
Comune di SAN FIORANO

Provincia di LODI



**STUDIO DELLA COMPONENTE
GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12
D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566**

Maggio 2008

RELAZIONE GENERALE

dott. Marco Daguati
GEOLOGO

*via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)
tel e fax 0377.433021 – portatile 335.6785021
e-mail: marco.daguati@geolambda.it*

SOMMARIO

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO	4
2. CENNI CLIMATICI.....	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE e STRATIGRAFICO	9
4. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO.....	12
5. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE	16
5.1 Il “Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del fiume Po”.....	17
5.2 Il “Livello Fondamentale della Pianura”	21
5.3 Forme dovute all’attività antropica.....	22
6. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E PEDOLOGICA DEI TERRENI SUPERFICIALI	23
6.1 Caratterizzazione litologica	23
6.2 Caratterizzazione Pedologica.....	25
7. RETICOLATO IDROGRAFICO	27
7.1 Il reticolo idrico del Comune di San Fiorano.....	27
8. IDROGEOLOGIA	30
8.1 Caratteristiche idrogeologiche generali	30
8.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale.....	33
8.3 Censimento e catalogazione dei pozzi	36
8.4 Indagine Piezometrica.....	38
8.5 Vulnerabilità degli acquiferi	40
9. PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE	44
9.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di San Fiorano	44
9.2 Descrizione della sismicità	49
9.3 Pericolosità sismica.....	56
10. CARTA DI SINTESI	62
11. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI	64
12. ALLEGATI.....	65

TAVOLE ALLEGATE

- **Tavola 1:** Carta geologica e geomorfologica
- **Tavola 2:** Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica
- **Tavola 3:** Carta del reticolato idrografico
- **Tavola 4:** Carta idrogeologica
- **Tavola 5:** Sezione litostratigrafica interpretativa
- **Tavola 6:** Carta della pericolosità sismica locale
- **Tavola 7:** Carta di sintesi
- **Tavola 8:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 9:** Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO

Preliminarmente alla stesura del P.G.T. previsto dalla L.R. 12/05, il Comune di S. Fiorano ha affidato allo scrivente l'incarico di eseguire lo studio geologico, idrogeologico e sismico del proprio territorio ai sensi della D.G.R. n. 8/1566/2005. Lo studio ha aggiornato gli elaborati geologici a firma dello scrivente già allegati al vigente P.R.G. (redatti ai sensi della L.R. 41/97), adeguandoli alla nuova normativa e integrandoli in modo sostanziale per quanto concerne la componente sismica.

Lo studio, sviluppato in sintonia con quanto disposto dalla vigente disciplina regionale, risulta "adattato" alle esigenze e peculiarità del territorio comunale di San Fiorano. Sin dall'inizio, infatti, gli sforzi e le attenzioni sono state concentrate sulle problematiche salienti di questo lembo di pianura, quali l'assetto morfologico ed idrogeologico, la vulnerabilità degli acquiferi, la caratterizzazione litotecnica dei depositi naturali, nonché la tutela e la salvaguardia delle emergenze naturali.

Secondo quanto previsto dalla disciplina regionale, lo studio proposto è stato articolato in tre fasi:

- La prima fase (o fase di analisi) si è concretizzata con la raccolta dei dati bibliografici e delle informazioni territoriali necessarie alla definizione delle principali caratteristiche geologiche, litologiche, geomorfologiche, sismiche, idrogeologiche ed idrografiche del territorio.

Durante la fase di analisi è stata prodotta la cartografia di base e di inquadramento (scala 1:10.000) costituita dalla Carta geologica e geomorfologica (Tavola 1), dalla Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica (Tavola 2), dalla Carta del Reticolato Idrografico (Tavola 3) e dalla Carta Idrogeologica (Tavola 4). La lettura integrata delle informazioni relative alle tavole di analisi presentate in allegato consente una comprensione in chiave interpretativa dei fenomeni morfogenetici e sedimentari che hanno dato vita al lembo di pianura occupato dal Comune di S. Fiorano.

In questa fase è stata analizzata anche la sismicità del territorio e prodotta, quale elaborato sintetico, la Carta della pericolosità sismica locale (Tavola 6).

In assenza di una carta derivata da rilievo aerofotogrammetrico, per la redazione della cartografia di analisi è stata adottata la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

Parte della fase di analisi è stata dedicata anche alla ricerca di informazioni litostratigrafiche, indispensabili per descrivere le geometrie dei corpi idrici sotterranei. I risultati dell'operazione di correlazione ed interpretazione dei dati stratigrafici sono rappresentati nella sezione della Tavola 5.

- Durante la seconda fase sono stati interpretati e correlati i dati raccolti in precedenza con l'obiettivo di formulare proposte attraverso una lettura del territorio in chiave sia geologico-ambientale, sia delle vocazioni d'uso. A tale scopo è stata prodotta una Carta di Sintesi (Tavola 7) e una Carta dei Vincoli Geologici (Tavola 8) (entrambe alla scala 1:10.000), nelle quali vengono evidenziati gli aspetti più significativi emersi dalla fase di analisi e gli elementi normativi vincolanti sotto il profilo geologico. Lo scopo della cartografia è quello di definire le limitazioni d'uso e proporre una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologica e geotecnica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica.

- Quale strumento finale vengono proposte le Norme Geologiche di Attuazione e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Tavola 9), alla quale viene allegata una tabella riassuntiva degli elementi limitanti per ciascuna classe di fattibilità. L'elaborato, prodotto alla scala 1:5.000, è stato redatto sulla stessa base cartografica dello strumento urbanistico locale, per meglio coordinare i risultati dello studio geologico con gli strumenti di pianificazione locale.

L'intero studio, infine, viene illustrato dal presente rapporto finale nel quale, oltre a descrivere il metodo seguito, viene dato spazio al commento dei diversi elaborati prodotti, motivando la classificazione proposta.

2. CENNI CLIMATICI

(Estratto da Ersal, I suoli del Codognese, 2002)

L'individuazione dei caratteri climatici è basata sulle elaborazioni condotte dall'ERSAL sui dati mensili ed annui della piovosità e delle temperature registrati a Codogno nel periodo 1958-1982.

	P	T	ETp	P-Etp	ST	Def.	R.O
Gen	54,3	1,7	2,8	51	150	0	51
Feb	58,9	4,7	9,3	50	150	0	50
Mar	70,1	8,9	28,8	41	150	0	41
Apr	69,1	13,1	55,5	14	150	0	14
Mag	68,4	17,9	98,9	-30	120	0	0
Giu	67,1	22,0	133,3	-66	53	0	0
Lug	52,0	24,2	155,8	-104	0	50	0
Ago	69,4	23,1	134,6	-65	0	65	0
Set	64,9	19,5	90,8	-26	0	26	0
Ott	105,1	13,6	48,6	56	56	0	0
Nov	105,2	7,8	18,3	87	143	0	0
Dic	69,4	2,7	3,9	66	150	0	59
Anno	853,9	13,3	780,7	73,2			

Fig. 2.1 - Valori climatici medi mensili e bilancio idrico nel periodo 1958-1982 (da Ersal, I suoli del Codognese, 1992)

La temperatura media annua è di 13,3°C, mentre l'escursione termica media annua, cioè la differenza tra la temperatura media del mese più freddo (gennaio 1,7°C) e quella del mese più caldo (luglio 24,2°C) è significativamente elevata (22°C) ed è elemento di continentalità del clima della pianura padana. La piovosità totale si attesta, come media nel periodo considerato, sugli 854 mm/anno, essendo i valori compresi tra estremi positivi di oltre i 1.100 ed estremi negativi poco superiori ai 600 mm/anno (minimo eccezionale 436 mm nel 1967).

Nel corso dell'anno si registrano i massimi valori di piovosità in ottobre e novembre (105 mm), mentre nei restanti mesi i valori rimangono compresi tra i 54 mm di gennaio ed i 70 mm di marzo.

Le precipitazioni sono di entità relativamente modesta, soprattutto se confrontate con i valori dell'evapotraspirazione potenziale (Etp). Questa grandezza rappresenta le perdite di umidità dal suolo sotto forma sia di acqua evaporata dal terreno, sia di acqua traspirata dalla vegetazione o dalle colture agrarie. I valori rappresentati in tabella sono stati calcolati dall'ERSAL mediante la formula di Thornthwaite, basata esclusivamente sulla temperatura media mensile e sulla latitudine.

Si vede immediatamente che la piovosità annua (854 mm) è in media solo di poco superiore all'evapotraspirazione totale stimata (781 mm), cosicché negli anni di minore piovosità si verifica un deficit di umidità nel suolo, a volte estremamente pronunciato (colonna P-ET).

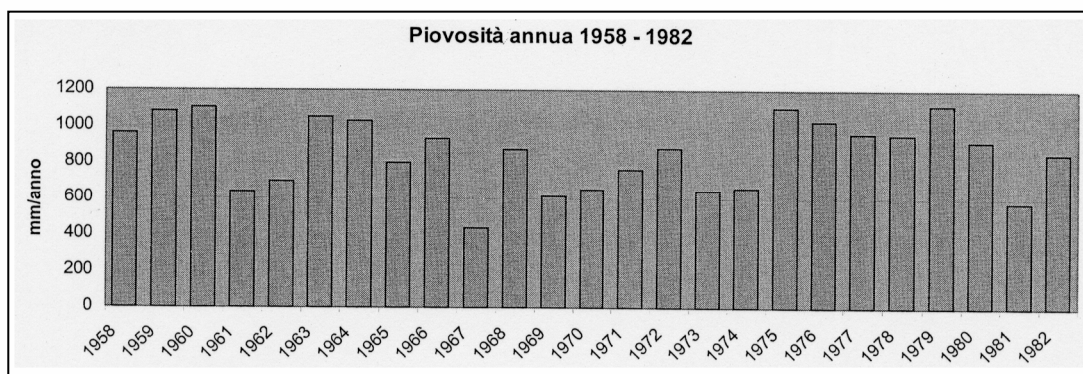


Fig. 2.2 – Andamento della piovosità annua nel periodo 1958-1982(da Ersal, I suoli del Codognese, 1992)

	T med	P tot	ET tot	P-ET	DC.	Def.
1958	13,4	961,0	785,6	175	590	-415
1959	14,0	1081,0	809,5	271	471	-200
1960	13,2	1107,0	776,7	330	566	-236
1961	14,4	639,0	828,1	-189	332	-521
1962	13,3	699,0	790,3	-91	407	-498
1963	13,2	1055,0	794,1	261	524	-263
1964	13,8	1030,0	820,3	210	620	-411
1965	12,7	797,0	747,8	49	269	-220
1966	13,8	932,0	811,2	121	476	-355
1967	13,7	436,0	802,6	-367	123	-489
1968	13,3	877,0	774,5	103	421	-319
1969	13,0	615,0	784,2	-169	249	-418
1970	13,2	651,0	781,5	-131	321	-451
1971	13,4	765,0	795,1	-30	331	-361
1972	12,9	881,0	753,2	128	424	-296
1973	13,0	641,0	771,8	-131	173	-304
1974	12,4	658,0	734,7	-77	268	-345
1975	13,5	1103,0	781,9	321	536	-215
1976	13,1	1030,0	764,8	265	492	-227
1977	13,3	964,0	762,2	202	453	-251
1978	12,4	955,0	738,3	217	541	-324
1979	13,1	1121,0	775,5	345	650	-305
1980	12,6	919,0	749,8	169	502	-333
1981	13,1	579,0	778,0	-199	160	-359
1982	13,6	852,0	805,1	47	469	-422
	13,3	853,9	780,7			

Fig. 2.3-Valori climatici medi mensili e bilancio idrico nel periodo 1958-1982(Ersal, I suoli del Codognese, 1992)

Il confronto tra gli apporti e le perdite di umidità diventa particolarmente significativo se esaminato nel corso dell'anno medio. In figura 2.4 si vede, infatti, che le perdite per

evapotraspirazione, che seguono sostanzialmente l'andamento delle temperature, raggiungono nella stagione estiva valori molto elevati proprio quando le piogge sono di minore entità.

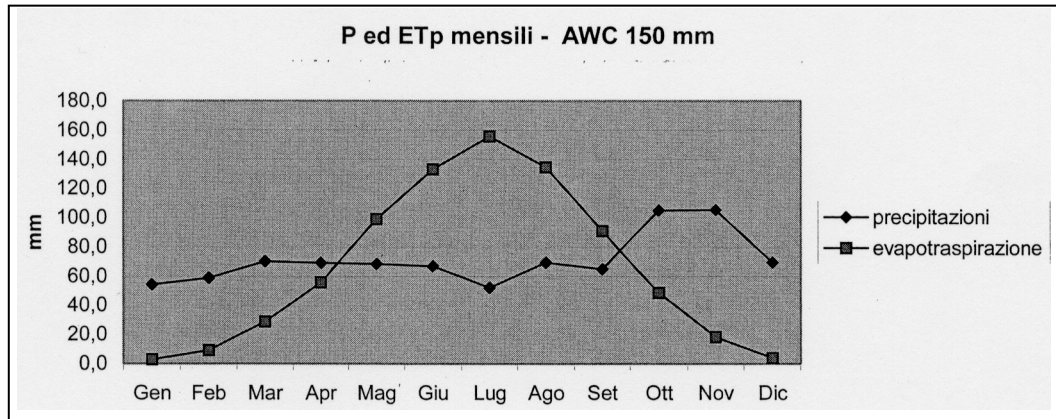


Fig. 2.4 - Precipitazione ed evapotraspirazione potenziale: medie mensili per suoli con AWC 150 mm (da Ersal, I suoli del Codognese, 1992)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE e STRATIGRAFICO

Il territorio in questione si inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: nel raggio di diversi chilometri affiorano solo depositi continentali di origine fluviale e fluvio-glaciale che, in questa zona, sono caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi.

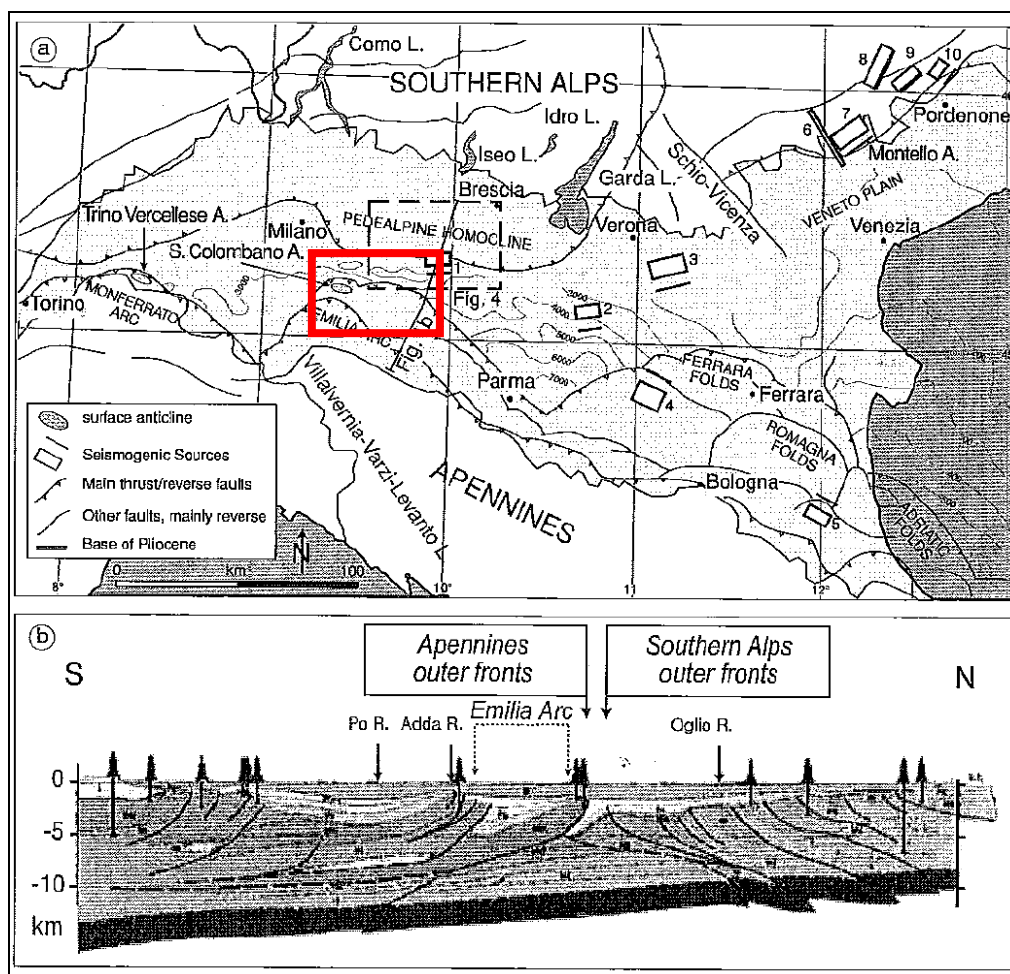
Tuttavia, al di sotto dei depositi continentali affioranti nell'ambito di indagine (che raggiungono lo spessore di molte centinaia di metri), è presente un basamento di origine marina per il quale le prospezioni geofisiche, eseguite nei decenni scorsi a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico.

Lo sviluppo geologico di questo lembo di Pianura Padana è strettamente legato all'evoluzione della catena appenninica in una fase tardiva della sua storia tetto-genetica e rappresenta il risultato del riempimento cominciato nel Pliocene, dapprima marino e poi continentale, dei bacini ampiamente subsidenti delle avanfosse padane.

In linea generale, l'evoluzione geologica della Pianura Padana deriva dalla convergenza della placca Africana e di quella Europea; il bacino sedimentario corrispondente alla Pianura Padana si colloca nell'estremità settentrionale della microplacca Adria (un promontorio della zolla africana). Sin dal tardo Cretacico, la Pianura Padana ha rappresentato la parte frontale di due catene di opposta convergenza: l'Appennino settentrionale (N-vergente) e le Alpi meridionali (S-vergenti). Lo scontro tra le due catene ha strutturato la serie di bacini di piggy-back sopra menzionati, ospitati sul fronte della placca Adria, dove una potente successione sin-orogenetica è andata progressivamente depositandosi.

Studi sulla base della sequenza plio-quadernaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981) mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte più avanzato della struttura appenninica settentrionale: l'Arco del Monferrato (Elter e Pertusati, 1973), l'Arco Emiliano e l'Arco Ferrarese-Romagnolo.

In tale contesto, il Comune di San Fiorano si sviluppa in corrispondenza del sistema compressivo dell'Arco Emiliano.



Schema tettonico del substrato della Pianura Padana
(“Pieri and Groppi, 1981” in “Burrato et al.”, 2003)

Sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase tettonica pliocenica media-inferiore (databile dalla discordanza esistente tra i sedimenti plio-pleistocenici marini ed il substrato più antico), è opinione sempre più diffusa che i depositi alluvionali quaternari siano stati coinvolti in fasi neotettoniche, condizionando così anche la morfogenesi più recente (Braga et al., 1976; Pieri e Groppi, 1981; Burrato et al., 2003).

A sostegno di questo fatto, molti Autori indicano sia gli affioramenti di sedimenti pre-würmiani che emergono sul “Livello Fondamentale della Pianura” in prossimità degli assi di alcune strutture positive del substrato, sia alcune sintomatiche “anomalie” che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d’acqua.

In accordo con le geometrie delle strutture tettoniche sopra menzionate, nel lodigiano si determinano bruschi assottigliamenti del materasso alluvionale a causa della culminazione di un sistema di piegamenti antiformali del substrato sepolto (struttura di Pizzighettone-

Secugnago, struttura di Casalpusterlengo-San Colombano) che, nel margine S-occidentale del territorio lodigiano, conducono all'affioramento di strutture pre-Quaternarie (Colle di S. Colombano).

L'asse strutturale più vicino, tuttavia, si sviluppa esternamente al territorio di San Fiorano (ci si deve spostare a N dell'abitato di Codogno per incontrare la struttura compressiva "Pizzighettone-Secugnago"), fattore che giustifica l'assenza di significative anomalie dettate da condizionamenti neotettonici nello sviluppo dei meccanismi sedimentari e morfologici locali.

Nonostante l'importante condizionamento tettonico anche in epoca molto recente (se non addirittura attuale), non si rilevano concrete situazioni di rischio derivanti da sismi di superficie; l'ambito comunale (come l'intero territorio lodigiano), infatti, risulta classificato come zona sismica 4 (Ordinanza del Pres. Cons. Ministri n. 3274 del 20.03.2003).

A tal proposito va considerato come anche nelle aree sismicamente più attive della penisola italiana, i tempi di ritorno per i grandi terremoti siano superiori a 1000 anni, mentre l'attuale catalogo storico dei terremoti (considerato completo per eventi di magnitudo superiore a 5.5 solo dopo il 17° secolo) potrebbe non coprire adeguatamente il ciclo sismico della maggior parte delle aree sismogenetiche padane. Tuttavia, il confronto tra le deformazioni verticali a lungo termine (a partire dal Pleistocene superiore) e quelle a breve termine, calcolato utilizzando correlazioni geomorfologiche e misure geodetiche (De Martini et al., 1998), dimostra come per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico: tale fattore giustificerebbe comunque l'attività neotettonica e il condizionamento della sedimentazione e dei lineamenti morfologici di superficie (Burrato et al., 2003), pur riducendo il rischio sismico a cui è esposta la Pianura Padana.

4. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Come evidenziato dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Lombardia scala 1:250.000 e Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio n. 60 "Piacenza"), le unità affioranti in un intorno significativo dell'area di analisi sono di origine continentale.

Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali e di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene, sono:

- **Alluvioni attuali** - sono depositi sabbiosi o limosi, con lenti ghiaiose, del greto dei corsi d'acqua. Occupano le aree maggiormente depresse all'interno dell'alveo ordinario del fiume Po, sono separate altimetricamente dalle alluvioni medio-recenti lungo le ripe fluviali e vengono sommerse durante le piene ordinarie.

- **Alluvioni recenti (Olocene)** - si tratta delle alluvioni affioranti con continuità lungo fasce più o meno ampie sulle sponde dei fiumi e dei principali corsi d'acqua e sono costituite da depositi di granulometria variabile tra la ghiaia e l'argilla. Sono depositi talora terrazzati, fissati e coltivati, di poco sospesi sugli alvei attuali del reticolo principale, anche inondabili in occasione di piene straordinarie se non adeguatamente protette da rilevati arginali.

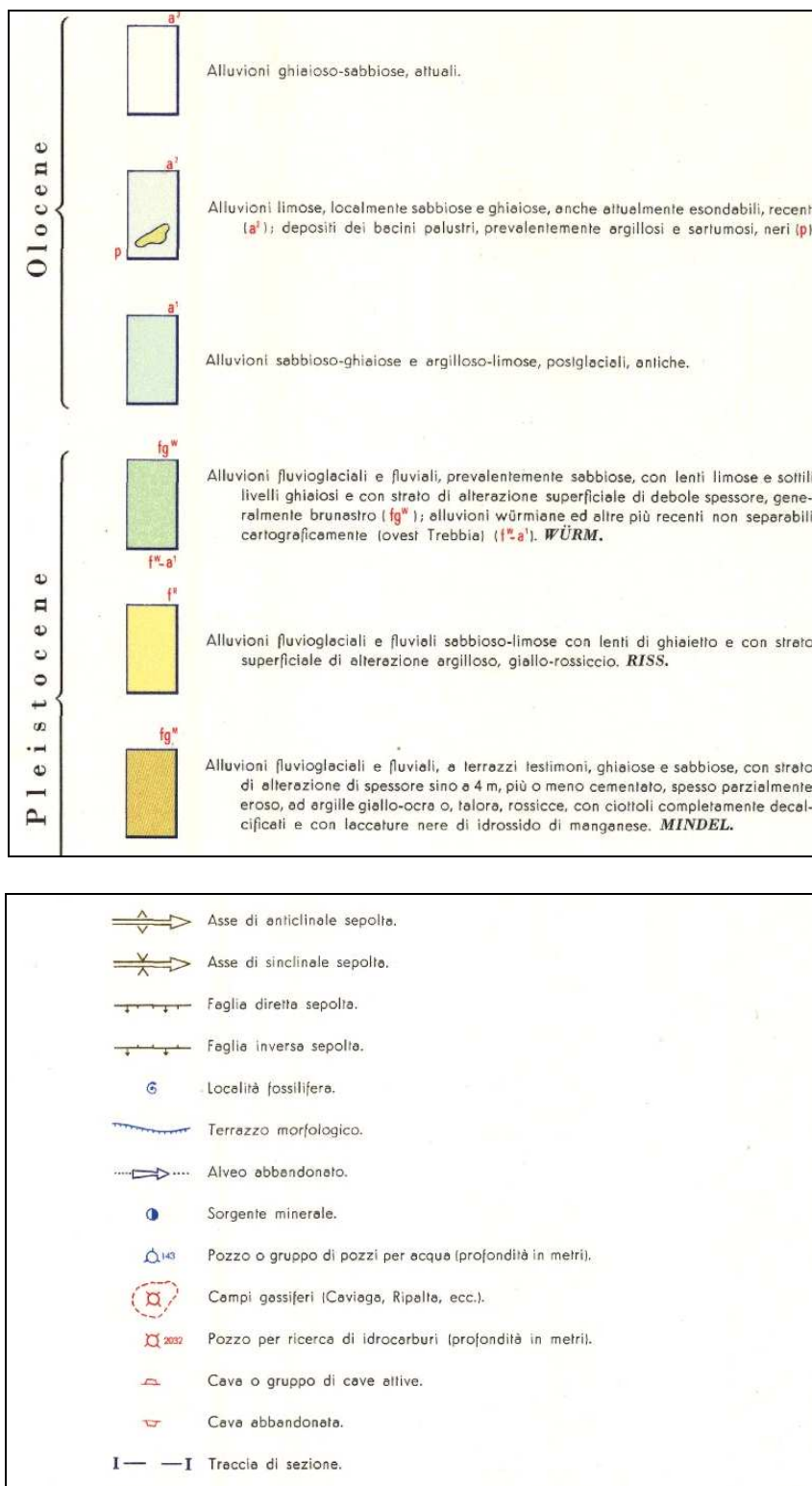
- **Alluvioni antiche (Olocene inferiore)** - sono depositi ghiaiosi, sabbiosi, limosi ed argillosi presenti in modo discontinuo nelle valli oloceniche del reticolato idrografico. Le alluvioni antiche sono poste in posizione intermedia tra il Livello Fondamentale della Pianura e la piana alluvionale dei corsi d'acqua e, unitamente alle alluvioni recenti ed attuali, costituiscono l'intervallo cronostratigrafico olocenico affiorante nella Provincia di Lodi. Le alluvioni antiche, tuttavia, non affiorano all'interno del territorio comunale di San Fiorano.

