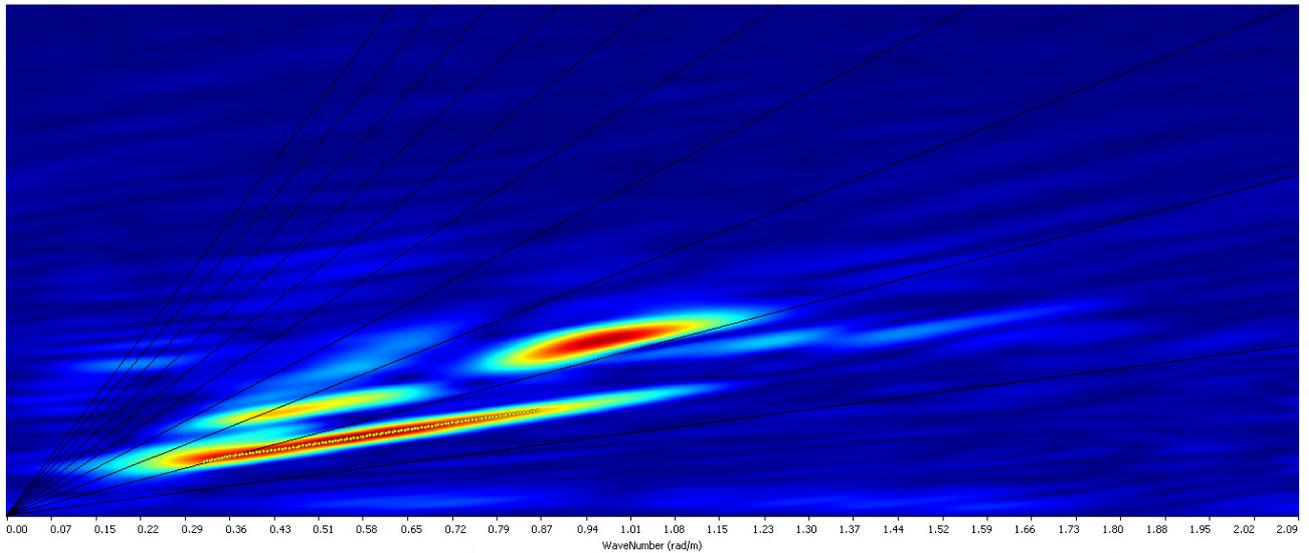


Fig. 4.1.1 – Trasformata di Fourier della base sismica L1

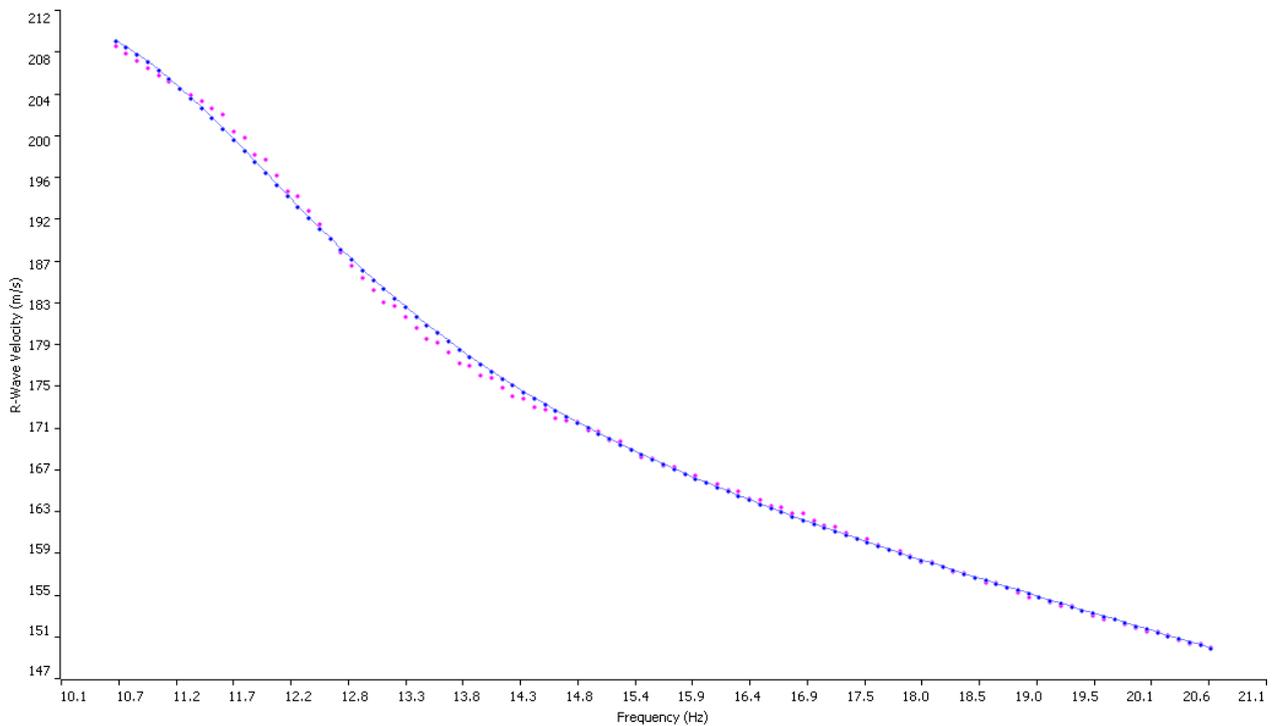


Fig. 4.1.2 Curva di dispersione della base sismica L1 (in magenta la curva di dispersione ottenuta, in bleu quella calcolata)

4.1.1 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S

Dalle diverse elaborazioni è stato possibile identificare diversi orizzonti aventi differenti valori di velocità come di seguito indicato:

L1		
Spessore	Profondità (m)	V _s (m/sec)
1,9	0,0-1,9	118
0,9	1,9-2,8	188
3,9	2,8-6,7	196
4,5	6,7-11,2	422
