studio associato
Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 – +39 035 271216 – Fax +39 035 271216

REL.1-LM 25/05/2010

COMUNE DI SAN MARTINO IN STRADA

Via Matteotti, 12 – San Martino in Strada (Lo)

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO ai sensi della D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008

Relazione geologica

Bergamo, maggio 2010

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA – ELITROPI MASSIMO nº 735

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA – CALDARELLI RENATO nº 801

Sommario

1 PREMESSA 5
2 EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO PADANO 6
2.1 Evoluzione morfodinamica della Pianura Padana 6
2.2 Cenni archeologici e storici 9
3 CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE DELL'AREA 12
3.1 Inquadramento geografico 12
3.2 Cenni di meteorologia 14
3.2.1 Temperatura 14
3.2.2 Precipitazioni atmosferiche 15
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 17
4.1 Premessa 17
4.2 Unità litologiche 17
5 CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. 1) 19
5.1 Premessa 19
5.2 Criteri adottati per la stesura della carta geomorfologica 19
5.3 Caratteri fisiografici ed altimetrici 19
5.4 Descrizione morfologica 19
5.4.1 Livello fondamentale della Pianura 20
5.4.2 Valle Alluvionale Attuale del Fiume Adda, terrazzo superiore 21
5.5 Evidenze di origine antropica 22
5.5.1 Antiche 22
5.5.2 Attuali 22
5.6 Carta pedologica 23
5.6.1 Introduzione 23
5.6.2 Descrizione delle unità cartografiche 23
5.6.3 La capacità d'uso dei suoli 25
6 CARTA IDROGELOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO (TAV. 2) 28
6.1 Premessa 28
6.2 Idrografia 28
6.3 Aspetti idrogeologici 30
6.3.1 Permeabilità superficiale dei terreni 30
6.3.2 La superficie piezometrica 31
6.3.3 Geometria degli acquiferi 32
6.4 Vulnerabilità dell'acquifero freatico 34
6.4.1 Premessa 34
6.4.2 DRASTIC 34
6.4.3 Vulnerabilità della falda freatica nel territorio di San Martino in Strada 40
7 CARTA DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA (TAV. 3) 43
7.1 Premessa 43
7.1.1 Livello Fondamentale della Pianura 43

7.1.2 Valle Alluvionale Attuale dell'Adda, terrazzo superiore 44
8 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (TAV. 4) 45
8.1 Premessa 45
8.2 Zonazione della pericolosità sismica locale 47
8.2.1 Primo livello 47
8.2.2 Secondo livello 48
8.3 Procedura 49
8.4 La metodologia MASW 50
8.4.1 Teoria 50
8.4.2 Procedura in sito 52
8.4.3 Interpretazione delle misure 52
8.4.4 Analisi dei risultati 54
8.4.5 Considerazioni finali 55
9 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 5) 57
9.1 Fasce PAI 58
9.2 Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili 61
9.2.1 Aree di tutela assoluta 61
9.2.2 Aree di rispetto 62
10 CARTA DI SINTESI (TAV. 6) 63
10.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti 63
10.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico 63
10.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico 63
10.4 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche 64
10.5 Aree di particolare interesse scientifico e naturalistico 64
11 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (TAV. 7) 65
11.1 Classi di fattibilità geologica 65
11.2 Motivazioni dell'attribuzione delle classi di fattibilità 68
11.3 La fattibilità geologica nel comune di San Martino in Strada 68
11.3.1 Classe 2 68
11.3.2 Classe 3 69
11.3.3 Classe 4 70
11.4 Normativa sismica 71

Allegati

1. Schede censimento pozzi;
2. Stratigrafie dei pozzi;
3. Prove penetrometriche statiche;
4. Velocità delle onde S, MASW Vs_{30};
5. Schede regionali per la valutazione del fattore di amplificazione;
6. D.M. LL.PP. 11 Marzo 1988.

Tavole

1. Carta Geomorfologica (scala 1:10.000);
2. Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico (scala 1:10.000);
3. Carta di Prima Caratterizzazione Geologico Tecnica (scala 1:10.000);
4. Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:10.000);
5. Carta dei Vincoli (scala 1:10.000);
6. Carta di Sintesi (scala 1:10.000);
7. Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (scala 1:10.000).

1 PREMESSA

Con l'entrata in vigore della "Legge per il governo del territorio" (L.R. 12/05 dell'11 marzo 2005) la Regione Lombardia ha modificato l'approccio culturale alla materia urbanistica, sostituendo il principio della pianificazione con quello del governo del territorio. La successiva D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, aggiornata con la D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, ha definito i criteri e gli indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della Legge Regionale.

L'elemento tecnico di maggiore novità introdotto è rappresentato dall'elaborato della carta della pericolosità sismica con la quale sono individuate quelle parti del territorio comunale che, per litologia e/o conformazione geomorfologica del paesaggio, presentano maggiore sensibilità ad un potenziale evento sismico.

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegate alla relazione. L'analisi dei singoli tematismi e le loro interconnessioni hanno prodotto la Carta di Sintesi e la Carta della Fattibilità Geologica, nelle quali sono distinti gli elementi di pericolosità naturale presenti nel territorio di San Martino in Strada e gli approfondimenti d'indagine propedeutici ai cambiamenti di destinazione d'uso.

Il presente lavoro aggiorna secondo i criteri della normativa vigente la Relazione Geologica Tecnica al Piano Regolatore Generale redatta dalla Società Ambiter nel 1995.

2 EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO PADANO

2.1 Evoluzione morfodinamica della Pianura Padana

L'ampio bacino della Pianura Padana, intendendo con questo termine il territorio delimitato dall'affiorare del substrato prequaternario delle Alpi, delle Prealpi e degli Appennini, presenta caratteristiche climatiche, geologiche, paesaggistiche e antropiche assai peculiari e varie, nonostante la sua apparente omogeneità. Questa variabilità testimonia la complessità degli eventi naturali che si sono succeduti nel tempo, in particolare durante le ultime fasi della storia geologica della Terra, che va sotto il nome di Quaternario e delle complesse interrelazioni con il fattore antropico.

La Pianura Padana è un ampio bacino sedimentario colmato da ingenti spessori di sedimenti sciolti di età quaternaria e di origine prevalentemente fluviale. L'individuazione del bacino data ad una fase pre-quaternaria: probabilmente a partire dal Miocene medio il sollevamento della catena appenninica portò alla formazione di un vasto golfo marino che iniziò a colmarsi di sedimenti.

L'evoluzione plio-quaternaria della pianura si può dividere in tre fasi:

1°) sedimentazione di depositi continentali, deltizi e di piana costiera (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore; prima di 700.000 anni fa);

2°) sedimentazione sotto l'influenza delle glaciazioni (cosiddetti Gunz, Mindel, Riss e Würm) e degli interglaciali pleistocenici (da circa 700.000 a 10.000 anni fa);

3°) cicli di sedimentazione ed erosione di età olocenica, cui si accompagna l'impatto antropico (da circa 10.000 anni fa ad oggi).