- **Fluvioglaciale Wurm (Pleistocene superiore)** - è costituito da depositi sabbiosi, limosi ed argillosi con lenti ghiaiose a ciottoli minuti; presentano un suolo bruno o brunastro, talora rossastro, per dilavamento di paleosuoli preesistenti a monte. I depositi costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato) sviluppato a valle della linea delle risorgive.

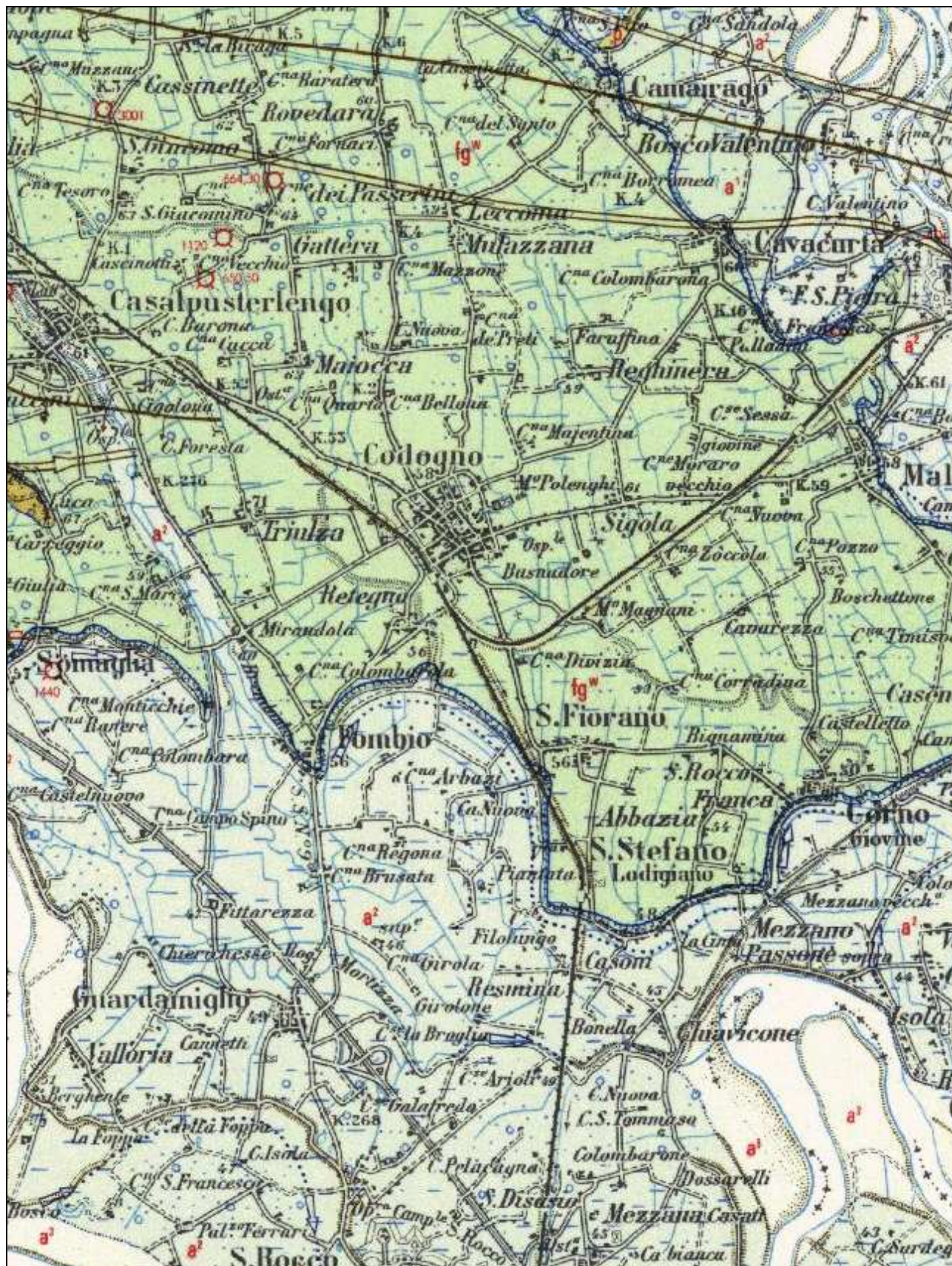
CARTA GEOLOGICA

Estratta da Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 60 "Piacenza"

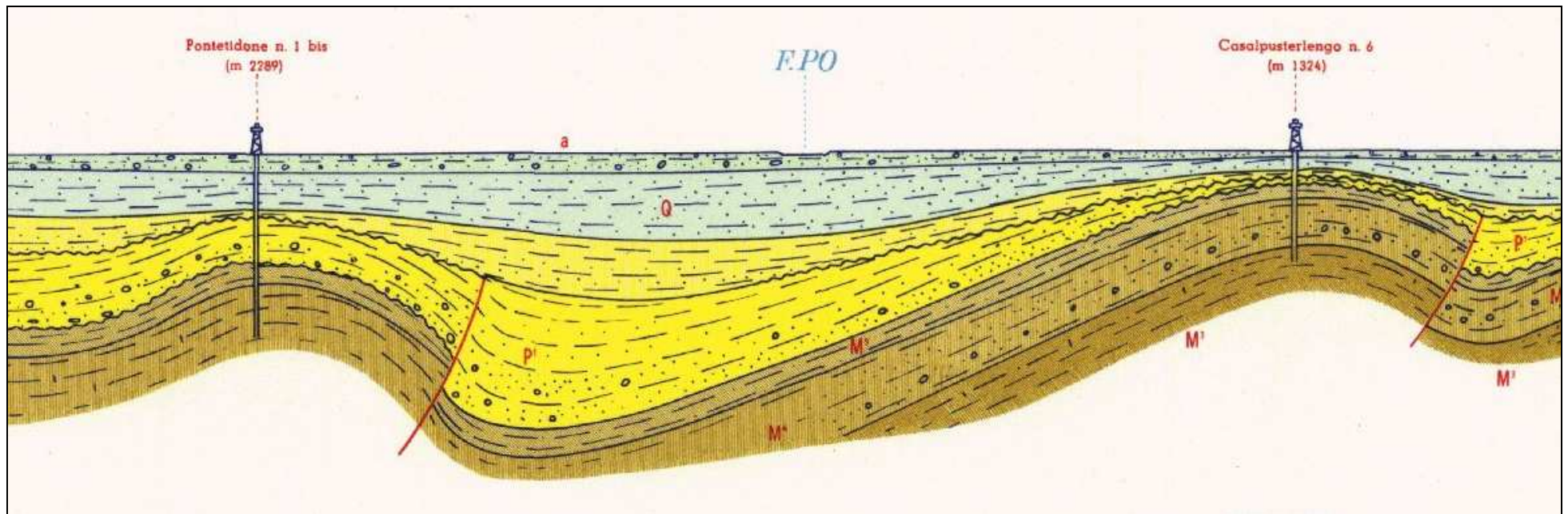
LEGENDA



CARTA GEOLOGICA



SEZIONE GEOLOGICA DI RIFERIMENTO



5. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE

La carta geomorfologica di Tavola 1 costituisce il primo elaborato della fase di analisi ed è stata redatta adottando come base di lavoro i criteri geomorfologici ad indirizzo applicativo proposti dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia. Con la simbologia sono stati rappresentati sia le forme e i depositi più significativi, distinti in base all'agente morfogenetico che li ha generati, sia il loro stato di attività.

L'analisi territoriale ha grande rilevanza per la valutazione dei fenomeni caratterizzanti un'area di pianura, in quanto gli elementi geomorfologici costituiscono la testimonianza diretta dell'evoluzione che ha interessato la zona nell'ultimo periodo geologico.

In questo contesto e date le finalità applicative della cartografia da produrre, invece, gli elementi geologico-strutturali sono stati considerati unicamente come base su cui si sono modellate le forme superficiali.

Il Comune di San Fiorano è posto nella porzione centro-meridionale della pianura lodigiana, è interamente compreso fra le quote di 57 e 44 m s.l.m. e si presenta come una superficie sub-pianeggiante, sviluppata su due ripiani altimetricamente separati: la continuità morfologica del Comune di San Fiorano, infatti, è interrotta dall'alta scarpata che, con direzione media NW-SE, terrazza i depositi tardo-pleistocenici (Wurm) sulle alluvioni oloceniche del fiume Po.

Nel complesso, pertanto, il risultato è quello di un territorio caratterizzato dall'esistenza di terrazzi morfologici a forma di ripiani sovrapposti, di altezza variabile, dovuti ad una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione.

Durante la fase di rilevamento e di stesura della cartografia sono stati distinti i seguenti sistemi morfologici (dal più basso e più recente):

1. il "Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del F. Po";
2. il "Livello Fondamentale della Pianura".

5.1 Il “Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del fiume Po”

All'interno di questo sistema morfologico, ben esteso anche oltre il confine meridionale del territorio comunale, sono presenti almeno due ripiani altimetricamente e morfologicamente separati; in particolare, si distinguono:

- Un ripiano inferiore (Olocene sup.), corrispondente all'area golenale inondabile in occasione delle piene ordinarie, sul quale affiorano i depositi alluvionali più recenti.
- Un ripiano superiore (Olocene medio), costituito da depositi alluvionali medio-recenti. Il ripiano si distingue dal precedente, più che per ragioni morfologiche, dal fatto di essere separato dal rilevato arginale maestro e non più interessato dai fenomeni sedimentari e morfodinamici del Po.

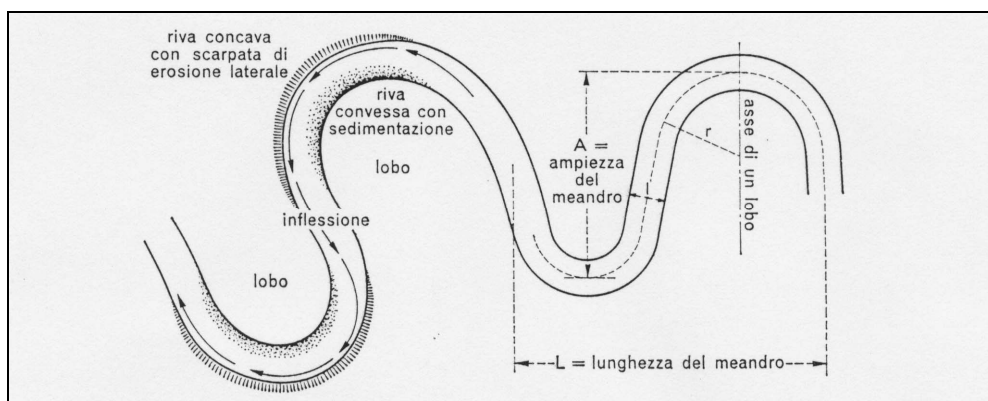
Nel territorio di San Fiorano, tuttavia, compare solamente il ripiano più antico dei due (modellato nelle alluvioni medio-recenti), all'interno del quale, attraverso un rilievo di dettaglio, sono stati cartografati una serie di lineamenti di origine fluviale: si tratta in genere di piccoli ripiani, dossi e depressioni, la cui evidenza è debolissima e talvolta mascherata dall'intervento antropico. Frequentemente è risultato molto difficile separare la componente artificiale dall'originale assetto naturale: a tale scopo sono spesso intervenuti criteri di continuità areale, interpolando le scarpate morfologiche i cui dislivelli variano tra un minimo di pochi decimetri ed un massimo di qualche metro.

L'analisi morfologica di dettaglio del ripiano medio-recente rivela una situazione non priva di una complessa articolazione, costituita da scarpate morfologiche minori indicative di ripetuti fenomeni di divagazione e diversione compiuti dai corsi d'acqua in un recente passato. Esse rappresentano il risultato di un sistema fluviale estremamente dinamico e legato ad eventi meteorologici ad alta ciclicità (regimi di morbida e di piena).

Per meglio interpretare i processi morfologici e sedimentari fluviali che hanno dato vita a questo lembo di territorio, vale la pena ricordare come, secondo lo schema introdotto da Trevisan (1968), i corsi d'acqua che hanno interessato in epoca storica la bassa pianura di San Fiorano (F. Po e F. Lambro) presentavano alvei fluviali di tipo “E”, cioè i caratteristici alvei a meandri di pianura alluvionale soggetta a inondazione durante le piene maggiori. I meandri sono forme fluviali in rapida evoluzione a causa della facile erodibilità delle sponde sabbiose. La pianura circostante, per effetto dei depositi abbondanti durante le inondazioni, tende ad

innalzarsi, aumentando nel tempo il dislivello tra il fondo dell'alveo ed il piano di inondazione. L'innalzamento degli argini naturali limita a sua volta le esondazioni, cosicchè i materiali solidi, depositi in alveo durante le fasi di decrescita delle piene, determinano la pensilità del fiume sulla pianura circostante e ne favoriscono l'esondabilità in caso di piena.

In relazione alla morfogenesi fluviale, è noto come il meandro di pianura mostri una spiccata tendenza ad accentuarsi. Il filone centrale della corrente, infatti, si sposta verso la parte esterna del meandro e corre in vicinanza della sponda concava, contrariamente a quanto avviene su quella convessa. In una successione di meandri, quindi, la corrente lambisce successivamente la riva destra e quella sinistra, descrivendo sinuosità maggiori di quelle mostrate dall'alveo: la capacità erosiva del filone principale della corrente, perciò, tende ad aumentare la sinuosità del fiume in ogni ansa, sottoponendo la riva concava ad una erosione progressiva; sulla sponda convessa, invece, la corrente, più lenta rispetto alla riva concava, abbandona una parte del carico trasportato e deposita la cosiddetta "barra di meandro o lobo" (di natura prevalentemente sabbiosa). Il risultato morfometrico è pertanto quello di una riva concava generalmente più ripida di quella convessa.



*Terminologia ed elementi morfologici dei meandri fluviali
(da "Geomorfologia, 1989 – G.B. Castiglioni)*

La progressiva tendenza all'accentuazione di un meandro porta al fenomeno indicato come "salto di meandro", la cui forma relitta è un ramo del corso d'acqua indicato con il nome di lanca o mortizza che, nel tempo, è soggetto ad un progressivo impaludamento ed interrimento con depositi fini (argilla e limo), caratterizzati da una frequente componente organica.

Ricorrendo all'analisi morfologica e morfometrica è stata chiaramente riconosciuta almeno una traccia di paleoalveo riconducibile ad un antico percorso del fiume Po: si tratta del

tracciato che si sviluppa al piede del terrazzo wurmiano a W del capoluogo (il Livello Fondamentale della Pianura coincide con la riva concava dell'antico meandro), allungato con andamento meandriforme tra l'abitato di Fombio, la C.na Balbana e l'abitato di San Fiorano.

Fra le tracce fossili è sicuramente degna di nota quella al margine meridionale del territorio comunale, lungo la quale si sviluppa il Colo Reale. Alla traccia è possibile associare la depressione valliforme che, a partire da Cascina Colombara, si sviluppa sino a S di Cascina Camponi, lasciando C.na Ricotti e le C.ne Carbonera su un caratteristico "alto" morfologico. L'analisi morfometrica, tuttavia, non giustifica le quote come resti di un antico percorso del Po, il quale presenta dimensioni generalmente maggiori.

Ai fini di una corretta interpretazione del lineamento in parola, tuttavia, va rammentato come questo lembo di pianura olocenica costituisca il prodotto morfogenetico anche di un ramo del fiume Lambro che, anticamente, sfociava nel Po nei pressi del territorio comunale di S. Stefano L.no.

Il corso del Lambro, infatti, da Melegnano raggiungeva Ospedaletto, Senna, Mirabello (allora Monte Ilderaldo), dividendosi poi in due rami: un primo ramo proseguiva per Camatta ed un secondo ramo navigabile, detto anche Lambrello, formava il Lago Barili o Barisi della bassura tra Somaglia, Guardamiglio, Fombio, San Fiorano e Santo Stefano ed andava a gettarsi nel Po nella località di Cogullo, presso Roncarolo, di fronte a Caselle Landi. Questo ramo aveva una funzione commerciale per le città lombarde interessate, comprese principalmente Lodi, Melegnano e Milano.

Al Lambro si sostituì la Mortizza, quando una forte alluvione (avvenuta secondo lo storico Donati Borso verso il 1239) troncò il ramo per Roncarolo lasciando in vita quello di Camatta. In alcune pergamene del Fondo Famiglia Landi, è però attestato che il ramo di Roncarolo del Lambro esisteva ancora nel 1358; alcuni ritengono che il definitivo abbandono del ramo di Roncarolo risalga in effetti soltanto al 1426. Oggi il territorio, rimaneggiato dalle acque del Po, reca solo parziali evidenze di questo antico percorso del Lambro. Il Colatore Mortizza, che si può supporre ne occupi ancora sommariamente la posizione, percorre nel suo tratto distale, tra Guardamiglio e Santo Stefano, un avvallamento di morfologia complessa che richiama una successione di tre tratti di ansa fluviale del Po, mentre più a monte, nei territori di Orio Litta, Ospedaletto Lodigiano e Senna Lodigiana (anticamente attraversati dal Lambro di Roncarolo) è ora presente un grande meandro abbandonato del Po, risalente ad epoche successive (tratto da "Ersal, I suoli del Codognese, 2002").

5.2 Il “Livello Fondamentale della Pianura”

I depositi terrazzati tardo pleistocenici costituiscono un piano debolmente immergente verso S, caratterizzato da una marcata omogeneità planoaltimetrica, noto in letteratura con il nome di “Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.)” o “Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)”. Esso rappresenta l’unità morfologica a maggior diffusione nella pianura lodigiana, modellata nelle alluvioni fluvio-glaciali e fluviali wurmiane. Nel contesto della pianura pleistocenica, la granulometria dei sedimenti diminuisce da nord verso sud, in perfetto accordo con quanto osservabile in sito ove prevalgono litotipi sabbiosi.

Non più interessato dall’idrografia principale e caratterizzato da tracce di idrografia abbandonata, il Livello Fondamentale della Pianura rappresenta una forma non attiva (fatta eccezione per fenomeni geomorfologici di minor entità attivi solo localmente): i processi che produssero la formazione di questa superficie sono indubbiamente polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi. La superficie continua ed arealmente estesa del Livello Fondamentale della Pianura testimonia l’arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell’instaurarsi di condizioni fortemente erosive negli affluenti di sinistra del Po e, in parte, del Lambro: quest’ultimi, infatti, scorrono entro larghe valli incassate, occupandone spesso una porzione estremamente ridotta.

La scarpata morfologica che terrazza il piano tardo-pleistocenico verso S rappresenta il lineamento più evidente di questa porzione di pianura e delimita l’ampio solco che ospita le alluvioni oloceniche recenti ed attuali del fiume Po. La scarpata si presenta come un versante molto acclive, con altezza variabile sino a circa 10 m, ormai relitta e priva di significativi fenomeni di instabilità, fatto salvo esigue incisioni dovute al ruscellamento concentrato da parte delle acque superficiali (meteoriche o irrigue) provenienti dal sovrastante terrazzo. Costituiscono una eccezione i tratti di scarpata morfologica rimaneggiati dai ripetuti interventi antropici (spesso finalizzati all’estrazione di inerti) e ridotti a caratteristiche rotture di pendenza del piano di campagna o a forme gradonate.

Lungo il margine meridionale del terrazzo pleistocenico, inoltre, si delinea l’incisione valliva della Roggia Fossadazzo: in funzione della discreta capacità erosiva, infatti, il Fossadazzo è riuscito a regolarizzare (“rasare”) la rottura di pendenza che caratterizza il margine del terrazzo pleistocenico, delineando un proprio solco caratteristico.

5.3 Forme dovute all'attività antropica

Come accennato in precedenza, non sono state ricostruite cronologicamente le azioni di bonifica che hanno modificato negli ultimi secoli l'assetto planoaltimetrico del territorio; si ritiene comunque doveroso riconoscere l'importanza delle opere che hanno interessato il territorio di San Fiorano a valle della scarpata morfologica principale, le quali, sovrapponendosi alla naturale tendenza evolutiva, hanno reso vivibili zone altrimenti paludose o soggette alle esondazioni del Po.

Sul terrazzo wurmiano, invece, si segnalano principalmente interventi di livellamento effettuati a scopo agronomico e l'intenso rimaneggiamento della scarpata morfologica nel tratto in prossimità della foce della Roggia Fossadazzo.

Il fitto reticolato idrografico rappresenta una delle più importanti azioni antropiche, finalizzate a distribuire acqua ad uso irriguo sull'intera superficie comunale, a raccoglierne e smaltire le colature e, nelle aree più depresse, a bonificare terreni con acqua sub-affiorante.

6. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA E PEDOLOGICA DEI TERRENI SUPERFICIALI

6.1 Caratterizzazione litologica

La natura litologica dei terreni affioranti è stata dedotta innanzitutto da una serie di trincee esplorative che hanno consentito considerazioni sui primi metri di suolo e sottosuolo. Tutti i dati disponibili (ubicati in Tavola 2), che ricordiamo costituire notizie puntiformi, sono poi stati oggetto di una attenta revisione critica durante il processo di interpretazione, correlando fra loro anche le informazioni dedotte da indagini di tipo stratigrafico (trincee e sondaggi), geotecnico e pedologico presenti nell'archivio comunale, in quello dello scrivente e in letteratura (Allegato 1).

La finalità dell'indagine è stata anche quella di classificare i depositi più superficiali secondo intervalli di permeabilità, necessari per le valutazioni sulla vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale.

Le informazioni così disponibili hanno consentito una prima caratterizzazione litotecnica dei depositi naturali, conducendo a una prima e fondamentale distinzione fra terreni granulari incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

In questo modo sono state definite le unità litotecniche cartografate sulla Tavola 2, in particolare:

UNITA' 1 – Sono depositi prevalentemente sabbiosi a granulometria da mediamente selezionata a selezionata, con frazione fine da scarsa ad assente (classificazione U.S.C.S. tipo SW e SM) e frequenti coperture di natura limosa o limo-argillosa (tipo ML, CL) di spessore massimo pari a 2-3 m – Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura a N del capoluogo.

UNITA' 2 – Si tratta di una facies simile alla precedente, da cui differisce per un minor spessore dei depositi di copertura - Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura a S-SE del capoluogo.

UNITA' 3 – E' costituita da depositi granulari (sabbie prevalenti tipo SW, SM) con locali e talora consistenti coperture argillose o limose – Area di affioramento: ripiano alluvionale a valle della scarpata morfologica principale.

UNITA' 4 – Si sviluppa nelle aree morfologicamente depresse corrispondenti agli antichi percorsi fluviali, nelle quali sono presenti depositi caratterizzati da una marcata variabilità granulometrica e tessiturale. Nei terreni di copertura sono possibili eteropie di facies verso termini di caratteristiche geotecniche scadenti e/o con una significativa componente organica, derivanti dall'azione di colmamento naturale o di bonifica di zone originariamente paludose.

Sulla base delle informazioni disponibili, quindi, si riconoscono solo modeste limitazioni di natura geotecnica nelle aree a valle della scarpata morfologica principale laddove, a terreni potenzialmente insidiosi dal punto di vista geotecnico, si associa una falda a ridotta profondità che contribuisce ad una saturazione dei depositi e a un generale peggioramento delle loro caratteristiche geotecniche. Tale fattore trova un suo riscontro nella fattibilità geologica delle azioni di piano e condizionerà le scelte progettuali nel caso di nuovi edifici e infrastrutture: la presenza di acqua sotterranea e la relativa profondità diverranno oggetto di studio circostanziato nella modellizzazione geologica e geotecnica prevista dal D.M. 14.09.2005 e s.m.i..

6.2 Caratterizzazione Pedologica

Nella cartografia di tavola 2 è stata rappresentata anche la distribuzione areale delle classi pedologiche tratte dal “Progetto Carta Pedologica – I suoli del Codognese (ERSAL, 2002)”: in questo modo è stato possibile associare, ad aspetti puramente litologici, anche indicazioni relative allo sviluppo e alle caratteristiche dei suoli presenti nel territorio comunale.

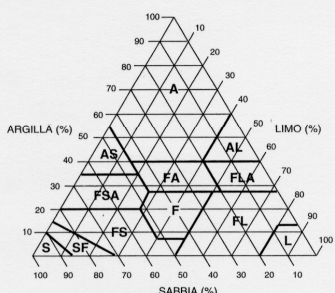
Una prima classificazione è stata compiuta alla scala delle unità di paesaggio (o morfologiche), operando una distinzione tra:

1. Il Livello Fondamentale della Pianura;
2. I ripiani alluvionali corrispondenti ai piani di divagazione dei corsi d’acqua attivi o fossili. Questo sistema è stato suddiviso in due unità, chiaramente distinguibili anche su basi morfologiche:
 - le superfici modali delle piane alluvionali recenti o attuali, facenti transizione tra le aree rilevate (dossi) e quelle depresse;
 - i tratti di alveo e i meandri abbandonati.

In corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura si sviluppano suoli da moderatamente profondi a profondi (da 50 a 150 cm), con substrato sabbioso o limo-sabbioso e drenaggio da mediocre a buono.

Nel sistema di valle, invece, si rinvencono suoli molto contrastanti (riflettendo un altrettanto variabile substrato): profondi con tessitura da media a grossolana sulle superfici modali e sottili-moderatamente profondi con tessitura da fine a grossolana e drenaggio da lento a molto lento nei tratti di alveo e meandri abbandonati.

Nella tabella che segue sono riportati i criteri di classificazione utilizzati per la descrizione dei suoli nella legenda della Tavola 2, tratta dalla sopracitata pubblicazione dell’ERSAL (2002).