5,1	11,2-16,3	248
1,6	16,3-17,9	103
4,7	17,9-22,6	133
2,6	22,6-25,2	549
2,0	25,2-27,2	584
2,8	27,2-30,0	620

Tabella 4.1.1.1 - Valori delle V_s

Di seguito viene riportato il diagramma delle velocità delle onde S in funzione della profondità:

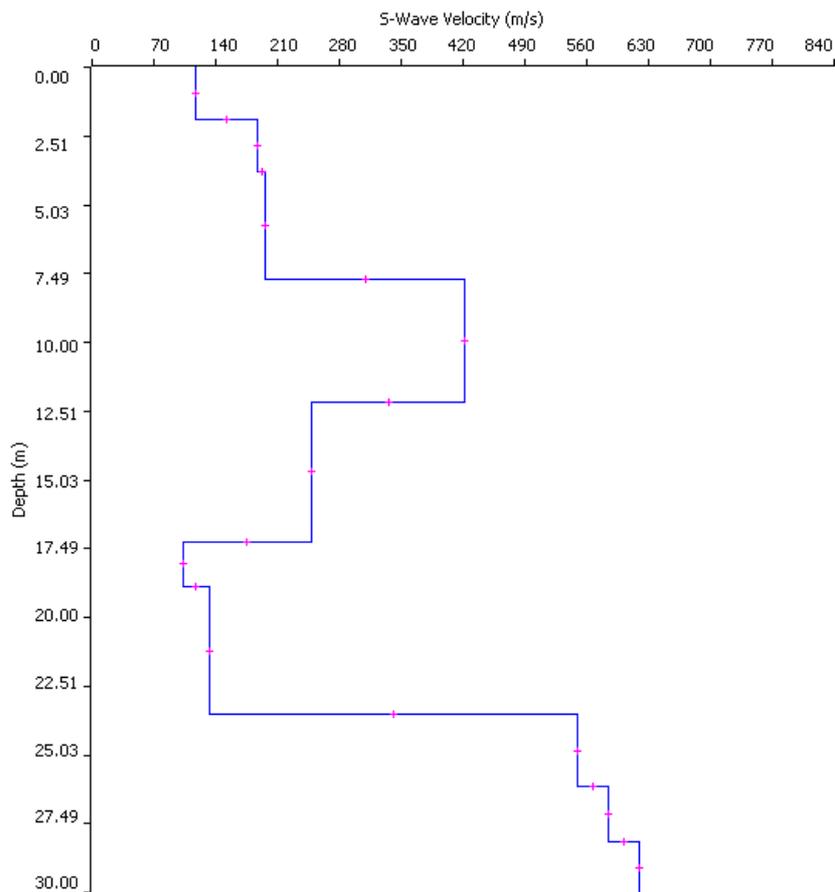


Fig. 4.1.1.1 – Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1

5 – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

La classificazione sismica attribuisce all'intero territorio nazionale valori differenti del grado di sismicità da prendere in considerazione nella progettazione delle opere.