Da un punto di vista morfologico e morfostratigrafico si possono distinguere alcuni grandi sistemi fisiografici principali.

Procedendo da settentrione si incontra, presso il margine alpino ed allo sbocco delle principali vallate prealpine, il sistema di depositi glaciali che costituiscono gli apparati morenici del limite alpino (es. lago di Como e Lecco, Iseo, Garda, etc.). Questo sistema è composto da una grande varietà di sedimenti di origine glaciale, proglaciale (fluvioglaciale, glaciolacustre, etc.) ed eolica, depostisi durante le fasi di maggiore recrudescenza climatica del Pleistocene - le glaciazioni - quando i ghiacciai alpini si spingevano fino al margine della pianura trasportando e depositando materiali erosi

nelle Alpi. Vi si trovano morfologie relitte e inattive, che testimoniano condizioni morfodinamiche, climatiche e ambientali non in equilibrio con il sistema attuale. Depositi e forme sono databili, in toto, al Pleistocene; i meglio rappresentati sono quelli relativi all'ultima espansione glaciale - il cosiddetto Würm - che raggiunse il suo massimo all'incirca 18.000 anni da oggi.

Su questi depositi si sono sviluppati, dal momento del ritiro dei ghiacciai fino ad oggi, suoli derivanti dall'azione dei processi di alterazione pedogenetica; si tratta nella maggior parte dei casi di suoli profondi e discretamente alterati, essendo stati interessati da evoluzione continuativa almeno negli ultimi 15.000 anni circa.

La porzione centrale della Pianura Padana è occupata dal sistema dei depositi alluvionali, che costituisce la pianura alluvionale vera e propria.

Nel settore di pianura a nord del Po si riconosce, a fronte dell'eterogeneità di cui sopra, una certa omogeneità nella sequenza evolutiva. Semplificando drasticamente, presso il margine prealpino si individua un sistema di conoidi che va a raccordarsi con le morene würmiane e che, procedendo verso l'area centro-padana, va a formare un ampio terrazzo rilevato rispetto agli alvei dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina, sebbene con alcune significative eccezioni (il fiume Serio).

Questo terrazzo è tradizionalmente indicato dalla letteratura scientifica quale "Livello Fondamentale della Pianura", la cui superficie, lievemente ondulata da una serie di dossi, si configura smembrata dalle incisioni dei principali tributari sinistri del Po che vanno a costituire un sistema di valli, il cui limite è sottolineato da scarpate erosive. In queste stesse valli è sovente possibile distinguere più terrazzi morfologici; vi affiorano depositi fluviali olocenici del cosiddetto "Alluvium attuale" e "Alluvium medio": si tratta di sedimenti sciolti, con tessitura da ghiaiosa a limosa, al cui tetto si trovano suoli poco evoluti.

Nell'area di nostro interesse, il livello fondamentale si compone di depositi ghiaiosi e sabbiosi appartenenti al "Fluvioglaciale e fluviale würmiano" al cui tetto si rilevano suoli profondi e ben evoluti. La posizione morfologica e i caratteri dei sedimenti che ne costituiscono l'ossatura permettono di datare questa unità al Pleistocene superiore.

Procedendo verso sud, si giunge al limite meridionale dei terrazzi pleistocenici, e si entra nel tratto attivo della pianura (es. lungo il corso del Po o nelle Valli Grandi Veronesi), in aree ad elevata subsidenza e con continuo apporto di sedimenti.

L'assetto fisiografico e stratigrafico della pianura alluvionale riflette i caratteri dell'evoluzione morfologica durante il Quaternario. Il modello evolutivo più recente ritiene, in linea generale, che il livello fondamentale - così come la conoide dell'Adige in cui si manifesta una situazione analoga - rappresenti l'ultima grande fase di riempimento del bacino padano, i cui più recenti episodi di accrescimento si sarebbero attuati alla fine del Tardiglaciale. Successivamente, nell'Olocene iniziale un'intensa fase erosiva portò i corsi d'acqua di provenienza alpina ad incidere linearmente i depositi del livello fondamentale, approfondendosi rispetto ad esso e dando origine alle valli. In tal modo la superficie del livello fondamentale, isolata dai fenomeni fluviali che avevano luogo nelle valli, è venuta a trovarsi in una situazione di sostanziale stabilità geomorfologica, soggetta ai soli processi pedogenetici e, a meno di alcune eccezioni, senza significativi fenomeni di sedimentazione.

Per quanto riguarda le valli alluvionali uno studio effettuato sulla valle dell'Adda ha evidenziato come quest'unità fosse già stabile, cioè non interessata da intensi fenomeni di erosione o aggradazione, a partire dal medio Olocene. Molti autori considerano dunque che la principale fase di aggradazione delle valli oloceniche fosse già avvenuta prima della fine dell'Atlantico, cui sarebbero seguiti, nel Suboreale, una fase di incisione e un successivo alluvionamento. Bisogna sottolineare come la letteratura recente stia in certo qual modo rivedendo il vecchio stereotipo dell'Olocene quale periodo di stabilità ambientale e geomorfologica, evidenziando come pure nelle sue fasi più recenti si siano verificati vari eventi anche di portata notevole.

Un particolare sub-sistema della pianura alluvionale è dato dall'insieme dei rilievi isolati rilevabili in alcuni settori limitati. Specificamente nella zona del lodigiano è presente il più evidente e sviluppato rilievo sito in Pianura Padana, risalente a formazioni geologiche di età terziaria e quaternaria (Miocene medio – Tortoniano e Pleistocene) con affioramenti marini di argille, calcari e sabbie, coincidenti con le colline di San Colombano al Lambro.

2.2 Cenni archeologici e storici

L'evoluzione del paesaggio padano è stata fortemente influenzata dall'azione antropica.

Le tracce della presenza umana nella Pianura Padana sono tra le più antiche d'Europa, databili a oltre un milione di anni fa e vari siti documentano una frequentazione che, se non continuativa, è comunque ripetuta in più momenti del Paleolitico inferiore, medio e superiore da parte dei gruppi di cacciatori-raccoglitori-pescatori nomadi.

Un notevole incremento nelle testimonianze preistoriche si registra a partire dal tardo Paleolitico superiore (Epigravettiano, da 15.000 anni fa) e durante il Mesolitico, ma il vero momento critico che porta ad una profonda modificazione nelle relazioni tra umani e ambiente è la neolitizzazione, processo che porta alla comparsa delle pratiche dell'agricoltura e dell'allevamento. A quel tempo l'intera pianura Padana era in gran parte occupata da fitte foreste di querce decidue (farnia, rovere), alle quali si associarono in seguito tiglio ed olmo formando così il querceto misto. Fin dalle fasi più antiche del Neolitico, intorno al 5.500 a.C., il popolamento umano si intensifica e si qualifica in tutto il bacino mediterraneo. Nel territorio padano si assiste dapprima ad una fase di popolamento lungo le conoidi e nei fondovalle, aree dove le caratteristiche pedologiche e idrologiche consentivano alla tecnologia neolitica una certa resa nelle pratiche di coltivazione. Bisogna sottolineare come durante il neolitico l'agricoltura venisse effettuata mediante la tecnica dello *slash and burn,* cioè mediante l'incendio di vaste aree, la loro coltivazione e il successivo abbandono, fatto che determinava, malgrado la scarsa densità di popolazione, un discreto impatto antropico, soprattutto sulle caratteristiche del suolo.