Profondità (cm)	Scheletro (%)	Carbonati totali (%)	Pietrosità superficiale (utile all'approfondimento radicale)	Dimensione pietre
0 - 25 molto sottili	<1 assente	< 0.5 non calcareo	< 0,1 % scarsa o nulla	Ø < 7,5 cm piccole
25 - 50 sottili	1 - 5 scarso	0.5 - 5 scarsamente calcareo	0,1 - 3 % moderata	Ø 7,5 - 25 cm medie
50 - 100 moderatamente profondi	5 - 15 comune	5 - 10 moderatamente calcareo	3 - 15 % comune	Ø > 25 cm grandi
100 - 150 profondi	15 - 35 frequente	10 - 20 calcareo	15 - 50 % elevata	
> 150 molto profondi	35 - 70 abbondante	> 20 molto calcareo	> 50 % eccessiva	
> 70 molto abbondante				
Saturazione (TSB) (%)	Reazione	Pendenza (%)	Capacità di scambio cationico (CSC) (meq/g)	
<35 molto bassa	<4.5 molto acida	<2 nulla o debole	< 10 bassa	
35 - 49 bassa	4.5 - 5.5 acida	2 - 5 bassa	10 - 20 media	
50 - 75 media	5.6 - 6.5 subacida	5 - 15 moderata	20 - 30 elevata	
>75 alta	6.6 - 7.3 neutra	15 - 25 moderatamente elevata	> 30 molto elevata	
	7.4 - 7.8 subalcalina	25 - 45 elevata		
	7.9 - 8.4 alcalina	45 - 75 molto elevata		
	8.5 - 9.0 molto alcalina	>75 estremamente elevata		
	>9.0 estremamente alcalina			
<p>Tessitura</p>  <p>S e SF grossolana FS grossolana e fine moderatamente grossolana FS m. fine, F, FL, L media FSA, FA, FLA moderatamente fine A, AS, AL fine</p>				
<p>Drenaggio</p> <p>Rapido: l'acqua è rimossa dal suolo molto rapidamente; presenza di falda o falda sospesa rara o molto profonda, tessitura comunemente grossolana e permeabilità elevata; suoli in pendenza molto sottili.</p> <p>Moderatamente rapido: l'acqua è rimossa dal suolo rapidamente; presenza di falda o falda sospesa rara o molto profonda, tessitura comunemente grossolana e permeabilità moderatamente elevata; suoli in pendenza e sottili.</p> <p>Buono: l'acqua è rimossa prontamente dal suolo, ma non rapidamente; falda o falda sospesa profonda se transitoria o molto profonda se da transitoria a permanente; permeabilità moderata. Durante la stagione di crescita l'acqua facilmente disponibile non è mai in difetto ed eventuali brevi periodi di surplus di bilancio idrico non inibiscono in modo significativo la crescita delle radici. I suoli sono generalmente privi di caratteri redossimorfici che possono eventualmente manifestarsi oltre il metro di profondità.</p> <p>Mediocre: in alcuni periodi dell'anno l'acqua è rimossa dal suolo piuttosto lentamente; falda o falda sospesa moderatamente profonda se transitoria, o profonda se da transitoria a permanente; permeabilità moderatamente bassa o più bassa in uno strato entro il metro di profondità; clima umido caratterizzato da periodiche forti precipitazioni.</p> <p>Lento: l'acqua è rimossa lentamente dal suolo il quale è periodicamente bagnato per periodi significativi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa poco profonda se transitoria, o moderatamente profonda se da transitoria a permanente; permeabilità bassa o molto bassa; apporti idrici quasi continui.</p> <p>Molto lento: l'acqua è rimossa così lentamente che i suoli sono periodicamente bagnati a poca profondità per lunghi periodi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa persistente poco profonda o superficiale, eventualmente transitoria; permeabilità bassa o molto bassa; apporti idrici quasi continui.</p> <p>Impedito: l'acqua è rimossa così lentamente che i suoli sono periodicamente bagnati in superficie o in prossimità di questa per lunghi periodi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa superficiale persistente o permanente; giacitura depressa concava e priva di drenaggio esterno; elevati apporti idrici praticamente continui, associati anche a suoli in pendenza.</p>				

7. RETICOLATO IDROGRAFICO

Per effetto dell'art. 1 della L. 36/94 e del successivo regolamento di applicazione (DPR 238/99), il concetto di acqua pubblica è stato innovato rispetto al vecchio T.U. n. 1775/1933, introducendo nell'ordinamento il principio di pubblicità di tutte le acque superficiali e sotterranee. La L.R. 1/2000, in attuazione del D.Lgs. n. 112/98, ha previsto l'obbligo per la Regione di individuare il reticolo principale sul quale la Regione stessa continuerà a svolgere le funzioni di polizia idraulica (ex R.D. n. 523/1904), trasferendo ai comuni o ai consorzi le competenze sul reticolo idrico minore e su quello principale di bonifica.

Il Comune di San Fiorano, sulla base dei disposti della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 "Determinazione del reticolo idrico principale..." e della successiva modifica con D.G.R. n. 7/13950 del 01.08.2003, ha già definito e sottoposto ad approvazione il reticolo idrico di propria competenza e il relativo regolamento di gestione.

Nella Carta del Reticolo Idrografico di Tavola 3, estratta dallo specifico studio, è stato perciò individuato l'intero reticolato idrografico, suddiviso per competenza.

7.1 Il reticolo idrico del Comune di San Fiorano

L'analisi morfologica del territorio comunale di San Fiorano ha condotto all'individuazione di due unità topograficamente e morfologicamente distinte, separate dalla netta scarpata che si sviluppa con direzione media NW-SE passando a SW del capoluogo: il lineamento morfologico terrazza il Livello Fondamentale della Pianura sulla più recente depressione valliva del fiume Po.

La prima unità morfologica (Piano Generale Terrazzato) si presenta come una superficie sub-pianeggiante, modestamente immergente verso S e caratterizzata da una significativa monotonia planare; nel sottosuolo la falda idrica si sviluppa a profondità variabile ed il reticolato idrografico, alimentato per intero da derivazioni poste a N del territorio comunale, assolve principalmente la funzione irrigua e quella di raccolta delle acque di colo in occasione di precipitazioni meteoriche o durante la stagione irrigua.

L'area S-occidentale del territorio comunale, articolata a valle delle scarpata morfologica principale, occupa la depressione olocenica ed è caratterizzata da un reticolo alimentato quasi esclusivamente dalle acque di colo e da quelle di drenaggio di una falda poco soggiacente. La

“bassa pianura” di San Fiorano, infatti, è il risultato di importanti modificazioni idrogeomorfologiche e di interventi di bonifica dei terreni che, un tempo, erano di pertinenza fluviale del Po e dei suoi affluenti: le acque che anticamente insistevano sul territorio di San Fiorano a valle della scarpata morfologica principale provenivano in parte dal reticolato idrografico del sovrastante terrazzo ed in parte da fenomeni di esondazione, da fenomeni di alimentazione e filtrazione dei corsi d’acqua e da fenomeni di affioramento della falda idrica sotterranea. Gli interventi di bonifica e difesa idraulica, pertanto, hanno raggiunto lo scopo di migliorare il drenaggio di aree topograficamente depresse e di proteggere estesi lembi di pianura dalle esondazioni del Po.

Un intenso intervento di trasformazione del territorio si è avuto solo dopo la costituzione del Consorzio di Bonifica della Bassa Lodigiana, avvenuta con Decreto Ministero LL.PP. nel 1928 ai sensi del R.D. del 1923, come trasformazione del preesistente Consorzio idraulico del Po e del Lambro.

Questa riorganizzazione ha portato da una parte ad una difesa dal fiume Po con nuovi argini e, dall’altra, ad un’opera di bonifica basata proprio sul concetto della divisione tra “acque alte” (ovvero quelle provenienti dal Piano Generale Terrazzato) e “acque basse”; esistono pertanto due reticoli idrografici topograficamente separati: quello di irrigazione, sviluppato sul Piano Generale Terrazzato, e quello di bonifica, sviluppato all’interno della depressione valliva del fiume Po ed interamente afferente (in modo diretto o attraverso impianti di sollevamento) al Collettore Generale di Bonifica. Il Collettore è composto dai corsi del Canale Ancona, del Canale Mortizza, del Canale Allacciante e del Canale Gandiolo, con origine nel Comune di Orio Litta e foce nel fiume Po a Castelnuovo Bocca d’Adda dopo un percorso complessivo di circa 37 chilometri.

Nel complesso, il reticolato idrografico minore e di bonifica del territorio di S. Fiorano (il reticolo principale è assente dal territorio comunale) presenta una modesta pendenza (ad eccezione dei tratti in cui attraversa la scarpata morfologica principale), riducendo a valori minimi sia i fenomeni di trasporto solido, sia quelli di erosione e/o di deposizione all’interno delle aste dei corsi d’acqua.

L’osservazione circa il generale stato di equilibrio dei corsi d’acqua ha assunto particolare significato soprattutto nella definizione delle fasce di rispetto del reticolo idrico minore: nella stesura del Regolamento Locale, infatti, per i corsi d’acqua appartenenti al reticolo idrico minore di competenza comunale è stata proposta (e approvata) una ripermimetrazione da 10 m a

4 m della fascia di rispetto prevista dall'art. 96 del T.U. n. 523/1904, fatta eccezione per la Roggia Fossadazzo che presentava serie problematiche di natura idraulica.

Il corso d'acqua, infatti, si sviluppa con direzione N-S attraversando il centro abitato dopo aver raccolto molteplici colature e gli scarichi della rete fognaria di Codogno. Nei pressi dell'abitato di San Fiorano (in corrispondenza della S.P. 116), il Fossadazzo subiva gli effetti di una sezione di deflusso sottodimensionata, seguita, immediatamente a valle, da erosione sulle sponde lungo l'attraversamento della scarpata morfologica principale.

Attraverso molteplici interventi del Comune di San Fiorano, tali problematiche sono state in larga misura risolte negli ultimi anni, adeguando la sezione di deflusso in corrispondenza dell'attraversamento della S.P. 116 e proteggendo le sponde con opere di difesa antierosiva.

Al fine di ridurre le portate affluenti nel Fossadazzo, inoltre, è stato realizzato un canale scolmatore (che si attiva nei momenti di criticità) in grado di derivare l'acqua della Roggia Guardalobbia-Battaina direttamente nel Colatore Costa, bypassando il tratto di Fossadazzo che attraversa il capoluogo di San Fiorano. Seppur non inserito nel reticolo idrico (in quanto realizzato successivamente agli atti di approvazione del Reticolo Idrico Minore), lo scolmatore è stato debitamente cartografato nella Tavola 3 (Carta del Reticolo Idrico), in quanto elemento di salvaguardia per il territorio e, in particolare, per il centro abitato di San Fiorano e, come tale, da assoggettare a specifica tutela.

8. IDROGEOLOGIA

8.1 Caratteristiche idrogeologiche generali

Come accennato in precedenza, la geologia del sottosuolo comprende notevoli variazioni laterali e verticali in funzione degli eventi che hanno interessato la zona nel Quaternario.

Le condizioni idrogeologiche vigenti nel sottosuolo della provincia di Lodi risultano estremamente eterogenee a causa delle notevoli complicazioni strutturali che hanno interessato il basamento marino e delle dirette ripercussioni sullo sviluppo dei sovrastanti sedimenti alluvionali. Il territorio, infatti, è suddivisibile in aree in cui la coltre alluvionale raggiunge potenti spessori (ricche di acquiferi) e da altre relativamente meno potenti (più povere di acquiferi); a grandi linee, le prime coincidono con gli assi delle sinclinali sepolte, mentre le altre coincidono con gli assi delle strutture positive, il cui orientamento generale è ONO-ESE. Situazioni sfavorevoli allo sviluppo di potenti orizzonti acquiferi, pertanto, si verificano lungo gli allineamenti S. Colombano-San Fiorano e Pizzighettone-Secugnago, coincidenti con gli assi di strutture anticlinali sepolte. All'interno di tali fasce, le alluvioni permeabili (alternate a setti argillosi) sono numericamente ridotte e male alimentate poiché le dorsali sepolte, modellate per la massima parte in rocce non permeabili (coincidenti con il basamento marino), contrastano e deviano il flusso idrico proveniente dall'alta pianura. Il caso limite di questa situazione si riscontra in corrispondenza del Colle di S. Colombano, in cui la struttura, modellata in terreni terziari emersi oltre la quota del Livello Fondamentale della Pianura, funge da barriera idrogeologica e modifica sostanzialmente la direzione di deflusso delle acque presenti nel sottosuolo.

La successione idrogeologica a scala regionale è tradizionalmente definita da tre unità distinte, dalla più recente (e superficiale) alla più antica, nel seguente modo:

1. Unità ghiaioso-sabbiosa: è rappresentata nella parte più settentrionale del territorio padano dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud alle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti. Essa rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione tipicamente continentale, fluviale e fluvio-glaciale. E' costituita da granulometrie progressivamente più fini da N a S ed il colore dei sedimenti denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più

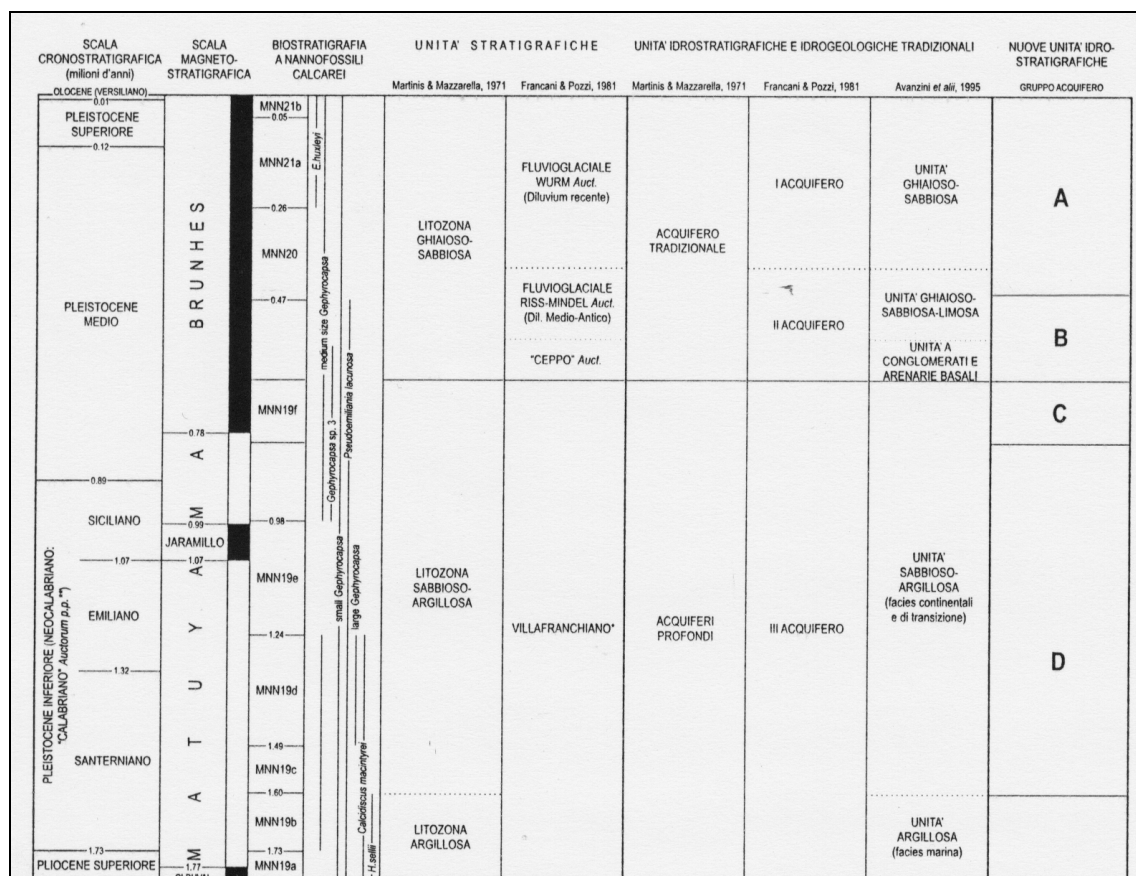
- importante e tradizionalmente utilizzata, in quanto caratterizzata da valori di permeabilità molto elevati.
2. Unità sabbioso-argillosa: sottostante alla litozona ghiaioso-sabbiosa, è da questa separata da un contatto graduale e di difficile individuazione. E' suddivisibile in due sub-unità, la prima costituita da argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitosi (caratteristica di ambienti fluvio-palustri), la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità è molto variabile nelle due sub-unità in funzione della granulometria.
 3. Unità argillosa: è l'unità più profonda e più antica nell'ambito dei sedimenti quaternari e corrisponde a condizioni di sedimentazione tipicamente marine. Presenta permeabilità scarsa o nulla con rari livelli acquiferi; viene generalmente considerata il substrato idrogeologico delle unità soggette ad eventuali captazioni.

L'intera successione quaternaria dunque, viene interpretata come fase terminale del progressivo riempimento del bacino padano, con condizioni di sedimentazione da marine a continentali.

Sulla scorta di tale osservazione ed applicando i criteri della Sequence Stratigraphy, la Regione Lombardia, in collaborazione con ENI (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, 2002), ha recentemente classificato le unità acquifere del sottosuolo sotto forma di "Sequenze Deposizionali" (sensu Mitchum et Al., 1977).

Il bacino padano viene così ridefinito in nuove Unità Idrostratigrafiche ("Gruppi Acquiferi"), secondo quanto schematizzato di seguito.

In corrispondenza del Comune di San Fiorano, lo studio sopra citato indica, per la base del Gruppo Acquifero A, una quota di circa -150 m s.l.m., stretto tra due "sollevamenti" verso quote superiori sia in direzione N che S (probabile effetto del condizionamento strutturale di due assi anticlinalici modellati nel substrato pre-quaternario sepolto).



Schema dei rapporti stratigrafici
(Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002)

8.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale

La presenza di acqua nel sottosuolo del territorio comunale di San Fiorano, come per l'intero territorio lodigiano, è legata ad aspetti climatici ed antropici, nonché a caratteristiche strutture stratigrafiche e deposizionali che ne governano l'accumulo ed il transito.

Nel tentativo di ricostruire le geometrie del complesso acquifero sotterraneo è stata realizzata e presentata una sezione litostratigrafica orientata circa W-E (Tavola 5).

Dall'esame delle stratigrafie disponibili e della sezione litostratigrafica realizzata si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale nel quale i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, si alternano a livelli impermeabili. Tuttavia, la scarsa disponibilità di informazioni profonde (le stratigrafie più profonde si limitano a circa 100 m di profondità) e la scadente qualità delle stesse non consentono di definire con precisione le geometrie degli acquiferi localmente sviluppati oltre una certa profondità.

Nonostante ciò, si rileva come a scala sovracomunale si sviluppi un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

1. un circuito più superficiale, che nel sottosuolo di San Fiorano assume caratteristiche da freatiche a confinate (laddove affiorano significative coperture fini) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);
2. un circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo viene favorito un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Secondo i dati disponibili, il circuito superficiale sembra svilupparsi fino alla quota di circa 30 m s.l.m. sulla verticale del capoluogo (con un approfondimento in direzione E), profondità alla quale compaiono i primi orizzonti di spessore e continuità laterale ragguardevole: ne consegue che il circuito idrogeologico superficiale è ospitato entro un primo deposito sabbioso che, sulla verticale di San Fiorano, presenta uno spessore di circa 30 m. Eventuali orizzonti impermeabili più superficiali, non superando la scala locale, non separano circuiti

idrogeologici differenti, bensì rappresentano semplici prodotti locali di ambienti deposizionali di differente energia.

Spostandosi a valle della scarpata morfologica, la sezione litostratigrafica allegata evidenzia schematicamente alcune superfici d'erosione, corrispondenti al contatto tra i depositi wurmiani (fW) e quelli olocenici del Po e del Lambro (a2). Tuttavia, nella sezione di Tavola 5 e in mancanza di informazioni stratigrafiche di maggior dettaglio, le geometrie delle superfici di discontinuità sono accennate solamente in modo schematico.

Per quanto concerne il P.T.U.A. della Regione Lombardia, esso assume il modello interpretativo già proposto da vari Autori (Martinis & Mazzarella, 1971; Francani & Pozzi, 1981), secondo il quale la struttura acquifera viene suddivisa in acquifero tradizionale (Unità ghiaioso-sabbiosa) e in acquifero profondo (Unità sabbioso-argillosa). Nell'acquifero tradizionale si riconosce una struttura superficiale (o primo acquifero) separata da una sottostante (o "secondo acquifero", anch'esso appartenente all'acquifero tradizionale). Per il bacino Adda-Oglio, settore 24 (a cui appartiene il Comune di San Fiorano), l'orizzonte di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell'acquifero tradizionale è posto alla quota media di circa 30-25 m s.l.m. (dedotto dall'interpolazione delle isolinee di cui alla Tavola 3 del P.T.U.A.), confermando così i dati stratigrafici disponibili e il modello innanzi esposto.

Il Programma di Tutela e Uso delle Acque (P.T.U.A.) della Regione Lombardia, inoltre, definisce per il settore 24 il seguente bilancio idrico:

SETTORE 24			
Prelievo medio areale		1.01 l/s km²	
Elementi del bilancio idrico:			
Entrate:			
Afflusso della falda da monte	Settore n. 21	0,30	(m³/s)
Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni)		5,17	(m³/s)
TOTALE		5,47	(m³/s)
Uscite:			
Drenaggio del fiume Lambro		0,70	(m³/s)
Drenaggio fiumi Adda e Po		4,30	(m³/s)
Prelievi da pozzo		0,47	(m³/s)
Fontanili		0,00	(m³/s)
TOTALE		5,47	(m³/s)

Per lo stesso settore viene definita una Classe Quantitativa “A” (rapporto prelievi-ricarica=0.1), corrispondente a una situazione di compatibilità fra disponibilità e uso della risorsa sotterranea, ovvero un uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.

8.3 Censimento e catalogazione dei pozzi

Considerato che in un'area di pianura la principale fonte di approvvigionamento idrico è costituita da pozzi, l'indagine idrogeologica è stata orientata sin dall'inizio alla ricerca e classificazione delle opere di captazione.

E' stato svolta una ricerca della documentazione esistente presso i principali istituti ed enti, pubblici e privati, che in qualche modo hanno "rapporti" con le acque sotterranee o che si occupano della loro gestione: i pozzi cartografati nella Tavola 4 sono quelli censiti presso il Sistema Informativo Falda (S.I.F.) delle Province di Milano e Lodi.

La ricerca è stata finalizzata anche all'individuazione di tutte quelle informazioni che, con buona approssimazione, consentissero la ricostruzione dell'assetto idrogeologico e piezometrico locale.

I pozzi censiti, con relativa numerazione, ubicazione e profondità, sono riportati nella tabella seguente che ne consente una facile individuazione sulla cartografia di Tavola 4.

TABELLA POZZI					
Codice SIF	Ente	X	Y	Uso	Profondità
980470027	Privato	1556137	4997925	d	18
980470028	Privato	1556497	4998293	dis	13
980470031	Privato	1556135	4996673	p	16
980470032	Privato	1555466	4997070	p	20
980470035	Privato	1556412	4998207	d	16
980470036	Privato	1556405	4998619	ir	22
980470037	Privato	1555630	4996923	ir	16
980470038	Privato	1556182	4999423	dis	18
980470040	Privato	1556188	4999482	p	22
980470042	Privato	1557931	4999099	p	16
980470043	Privato	1556218	4999397	p	20
980470044	Privato	1555682	4996679	p-z	18
980470045	Privato	1556217	4999802	d	18
980470046	Privato	1555186	4997535	p	30
980470047	Privato	1558235	4999601	p	20
980470048	Privato	1554822	4997355	d	16
980470049	Privato	1556682	4998157	d	15
980470050	Privato	1554788	4998086	p	14
980470051	Privato	1555617	4997365	p	23
980470056	Privato	1554888	4997364	p	15
980470057	Privato	1556134	4999800	d	22

980470058	Privato	1556461	4998588	p	20
980470059	Privato	1556686	4998225	dis	13
980470060	Privato	1554811	4998131	p	20
980470061	Privato	1555335	4997973	p-z	20
980470062	Privato	1557082	4998538	p	15
980470063	Privato	1557450	4998013	p-z	20
980470064	Privato	1557863	4999129	z	20
980470066	Privato	1557878	4999142	z	35
980470068	Privato	1555729	4996537	p	14
980470069	Privato	1554744	4997434	p	18
980470070	Privato	1555510	4997079	p	20
980470072	Privato	1556148	4996752	p	15
980470075	Privato	1554695	4998317	z	22
980470076	Privato	1555572	4997390	p	20
980470077	Privato	1554827	4997321	p	20
980470079	Privato	1554423	4997984	p	15
980470080	Privato	1556950	4998293	ir	26
980470081	Privato	1554778	4997364	p-z	35
980470082	Privato	1556160	4996753	p	14
980470083	Privato	1556695	4998236	d	16
980470084	Privato	1554348	4997532	p	16
980470085	Privato	1554618	4998327	p	6
980470087	Privato	1556114	4999693	i	30
980470088	Privato	1555372	4997928	p-z	30
980470089	Privato	1557145	4998493	p	15
980470090	Privato	1556807	4998027	dis	14
980470091	Privato	1554755	4997502	p-z	26
980470092	Privato	1557457	4998027	p-z	26
980470093	Privato	1555240	4998872	p	22
980470094	Privato	1557870	4999077	p	25
980470096	Privato	1555700	4996638	p	18
980470098	Privato	1556870	4998142	d	16
980470100	Privato	1556130	4996712	p	18
980470101	Privato	1555690	4996532	p	30
980470102	Privato	1556050	4997914	p-z	23
980470103	Privato	1554618	4998327	dis	13
980470104	Privato	1554788	4997328	p-z	20
980470105	Privato	1554682	4997497	p-z	18
980470106	Privato	1556285	4998980	d	18
980470107	Privato	1556358	4998910	d	18
980470108	Privato	1556120	4997956	p	30
980470109	Privato	1555160	4997563	p	20
980470110	Privato	1555118	4997550	p	20
980470111	Privato	1555592	4996920	p-ir	25
980470112	Privato	1555717	4996536	p	16
980470113	Privato	1555968	4997237	p	18
980470114	Privato	1555982	4997243	dis	13
980470115	Privato	1556163	4996683	d	18
980470116	Privato	1556487	4997720	p	25
980470117	Privato	1557942	4999137	p-z	30
980470118	Privato	1554720	4998106	p	25
980470119	Privato	1557200	4998410	d	30

8.4 Indagine Piezometrica

La Carta Idrogeologica (Tav. 4) rappresenta la situazione rilevata nel mese di gennaio 2008 attraverso una campagna di misure piezometriche effettuate direttamente nei pozzi (laddove accessibili a sonda freaticometrica). La ricostruzione delle isopiezometriche descrive una generale direzione di flusso sotterraneo orientata NNW-SSE e conferma l'effetto drenante esercitato dal Fiume Po nei confronti del circuito idrogeologico più superficiale.