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modif. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche sul territorio nazionale ripresi anche dal D.M. LL.PP. del 14.01.08 ovvero dalle nuove norme tecniche sulle costruzioni.

Sulla base della nuova classificazione sismica nazionale, il territorio del comune di Casalmaiocco ricade in zona 4 a "sismicità molto bassa".

Nello specifico il territorio comunale di **Casalmaiocco** ricade, per quanto indicato nella normativa "Classificazione sismica dei comuni italiani" in **zona 4**.

Per quanto riguarda le normative precedenti si ha:

• Codice ISTAT 2001	03098009
• Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti sino al 1998)	N.C.
• Categoria secondo la proposta del G.d.L. del 1998	N.C.
• <u>Zona ai sensi dell'O.P.C.M. 2003</u>	<u>4</u>

I suoli di fondazione sono suddivisi in cinque classi (A, B, C, D, E) più due speciali (S1 e S2), in base alle loro caratteristiche stratigrafiche ed alla velocità media delle onde sismiche di taglio (trasversali) entro 30 metri di profondità, ovvero alle V_{s30} :

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

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima
 N = Numero di strati

Il terreno indagato, con le due metodologie presenta valori delle V_{s30} pari a **215 m/s**; secondo lo schema presente nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008) si tratta di un suolo appartenente alla classe C

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec”.

Categoria	Descrizione
A	<i>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 pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{v,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Tabella 5.1 – Categoria di sottosuolo (tratto dalla Tabella 3.2.II delle NTC 2008)

5.1 - Stima della pericolosità sismica locale

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito interessato, che è definita dalla probabilità che, in un determinato 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 determinato valore prefissato. La probabilità che l’evento sismico caratterizzato da una data entità si verifichi è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (P_{VR}).

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (suolo di

- categoria A -come definito al § 3.2.2 delle Norme Tecniche Costruzione-);
- accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} (definite nel § 3.2.1) nel periodo di riferimento V_R (definito nel § 2.4).

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle grandezze fondamentali sulla base. In esse sono compiutamente definite le forme spettrali per la probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento in relazione ai vari stati limite previsti dalla norma.

Tutti i parametri che concorrono a definire a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) sono riassunti schematicamente nelle pagine successive.

Coordinate geografiche del sito	
Latitudine	45,3507
Longitudine	9,3734

Tabella 5.1.1 – Coordinate del sito

Una volta individuate le coordinate del sito, si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal Ministero dei Lavori Pubblici e sulla base della maglia si ricavano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori dei vertici della maglia stessa moltiplicati per le distanze dal punto. Nel nostro caso i 4 vertici (siti di riferimento) hanno le seguenti coordinate e relative distanze dal punto di intervento:

Sito di riferimento	Numero identificativo	Latitudine	Longitudine	Distanza dal sito di interesse (m)
Sito 1	ID: 12707	45,3644	9,3664	1617,656
Sito 2	ID: 12708	45,3668	9,4374	5301,722
Sito 3	ID: 12930	45,3168	9,4408	6470,663
Sito 4	ID: 12929	45,3144	9,3699	4045,434

Tabella 5.1.2 – Coordinate siti di riferimento

Devono inoltre essere definite le condizioni topografiche dell'area di interesse; a tal proposito si utilizza la tabella seguente (Tab 5.2.3), desunta dalla Tab. 3.2.IV delle NTC 2008. Nel caso specifico la categoria topografica considerata è T1.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 5.1.3 – Categorie topografiche

Di seguito si riportano le caratteristiche della struttura e del sito che si intende costruire.