Nell'Eneolitico (intorno al 3.000 a.C.) compare la metallurgia: ampi settori prealpini e collinari vengono disboscati per fini estrattivi e per mettere a disposizione combustibile legnoso. Si verifica dunque il primo consistente impatto antropico sui versanti, con la mobilitazione di ampie porzioni della copertura pedogenetica che vengono rielaborate lungo i pendii e rideposte in forma di depositi colluviali. Questo momento di forte pressione antropica si associa ad un "deterioramento" climatico, con un effetto di *feedback* assai consistente sul territorio, soprattutto nelle fasce pedemontane.

Altro periodo cruciale è la media età del Bronzo (circa 1.500 a.C.) quando, grazie alle innovazioni tecnologiche e alla maggiore stabilità insediativa, le pratiche agricole si

intensificarono. Alcuni autori ritengono che già a partire dalla media e recente età del Bronzo vasti settori dell'area centro-padana vengano disboscati, coltivati e irreggimentati idricamente, come attestato, oltre che dall'analisi di sedimenti e suoli, anche dalle evidenze paleobotaniche.

Da questo momento la pressione antropica prosegue nel processo di intensificazione, sfociando, all'incirca 2.000 anni fa, nella prima vera e propria organizzazione territoriale permanente registratasi nella Pianura Padana, che corrisponde alla centuriazione.

Le politiche coloniali in età repubblicana prima e imperiale poi, portarono alla necessaria spartizione del territorio, mediante il suo disboscamento, la suddivisione delle parcelle agrarie secondo una maglia quadrangolare regolare, l'irreggimentazione idrica dei corsi d'acqua e la creazione di un sistema di viabilità e di irrigazione artificiale. Tale processo di regolarizzazione e pianificazione territoriale procedette per vari secoli, determinando la creazione di un *pattern* territoriale che si è conservato in buona parte della pianura e ne costituisce il tratto distintivo. Malgrado infatti si registrino delle fasi di relativo abbandono del territorio, la modificazione dell'idrografia e la creazione di un microrilievo artificiale hanno fornito all'organizzazione territoriale un'impronta difficilmente cancellabile, sulla quale si sono andate sovente a sovrapporre, reiterandolo, le parcellazioni agricole e le riorganizzazioni fondiarie di età più recente.

Come in altre aree della Pianura Padana, anche nel territorio lodigiano la centuriazione costituisce uno dei più evidenti tratti paesaggistici del territorio di pianura.

Nella pianura lodigiana si osserva in alcune aree la sovrapposizione di due sistemi di centuriazione con estensione ed orientamento divergenti. La prima è probabilmente databile intorno all'89 a.C. quando, con la costituzione di colonie latine in molti centri della Gallia Cisalpina, si crearono le condizioni adatte per la suddivisione agraria di parte del territorio. Infatti in quel periodo, nel territorio di Laus Pompeia (l'attuale Lodi) il console romano Pompeo Strabone (a cui Lodi deve il suo nome) ottenne dal senato romano la concessione di ottenere la cittadinanza latina per gli indigeni che erano entrati nell'esercito romano o avevano rivestito cariche pubbliche. A partire da allora molte ricche famiglie latine e romane si trasferirono nel lodigiano ed entrarono in possesso di fondi agricoli ai quali lasciarono il proprio nome (dalla "gens Mucia", Muzzano ed il canale Muzza; dalla "gens Balbia", Balbiano; dalla "gens Cornelia" Cornegliano Laudense, ecc.).

La seconda si colloca cronologicamente non oltre l'età augustea e interessa quasi per intero la pianura lodigiana, sovrapponendosi alla precedente. In entrambe il cardo è disposto circa NNW-SSE, subparallelo alle aste fluviali dell'Adda e del Lambro. Ovviamente la centuriazione più recente è meglio visibile della precedente, sovrapponendosi ad essa, sebbene le tracce della prima non siano state completamente cancellate. La discordanza angolare tra le due è minima, valutabile in meno di 10°.

L'orientazione degli assi della centuriazione e la distribuzione delle aree non centuriate riflettono la buona conoscenza del territorio e delle dinamiche geomorfologiche degli agrimensori romani.

3 CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE DELL'AREA

3.1 Inquadramento geografico

Il Comune di San Martino in Strada si trova 5 km a sudest di Lodi e 32 Km a nord est di Piacenza. Ha un'estensione di circa 13,35 kmq e una popolazione di 3.642 abitanti (31 marzo 2010).

Confina a nord con i comuni di Lodi e Corte Palasio, ad ovest con Massalengo e Cornegliano Laudense, a sud con Ossago Lodigiano e ad est con i Comune di Corte Palasio e Mairago.

La superficie urbanizzata è concentrata nel settore centro centrale del territorio comunale ed occupa circa il 6,5% della superficie totale. La restante parte è formata da piccoli insediamenti rurali circondati da terreni coltivati a seminativo o a prato.

Il Comune di San Martino in Strada è attraversato da due importanti arterie di collegamento viario: la Strada Statale 23, che collega Lodi a San Colombano al Lambro, la Strada Statale 9, che collega Lodi a Piacenza. Immediatamente ad est del centro abitato corre la linea ferroviaria Milano-Piacenza-Bologna.

Il territorio comunale è compreso nelle sezioni B7e2, C7a1 e C7a2 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 aggiornata al 1994 (Fig. 1).