L'assetto piezometrico si traduce anche in termini di soggiacenza della superficie piezometrica, i cui valori maggiori (prossimi a 10 m) si rilevano ai margini del Piano Generale Terrazzato; i valori più bassi, invece, si riscontrano a valle del terrazzo wurmiano, con valori minimi (anche inferiori a 2 m) in corrispondenza del piede della scarpata.

Nella carta di tavola 4, sulla base dei rilievi e delle considerazioni di cui sopra, il territorio è stato suddiviso per classi di soggiacenza della superficie piezometrica, ovvero:

1. Soggiacenza superiore a 5 m, in corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura, con valori massimi di circa 10 m (in prossimità del bordo del terrazzo); ovviamente sono possibili locali variazioni dei valori di soggiacenza laddove i fenomeni morfologici, quali le incisioni del reticolo idrico secondario (Roggia Fossadazzo) ribassano la quota del piano campagna.
2. Soggiacenza compresa fra 2 e 5 m, diffusa in una vasta area della piana olocenica.
3. Soggiacenza inferiore a 2 m, limitata a una porzione di territorio immediatamente a valle della scarpata morfologica e in corrispondenza delle aree incise sul terrazzo olocenico (paleovalvei).

Quanto sopra, pertanto, conferma come il sistema idrografico di superficie ed il complesso delle acque sotterranee siano fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio, soprattutto a valle delle scarpate che terrazzano il Livello Fondamentale della Pianura: tale fattore gioca un importante ruolo sull'acquifero in termini di variazioni periodiche della superficie piezometrica in funzione sia delle oscillazioni idrometriche dei corpi idrici, sia dei cicli meteorologici ed irrigui annuali. Nonostante ciò, in tutto il territorio comunale, così come in un suo intorno significativo, non sono note registrazioni sistematiche delle oscillazioni piezometriche che consentano di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di deflusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione

annuale) e nel lungo periodo. Tuttavia, visto il particolare contesto morfologico ed idrogeologico, si esclude che la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo sostanziale le linee di deflusso sotterraneo sul territorio comunale.

8.5 Vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità degli acquiferi è definita dalla possibilità di infiltrazione e propagazione degli agenti inquinanti provenienti dalla superficie o da altre falde più superficiali già compromesse.

Questo concetto implica uno stato di potenziale minaccia della qualità originaria delle acque sotterranee, determinato unicamente dalle condizioni ambientali, sia naturali che antropiche, esistenti e indipendenti dalle sorgenti inquinanti.

Considerando la possibilità di accesso verso le falde profonde di potenziali agenti inquinanti, appare evidente come i sedimenti permeabili offrano scarse difese mentre per gli acquiferi più profondi si riscontrano buone condizioni di isolamento e protezione. Hanno infatti un peso preponderante i seguenti fattori geologici e idrogeologici:

- la idro-litologia (ovvero il tipo e il grado di permeabilità verticale e orizzontale, che determina la velocità di percolazione dell'inquinante e l'azione di attenuazione insita nei diversi terreni);
- il tipo e lo spessore di un'eventuale copertura fine a bassa permeabilità, elemento di protezione per l'acquifero sottostante;
- la soggiacenza della superficie piezometrica media dell'acquifero, la quale definisce lo spessore della zona insatura (direttamente proporzionale all'azione di autodepurazione);
- le condizioni di interscambio da parte di corsi d'acqua naturali e di canali artificiali, veicoli di inquinanti.

Allo scopo di quantificare i fattori sopra citati, e conseguentemente la vulnerabilità degli acquiferi, sono stati integrati i dati a disposizione.

Una prima valutazione trova riscontro nelle misure della soggiacenza del tetto della falda dal piano campagna; al proposito si rammenta come la campagna di misure piezometriche abbia evidenziato delle aree a soggiacenza caratteristica, come illustrato nel paragrafo precedente e rappresentato in Tavola 4.

In relazione alla permeabilità verticale e orizzontale dell'acquifero superficiale e del mezzo insaturo sovrastante, non esistono dati differenti rispetto alle semplici osservazioni granulometriche: ai depositi superficiali sono associabili valori di permeabilità secondo i criteri stabiliti in bibliografia.

Tipo di terreno	K (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} \div 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Limo	$10^{-8} \div 10^{-6}$
Argilla omogenea al disotto della falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} \div 10^{-4}$

Valori orientativi del coefficiente di permeabilità “K” (da “Lancellotta, 1987)

La pratica geotecnica, infatti, insegna come nei terreni sciolti la permeabilità sia controllata, oltre che dall’uniformità del terreno e dal suo stato di addensamento (Prugh, 1959), soprattutto dalla granulometria della frazione più fine (Hazen, 1911). Nella Tavola 4 sono state cartografate le aree per classi di permeabilità secondo il seguente criterio di valutazione:

k (cm/s)	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

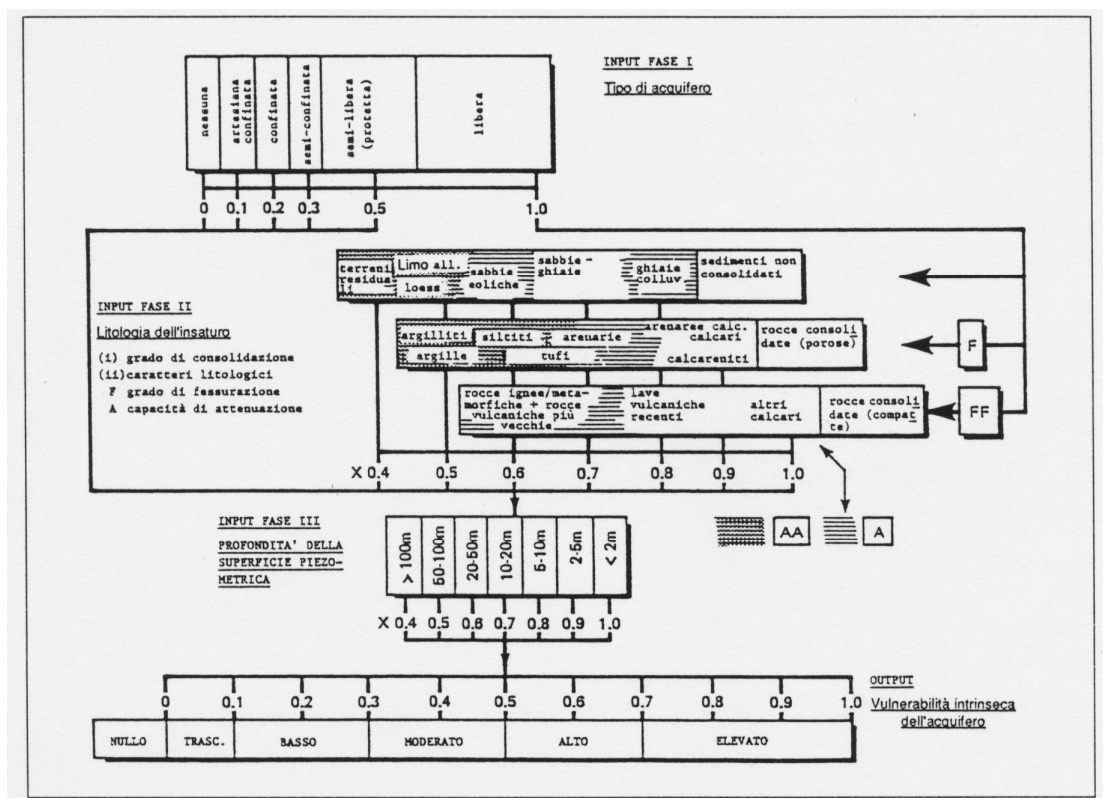
Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

Sul Livello Fondamentale della Pianura si sviluppano depositi superficiali con permeabilità da bassa-discreta (zone di affioramento di coperture limose o limo-argillose) a discreta-buona. A valle della scarpata morfologica la permeabilità dei depositi superficiali è generalmente da discreta a buona (sabbia prevalente), sebbene possa risultare localmente condizionata e ridotta da coperture fini di natura limosa o argillosa distribuite in modo imprevedibile secondo

meccanismi caratteristici degli ambienti deposizionali di tipo fluviale entro i quali è avvenuta la messa in posto dei terreni.

Inquadrando i parametri rilevati (idro-litologia, tipo di copertura dell'acquifero e soggiacenza della superficie piezometrica), l'acquifero più superficiale è stato valutato anche in termini di vulnerabilità intrinseca attraverso il metodo GOD (messo a punto dal British Geological Survey - Foster, 1987) che rappresenta, secondo le indicazioni del C.N.R., uno dei più importanti ed utili nel settore (Civita, 1994).

Il metodo GOD utilizza come dati d'ingresso tre proprietà dell'acquifero (indicizzate), il cui prodotto ne rappresenta la vulnerabilità; ovviamente la valutazione è solamente di tipo puntuale ma, stimando le condizioni medie, restituisce con affidabilità la vulnerabilità idrogeologica del territorio.



Il metodo empirico GOD per la valutazione della vulnerabilità intrinseca (da "Foster e Hirata, 1988" in "Civita, 1994")

Le tre proprietà indici utilizzate dal metodo GOD sono: il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturo e la profondità della superficie piezometrica.

Il metodo è stato applicato integrando le informazioni disponibili ed ha condotto alla definizione delle seguenti classi di vulnerabilità:

1. VULNERABILITA' DA TRASCURABILE A BASSA (Livello Fondamentale della Pianura, settore centro-settentrionale del territorio comunale) – L'acquifero è confinato o semiconfinato e la sua vulnerabilità è mitigata sia dalle coperture limose o limo-argillose diffuse, sia da una superficie piezometrica con soggiacenza superiore a 5 m.
2. VULNERABILITA' DA MODERATA AD ALTA (Livello Fondamentale della Pianura, settore meridionale del territorio comunale) – La vulnerabilità dell'acquifero, privo di significative coperture fini, è mitigata esclusivamente dalla soggiacenza della superficie piezometrica (con valori prossimi a 10 m).
3. VULNERABILITA' DA ALTA AD ELEVATA (piana alluvionale olocenica) – Gli indici di vulnerabilità dell'acquifero variano in funzione della profondità della superficie piezometrica e della permeabilità dei terreni di copertura. Nonostante la locale presenza di terreni superficiali a ridotta permeabilità, la marcata variabilità tessiturale e granulometrica dei depositi (funzione dei meccanismi deposizionali responsabili della loro messa in posto), tuttavia, non garantisce un reale confinamento dell'acquifero su ampie aree.

Sulla base di quanto esposto si evince come la vulnerabilità intrinseca costituisca un fattore caratteristico per il Comune di San Fiorano, parzialmente limitante nella pianificazione: sarà pertanto necessario valutare puntualmente la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero ogni volta che ci si appresta alla progettazione di attività potenzialmente impattanti sulle acque sotterranee (depuratori, stoccaggi di sostanze inquinanti, dispersione di fanghi, attività estrattive, ecc.).

Con il termine di “vulnerabilità intrinseca”, infatti, viene generalmente indicata la sensibilità specifica dell'acquifero nei confronti di agenti inquinanti liquidi o idroveicolabili, i quali possono venire dispersi a campagna o immessi nelle acque superficiali. Associando al grado di vulnerabilità la presenza di potenziali fonti di inquinamento, presenti nonostante la naturale vocazione agricola del territorio, sarà possibile determinare il livello di rischio idrogeologico degli acquiferi presenti in una certa area.

9. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

9.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di San Fiorano

L'Ordinanza 3274 e s.m.i. stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio italiano, in risposta sia all'adeguamento del territorio rispetto alle nuove conoscenze scientifiche in materia sismica (acquisite dopo la precedente legge di indirizzo sismico del '74), sia al ripetersi di eventi calamitosi che hanno interessato anche zone non classificate come sismiche (sempre facendo riferimento alla Legge 64/74). La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione sismica proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

In linea generale, la valutazione del rischio sismico deriva da una stima delle conseguenze al sistema socio-economico locale potenzialmente derivanti dal terremoto considerato "probabile" nell'area di riferimento. Nella valutazione del rischio sismico, pertanto, l'aspetto principale consiste nella definizione della pericolosità sismica, ovvero la descrizione della possibile attività sismica ottenuta assegnando, in ogni area, le grandezze rappresentative del moto del suolo.

Come innanzi premesso, una prima classificazione della pericolosità sismica è stata ottenuta a scala nazionale suddividendo il territorio in zone sismiche: tale semplificazione, sebbene riduttiva, è risultata necessaria per l'applicazione di norme tecniche aventi come obiettivo un adeguato livello di protezione sismica.

Il primo atto formale di classificazione del territorio nazionale risale al 1909 (dopo il forte terremoto che investì l'area calabro-messinese il 28 dicembre 1908), con il quale vennero definite le norme tecniche per la ricostruzione nelle aree colpite dal sisma e individuate le zone nelle quali tali norme dovevano applicarsi in ambito edilizio.

L'aspetto più significativo dal punto di vista della zonazione sismica era rappresentato dall'estensione della zona interessata dal Decreto del 1909: oltre all'area dello Stretto di Messina, che presentava i maggiori danni, vi erano incluse parte della provincia di Messina e tutta la Calabria. Tale strumento derivava anche dal ricordo del terremoto che aveva colpito il

golfo di Santa Eufemia nel 1905 e, soprattutto, dei terremoti che avevano sconvolto la Calabria nel 1783.

La normativa sismica non vide sostanziali novità fino al 1925, quando un forte terremoto investì un tratto della costa marchigiana, a nord di Ancona, successivamente classificata a rischio sismico.

Al Decreto del 1925 fece seguito nel 1927 un nuovo Decreto di notevole ampiezza, il quale classificava tutte le località colpite da terremoti in due categorie distinte, in relazione al loro grado di sismicità ed alle loro caratteristiche geologiche.

Risale al 1962 la Legge che, per la prima volta, dettò le “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” le quali, contrariamente alle precedenti finalizzate alla ricostruzione delle zone colpite da terremoto, assunsero un significato di prevenzione sismica.

Il terremoto nel Belice del 1968 e quello nel Friuli del 1976 condussero ad una classificazione con l'introduzione di un elemento di novità, costituito dal criterio utilizzato per distinguere le zone di prima e di seconda categoria. In precedenza, infatti, tale distinzione era abbastanza casuale, basata su un giudizio di gravità del danno; nei decreti del 1976 e 1979, invece, la classificazione si basava sul valore della probabilità di superamento di assegnate soglie dell'accelerazione del suolo in un prefissato intervallo di tempo.

Il terremoto Irpino-Lucano del 1980 segnò la svolta decisiva nella storia della classificazione sismica in Italia: il grande impatto sull'opinione pubblica e la constatazione che le zone colpite dal terremoto erano in gran parte non classificate, condussero il Ministero dei Lavori Pubblici alla proposta di riclassificazione elaborata nell'ambito del Progetto finalizzato geodinamica del CNR attraverso una serie di Decreti emanati tra il 1981 ed il 1984. La nuova classificazione si basò per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale, come la soglia di sismicità, l'intensità risentita e la scuotibilità, e prevede la suddivisione in tre categorie con grado di severità sismica decrescente dalla prima alla terza.

Nell'aprile 1997, la Commissione per la previsione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile decise di istituire un gruppo di lavoro con l'obiettivo di formulare una proposta di aggiornamento della classificazione sismica nazionale, anche alla luce di nuove ricerche e dell'esperienza di altri paesi.

La nuova classificazione, denominata “Proposta 98”, determinò la suddivisione del territorio nazionale sempre nelle tre categorie sismiche a cui si aggiunse una categoria ulteriore per i comuni non classificati; l'appartenenza di un'area ad una particolare categoria sismica

avvenne sulla base di parametri quantitativi legati al moto del suolo previsto (approccio probabilistico):

1. l'accelerazione massima del terreno a_{\max} (detta anche PGA) con il 10% di probabilità di essere superata in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata nella carta della pericolosità sismica (Slejko et al. 1998);
2. l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità, detto "intensità di Housner";
3. il valore della massima intensità sperimentata nell'ultimo millennio.

In seguito al terremoto del 31 ottobre 2002 che provocò a San Giuliano di Puglia il crollo di una scuola e al verificarsi di eventi sismici calamitosi in zone non classificate sismiche (il Comune di San Giuliano di Puglia era classificato come non sismico) sono stati emanati i "Criteri per l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche" e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica (OPCM 3274 del 20 marzo 2003).

Rispetto alle classificazioni precedenti, l'O.P.C.M. 3274 stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio nazionale utilizzando e aggiornando la classificazione sismica proposta nel 1998. La nuova classificazione è articolata in 4 zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (si veda la tabella 9.1), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, a ciascuna area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di protezione sismica.

In ottemperanza all'art. 2 della OPCM 3274 e s.m.i. e secondo quanto disposto dal D.Lgs n. 112/1988 che attribuiva alle Regioni la competenza di classificare il territorio secondo criteri generali, la Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto ad aggiornare i propri elenchi delle zone sismiche.

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in coincidenza con quella delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005).

A far tempo da tale data è quindi vigente la classificazione sismica del territorio nazionale; per la Regione Lombardia la classificazione sismica è mostrata in figura 9.1:

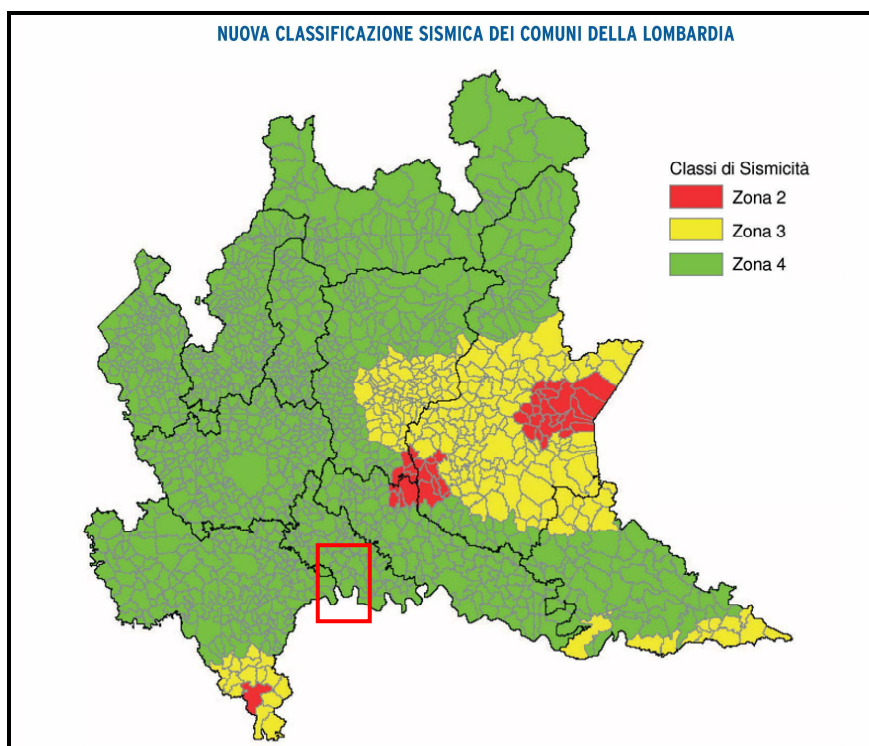


Figura 9.1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di San Fiorano appartiene alla **zona sismica 4** e risulta identificato da un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento con la probabilità del 10 % di essere superato nei prossimi 50 anni (periodo di ritorno uguale a 475 anni) pari a 0.05g.

Zona	Valori di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tabella 9.1: valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica.

Sebbene la nuova classificazione preveda che ogni area del territorio nazionale sia classificata e identificata da una valore soglia di pericolosità sismica, si delineano alcune criticità:

- le Regioni sollecitate dalla O.P.C.M. 3274 hanno classificato il proprio territorio basandosi su precedenti studi di pericolosità sismica, soprattutto quelli prodotti nell'ambito del gruppo di lavoro del 1998, e hanno inserito i comuni non classificati in zona 4 senza valutare i livelli di accelerazione attesi;
- come disposto dalla O.P.C.M. 3274 e s.m.i. e dal D.M. 14.09.2005, la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale è stata aggiornata sulla base di nuovi dati utilizzando approcci leggermente differenti rispetto a quelli utilizzati per la redazione della mappa elaborata nel 1998 (INGV, 2006 – OPCM 351/06); questo ha determinato, per alcune aree, la presenza di valori di a_g diversi rispetto a quelli previsti dalla classe sismica di appartenenza.

Sulla base di quanto sopra riportato, risulta che la classificazione sismica del territorio nazionale è il risultato di una semplificazione nella valutazione dei livelli di pericolosità sismica che, seppur necessaria per l'applicazione di una prima normativa di riferimento, deve essere considerata come punto di partenza per la realizzazione di studi sismici a maggior dettaglio e a minor scala (*microzonazione sismica*), soprattutto in fase di pianificazione urbanistica. In questo modo si può indirizzare lo sviluppo edificatorio e, in determinate situazioni, aumentare i livelli di protezione sismica previsti dalla normativa (livello minimo).

9.2 Descrizione della sismicità

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

Il territorio di San Fiorano e un suo ragionevole intorno non rientrano in alcuna delle zone sismogenetiche note; il fattore si giustifica con l'assenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti, le cosiddette "faglie capaci".

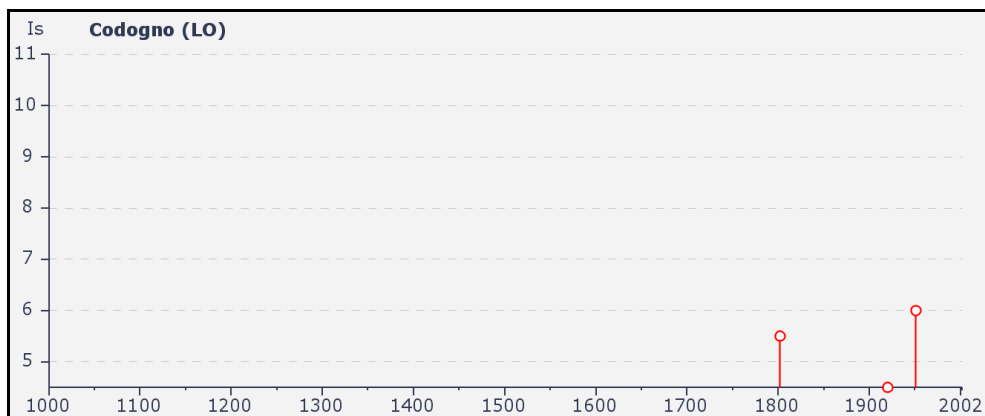
Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità (Catalogo DOM 4.1, Monachesi e Stucchi 1997; Catalogo NT 4.1.1, Camassi e Stucchi 1996; Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPT04, Gruppo di lavoro INGV 2004) risulta che:

- l'area comunale e quella bassa lodigiana, nel loro complesso, sono caratterizzate da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del VI grado della scala Mercalli (figura 9.3);
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti alle province vicine, corrispondenti al Veronese, al Bresciano, al Bergamasco, al Cremasco e, soprattutto, all'Appennino Emiliano-Romagnolo.

Tale fatto è compatibile con la storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI04, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) aggiornato al maggio 2004 (a cura di M. Stucchi et al.), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative a Piacenza e Codogno, i centri più vicini fra quelli catalogati.