Tipo di costruzione	2
Vita nominale (V_N)	50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso (C_U)	1,5
Tipo di suolo	C
Categoria topografica	T1

Tabella 5.1.4 – Caratteristiche della struttura in blu e caratteristiche del sito in rosso

Le azioni sismiche di ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U):

Tipo di costruzione	Classe d'uso	Coefficiente d'uso (C_U)	V_N	V_R
2	III	1,5	50 anni	75 anni

Tabella 5.1.5 – Determinazione del periodo di riferimento

A partire dai parametri di input sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} e del periodo di ritorno T_R , sono calcolati, per i diversi stati limite richiesti dalla norma, i valori a_g , F_0 , T_C^* e gli ulteriori parametri necessari per la caratterizzazione sismica locale:

		P_{VR}	T_R	Valori interpolati			Valori ricavati da a_g , F_0 , e T_C^*						
		[adm]	[anni]	a_g	F_0	T_C^*	S_S	C_C	S_t	T_B	T_C	T_D	F_V
				[g]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	45	0,029	2,54	0,20	1,50	1,78	1,0	0,12	0,36	1,71	0,58
	SLD	63%	75	0,035	2,56	0,22	1,50	1,73	1,0	0,13	0,38	1,74	0,64
SLU	SLV	10%	712	0,073	2,62	0,29	1,50	1,58	1,0	0,15	0,46	1,89	0,95
	SLC	5%	1462	0,091	2,63	0,30	1,20	1,56	1,0	0,16	0,47	1,96	1,06

Tabella 5.1.6 – Parametri e coefficienti sismici del sito

Si riportano di seguito i principali parametri e riferimenti che entrano in gioco:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite;

T_R = periodo di ritorno;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (valore nominale);

F_0 = 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.

SLE = stati limite di esercizio:

(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 interruzioni 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 rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU= stati limite ultimi:

- **(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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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.

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

Cc = coefficiente di categoria di sottosuolo

St = coefficiente di amplificazione topografica

Tb = tratto ad accelerazione costante

Tc = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

Td = periodo inizio tratto a spostamento costante

F = fattore di amplificazione spettrale

I tre valori ottenuti di a_g , F_0 e T_c^* definiscono le varie forme spettrali. Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) secondo la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} * S$$

Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , dai valori nominali di a_g trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di a_g per $9,81 m/s^2$ e successivamente, per ottenere il valore finale di A_{max} relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare a_g (m/s^2) per i coefficienti di amplificazione sismica S , con $S = S_s \times S_t$ (in questo caso $S = 1,5$ poiché $S_s=1,5$ e $S_t=1,0$).

		a_g (accelerazione orizzontale massima)	$a_g \times 9,81$ (m/s^2)	S (coefficiente di amplificazione sismica)	A max (accelerazione massima)
		[g]	m/s^2		m/s^2
SLE	SLO	0,029	0,28	1,5	0,42
	SLD	0,035	0,34	1,5	0,51
SLU	SLV	0,073	0,71	1,5	1,07
	SLC	0,091	0,89	1,5	1,33

Tabella 5.1.7 – Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite

I coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e K_v (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		K_h	K_v
SLE	SLO	0,009	0,004
	SLD	0,011	0,005
SLU	SLV	0,022	0,011
	SLC	0,027	0,014

Tabella 5.1.8 –Valori del coefficiente sismico orizzontale (K_h) e verticale (K_v), riferiti al sito

6 - VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' SISMICA DELL'AREA

6.1 - Effetti litologici

Viene di seguito calcolati i valori di F_a dal punto di vista degli effetti litologici, mediante l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia. Il valore di F_a (fattore di amplificazione) ottenuto viene confrontato con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto F_a è necessario ricavare il valore di V_{s30} (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità V_s degli strati intercettati, così da risalire al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

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

- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura)

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento.

I dati ottenuti in campagna e riportati in Tabella 4.1.1 vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per litologie "sabbiose".