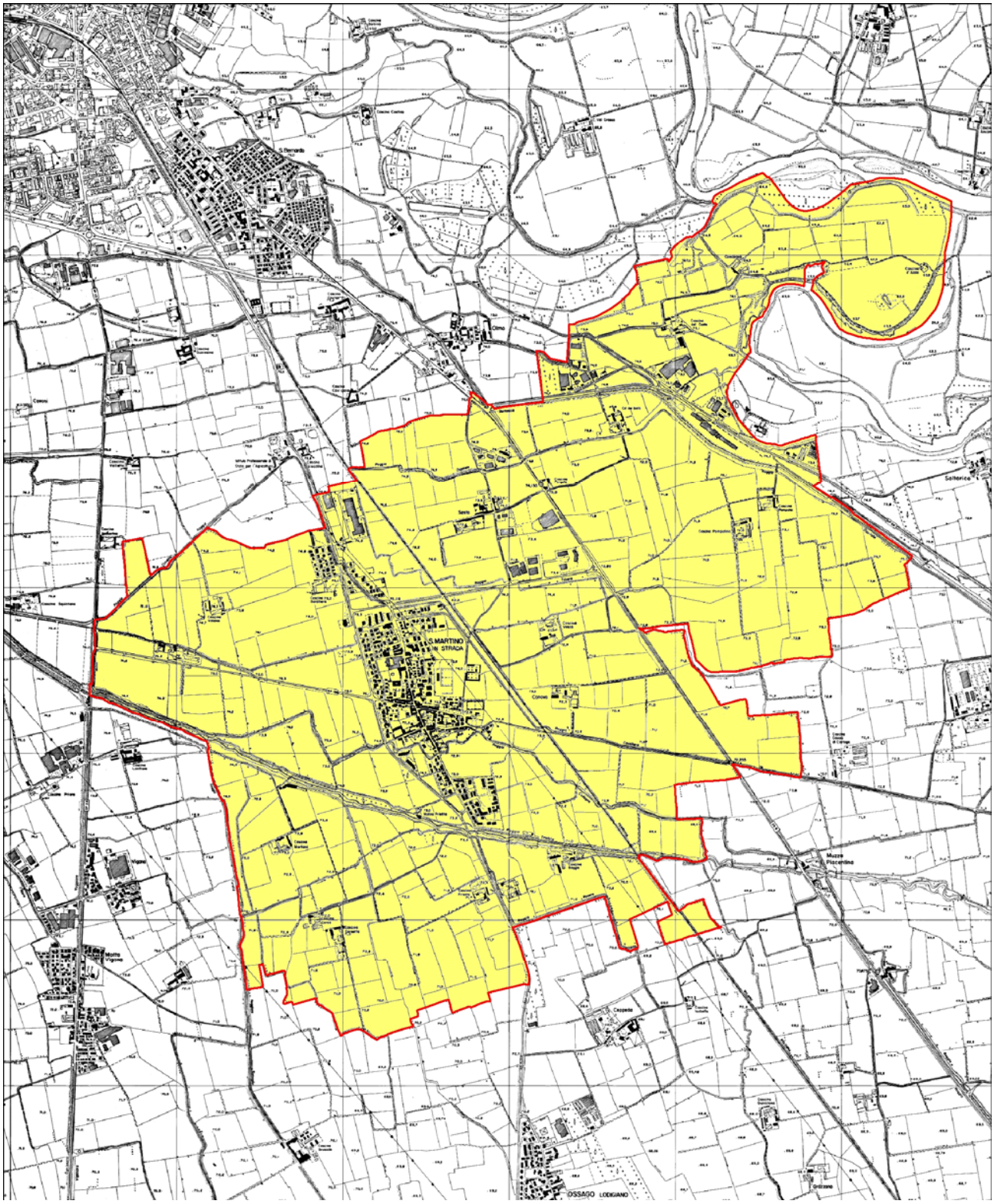


Fig. 1: Inquadramento geografico del territorio comunale di San Martino in Strada (scala 1:35.000).

3.2 Cenni di meteorologia

I fattori sui quali si basano le diverse classificazioni climatiche sono la temperatura e le precipitazioni, cui si affiancano la radiazione netta (differenza tra energia in entrata e in uscita), il bilancio del suolo e la vegetazione.

Il Comune di San Martino in Strada è situato in un'area di pianura soggetta al tipico clima continentale con inverni rigidi ed estati calde e, in genere, piovose. La presenza di nebbie serali e notturne è dovuta all'inversione termica al suolo e all'alta umidità relativa presente.

Le precipitazioni liquide (piogge) o solide (neve, grandine, brina e rugiada) sono misurate in mm: ogni mm corrisponde ad un litro d'acqua per mq e ogni cm di neve equivale ad un mm d'acqua.

Sono di seguito illustrati l'andamento della temperatura e delle precipitazioni rilevate nelle stazioni agrometeorologiche dell'ARPA Lombardia di Lodi nel periodo compreso tra il 2004 e il 2007 e nella stazione di Tavazzano nel periodo conmpreso tra il 2000 ed il 2007.

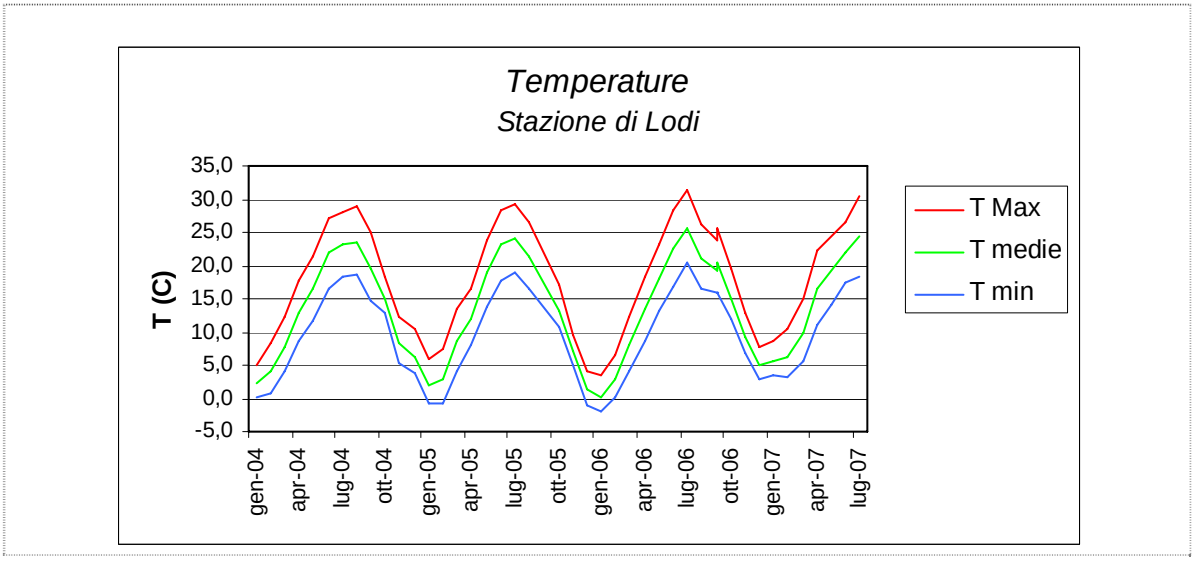
3.2.1 Temperatura

La temperatura dell'aria dipende dalla radiazione solare, dai movimenti terrestri ed atmosferici.

Nei grafici sono visualizzate le temperature massime, medie e minime mensili registrate nelle aree di Lodi e Tavazzano (Fig. 2).

I mesi di luglio ed agosto sono in media i più caldi sia a Lodi che a Tavazzano con temperature comprese fra i 20,3 e i 29,3 °C. La temperatura massima raggiunta a Lodi nel luglio 2006 è stata di 31,2°C, mentre a Tavazzano sono stati registrati 34,1°C nell'agosto 2003. Le rispettive temperature minime sono -2,0°C a Lodi (nel gennaio 2006) e -4,0°C a Tavazzano (gennaio 2002).

L'escursione termica a Lodi ha raggiunto i suoi apici nel luglio 2007 (12,0°C), mentre a Tavazzano ha raggiunto il suo massimo (14,7°C) sempre nel luglio 2007.