Osservazioni sismiche (11) disponibili per Codogno (LO)

Effetti	In occasione del terremoto:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
6	1951	05	15	22	54		LODIGIANO	6-7	5.24
5-6	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	8	5.67
4-5	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	9-10	6.48
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10
3-4	1936	10	18	03	10		BOSCO CANSIGLIO	9	5.90
3-4	1972	10	25	21	56		PASSO CISA	5	4.95
3	1891	06	07	01	06	14	Valle d'Ilasi	8-9	5.71
3	1929	04	20	01	09	46	Bolognese	7	5.55
3	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8	5.61
NF	1909	01	13	45			BASSA PADANA	6-7	5.53
NF	1939	10	15	14	05		GARFAGNANA	6-7	5.20

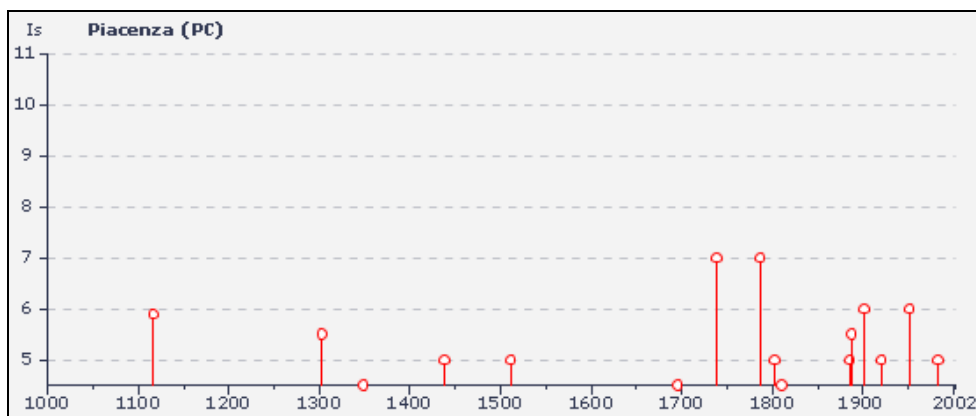


Osservazioni sismiche (63) disponibili per PIACENZA (PC)

Effetti	In occasione del terremoto:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
7	1738	11	05	30			PARMA	7	5.40
7	1786	04	07				PIACENZA	6-7	5.31
6	1901	10	30	14	49	58	Salo'	8	5.67
6	1951	05	15	22	54		LODIGIANO	6-7	5.24
D	1117	01	03	13			Veronese	9-10	6.49
5-6	1303	03	22	23			PIACENZA	5-6	4.63
5-6	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	9	6.29
5	1438	06	11	20			Parmense	8	5.62
5	1511	03	26	14	40		Slovenia	9	6.51
5	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	8	5.67
5	1885	02	26	20	48		SCANDIANO	6	5.22
5	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	9-10	6.48
5	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10

4-5	<u>1348 01 25</u>	CARNIA	9-10	6.66
4-5	<u>1695 02 25 05 30</u>	Asolano	9-10	6.61
4-5	<u>1810 12 25 45</u>	NOVELLARA	7	5.28
4	<u>1873 06 29 03 58</u>	Bellunese	9-10	6.33
4	<u>1873 09 17</u>	LIGURIA ORIENTALE	6-7	5.52
4	<u>1891 06 07 01 06 14</u>	Valle d'Illasi	8-9	5.71
4	<u>1909 01 13 45</u>	BASSA PADANA	6-7	5.53
4	<u>1914 10 27 09 22</u>	GARFAGNANA	7	5.79
4	<u>1971 07 15 01 33 23</u>	Parmense	7-8	5.61
4	<u>1972 10 25 21 56</u>	PASSO CISA	5	4.95
F	<u>1222 12 25 11</u>	Basso bresciano	8-9	6.05
F	<u>1276 07 28 18 30</u>	Italia settent.	6	5.11
F	<u>1349 09 09</u>	Viterbese-Umbria	8-9	5.91
F	<u>1832 03 13 03 30</u>	Reggiano	7-8	5.59
F	<u>1873 05 16 19 35</u>	REGGIANO	6-7	5.13
3-4	<u>1829 09 06 19 30</u>	CREMONA	6-7	5.03
3	<u>1818 12 09 18 52</u>	LANGHIRANO	7-8	5.57
3	<u>1882 02 15 04 50</u>	APPENNINO LIGURE	6	4.83
3	<u>1892 01 05</u>	GARDA OCC.	6-7	4.96
3	<u>1898 03 04</u>	CALESTANO	6-7	5.07
3	<u>1904 02 25 18 47 50</u>	Reggiano	6	5.13
3	<u>1907 04 25 04 52</u>	BOVOLONE	6	4.94
3	<u>1929 04 20 01 09 46</u>	Bolognese	7	5.55
2-3	<u>1873 03 12 20 04</u>	Marche meridionali	8	5.88
2-3	<u>1904 06 10 11 15 28</u>	Frignano	6	5.08
2	<u>1884 09 12</u>	PONTOGLIO	6	4.83
2	<u>1916 05 17 12 50</u>	Alto Adriatico	8	5.85
2	<u>1960 03 23 23 08 49</u>	Vallese	6-7	5.36
NF	<u>1857 02 01</u>	PARMENSE	6-7	5.26
NF	<u>1889 12 08</u>	APRICENA	7	5.55
NF	<u>1895 04 14 22 17</u>	Slovenia	8	6.25
NF	<u>1980 11 23 18 34 52</u>	Irpinia-Basilicata	10	6.89
NF	<u>1986 12 06 17 07 19</u>	BONDENO	6	4.56
NR	<u>1197</u>	Brescia	6-7	5.03
NR	<u>1409 11 15 11 15</u>	Parma	6	4.83
NR	<u>1465 04 06 21 30</u>	VERONA	5-6	4.63
NR	<u>1465 04 15 14 40</u>	Reggio Emilia	6-7	5.03
NR	<u>1474 03 11 20 30</u>	MODENA	6	4.89
NR	<u>1501 06 05 10</u>	Appennino modenese	8-9	5.85
NR	<u>1572 06 04 22</u>	PARMA	7	5.13
NR	<u>1628 11 04 15 15</u>	PARMA	7	5.17
NR	<u>1671 06 20</u>	RUBIERA	7	5.34
RS	<u>1889 03 08 02 47</u>	BOLOGNA	6	4.83
RS	<u>1892 03 05</u>	PONT S. MARTIN	7	5.09
RS	<u>1894 11 27</u>	FRANCIACORTA	6-7	4.95
RS	<u>1909 08 25 22</u>	MURLO	7-8	5.40

RS	1927 10 28 21 49	BEDONIA	6	5.13
RS	1928 04 21 13 56	MONTALCINO	6	4.83
RS	1928 06 13 08	CARPI	6-7	4.85
RS	1928 07 20 19 53	ALTA VAL DI TARO	6	4.56



Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04
An	Tempo origine: anno	CPTI04
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Rt	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
Rt1	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
Np	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto	CPTI04
Np1	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04	
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS	CPTI04
Ix	Intensità massima nella scala MCS	CPTI04
LatEp	Latitudine dell'epicentro	CPTI04
LonEp	Longitudine dell'epicentro	CPTI04
Maw	Magnitudo momento	CPTI04
Daw	Errore associato alla stima di Maw	CPTI04
Top	Denominazione della località	DIR04
Sc	Casi particolari	DIR04
Lat	Latitudine	DIR04
Lon	Longitudine	DIR04
Is	Intensità al sito (scala MCS)	

Dal catalogo si nota come nessun evento risulti localizzato entro il territorio del Comune di San Fiorano o dei comuni limitrofi. Costituisce invece una interessante eccezione l'evento sismico del 1951 con epicentro nel Lodigiano, localizzato esternamente ad importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di un fenomeno di rilascio tensionale legato a una struttura anticlinale profonda (passante nel sottosuolo di Cavenago d'Adda), considerata ancora attiva in epoca recente.

Nonostante la modesta magnitudo stimata per l'evento sismico, si ritiene che tale argomento debba essere considerato tra quelli meritevoli di approfondimento, sia per le importanti ripercussioni che può avere in termini di protezione antisismica, sia per l'intrinseco interesse scientifico insito tra eventi neotettonici e sviluppo del territorio.

A completamento delle osservazioni macrosismiche, nella figura 9.4 si mostra la distribuzione della sismicità "recente" rispetto al territorio in esame, riportando le localizzazioni epicentrali degli eventi registrati dalla rete Sismica Nazionale nell'intervallo di tempo compreso tra il 1981 ed il 2006 (Catalogo della sismicità italiana C.S. 1.0).

Anche in questo caso si evidenzia l'assenza di terremoti di una certa entità localizzati in prossimità del territorio di San Fiorano, dimostrando come l'area sia caratterizzata da una bassa potenzialità sismica, il cui aspetto principale risulta legato agli effetti risentiti e prodotti da terremoti di energia elevata ($M_L > 4$) avvenuti in aree epicentrali esterne e lontane dall'area in esame.

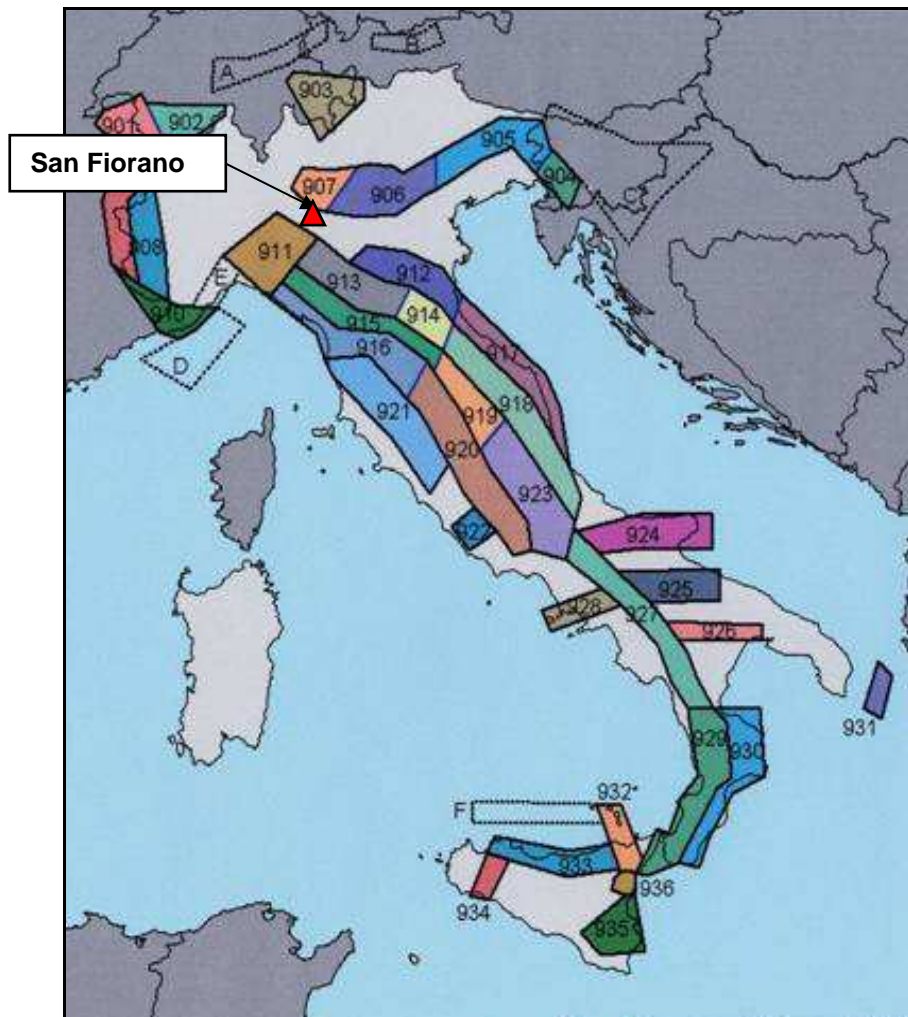


Figura 9.2: individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

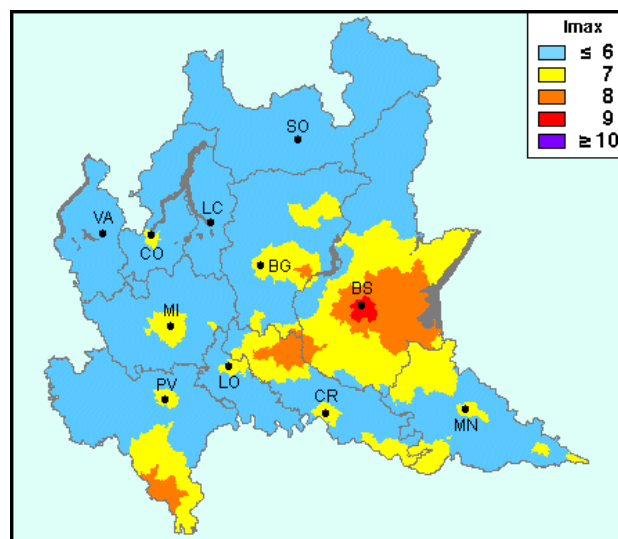


Figura 9.3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

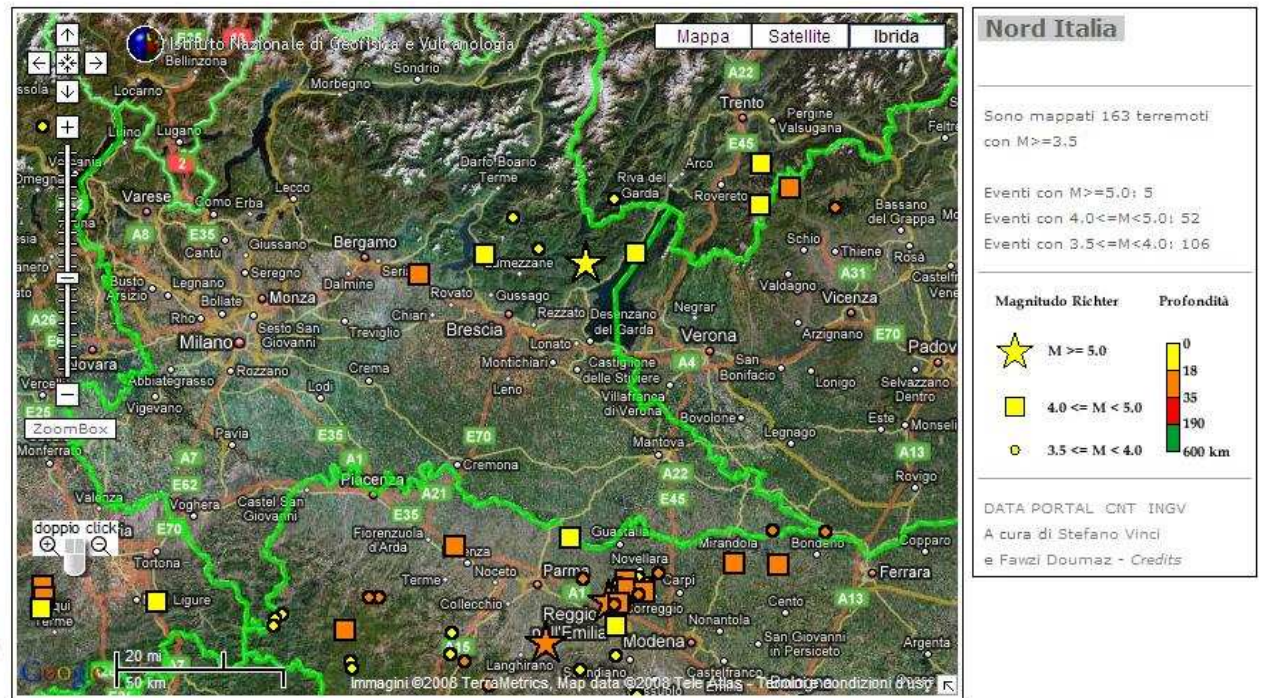


Figura 9.4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

9.3 Pericolosità sismica

Come accennato nel paragrafo precedente, in seguito all’emanazione della O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14.09.2005, è stata prodotta una nuova versione della Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV anno 2004 e 2006).

La mappa riporta il valore dell’accelerazione orizzontale massima a_g che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella figura 9.5 si riporta l’estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di San Fiorano il valore di a_g atteso risulta compreso tra **0.075 e 0.10g** (valore previsto pari 0.082g), ovvero leggermente superiore a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4 (tabella 9.1).

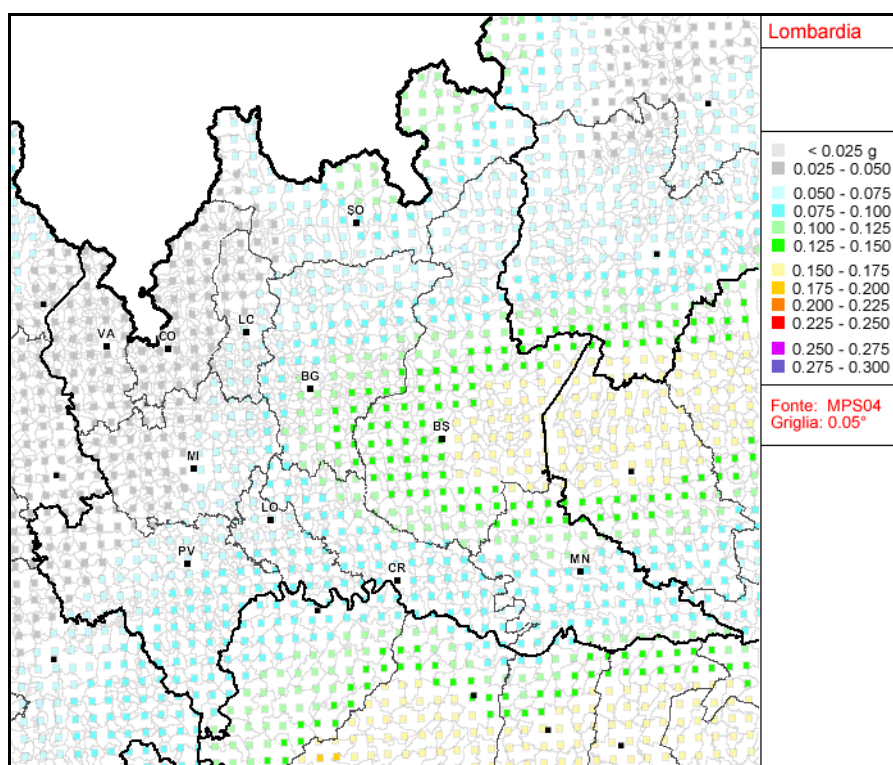


Figura 9.5: mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell’accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

Tuttavia i soli valori a_g non sono sufficienti a descrivere le caratteristiche del moto atteso in un sito: esso viene identificato dallo spettro a probabilità uniforme (UHRS), che risulta costituito, per un intervallo di periodi, dai valori di accelerazione che hanno la stessa probabilità del 10% di essere superati nei prossimi 50 anni.

In figura 9.6 si riporta lo spettro UHRS e quello previsto dalla vigente normativa antisismica per la classe 4, entrambi per un suolo di riferimento: dal confronto si rileva come lo spettro previsto dalla normativa risulti “inferiore” a quello previsto dagli studi di PS (fattore che comporta una sottostima dei valori di a_g già in partenza).

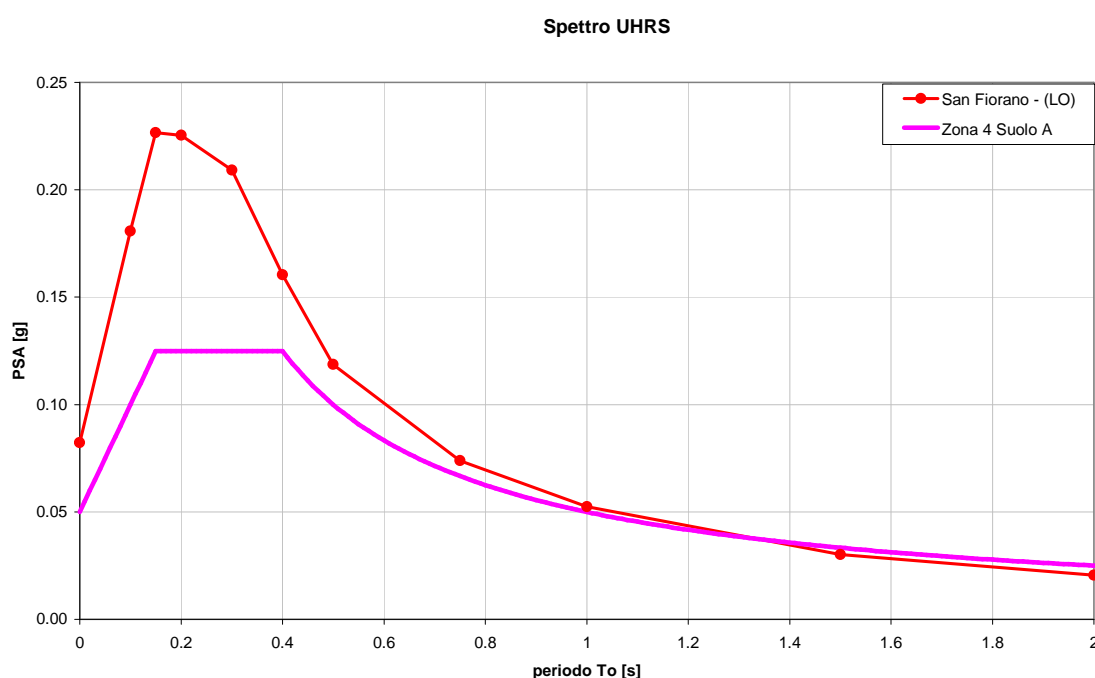


Figura 9.6: Spettro di risposta a probabilità uniforme (in rosso) a confronto con lo spettro di risposta previsto dal D.M. 14.09.2005 (per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%, in magenta).

Lo spettro UHRS individua la pericolosità sismica di base dell'area, ovvero identifica su base probabilistica le caratteristiche dello scuotimento del suolo (**macrozonazione sismica**) senza considerare alcuna modificazione che può subire il moto del suolo causate dal contesto geologico e geomorfologico dell'area, cioè senza modificazioni dovute **a effetti locali**.

Va tuttavia fatto osservare come le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possano 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 terreni e 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 dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area:

- *gli effetti di amplificazione topografica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto. Se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi, l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;
- *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.

Al fine di individuare gli effetti di sito locale, la D.G.R. 8/1566/2005 prevede che, in fase di pianificazione urbanistica, venga affrontata una analisi della pericolosità sismica del territorio secondo livelli di approfondimento successivi.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione; nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza:

	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE <i>PSL= Pericolosità sismica locale</i>		
	<i>1° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>2° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>3° Livello</i> <i>Fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Nel caso specifico del Comune di San Fiorano, l'analisi territoriale (basata sui dati innanzi acquisiti) ha definito un generale scenario di Pericolosità Sismica Locale "Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi", esteso all'intero ambito comunale: l'effetto atteso nei confronti delle onde sismiche è quindi quello di una possibile amplificazione litologica. Sulla base delle informazioni stratigrafiche e di prima caratterizzazione geotecnica, si tratta di terreni granulari da poco a mediamente addensati, con locali coperture fini, presumibilmente identificabili con una categoria di suolo del tipo 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 e 360 m/s)⁽¹⁾.

Nella definizione degli scenari di pericolosità sismica, inoltre, è stato evidenziato l'orlo di terrazzo fluviale di altezza prossima a 10 m sviluppato al margine meridionale del terrazzo pleistocenico (Livello Fondamentale della Pianura): tale area è identificabile con lo scenario di pericolosità sismica locale Z3a, per il quale è atteso un effetto di amplificazione topografica.

In questa fase di studio, l'analisi sismica si è limitata al 1° livello di approfondimento (secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n. 8/1566/2005) e il risultato finale è rappresentato nella cartografia di Tavola 6.

<i>Sigla</i>	<i>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, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali 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	

Scenari di pericolosità sismica locale

¹ V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata come

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, come mostrato nella tabella seguente.

SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Classe di Pericolosità Sismica
Z1a	H3
Z1b	H2- livello di approfondimento 3°
Z1c	
Z3a	H2- livello di approfondimento 2°
Z3b	
Z4a	H2- livello di approfondimento 2°
Z4b	
Z5	H2- livello di approfondimento 3°

Classi di pericolosità per ogni scenario di PSL

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di San Fiorano, in caso di pianificazione o progettazione di strutture strategiche e rilevanti (individuate dal D.d.u.o. n. 19904/03), si dovranno affrontare successivi livelli di approfondimento, così come previsto dalla D.G.R. n. 8/1566/2005.

Nell'allegato 3 è stato sviluppato il tematismo riguardante gli effetti di sito per un'area ritenuta rappresentativa delle condizioni medie del capoluogo di San Fiorano. Si precisa, tuttavia, che tale valutazione ha valore generale e una funzione di supporto alla pianificazione, definendo solo alcune linee fondamentali. Le informazioni raccolte, pertanto, non potranno venire utilizzate per la soluzione di problemi progettuali a carattere puntuale, per i quali dovranno essere eseguiti specifici studi.

10. CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi (Tavola 7) costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche: realizzata alla scala 1:10.000, l'elaborato contiene gli elementi più significativi emersi nella fase di analisi.

Nella cartografia di sintesi di Tavola 7 sono stati rappresentati i lineamenti più significativi dopo aver classificato l'intero territorio comunale per aree omogenee; in quest'ultima operazione, sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

1. **LITOLOGIA DEI TERRENI SUPERFICIALI** - Per quanto riguarda l'aspetto litologico e geotecnico dei terreni (trattato in specifico capitolo), si ritiene che esso costituisca un fattore modestamente limitante dal punto di vista urbanistico solamente per la porzione di territorio a valle della scarpata morfologica principale: la condizione sarà quella di verificare la natura litologica e geotecnica dei terreni di fondazione in caso di nuove strutture, ricorrendo ad adeguate indagini geognostiche in conformità a quanto previsto dal D.M. 11.03.1988 e dal D.M. 14.09.2005 e ss.mm.ii..
2. **VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE** - Tale fattore costituisce un elemento distintivo, emerso nella fase di analisi e parzialmente vincolante nella fattibilità geologica delle azioni di piano. Per questo elemento è stato sviluppato un discorso a parte in quanto, di fatto, la prima falda presenta indici di vulnerabilità intrinseca variabili, legati soprattutto alla soggiacenza dell'acquifero ed allo sviluppo di locali coperture fini di protezione dell'acquifero. Si ribadisce come qualsiasi intervento che possa rappresentare un potenziale centro di pericolo per la risorsa idrica sotterranea debba richiedere un puntuale studio dei terreni in relazione alla locale vulnerabilità dei corpi acquiferi.
3. **SOGGIACENZA MEDIA DELLA PRIMA FALDA** - Vista la presenza di una falda a anche a profondità ridotta in precise porzioni di territorio (a valle della scarpata morfologica principale), saranno soggette a specifica limitazione le aree caratterizzate da falda sub-affiorante. Per queste aree si dovrà rammentare come la generale saturazione dei terreni contribuisca ad un peggioramento delle loro caratteristiche geotecniche. Oltre

a ciò, nel caso di realizzazione di nuovi edifici, dovrà essere considerata la massima quota raggiunta dalla falda, al fine di evitare interferenze dannose tra acqua sotterranea e strutture in progetto (fondazioni, piani interrati, ecc.).

Tra i lineamenti morfologici sono state rappresentate **le scarpate** ai margini del terrazzo wurmiano, sia come elementi morfologici potenzialmente insidiosi per ogni intervento di edificazione o urbanizzazione, sia in quanto elementi costitutivi del paesaggio (per i quali vige specifica tutela).

Nella stessa cartografia di sintesi, inoltre, è stata evidenziata **l'incisione della Roggia Fossadazzo**, in quanto elemento di discontinuità del territorio e di potenziale pericolosità sia dal punto di vista idraulico che geomorfologico e geotecnico. Mentre nel primo caso i limiti di fattibilità saranno dettati da specifico regolamento di polizia idraulica, nel secondo caso, dovrà essere rammentato il potenziale rischio per le strutture poste in prossimità delle scarpate morfologiche (anche in parziale evoluzione ove soggette ad erosione al piede da parte del corso d'acqua).

Tra i lineamenti idrogeologici/idrografici, inoltre, sono stati cartografati tutti **i corpi idrici superficiali** (già assoggettati a specifico regolamento di polizia idraulica) e il canale scolmatore di recente realizzazione.

11. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 8 sono stati cartografati i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica, limitanti nella fattibilità geologica delle azioni di piano.

In particolare, nella Tavola dei Vincoli è stata cartografata **la fascia C del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**, adottato dall'Autorità di Bacino del fiume Po con Deliberazione n. 18 del 26.04.2001 e approvato con D.P.C.M. del 24 maggio 2001.

Le fasce fluviali e le disposizioni normative contenute nel P.A.I. integrano quelle del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, approvato con DPCM il 24/7/1998. Le fasce vengono così definite:

FASCIA A di deflusso della piena, costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente, ovvero costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;

FASCIA B di esondazione, esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione;

la **FASCIA C** di inondazione per piena catastrofica (unica fascia presente sul territorio comunale).

Tra i vincoli, inoltre, è stato cartografato il **reticolato idrografico** (definito sulla base della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.); le attività consentite e quelle vietate, così come le fasce di rispetto, sono normate da specifico regolamento di polizia idraulica (R.D. 523/1904 e s.m.i.).