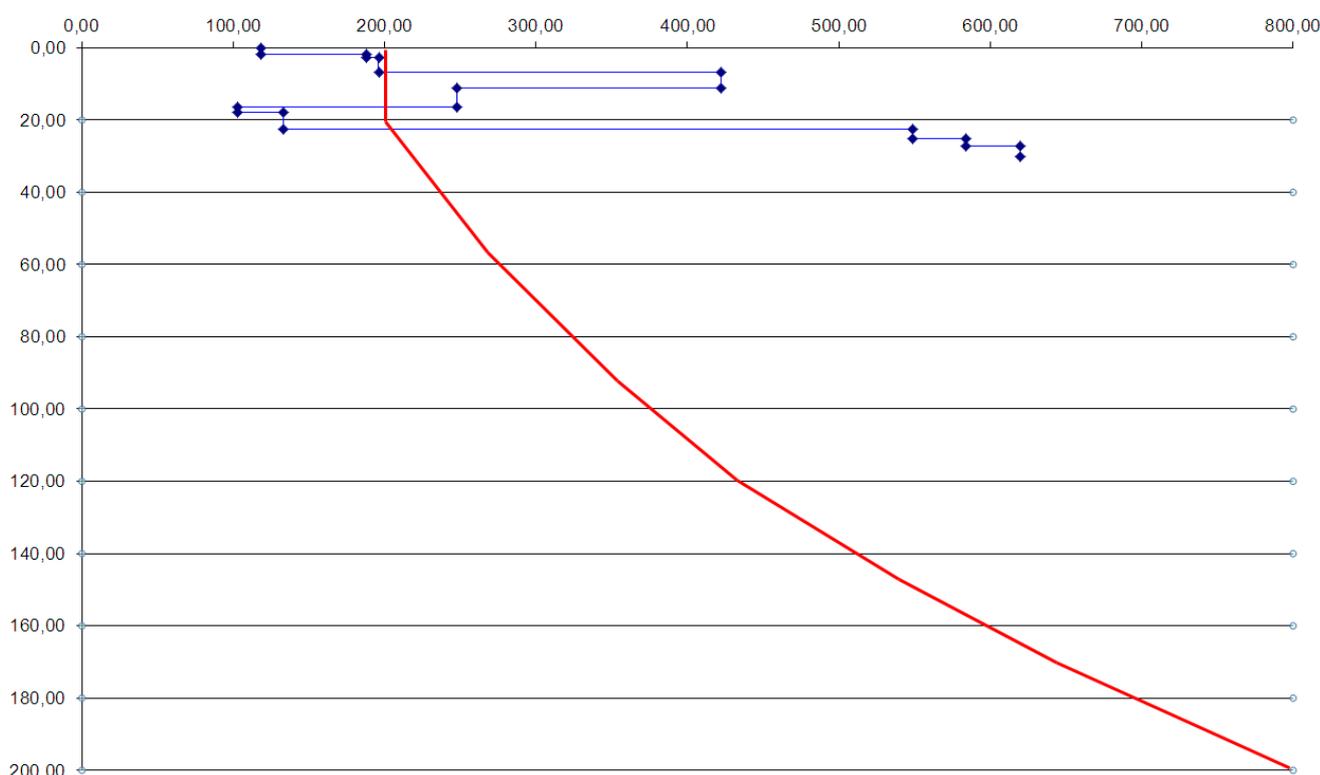


Fig. 6.1.1 - Grafico relativo alle litologie "sabbiose" cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo di terreno in base alle Vs.

Come è possibile osservare l'andamento delle Vs è posizionato al di "sopra" della linea rossa che divide il campo di validità dal campo di non validità (l'iversione iniziale è ammessa dalla normativa). Il fatto che questa scheda litologica soddisfi questo primo "vincolo", comporta che i valori delle Vs ricavati, sono correlabili con la relativa scheda di riferimento per litologie "sabbiose".

Ottenuti la velocità del primo strato ed il relativo spessore si riportano questi valori all'interno dell'abaco (fig. 6.1.2) al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare

(fig. 6.1.3) per ottenere il valore di F_a . Tale parametro (F_a) verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

Per utilizzare correttamente l'abaco di fig. 6.1.2, come vincolo viene posto che il primo strato abbia almeno 4 m di spessore. Se tale condizione non fosse soddisfatta è necessario calcolare la media pesata almeno dei primi 4 metri di terreno tenendo in dovute considerazioni gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio. Nel nostro caso è stata calcolata una media pesata da attribuire al "primo" strato, sui primi 4 m, individuando così una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.