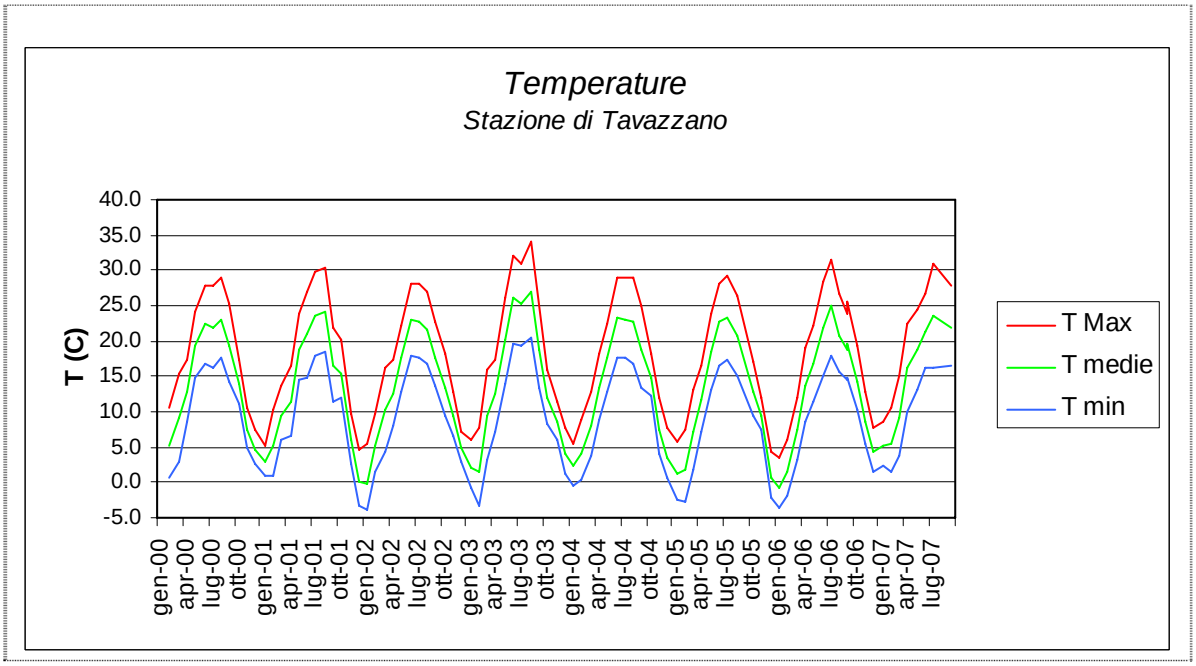


Fig. 2: *Diagrammi delle temperature mensili*

3.2.2 Precipitazioni atmosferiche

Le precipitazioni presentano apici di massima pioggia in settembre-ottobre sia a Lodi che a Tavazzano. Non si riconosce un vero e proprio periodo standard di siccità poiché i minimi non sono ben localizzati, seppure si concentrino normalmente nei mesi invernali (Fig. 3).

Le piogge più intense a Lodi risalgono al mese di novembre del 2004 e ottobre 2005 con 4,2 mm/h di pioggia; a Tavazzano il valore massimo è stato registrato nel novembre 2002 con 9,2 mm/h di pioggia.

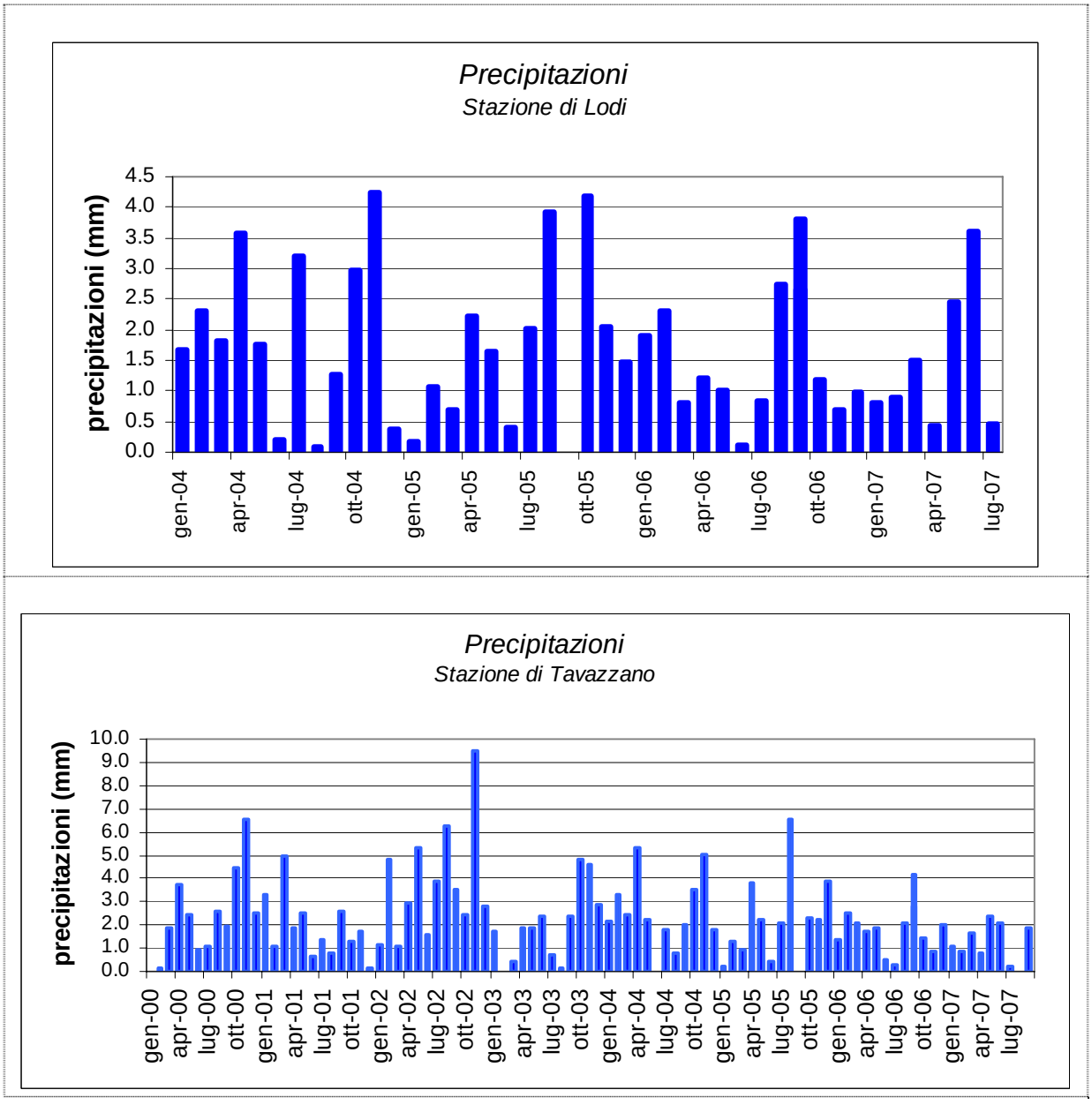


Fig. 3: Istogrammi delle precipitazioni medie mensili.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

4.1 Premessa

Le informazioni geologiche di carattere generale riguardanti il territorio di San Martino in Strada sono state ricavate dalla bibliografia e dalla cartografia geologica esistente ed in particolare dallo Studio Geologico redatto nel 1995 dallo Società Ambiter e più recentemente dal Piano d'Ambito della Provincia di Lodi.