12. ALLEGATI

ALLEGATO 1

RISULTATI DI INDAGINI LITOSTRATIGRAFICHE

O GEOTECNICHE ⁽²⁾

² La numerazione si riferisce alle prove rappresentate in Tavola n. 2 “Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica”

TRINCEE ESPLORATIVE

T1: Zona artigianale a N della Ferrovia Codogno-Mantova

profondità (m. da p.c.)			natura dei terreni
da	0.00	a	0.50 terreno vegetale argilloso
da	0.50	a	1.40 argilla bruna
da	1.40	a	2.20 argilla limo-sabbiosa
da	2.20	a	2.60 sabbia medio-grossa bruna
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate (*)</i>			

T2: Nuova lottizzazione lungo la S.P. 116

profondità (m. da p.c.)			natura dei terreni
da	0.00	a	1.00 terreno argillo-limoso compatto
da	1.00	a	2.80 argilla a tratti limosa
da	2.80	a	3.20 sabbia medio-fine limosa
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate (*)</i>			

T3: Centro abitato - loc. Cascinetta

profondità (m. da p.c.)			natura dei terreni
da	0.00	a	0.30 terreno vegetale limo-sabbioso
da	0.30	a	2.20 sabbia media e grossa di colore bruno
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>			

T4: Centro abitato Nord-orientale

profondità (m. da p.c.)			natura dei terreni
da	0.00	a	0.50 terreno vegetale argillo-limoso
da	0.50	a	1.40 argilla bruna limosa
da	1.40	a	2.50 sabbia media bruna
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>			

T5: Centro abitato - Asilo Comunale

profondità (m. da p.c.)			natura dei terreni
da	0.00	a	0.40 terreno vegetale sabbioso
da	0.40	a	1.40 sabbia medio-grossa bruna
da	1.40	a	2.60 sabbia fine e molto fine grigia alternata a limo ed argilla molto compatta
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>			

T6: C.na Ca' Nova

profondità (m. da p.c.)				natura dei terreni
da	0.00	a	0.40	terreno vegetale
da	0.40	a	1.10	sabbia medio-fine limo-argillosa
da	1.10	a	1.90	sabbia fine limosa
da	1.90	a	2.30	sabbia grossa
<i>falda: - 2.30 m da p.c. (*)</i>				

T7: Ingresso ex base Nato

profondità (m. da p.c.)				natura dei terreni
da	0.00	a	0.70	terreno vegetale argilloso
da	0.70	a	1.60	argilla limosa bruna con torba e frustoli vegetali
da	1.60	a	2.60	argilla blu compatta
da	2.60	a	2.80	argilla sabbiosa blu
<i>tetto del livello acquifero: - 2.70 m da p.c. (*)</i>				
<i>comportamento della falda: modestamente artesiano</i>				

T8: C.na Dossena

profondità (m. da p.c.)				natura dei terreni
da	0.00	a	0.75	terreno di riporto
da	0.75	a	1.30	argilla sabbiosa
da	1.30	a	2.80	argilla blu compatta
da	2.80	a	3.00	argilla sabbiosa
<i>tetto del livello acquifero: -2.80 m (*)</i>				
<i>comportamento della falda: modestamente artesiano</i>				

T9: C.na Campone

profondità (m. da p.c.)				natura dei terreni
da	0.00	a	0.40	terreno vegetale
da	0.40	a	2.80	sabbia fine limo-argillosa bruna
da	2.80	a	3.00	argilla limosa grigio-blu
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>				

T10 C.na Carbonara IV

profondità (m. da p.c.)				natura dei terreni
da	0.00	a	0.40	terreno vegetale
da	0.40	a	2.40	sabbia fine bruna limo-argillosa
da	2.40	a	3.00	sabbia medio-grossa
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>				

T11: S.P. 145

profondità (m. da p.c.)	natura dei terreni
da 0.00 a 0.30	terreno vegetale
da 0.30 a 2.50	sabbia grossa e molto grossa bruna con qualche ciottolo minuto
<i>falda: assente nell'ambito delle profondità indagate(*)</i>	

(*) Data osservazioni: marzo 1998

Trincea 12: Cimitero















































profondità (m. da p.c.)	natura dei terreni
da 0.00 a 0.50	Terreno vegetale limo sabbioso bruno con frammenti di materiale di riporto
da 0.50 a 2.20	Limo argilloso e argilla limosa con sabbia molto fine. Matrice fine di colore bruno con patine di ossidazione nerastre ed ocra; presenza di rari noduletti concrezionati.
da 2.20 a 3.20	Limo grigio compatto, a tratti argilloso, con sabbia molto fine.
<i>Falda: assente</i>	

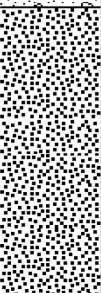
Trincea 13 - Cimitero

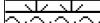

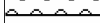
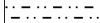
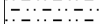
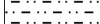
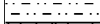







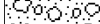


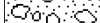



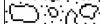

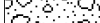

profondità (m. da p.c.)	natura dei terreni
da 0.00 a 0.60	Terreno vegetale limo argilloso con frammenti di materiale di riporto
da 0.60 a 2.20	Argilla bruna limosa con rara sabbia molto fine
da 2.20 a 3.50	Limo grigio argilloso con sabbia molto fine
<i>Falda: assente</i>	

SONDAGGI GEOGNOSTICI

SONDAGGIO: 1				LUNGHEZZA (m): 22,0				LEGENDA:			
DA METRI: 0,0 A METRI: 22,0				Sonda tipo:				PROVE S.P.T.: PA Punta aperta - PC Punta chiusa			
Responsabile:				Operatore:				CAMPIONI: S Pareti sottili - O Osterberg - M Mazier			
COMMITTENTE: Comune di San Fiorano								R Rimaneggiato - Rs Rimaneggiato da S.P.T.			
CANTIERE: Area ex base NATO								PIEZOMETRI: A Aperto - C Casagrande - E Elettrico			
LOCALITA': San Fiorano (LO)								PERFORAZIONE: CS Carotiere semplice - CD Carotiere doppio - EC Elica continua			
DATA INIZIO: 10-1-2008 DATA FINE: 10-1-2008								STABILIZZAZIONE: RM Rivestimento metallico			
QUOTA BOCCA FORO (m s.l.m.):								FB Fanghi bentonitici			

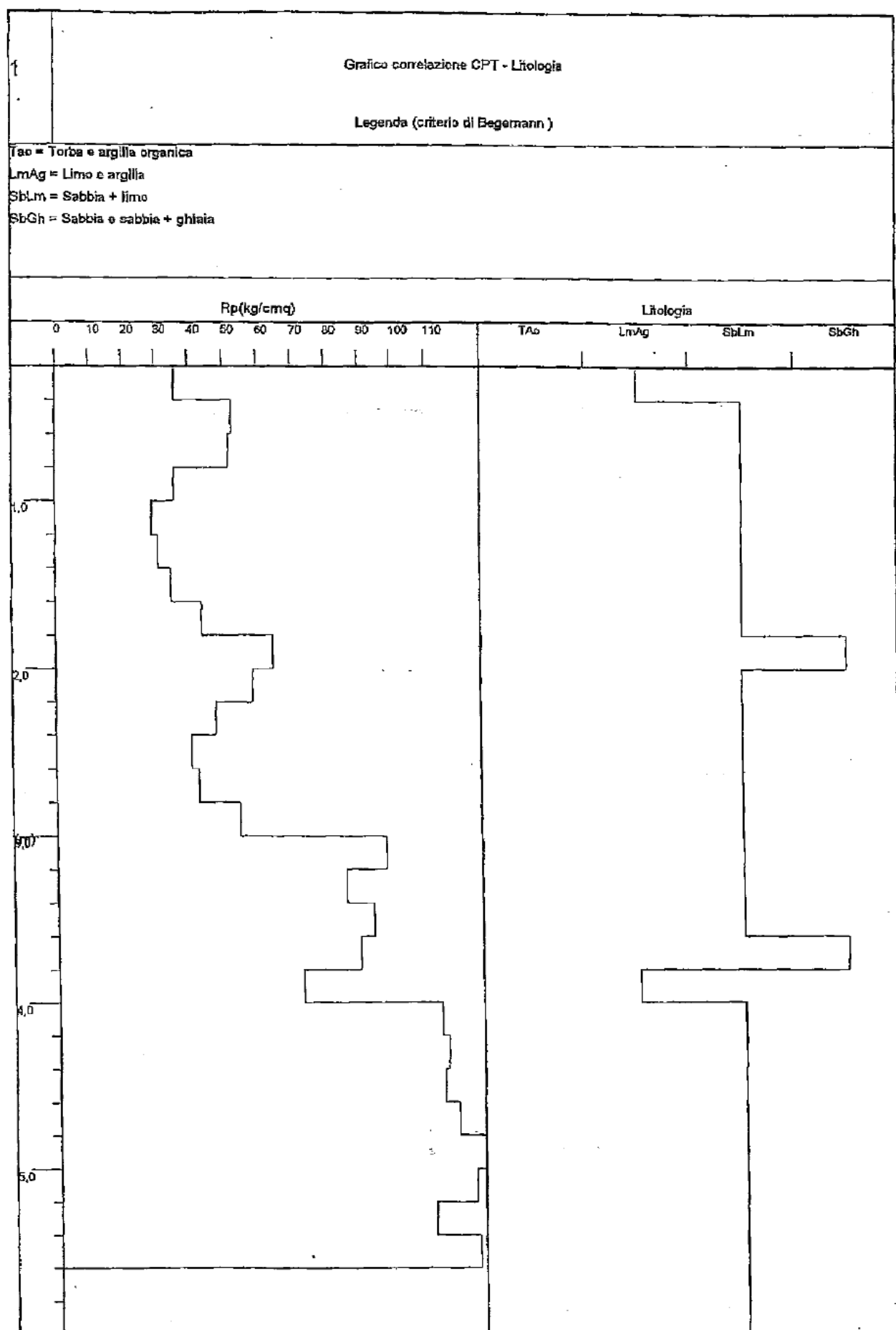
S.P.T. Prof. Tipo Valori	CAMPIONI Prof. Tipo	STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE	Prof. (m)	Carotag- gio (%)	Pocket Test kg/cmq	Vane Test	FALDA Rinv Stab	Piezo- metri	Diam. (mm)	Metodo Perf.	Metodo Stab.
			Terreno vegetale	0,2							
1			Limi con sabbia molto fine								
2											
3			Sabbia finissima limosa	2,5							
4			Sabbia da media a grossolana con sottili orizzonti limosi	3,2							
5											
6											
7											
8											
9			Sabbia medio fine	8,3							
10											
11			Sabbia da fine a media	10,0							
12											
13			Sabbia da media a fine a tratti limosa con ciottoli millimetrici	11,4							
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
			Torba	19,4							
			Sabbia da media a grossolana con rari ciottoli	20,0							
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											
											

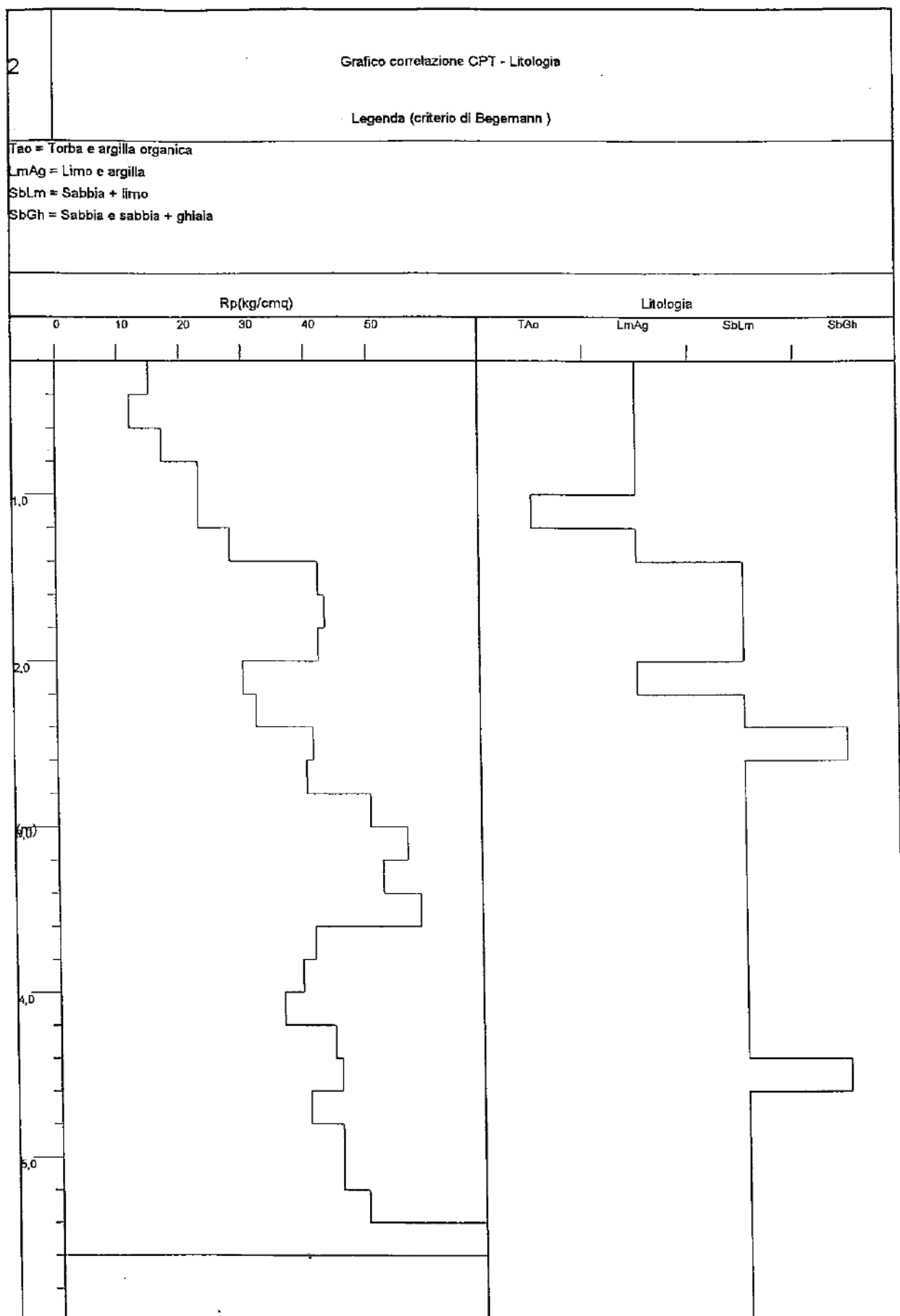
SONDAGGIO: 2				LUNGHEZZA (m): 25,0				LEGENDA:						
DA METRI: 0,0 A METRI: 25,0				Sonda tipo:				PROVE S.P.T.: PA Punta aperta - PC Punta chiusa						
Responsabile:				Operatore:				CAMPIONI: S Pareti sottili - O Osterberg - M Mazier						
COMMITTENTE: Comune di San Fiorano								R Rimaneggiato - Rs Rimaneggiato da S.P.T.						
CANTIERE: Area ex base NATO								PIEZOMETRI: A Aperto - C Casagrande - E Elettrico						
LOCALITA': San Fiorano (LO)								PERFORAZIONE: CS Carotiere semplice - CD Ca-						
DATA INIZIO: 10-1-2008 DATA FINE: 10-1-2008								rotiere doppio - EC Elica continua						
QUOTA BOCCA FORO (m s.l.m.):								STABILIZZAZIONE: RM Rivestimento metallico						
								FB Fanghi bentonitici						
S.P.T. Prof. Tipo Valori		CAMPIONI Prof. Tipo		STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE		Prof. (m)	Carotag- gio (%)	Pocket Test	Vane Test	FALDA	Piezo-	Diam.	Metodo	Metodo
							20 40 60 80			Rinv Stab	metri	(mm)	Perf.	Stab.
1				 Terreno vegetale		0,4								
2				 Limo con sabbia finissima										
3						2,4								
4				 Sabbia da fine a media										
5														
6						6,2								
7				 Sabbia da media a grossolana con ghiaietto										
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20						20,2								
21				 Sabbia grossolana con rari orizzonti decimetrici limosi										
22														
23														
24														
25						25,0								

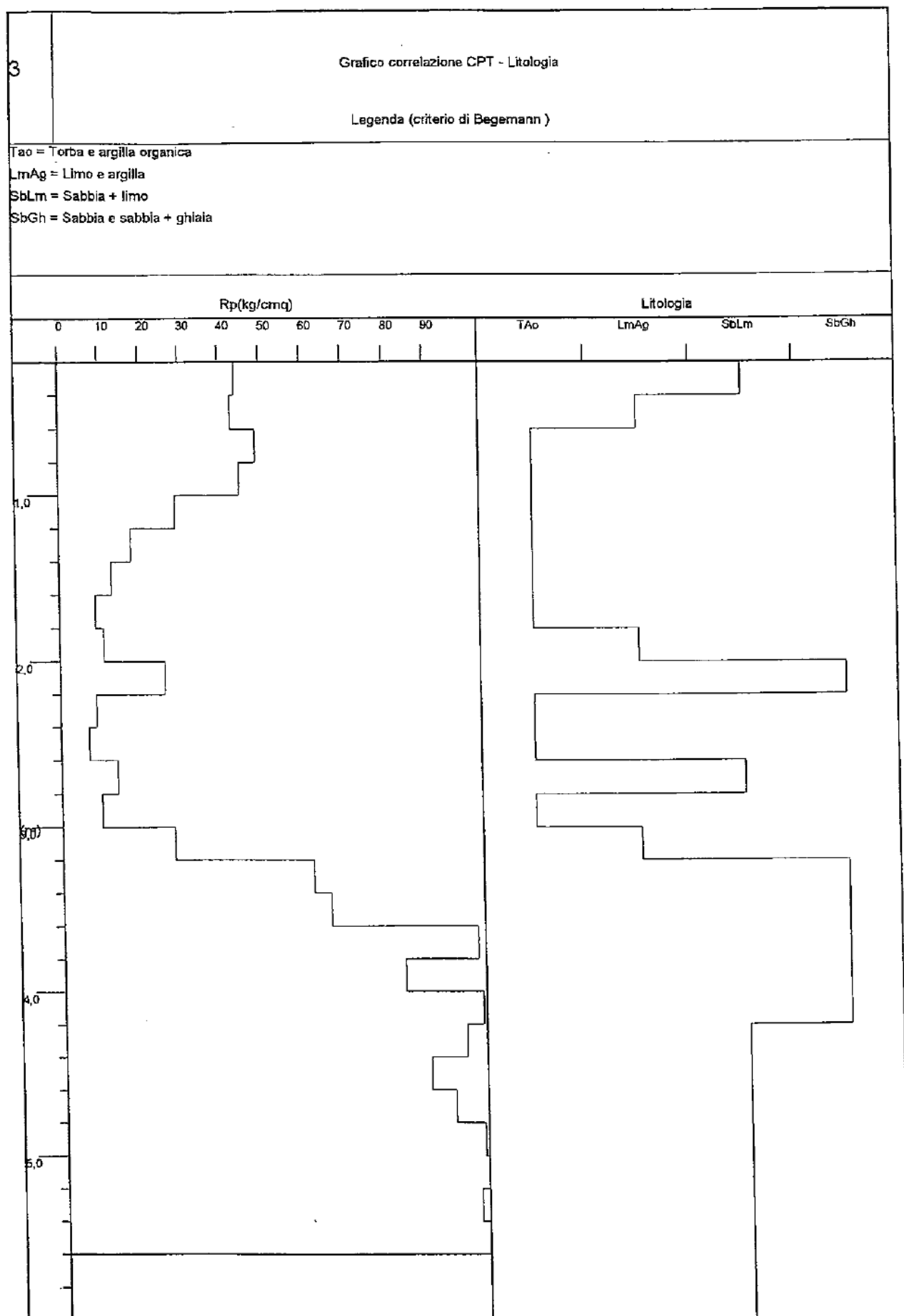
SONDAGGIO: 3			LUNGHEZZA (m): 25,0				LEGENDA:							
DA METRI: 0,0 A METRI: 25,0			Sonda tipo:				PROVE S.P.T.: PA Punta aperta - PC Punta chiusa							
Responsabile:			Operatore:				CAMPIONI: S Pareti sottili - O Osterberg - M Mazier							
COMMITTENTE: Comune di San Fiorano							R Rimaneggiato - Rs Rimaneggiato da S.P.T.							
CANTIERE: Area ex base NATO							PIEZOMETRI: A Aperto - C Casagrande - E Elettrico							
LOCALITA': San Fiorano (LO)							PERFORAZIONE: CS Carotiere semplice - CD Ca-							
DATA INIZIO: 10-1-2008 DATA FINE: 10-1-2008							rotiere doppio - EC Elica continua							
QUOTA BOCCAFORO (m s.l.m.):							STABILIZZAZIONE: RM Rivestimento metallico							
							FB Fanghi bentonitici							
S.P.T. Prof. Tipo Valori	CAMPIONI		STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE			Prof. (m)	Carotag- gio (%)	Pocket Test	Vane Test	FALDA	Piezo- metri	Diam. (mm)	Metodo Perf.	Metodo Stab.
	Prof.	Tipo					20 40 60 80			Rinv Stab				
				Terreno vegetale		0,2								
1				Limo		1,2								
2				Sabbia fine e molto fine limosa										
3						3,2								
4				Sabbia da molto fine a media										
5						4,8								
6				Sabbia da fine a media		6,3								
7				Sabbia da media a grossolana con abbondante ghiaietto e sottili livelli limosi										
8														
9														
10														
11														
12														
13						13,3								
14				Sabbia molto grossolana con ghiaietto										
15						15,0								
16				Sabbia da media grossolana con ciottoli da millimetrici a centimetrici con sottili strati limosi										
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25						25,0								

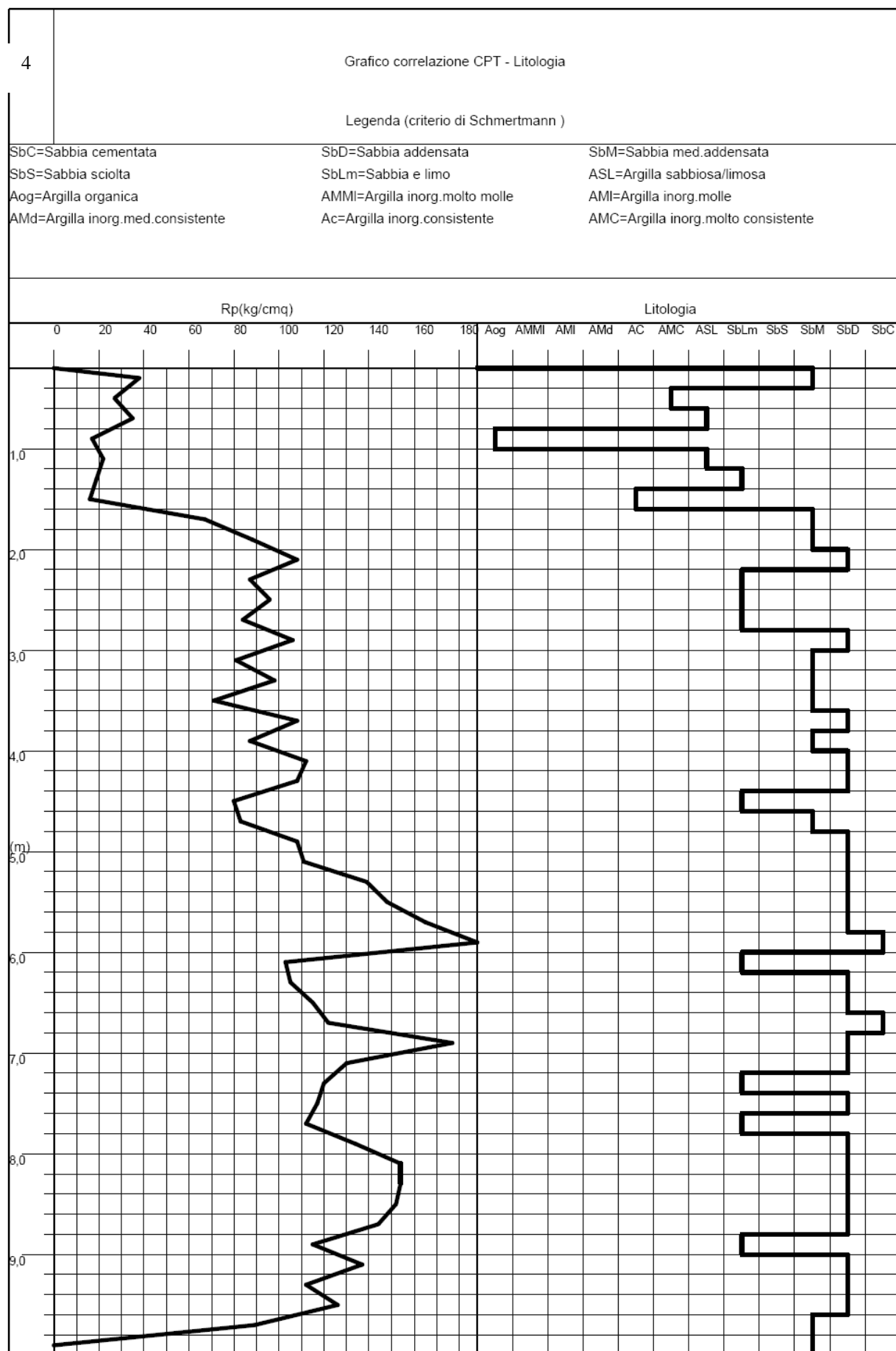
INDAGINI PENETROMETRICHE

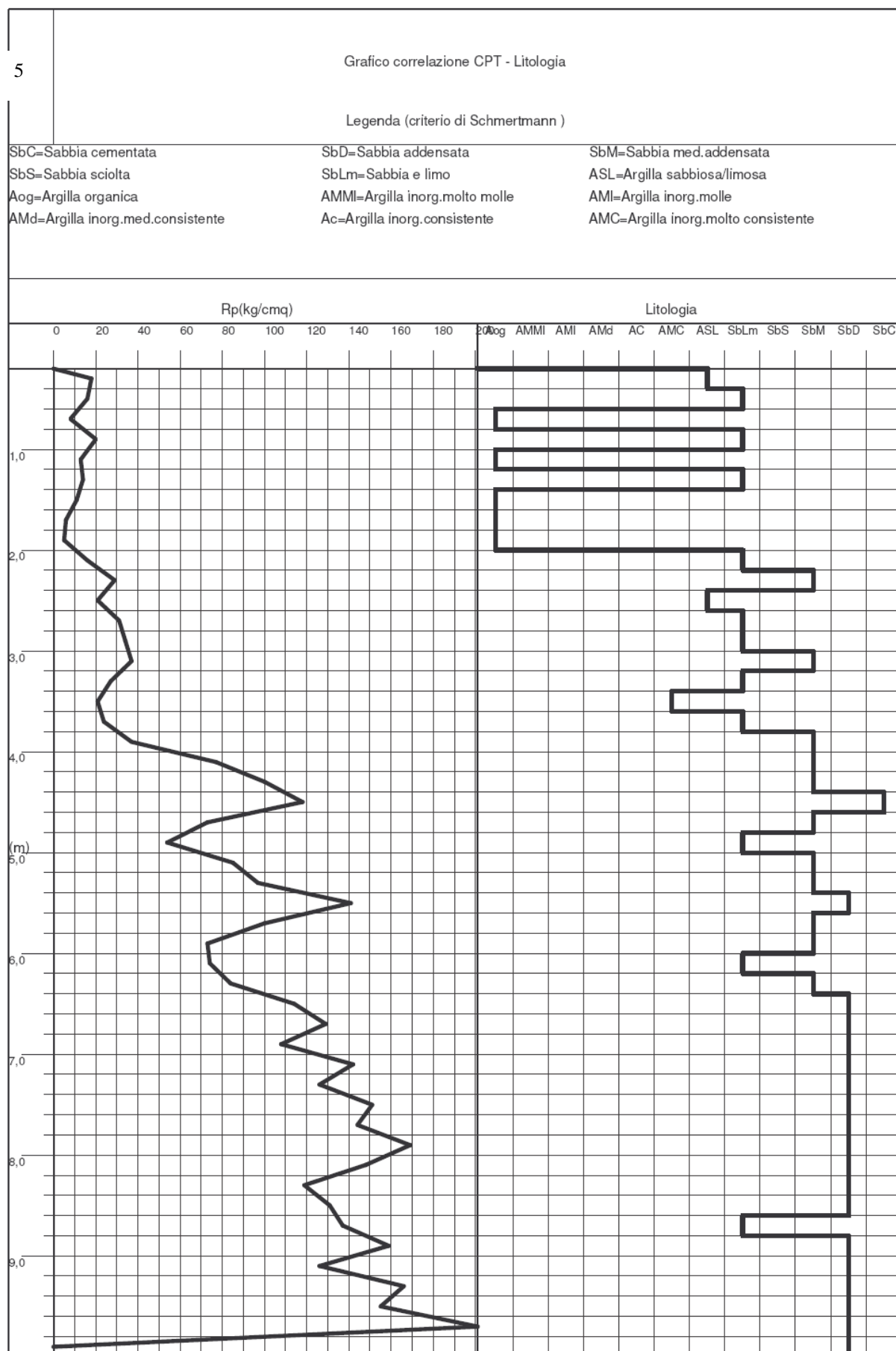
**(diagrammi di indagini eseguite con penetrometro statico a punta
meccanica CPT)**