Profondità primo strato (m)

	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180		
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3														
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA									
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA								
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA							
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA					
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

Velocità primo strato (m/s)

Figura 6.1.2 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di F_a , grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2, che corrisponde alla curva 2 verde di fig. 6.1.3.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Nel caso la velocità ottenuta dall'indagine non raggiungesse gli 800 m/s, come nel nostro caso, occorre incrementare la velocità e la profondità delle onde, utilizzando un passo adeguato, fino all'intercettazione degli 800 m/s. Per la determinazione del periodo si utilizza la seguente equazione:

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

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_{s_i} = Velocità dell'onda di taglio i-esima

Stendimento sismico	Valore del periodo T calcolato
L1	0,37 s

Tabella 2 - recante il valore dei periodo T calcolato

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di F_a utilizzando gli abachi di riferimento di fig. 6.1.3 e fig. 6.1.4 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti.

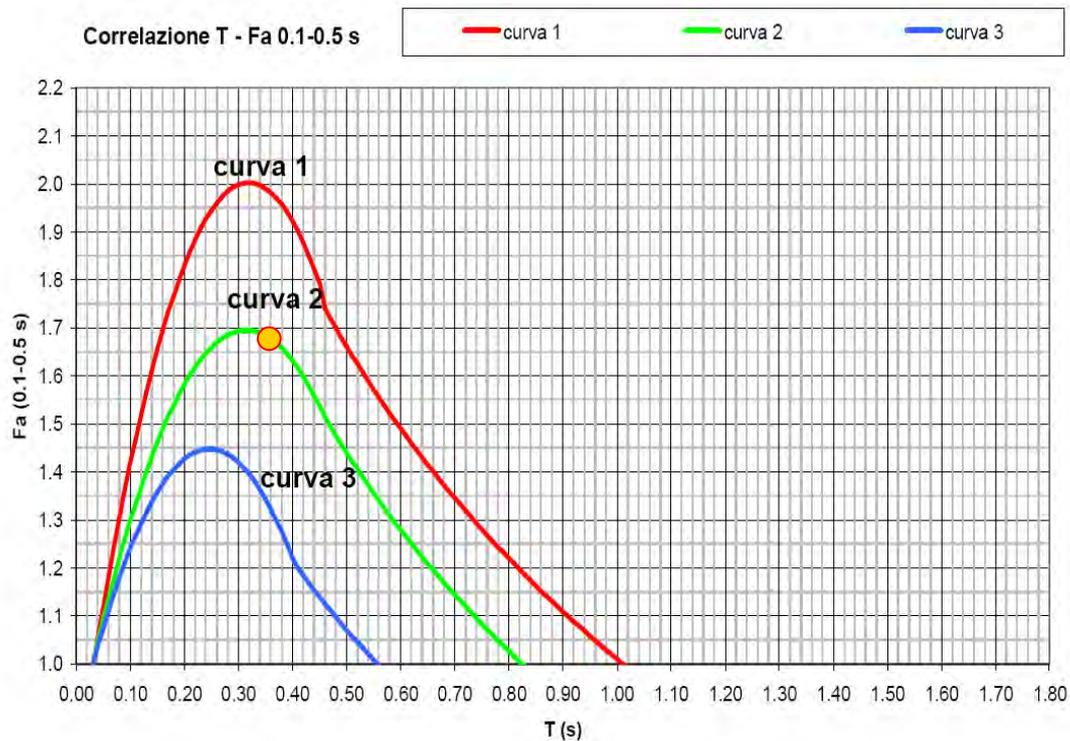


Figura 6.1.3 – Abaco di riferimento per la litologia “sabbiose” per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