Tali dati sono stati verificati e integrati dove necessario, mediante il rilevamento sul terreno.

4.2 Unità litologiche

Il territorio di San Martino in Strada è relativamente omogeneo dal punto di vista geologico. Vi affiorano depositi d'origine alluvionale prodotti dall'azione sedimentaria del Fiume Adda durante le fasi finali del Pleistocene superiore.

La Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, foglio n. 60 Piacenza (Fig 4), individua le seguenti unità litologiche:

- *Fluvioglaciale e fluviale Wurm (fg^W):* costituisce l'unità geomorfologica definita "Livello Fondamentale della Pianura": comprende sedimenti quali ghiaie sabbiose e sabbie con strato superficiale di alterazione limoso-argilloso brunastro spesso circa 40 - 60 cm. Risale al Pleistocene superiore ed è anche denominata nella letteratura geologica "Diluvium recente".

- *Alluvioni recenti (a^2):* alluvioni limose, localmente sabbiose e ghiaiose, anche attualmente esondabili, recenti (a^2) con localmente inclusi depositi di bacini palustri, prevalentemente argillosi, neri (*p*). *Olocene*.

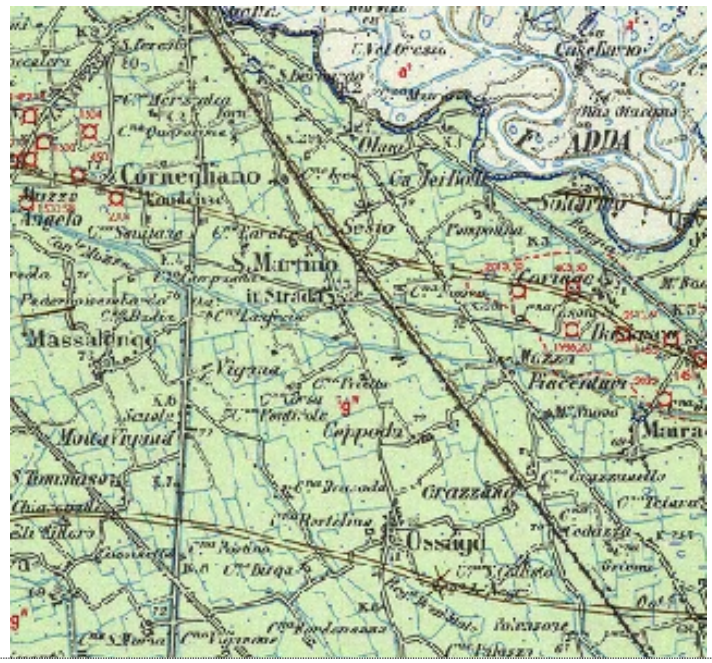


Fig. 4: Stralcio della Carta Geologica D'Italia Foglio 60 Piacenza.

La carta geologica allegata al Piano d'Ambito redatto dalla Provincia di Lodi in scala 1:50.000, descrive il territorio lodigiano fornendo informazioni circa le caratteristiche dei depositi che costituiscono il primo sottosuolo.

Il settore della pianura lodigiana su cui insiste il territorio di San Martino in Strada si caratterizza per una certa omogeneità litologica dovuta ad una prevalenza di sedimenti sabbiosi. Tale successione stratigrafica è confermata dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici acquisiti nel corso di questa indagine che individuano nel primo sottosuolo depositi sabbiosi medio fini con ghiaie e intercalazioni di argille limose (Allegati 1 e 3).

5 CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. 1)

5.1 Premessa

Il territorio di San Martino in Strada è situato nel settore della pianura lodigiana compresa tra i fiumi Lambro e Adda.

L'assetto geomorfologico attuale risente principalmente dell'azione delle dinamiche fluviali (e fluvioglaciali) e del prolungato impatto antropico.

5.2 Criteri adottati per la stesura della carta geomorfologica

La stesura della carta geomorfologica in scala 1:10.00, su base topografica aerofotogrammetrica è stata articolata nelle seguenti fasi:

- ricerca bibliografica;
- rilevamento sul terreno delle emergenze morfologiche.

La legenda della carta è il risultato di integrazioni fra le differenti proposte della recente bibliografia tecnico-scientifica.

5.3 Caratteri fisiografici ed altimetrici

Il territorio di San Martino in Strada si può suddividere schematicamente in due zone in base all'uso attuale del territorio:

- l'area urbanizzata ed industriale localizzata nel settore centro meridionale del territorio comunale;
- il paesaggio agricolo.

Le quote altimetriche, comprese fra 69,15 metri s.l.m. a nord-ovest e 57,18 m s.l.m. a sud-est, decrescono procedendo da sud a nord e da ovest ad est, determinando un'immersione verso est nordest della superficie topografica.

5.4 Descrizione morfologica

Il territorio di San Martino in Strada si presenta abbastanza omogeneo dal punto di vista fisiografico e geologico. Si distinguono infatti solo due unità fisiografiche principali: il "Livello Fondamentale della Pianura" che comprende la

maggior parte del territorio comunale compreso il nucleo abitativo principale e la “Valle Alluvionale Attuale del Fiume Adda”.

5.4.1 Livello fondamentale della Pianura

La formazione del Livello Fondamentale della Pianura è dovuta a processi di dinamica alluvionale avvenuti nel Pleistocene superiore tardo nell'ambito di un sistema fluviale oggi scomparso.

Quest’unità si sviluppa con ampiezza variabile da 10 a 12 Km in tutto il territorio lodigiano e si estende in direzione NW-SE risultando delimitata a NE e SW da accentuate depressioni formate dagli alvei e dai depositi più recenti del Lambro e dell’Adda.

Nel Comune di San Martino in Strada la transizione dal Livello Fondamentale della Pianura alla Valle attuale dell’Adda è marcata dalla presenza di un terrazzo fluviale caratterizzato da buona continuità laterale e da un dislivello che raggiunge i 10 metri, 14 metri.

Dal punto di vista tessiturale il Livello Fondamentale della Pianura è formato prevalentemente da sabbie e sabbie limose debolmente argillose con intercalazioni di ghiaie. L’origine fluviale e fluvioglaciale si esprime in una maggiore variabilità tessiturale e laterale dei corpi sedimentari.

Foto 2: Livello Fondamentale ad ovest del centro abitato.

Foto 3: Livello Fondamentale della Pianura in prossimità di Cascina del Conte.

5.4.2 Valle Alluvionale Attuale del Fiume Adda, terrazzo superiore

L'unità fisiografica Valle Alluvionale Attuale dell'Adda occupa la parte nord orientale del territorio comunale e si pone a quote mediamente inferiori rispetto all'adiacente livello fondamentale della pianura.