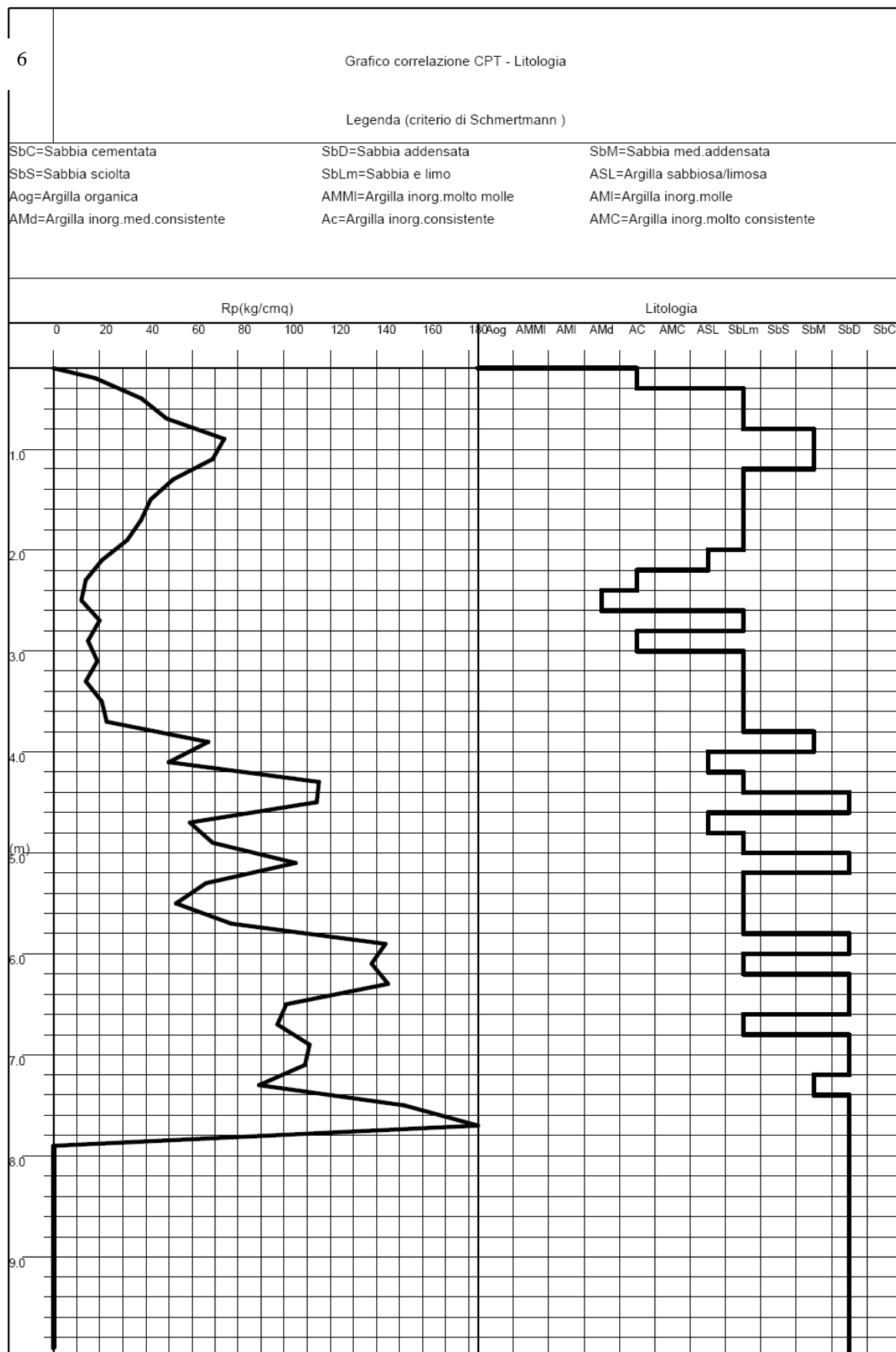








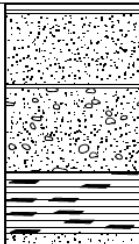



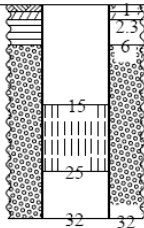
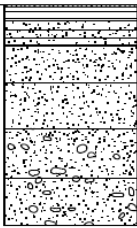





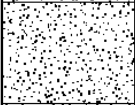

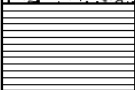



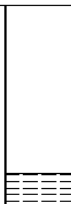
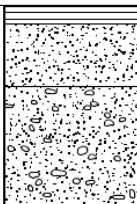
ALLEGATO 2


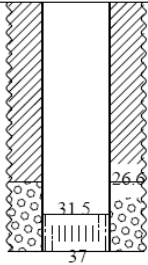
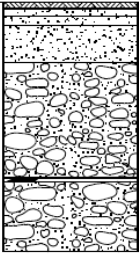
STRATIGRAFIE DISPONIBILI DEI POZZI PRESENTI SUL TERRITORIO COMUNALE



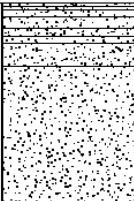
numero di archivio cod. S.I.F. 0980470050		Comune: S. Fiorano - C.na Arbasi uso: domestico Impresa di perforazione: Idraulica Villa S.n.c.	
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 01.50 terreno vegetale
			da 01.50 a 12.00 sabbia
			da 12.00 a 12.50 argilla
			da 12.50 a 25.00 sabbia e ghiaietto
			da 25.00 a 34.00 argilla e torba
			da 34.00 a 36.00 sabbia
		<p>Colonna in PVC 114 mm. (4") filtri microfessurati (0.25 mm.) da 18 a 24 m. Pompa elettrica sommersa 1,5 Hp, 2 l/sec, 30 m. prev.</p>	
scala 1:1.000			
* La stratigrafia è stata redatta esclusivamente sulle informazioni fornite dall'impresa esecutrice		Dott. Geologo Marco Daguati via Buoso da Dovara n. 49 26100 Cremona tel. (0372) 431324	



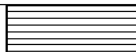


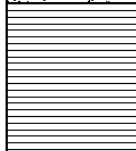

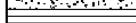
numero di archivio		Comune: San Fiorano Impr. di Perf.: IDROPOZZI s.r.l.	
cod. S.I.F. 0980470080			
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			<div data-bbox="882 564 1249 777"><div>da 00.00 a 00.30 terreno di riporto</div><div>da 00.30 a 02.40 argilla</div><div>da 02.40 a 06.20 argilla sabbiosa</div><div>da 06.20 a 11.70 sabbia fine marrone</div><div>da 11.70 a 18.50 sabbia medio grossa marrone</div><div>da 18.50 a 26.00 sabbia e ghiaietto</div><div>da 26.00 a 33.00 sabbia e ghiaietto grigie</div></div>
	<p>Perforazione a rotazione diretta diametro 350 mm Colonna in PVC diametro 180 mm Profondità colonna definitiva 32.00 m da p.c. Filtri Tipo microfessurato - luce 0.5 mm - da 15.00 m a 25.00 m da p.c.</p> <p>Drenaggio con ghiaietto siliceo Tampone con argilla idrorigonfiante da 02.30 m a 06.00 m da p.c. Cementazione con cls da 01.00 m a 02.30 m da p.c.</p>		
scala 1:1.000			
<i>*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice</i>		Dott. Geologo Marco Daguati via A. Diaz, 22 26845 Codogno (Lo) tel. (0377) 433021	

numero di archivio cod. S.I.F. 0980470088	Località: S. Fiorano - C.na Foina uso: zootecnico Imp.: Idropozzi S.n.c.		
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 02.80 argilla
			da 02.80 a 09.00 sabbia fine
			da 09.00 a 24.00 sabbia medio grossa
			da 24.00 a 37.00 sabbia grossa con ghiaietto
			da 37.00 a 50.00 argilla compatta
scala 1:1.000		Dott. Geologo Marco Daguati via Buoso da Dovara n. 49 26100 Cremona tel. (0372) 431324	
<i>* La stratigrafia è stata redatta esclusivamente sulle informazioni fornite dall'impresa esecutrice</i>			

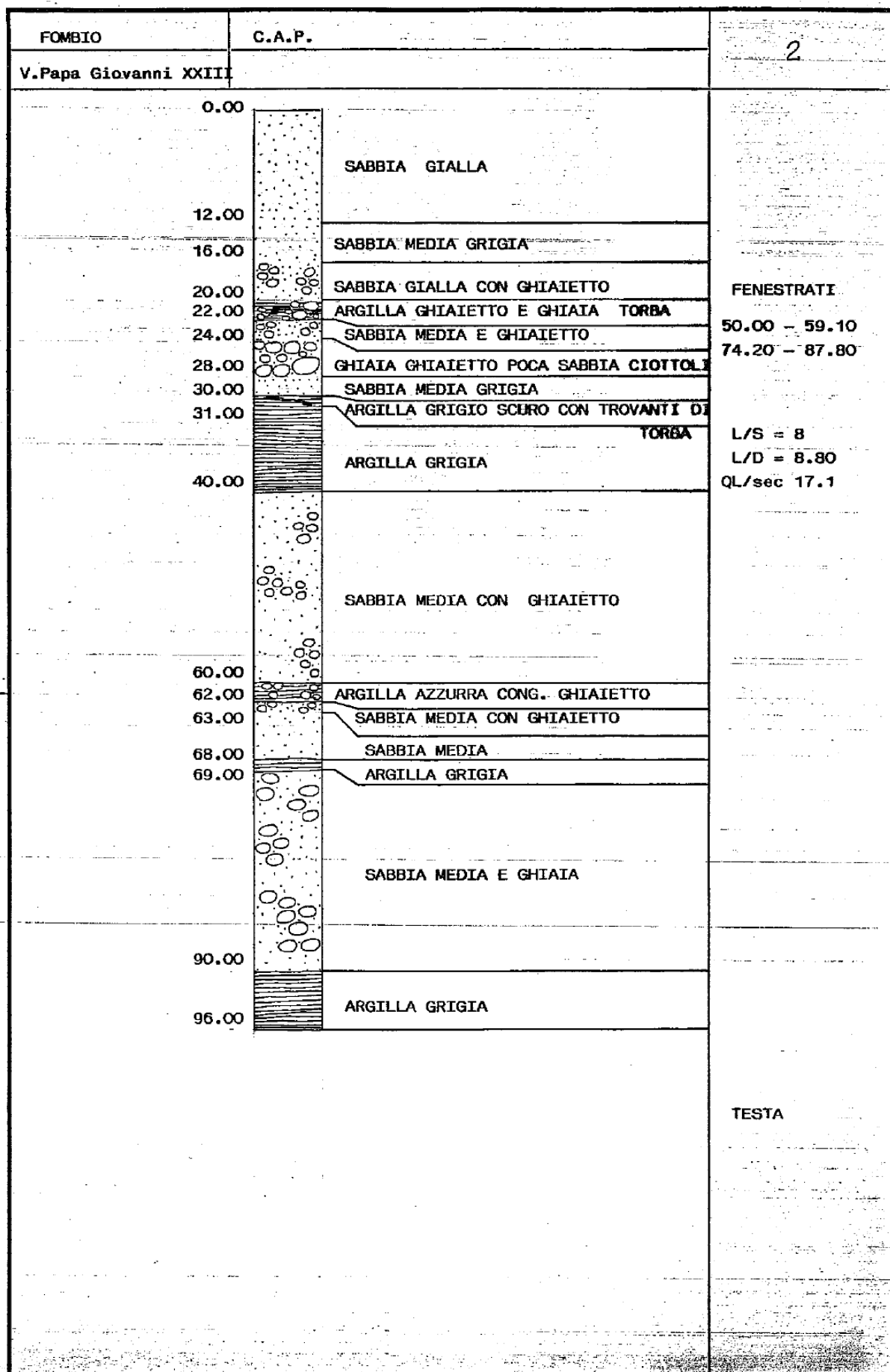
numero di archivio			
cod. S.I.F. 0980470106		Comune: San Fiorano Impr. di perf.: Idropozzi S.n.c. uso: domestico	
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 02.80 argilla
			da 02.80 a 12.00 sabbia fine
			da 12.00 a 30.00 sabbia con piccoli ciottoli
			Colonna in PVC diametro 125 mm profondità 30 m Filtri tipo microfessurati da 25 a 30 Livello statico: -7.80 m da p.c.
scala 1:1.000			
*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice		Dott. Geologo Marco Daguati via E. Fermi, 21 26842 Caselle Landi (Lo) tel. (0377) 69140	

numero di archivio		Comune: San Fiorano - C.na Piantadella Impr. di perf.: Idro Pozzi s.n.c.	
cod. S.I.F. 0980470116			
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 00.80 terreno vegetale da 00.80 a 03.50 argilla sabbiosa da 03.50 a 09.00 sabbia fine da 09.00 a 26.00 sabbia grossa con strati di ghiaia da 26.00 a 26.60 argilla e torba da 26.60 a 37.00 sabbia grossa con strati di ghiaia
			<p>Perforazione a rotazione diretta Colonna in PVC diametro 125 mm Profondità colonna definitiva 37.00 m da p.c. Filtri tipo microfessurato luce 0.5 mm da 31.50 m a 37.00 m da p.c.</p> <p>Drenaggio con ghiaietto siliceo calibrato da 26.60 m a 37.00 m da p.c.</p> <p>Tampone con argilla idrorigonfiante da 0 m a 26.60 m da p.c.</p>
scala 1:1.000			
<p><i>*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice</i></p>		<p>Dott. Geologo Marco Daguati via E. Fermi, 21 26842 Caselle Landi (Lo) tel. (0377) 69140</p>	

numero di archivio			
cod. S.I.F. 0980470119		Comune: San Fiorano - via I maggio, 6 Impr. di perf.: Idropozzi S.n.c.	
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 06.00 argilla sabbiosa
			da 06.00 a 09.50 sabbia medio fine
			da 09.50 a 30.00 sabbia medio grossa con ghiaietto
			Colonna in PVC diametro 125 mm profondità 30 m Filtri tipo microfessurati luce 0.5 mm da 25 a 30 m Livello statico: -9 - Livello dinamico: -10 con Q=2.5 l/sec Pompa elettrica sommersa Hp 1.5 Q = 75 l/min
scala 1:1.000			
*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice		Dott. Geologo Marco Daguati via E. Fermi, 21 26842 Caselle Landi (Lo) tel. (0377) 69140	

numero di archivio		Comune: S. Fiorano - C.na Corradina Impresa di perforazione: Per.For.	
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 08.00 argilla
			da 08.00 a 24.00 sabbia
			da 24.00 a 36.00 sabbia mista argilla
			da 36.00 a 60.00 argilla
			da 60.00 a 69.00 sabbia
			da 69.00 a 72.00 argilla
scala 1:1.000			
* La stratigrafia è stata redatta esclusivamente sulle informazioni fornite dall'impresa esecutrice		Dott. Geologo Marco Daguati via Buoso da Dovara n. 49 26100 Cremona tel. (0372) 431324	

BACINO: Adda	Via Forni C.na Bignamina	N.2
S.Stefano Lodigiano	Acquedotto	
0.35	terreno di coltura	
4.50	sabbia media argillosa rossa	
11.00	sabbia media grigia siltosa	
18.50	sabbia media grigia con poco ghiaietto	Lat.N=45°8'8"
		Long.O=2°42'31"
	sabbia medio-grossa grigia con rari elementi di ghiaia	qt.m= 54
32.50		data= 13.5.198
38.50	sabbia medio grigia con poca ghiaia	
44.00	sabbia medio fine con rari elementi di ghiaietto	
	sabbia medio grossa con ghiaietto	Fenestrati:
52.00		59.14/62.28
52.80	torba e legno	85.03/98.70
54.00	sabbia grigia fine con lenti d'argilla	
	sabbia media grigia	
68.50		
	argilla grigia	ls.= 7.70
82.00		ld.= 10.60
84.50	sabbia fine argillosa	1/sec=24.80
		1/sec/m= 11.6
	sabbia media grigia con pochi elementi di ghiaietto	
99.50		
101.50	silt argilloso con lenti d'argilla e con lignite	
		IRSIAM



ALLEGATO 3

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO: RISULTATI DELL'INDAGINE ESEGUITA SU UN'AREA CAMPIONE

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

L'analisi sismica di I livello ha individuato due scenari di pericolosità sismica, come descritto nel capitolo 9 e sintetizzato nella Tavola 6 "Carta di pericolosità sismica locale".

Come previsto dalla D.G.R. 8/1566/2005, in caso di contemporaneità di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3), in fase di pianificazione/progettazione di strutture considerate strategiche o rilevanti si deve procedere all'analisi dei fattori di amplificazione di entrambi i casi per poi scegliere quello più sfavorevole (analisi di II livello).

La procedura di cui all'Allegato 5 prevede il confronto del valore di F_a caratteristico dell'area rispetto al valore di F_a caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: tale valore, detto "di soglia", è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Il risultato conduce a due situazioni: il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia oppure superiore. Nel primo caso la normativa antisismica è sufficiente nel considerare i possibili effetti di amplificazione topografica/litologica del sito, consentendo l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1); viceversa la normativa è insufficiente e devono essere effettuate analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione strutturale (classe di pericolosità H2).

Per il Comune di San Fiorano i valori di F_a di soglia, riferiti all'intervallo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D e E), sono i seguenti:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Classificazione</i>	<i>Suolo tipo A</i>	<i>Suolo tipo B-C-E</i>	<i>Suolo tipo D</i>
San Fiorano	4	0.7	0.9	0.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Classificazione</i>	<i>Suolo tipo A</i>	<i>Suolo tipo B-C-E</i>	<i>Suolo tipo D</i>
San Fiorano	4	0.9	1.3	2.2

Valori di soglia del fattore di amplificazione F_a per il Comune di San Fiorano.

I due intervalli di periodo per i quali viene calcolato il valore di F_a derivano dal periodo proprio delle tipologie costruttive che costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio: in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e rigide, mentre l'intervallo 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Amplificazione topografica

Lo scenario della zona di scarpata (Z3a) è caratterizzato da una irregolarità morfologica con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore a 10° . In figura 1 si riportano i criteri di riconoscimento che consentono di individuare la relativa classe di riferimento.

Sulla base delle caratteristiche geometriche della scarpata morfologica in esame, la classe di appartenenza risulta essere la n. 1, caratterizzata da un **fattore di amplificazione $F_a = 1.1$** ed una zona di influenza A dei fenomeni di amplificazione sismica pari all'altezza della scarpata.

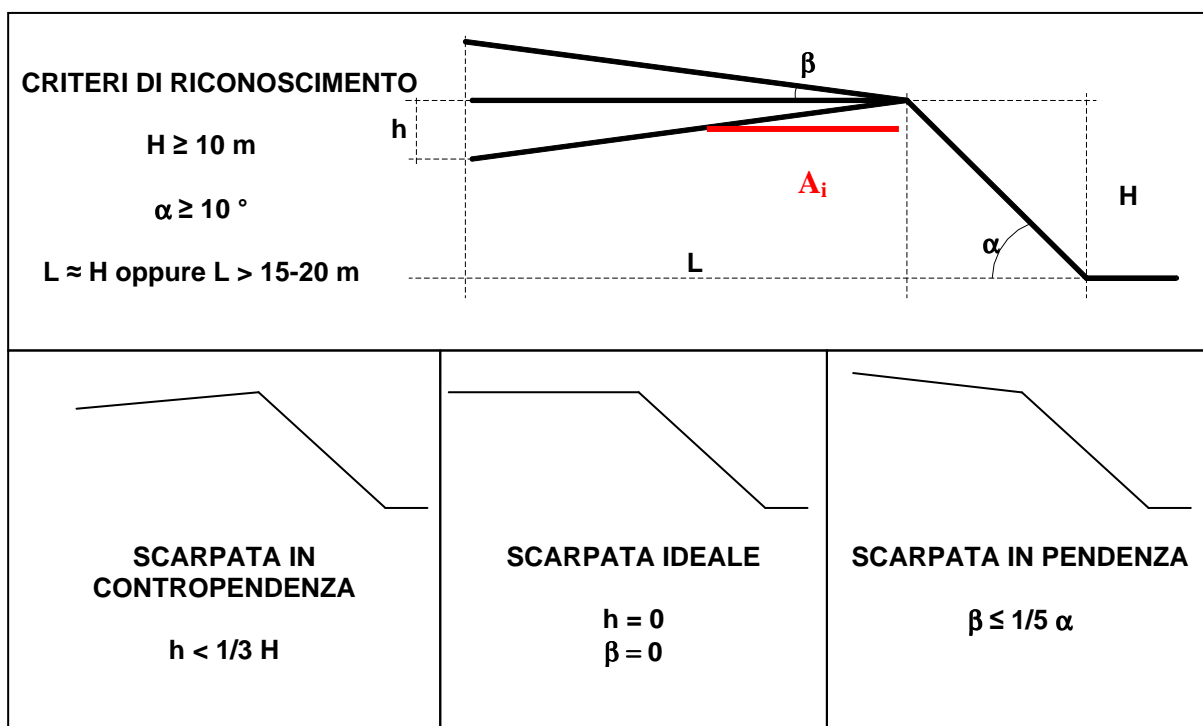


Figura 1: criteri geometrici di riconoscimento per le scarpate.

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

Classi di appartenenza per amplificazione sismiche di tipo topografico.

Amplificazione litologica

Lo scenario sismico Z4a identifica la possibilità che si verifichino effetti di amplificazione sismica legati alle caratteristiche lito-stratigrafiche e meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo.

Al fine di valutare tali effetti, all'interno del centro abitato (soggetto ad uno sviluppo edificatorio), è stata scelta un'area campione, procedendo per questa alla valutazione del secondo livello di approfondimento.

Per effettuare l'analisi di 2° livello con uno scenario Z4a è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità e spessore e velocità di ciascuno strato.

Tali parametri possono essere ricavati con metodi differenti, ciascuno contraddistinto da un diverso grado di attendibilità, così come riportato nella tabella seguente.

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

*Livelli di attendibilità per la stima del rischio sismico
e delle amplificazioni di sito.*

Al fine di valutare le possibili influenze sulla pericolosità sismica di base dovute alle proprietà litotecniche dei terreni che costituiscono il territorio comunale, è stata scelta un'area campione sulla quale è stato eseguito un profilo con la metodologia MASW per ricostruire il modello sismico monodimensionale (Vs-z); per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata ed all'elaborazione della prova si rimanda all'allegato 4 "Indagini geofisiche con metodologia MASW".

Area campione

L'area campione è localizzata in prossimità delle scuole comunali di San Fiorano. La prospezione sismica è stata effettuata nell'area a verde posta dietro l'edificio scolastico, come mostrato in figura 2.