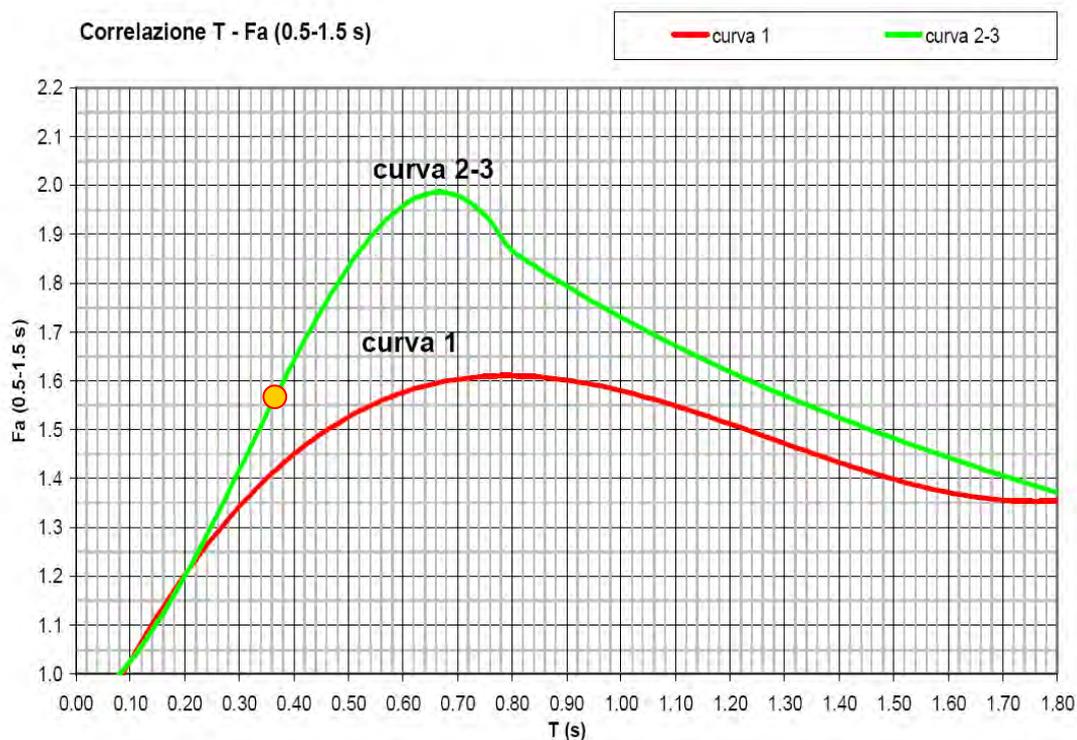


Figura 6.1.4 – Abaco di riferimento per la litologia “sabbiosa” per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ($T=0,25$), identifichi un valore di **Fa di 1,70 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 1,8)** e **Fa 1,55 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,4)**.

Il valore di Fa calcolato, sia per edifici bassi che per edifici alti, risulta essere inferiore al valore di Fa di riferimento per la categoria del suolo C, pertanto in fase progettuale, considerando altresì che Casalmaiocco ricade in classe sismica 4 non si rendono necessari studi di III livello né passaggi alla categoria di suolo superiore.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Casalmaiocco.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Casalmaiocco	4	1,4	1.8	2.2	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Casalmaiocco	4	1.7	2.4	4.1	3.0