Il terrazzo è delimitato da una scarpata discontinua che in alcuni tratti raggiunge altezze di 10, 14 metri. In alcuni settori è stata invece cancellata dall'attività estrattiva come nel comprensorio Rg1, che ha portato, mediante riporti e movimenti terra, alla comparsa di orli di scarpata antropici e/o all'eliminazione dei dislivelli esistenti.

Si tratta verosimilmente di un'unità di età olocenica, riattivata in occasione di piene particolarmente importanti del Fiume.

L'Unità è formata da corpi ghiaioso, sabbiosi intercalanti a lenti limose, il cui andamento superficiale permette di ricostruire l'andamento di paleocanali fluviali. Il più evidente dei quali è rappresentato dalla Lanca di Soltarico.

I sedimenti sono scarsamente pedogenizzati e danno origine a Inceptisol con orizzonti A debolmente evoluti, apparentemente privi di orizzonti B strutturati.

Foto 4: Scarpata che delimita il Livello Fondamentale della Pianura.

Foto 5: La morfologia tabulare del Terrazzo inferiore del Fiume Adda

5.5 Evidenze di origine antropica

5.5.1 Antiche

Da diversi millenni l'uomo ha modificato l'idrografia, le forme del rilievo, i sedimenti e i suoli del territorio padano.

L'osservazione geomorfologica permette di riconoscere alcune forme caratteristiche dell'organizzazione territoriale evidenziando come il territorio padano sia prevalentemente un paesaggio antropico, più che naturale.

Nonostante le intense modifiche al tessuto agrario, che hanno coinvolto anche il territorio di San Martino in Strada, alcune tracce naturali si sono conservate, testimoniando l'evoluzione che il territorio ha subito nel corso dei millenni.

L'impatto antropico più evidente è dovuto alle intense modificazioni dovute alla pratica agraria. Riporti di terreno e livellamenti hanno in gran parte cancellato la morfologia naturale.

Il sistema idrografico naturale e artificiale è molto capillare e ben organizzato; è costituito da una fittissima serie di rogge e canali gerarchizzati, la maggior parte dei quali artificiali, che attraversano in ogni parte il territorio comunale con direzione prevalente nord-sud. Si tratta di canali di drenaggio e di irrigazione distinti in collettori primari e secondari di irrigazione.

5.5.2 Attuali

Le recenti evoluzioni di tipo industriale e tecnologico, registrate a partire dal secolo scorso, hanno portato ad un cambiamento radicale nell'uso del territorio, assegnato nei secoli precedenti alle coltivazioni agrarie e al pascolo.

Ad esse si è accompagnato lo sviluppo demografico che ha portato all'espansione dei centri abitati e ad una nuova organizzazione della struttura urbana. Ciò è avvenuto anche a San Martino in Strada con la costruzione di nuovi insediamenti abitativi ed industriali (TAV. 2).

5.6 Carta pedologica

5.6.1 Introduzione

I dati riguardanti le caratteristiche pedologiche del territorio di San Martino in Strada sono stati desunti dalla *Base informativa Suolo a scala di semidettaglio* facente parte del *"Progetto Carta Pedologica"* (versione 2) dell'ERSAL disponibile sul Portale Cartografico della Provincia di Lodi.

Nella figura 5 è riportato un estratto della Carta Pedologica in scala 1:40.000, nella quale i diversi suoli sono suddivisi in unità cartografiche. Ciascuna unità individua suoli con caratteristiche tassonomiche e gestionali similari.

La classificazione tassonomica utilizzata ricalca il sistema della Soil Taxonomy Classification dell'U.S.D.A. del 1990 (United States Department of Agricolture).

5.6.2 Descrizione delle unità cartografiche

Nell'area oggetto di studio sono state distinte le seguenti unità cartografiche identificate mediante le sigle dall'ERSAL:

- **U.C. 149-SAB2:** l'unità cartografica, associata all'alveo del Fiume Adda, è costituita da superfici della fascia di esondazione del Fiume Adda a rischio di inondazione molto alto. I suoli sono sottili limitati dal substrato ghiaioso, a tessitura grossolana abbondante, drenaggio moderatamente rapido, permeabilità moderatamente elevata.

- **U.C. 150-RAM1:** l'unità, associata ai paleoalvei del Fiume Adda, è costituita da superfici allungate, poste a quote inferiori rispetto unità limitrofe che rappresentano meandri abbandonati e spesso parzialmente o completamente interrati dall'accumulo di sedimenti. I suoli sono poco profondi o sottili limitati da substrato ghiaioso, a tessitura media in superficie e moderatamente grossolana in profondità, con scheletro scarso fino a 40 cm e abbondante al di sotto, drenaggio lento e permeabilità moderata.

- **U.C. 152-SAB1:** l'unità cartografica, associata all'alveo del Fiume Adda, è costituita da superfici pianeggianti o poco ondulate del fondovalle attuale a basso rischio di inondazione. I suoli sono sottili limitati dal substrato ghiaioso,

a tessitura grossolana abbondante, drenaggio moderatamente rapido, permeabilità moderatamente elevata.

- **U.C. 154-AMA1/IAS1:** è costituita da superfici pianeggianti localizzate nella valle attuale dell'Adda a moderato rischio di inondazione. I suoli AMA1 sono da profondi a molto profondi, a tessitura moderatamente grossolana o media, con drenaggio mediocre e permeabilità moderata. I suoli IAS1 sono invece sottili spesso limitati dalla falda, a tessitura media o moderatamente grossolana in superficie e grossolana in profondità, con scheletro scarso, drenaggio lento e permeabilità moderata.

- **U.C. 155-LOP/ELA1:** è costituita da superfici pianeggianti localizzate nella valle attuale dell'Adda a moderato rischio di inondazione. I suoli LPO1 sono profondi su orizzonti idromorfi e falda, a tessitura media e scheletro scarso, con drenaggio mediocre e permeabilità moderatamente bassa. I suoli ELA1 sono da moderatamente profondi a profondi su orizzonti idromorfi e falda, invece sottili spesso limitati dalla falda, a tessitura media con scheletro scarso, drenaggio buono e permeabilità moderata.

- **U.C. 555-CLE1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono da profondi a molto profondi, a tessitura contrastante, a tessitura moderatamente grossolana, drenaggio buono e permeabilità moderata.

- **U.C. 556-ISS1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono da moderatamente profondi a profondi su orizzonti a tessitura contrastante, a tessitura moderatamente grossolana, drenaggio buono e permeabilità moderata.

- **U.C. 557-OME1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono profondi su orizzonti idromorfi, a tessitura media in superficie e moderatamente grossolana in profondità, drenaggio mediocre e permeabilità moderata.

- **U.C. 558-LOD1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono da molto profondi su falda, a tessitura

moderatamente grossolana, drenaggio buono e permeabilità in genere moderata.

- **U.C. 561-AGO1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono profondi su orizzonti a tessitura contrastante, a tessitura media, drenaggio buono e permeabilità moderatamente bassa.

- **U.C. 569-RAN1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono profondi su falda e orizzonti fortemente idromorfi, a tessitura moderatamente fine o media, drenaggio mediocre o lento e permeabilità moderatamente bassa.