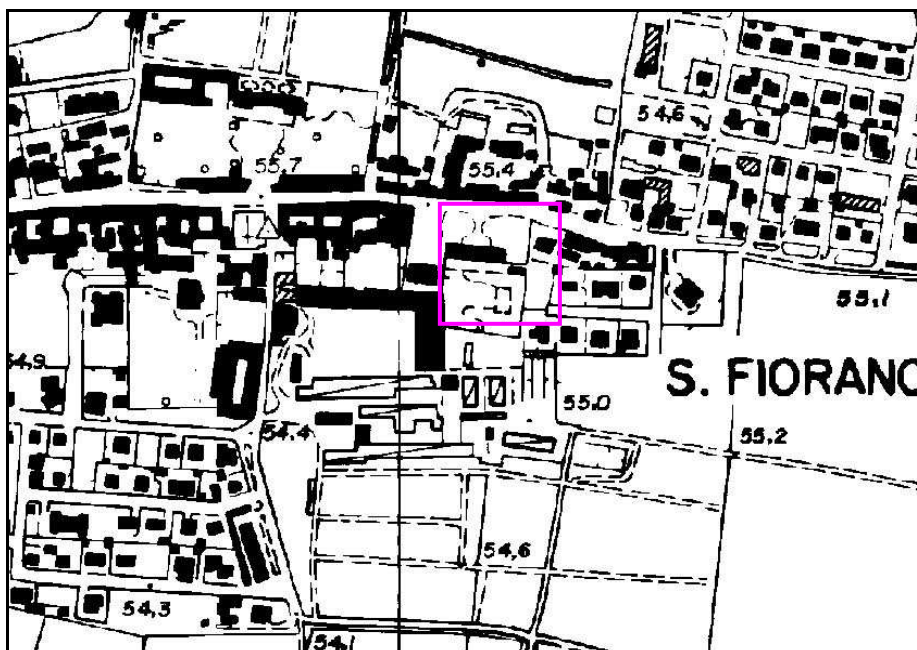


Figura 2: ubicazione della zona campione.

Per tale area il modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ottenuto dal profilo sismico MASW è il seguente:

Modello 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	1.00	77.33	1.00
2	0.70	107.77	1.70
3	0.87	87.95	2.57
4	1.09	119.13	3.65
5	1.36	173.21	5.01
6	1.70	123.58	6.71
7	2.12	99.53	8.83
8	2.65	178.82	11.48
9	3.32	263.41	14.80
10	4.14	315.00	18.94
11	6.74	459.22	25.67
12	8.22	685.76	33.89

Modello sismico monodimensionale.

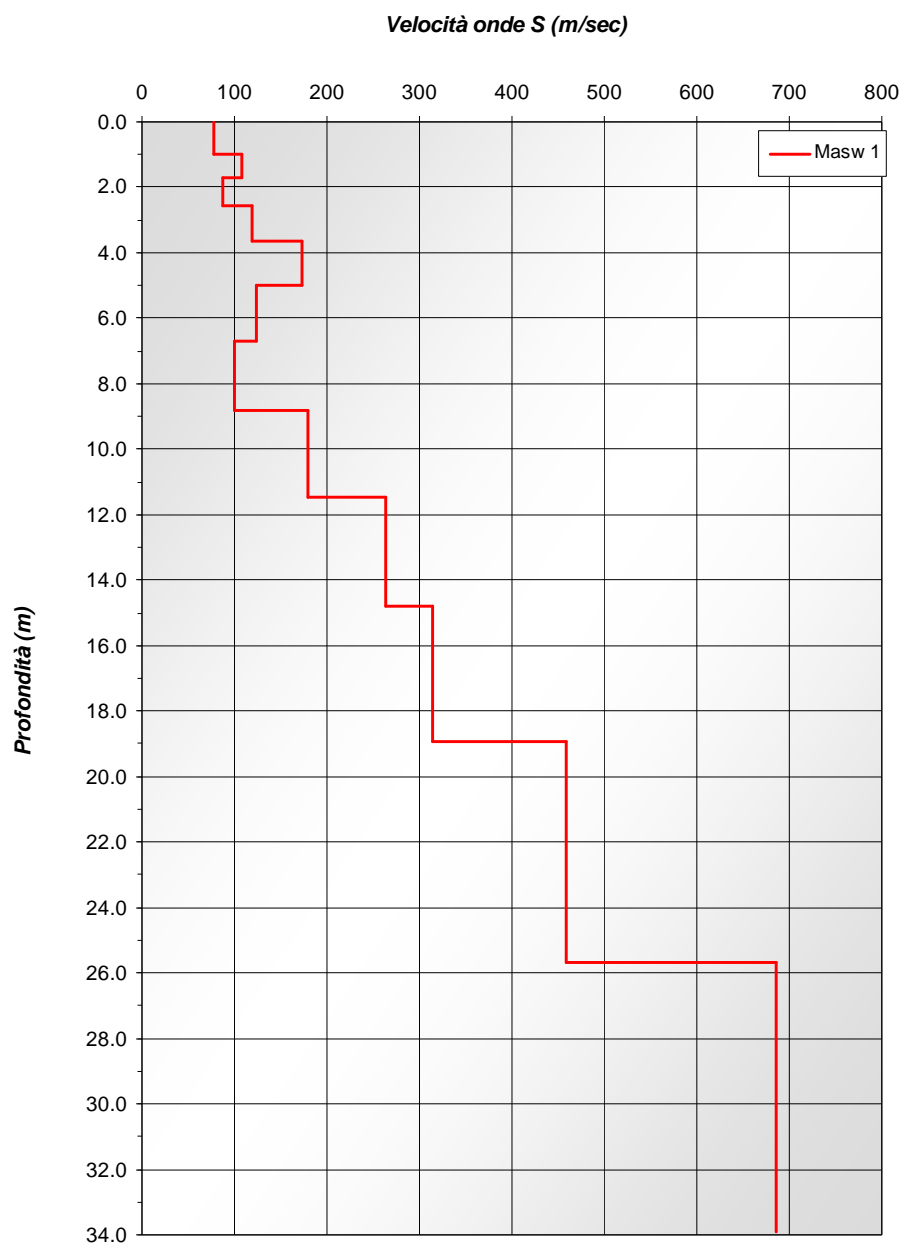


Figura 3: andamento Vs-profondità per l'area campione.

Stima degli effetti litologici

Secondo la procedura prevista per il 2° livello di approfondimento, il primo passo consiste nell'individuare la scheda litologica di riferimento che meglio approssima l'andamento del profilo Vs-z proprio del sito in esame (andamento Vs-z posto all'interno del "campo di

validità” della scheda³). All’interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa, calcolando successivamente il periodo proprio del sito con la seguente espressione:

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

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

In questo modo, utilizzando l’equazione propria della curva stabilita è stato possibile determinare il fattore di amplificazione Fa.

Sulla base del modello monodimensionale ricostruito, si ottengono i seguenti risultati:

Area	Curva	Scheda	Periodo T_0	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
I	1	Limoso-sabbiosa 2	0.371 s	2.4	1.84

Valutazione dei fattori di amplificazione per l’area campione.

Il valore di Fa proprio del sito è stato confrontato con il valore Fa di soglia che, come detto precedentemente, è contenuto in un elenco predisposto dalla Regione Lombardia e risulta differente per le diverse categorie di suolo.

³ Allo stato attuale sussistono dei limiti di nell’applicazione dell’analisi di 2° livello derivante dalla messa a punto da parte della Regione Lombardia di una metodologia basata su schede di riferimento ricavate da un numero limitato di dati geofisici (andamento delle Vs con la profondità). Tale fattore può comportare che il profilo Vs-z relativo alla litologia che caratterizza il sito sia differente da quello previsto dalla stessa litologia nella scheda di riferimento.

Gli approfondimenti contenuti nelle integrazioni all’Allegato 5 del febbraio 2006 - F. Pergalani, M. Compagnoni e V. Petrini - prevedono quindi che, nel caso in cui l’andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente, sia utilizzata la scheda che presenta l’andamento delle Vs più simile a quello riscontrato nell’indagine.

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il D.M. 14.09.2005 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , 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			

in cui V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

A partire dal profilo Vs-profondità è stato calcolato, con la formula riportata in precedenza, il valore delle V_{s30} (i 30 m di profondità sono stati misurati a partire dal piano campagna):

Area	V _{s30} [m/s]	Categoria di suolo
I	210.04	C

ANALISI DEI RISULTATI E PRIME CONSIDERAZIONI

Sulla base delle caratteristiche geologico-teniche e geomorfologiche proprie del Comune di San Fiorano è possibile identificare due scenari di pericolosità sismica: quello topografico in corrispondenza della scarpata morfologica principale e quello litologico (quest'ultimo sovrapposto al primo lungo il margine di terrazzo).

L'applicazione del 2° livello di approfondimento per i due scenari di amplificazione sismica (Z3a e Z4a) ha permesso di identificare i seguenti valori del fattore di amplificazione del sito:

amplificazione topografica $F_a = 1.1$

amplificazione litologica $F_a = 2.4$ (0.1-0.5s) e 1.84 (0.5-1.5s)

Il risultato di amplificazione litologica, tuttavia, è stato ottenuto in un'area campione all'interno del capoluogo; nonostante ciò, le informazioni stratigrafiche e geotecniche disponibili suggeriscono, all'interno del centro abitato, una sostanziale condizione di omogeneità, rendendo così l'area scelta come mediamente rappresentativa e sufficiente per un inquadramento a fini puramente urbanistici.

Confrontando i valori del fattore di amplificazione del sito con quelli di soglia risulta che

$F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$ per $0.1 < T_0 < 0.5$ s $F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$ per $0.5 < T_0 < 1.5$ s
--

Ciò implica che la normativa antisismica (O.P.C.M. 3274 e D.M. 14.09.2005) non considera in modo esaustivo i possibili effetti di amplificazione litologica, rendendo insufficiente l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa.

E' quindi ipotizzabile che l'intero territorio comunale sia soggetto a fenomeni di amplificazione locale (aree a pericolosità sismica locale nella quale il valore di F_a di sito è superiore al valore di F_a di soglia comunale).

Per questi motivi, qualsiasi trasformazione d'uso del suolo legata alla realizzazione di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) dovrà essere preventivamente accompagnata da una valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'attuazione del 2° livello di approfondimento (Allegato 5 della D.G.R. 8/1566/2005). Nel caso in cui venisse confermato che il fattore F_a di sito è maggiore di quello di soglia, in fase progettuale si dovrà definire l'azione sismica di progetto attraverso l'analisi di 3° livello.

ALLEGATO 4

INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW

Signa srl

INDAGINI GEOFISICHE

Committente: dott. geol. Marco Daguati

Località: San Fiorano (Lo)

Indagine: Indagine geofisica con la metodologia MASW

RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 23-08			Numero pagine: 17		
A	05/05/08	EMISSIONE	DG	DG	DG
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

SIGNA srl
Via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)
Tel/Fax 0363-79065 – Cell. 347-1445663
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967
www.signasrl.it; e-mail: info@signasrl.it



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
<i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO	
E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
3. ELABORAZIONE DATI.....	9
4. CALCOLO DELLE V_{S30}	12

ALLEGATI

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia MASW, effettuato presso l'area a verde posta all'interno del complesso scolastico del comune di San Fiorano (Lo).

La campagna di indagine è stata eseguita nella giornata del 22 Aprile 2008 su incarico del dott. geol. Marco Daguati nell'ambito dell'adeguamento dello studio geologico comunale alla nuova Legge per il Governo del Territorio (D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 recante "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell'art. 57 della L. R. n.11 marzo 2005 n. 12*").

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per le aree in esame, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z): il modello sismico monodimensionale costituisce infatti la base di partenza per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

Le particolari condizioni sito specifiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base: tali effetti devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica di un'area.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In figura 1 si riporta l'ubicazione della prova sismica effettuata.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
<i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano



Figura 1: ubicazione della prova MASW effettuata.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
<i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel “**metodo passivo**” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidezza del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-35 m di profondità (sempre in funzione della rigidezza degli strati).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione il "mini-bang calibro 8" in modo da raggiungere la maggior profondità possibile ed avere una registrazione con un alto rapporto segnale/rumore.

La sorgente, costituita dalla somma di due energizzazioni (processo di *stacking*), è stata posta ad una distanza di 10 e 14 m dal primo geofono (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*"; Park et al., 2005).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtrempi (MASW passiva) acquisendo in totale 10 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
2	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Fucile sismico tipo Minibang

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano



Figura 2: Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
Spaziatura tra i geofoni	2.0 m
Distanza sorgente 1° geofono	10 e 14 m
Tempo di campionamento	0.5 ms
Tempo di registrazione	1.6 s
Stack	2

Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA	
Spaziatura tra i geofoni	2.0 m
Tempo di campionamento	4.0 ms
Tempo di registrazione	30.0 s
Numero di registrazioni	10

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
<i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

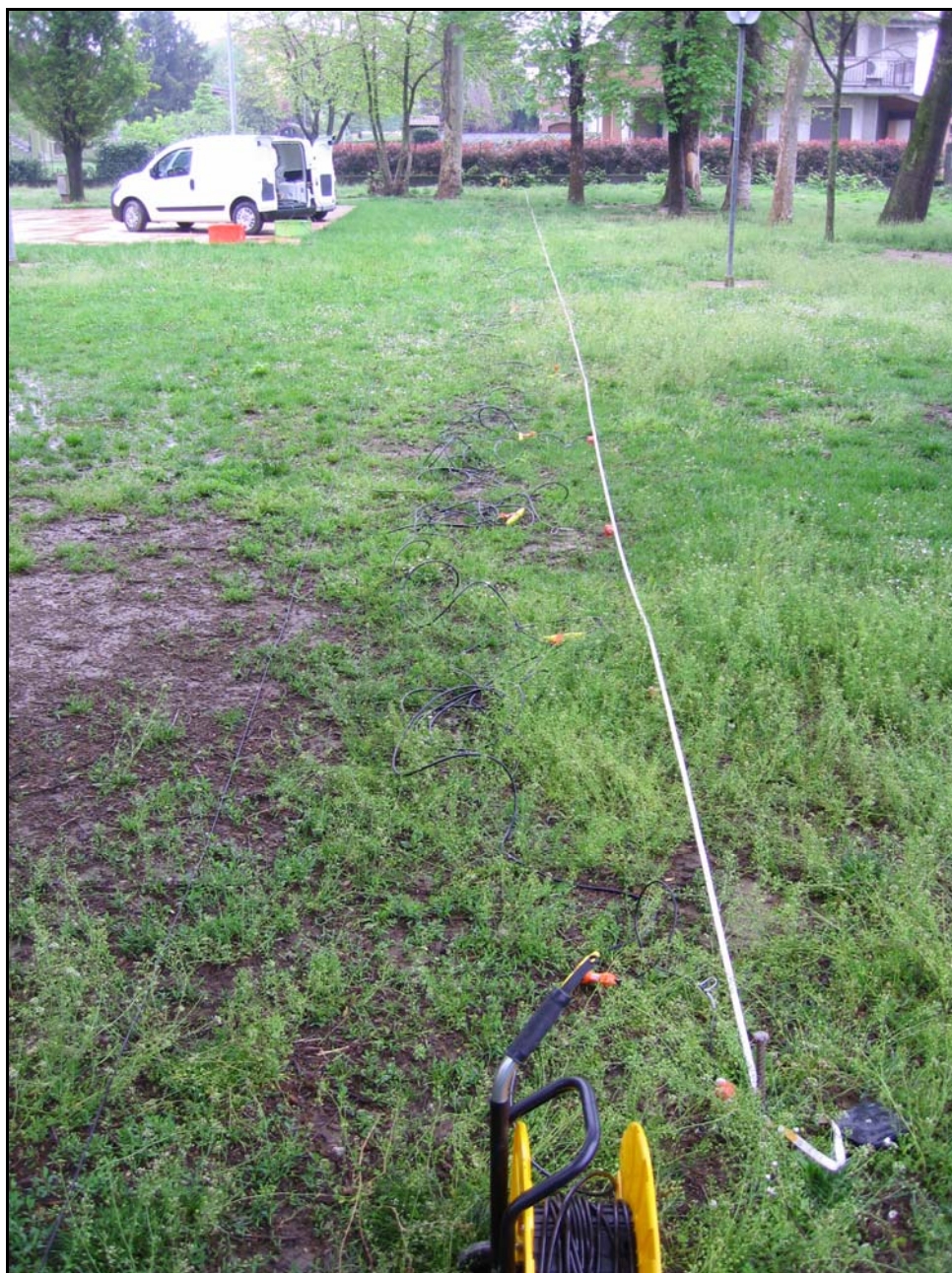


Figura 3: Vista dello stendimento MASW.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 2.0** della Kansas University).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

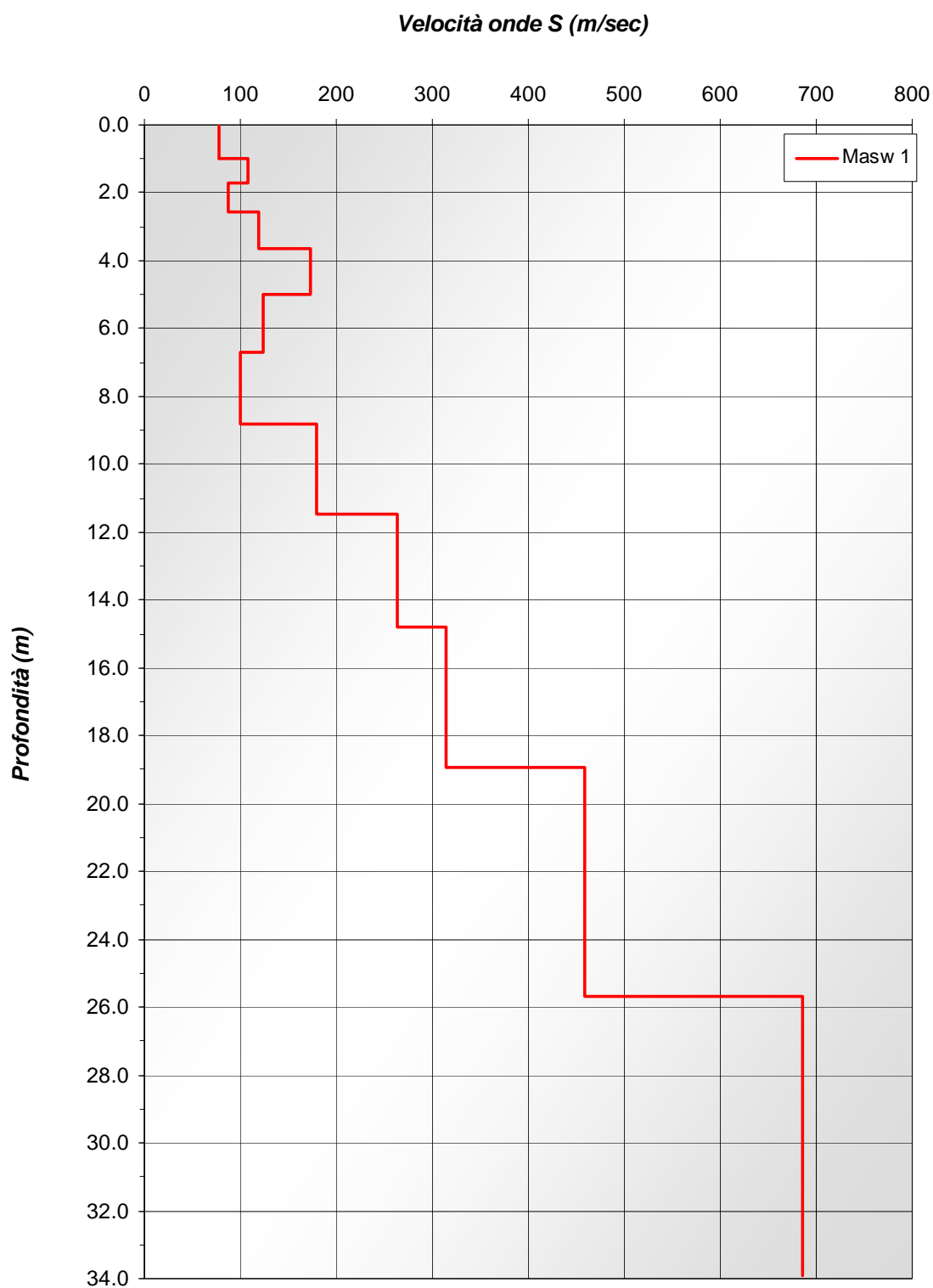
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 60 m):

Modello 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	1.00	77.33	1.00
2	0.70	107.77	1.70
3	0.87	87.95	2.57
4	1.09	119.13	3.65
5	1.36	173.21	5.01
6	1.70	123.58	6.71
7	2.12	99.53	8.83
8	2.65	178.82	11.48
9	3.32	263.41	14.80
10	4.14	315.00	18.94
11	6.74	459.22	25.67
12	8.22	685.76	33.89

Tabella 1: modello sismico monodimensionale.

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

4. CALCOLO DELLE V_{s30}

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle V_{s30} , che rappresenta la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle V_{s30} si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

$$V_{s30} = 210.04 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C**, ovvero “*depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri*” (si veda la tabella seguente).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V _{s30} (m/s)	N _{SPT}	C _u (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V _{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , 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} > 800m/s			

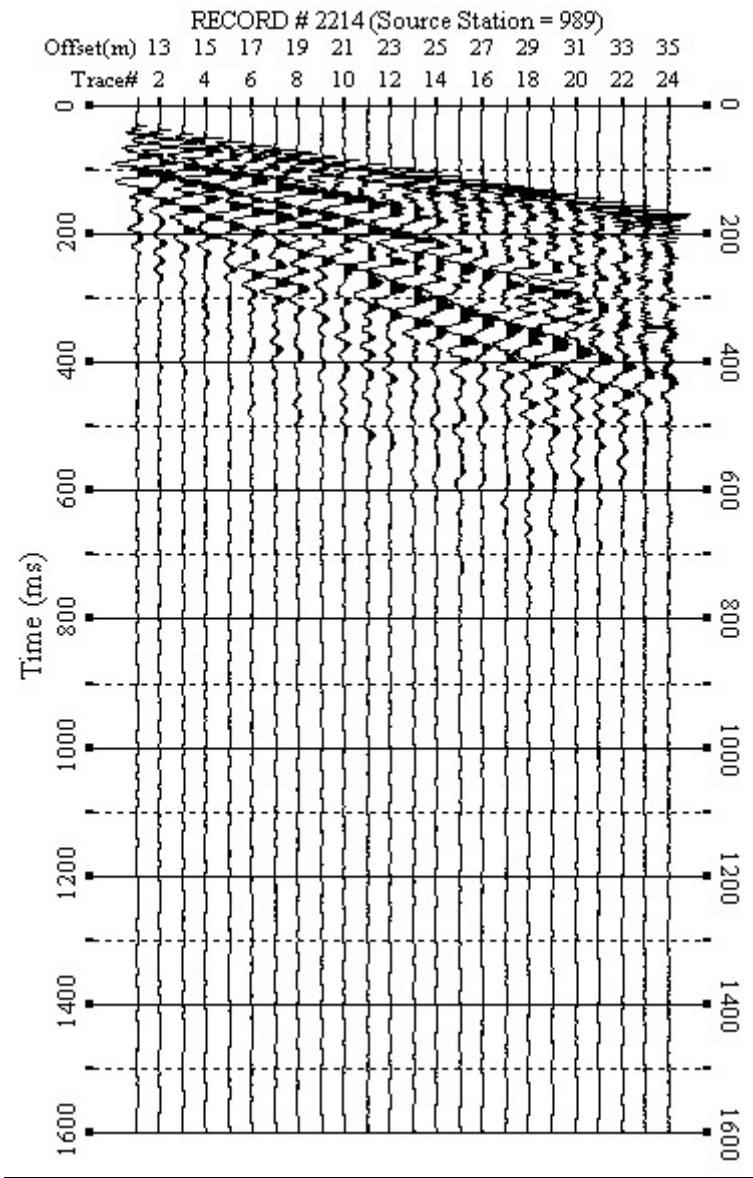
Tabella 2: categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
<i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

ALLEGATI

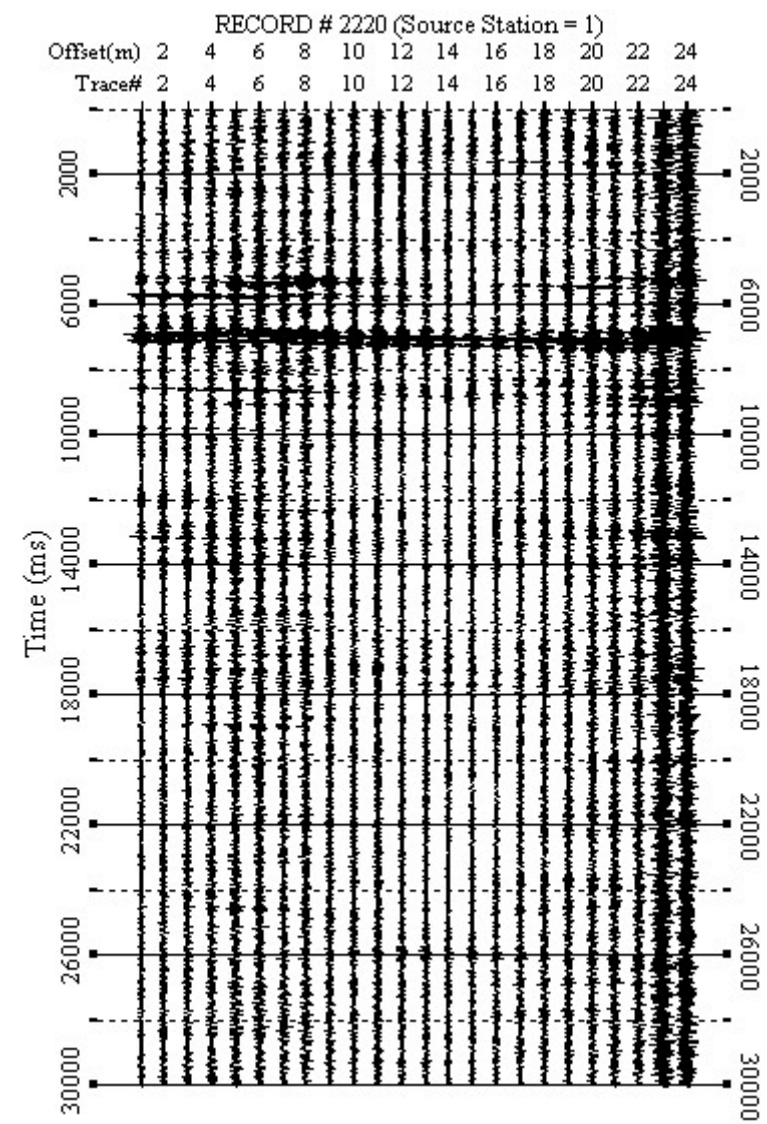
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	05/05/08
	N. Commessa	22-08
	C. Documento	01
Indagine geofisica con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

Registrazione MASW attiva



Data	05/05/08
N. Commessa	22-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

Registrazione MASW passiva



Data	05/05/08
N. Commessa	22-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-SanFiorano

CURVA DI DISPERSIONE COMBINATA