Gropello Cairoli, marzo 2012



 Dott. Geol. Roberto Perotti

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

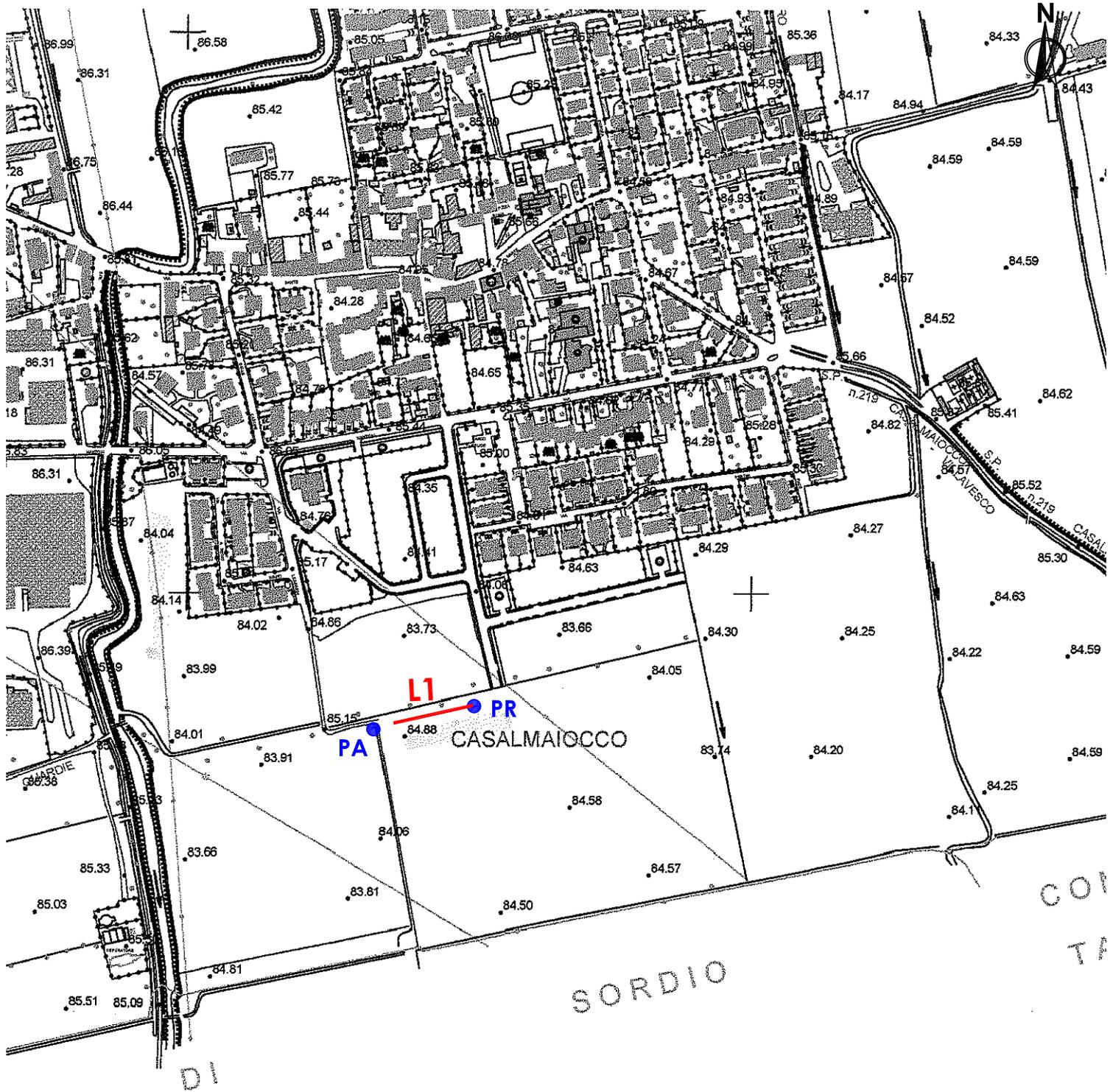


Foto 1 – Ubicazione dello stendimento sismico realizzato (L1)



Area di indagine

Lavoro: INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW FINALIZZATA ALLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO IN UN'AREA SITA NEL TERRITORIO COMUNALE DI CASALMAIOCCO (LO)	
Titolo: COROGRAFIA GENERALE	
Committente: Egr. Dott. Geol. A. Maccabruni	A cura di:  <small>27027 Gropello Carolo (PV) - Via Cairoli n. 52 Tel./Fax: 0382.81.70.38 - e-mail: sergeo@teletu.it</small>
Data: Marzo 2012	TAV. 1
Scala: 1:10.000	Rif.: 007-12



L1

Linea sismica con metodologia MAWS con interdistanza geofonica di 3,0 metri e relativa sigla identificatrice

PA ●

Punti di energizzazione: PA= punto di andata e PR = punto di ritorno

Lavoro:		INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW FINALIZZATA ALLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO IN UN'AREA SITA NEL TERRITORIO COMUNALE DI CASALMAIOCCO (LO)	
Titolo:		UBICAZIONE BASE SISMICA	TAV. 2
Committente:	A cura di:	Data: Marzo 2012	
Egr. Dott. Geol. A. Maccabruni		Scala: 1:5000	
27027 Gropello Cairoli (PV) - Via Cairoli n. 52 Tel./Fax: 0382.81.70.38 - e-mail: sergeo@teletut.it		Rif.: 007-12	