- **U.C. 570-ISI1:** è costituita da superfici pianeggianti del Livello Fondamentale della Pianura. I suoli sono da profondi a moderatamente profondi limitati da orizzonti fortemente idromorfi, a tessitura media, drenaggio mediocre e permeabilità da moderatamente bassa a moderata.

Le unità AGO1, CLE1, ISI1, ISS1 e LOD1 sono localizzate in corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura nel settore occidentale del territorio comunale, mentre le restanti unità sono localizzate in corrispondenza delle aree che ricadono nella valle attuale dell'Adda.

5.6.3 La capacità d'uso dei suoli

Sulla base della rielaborazione dei dati pedologici è possibile individuare le potenzialità agro-silvo-pastorali del territorio attraverso la sua suddivisione in aree che presentano limitazioni più o meno consistenti agli usi suddetti, in modo da ridurre il rischio di degradazione dei suoli.

Uno dei più importanti metodi di classificazione del territorio in aree a diverso grado di capacità d'uso dei suoli è stato elaborato dal "Soil Conservation Service" del Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (USDA) e denominato "Land Capability Classification".

Tale sistema, appositamente adattato alla realtà della Regione Lombardia, è stato adottato dall'ERSAL nell'ambito del "Progetto Carta Pedologica".

Esso è organizzato gerarchicamente in tre livelli: classe, sottoclasse ed unità.

Le classi previste sono otto, designate ciascuna con un numero romano che indica il grado di capacità d'uso, ovvero l'entità delle limitazioni all'utilizzo agro-silvo-pastorale dei suoli.

Le sottoclassi, indicate con una lettera minuscola che segue il numero romano, individuano il tipo di limitazione prevalente.

Nel territorio di San Martino in Strada la maggior parte dei suoli è adatto all'agricoltura ed appartengono alla classe II (suoli che presentano moderate limitazioni che richiedono una opportuna scelta delle colture e/o moderate pratiche conservative) e III (suoli che presentano severe limitazioni, tali da ridurre la scelta delle colture e da richiedere speciali pratiche conservative).

Le limitazioni sono legate, per lo più, a caratteristiche intrinseche dei suoli quali bassi valori di pH, bassa capacità di scambio cationico, bassa soggiacenza della falda, tessitura media franco-sabbiosa e drenaggio rapido.

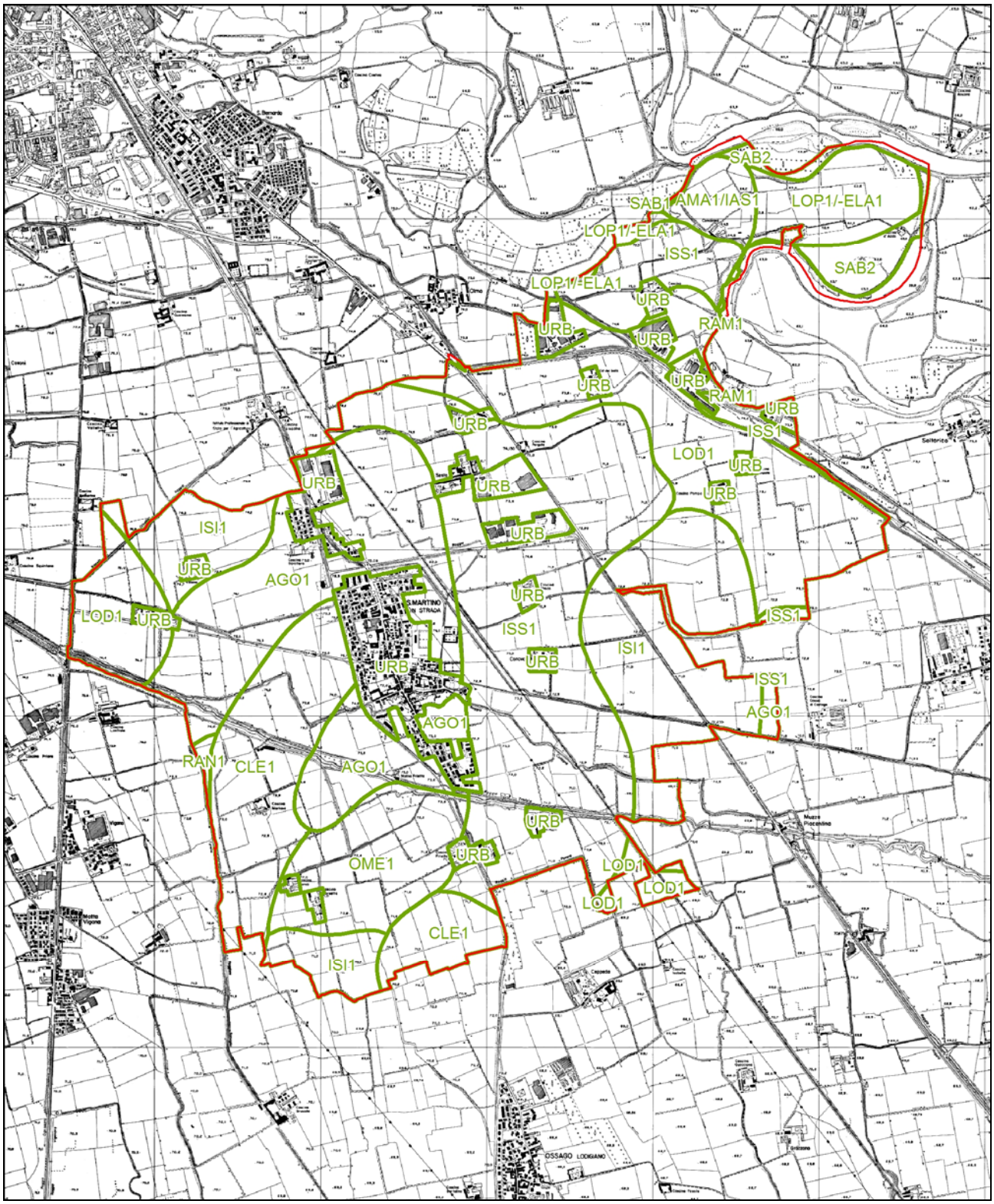


Fig. 5: Stralcio della Carta Pedologica dell'ERSAL (scala 1:35.000).

6 CARTA IDROGELOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO (TAV. 2)

6.1 Premessa

La carta idrogeologica raccoglie una serie di informazioni ricavate dall'analisi della cartografia esistente e dalla documentazione disponibile presso gli Enti della Provincia di Lodi.

In particolare il lavoro è stato articolato nella seguente maniera:

- ricerca bibliografica;
- analisi della cartografia esistente;
- misura dei livelli di falda nei pozzi;
- elaborazione dei dati raccolti e valutazione dei risultati.

I pozzi sono stati censiti e per ciascuno di essi è stata redatta una scheda contenente le informazioni ricavate dalla modulistica raccolta e dai sopralluoghi (Allegato 1).

6.2 Idrografia

Nel lodigiano la rilevante disponibilità idrica, tanto in superficie quanto nel sottosuolo, è dovuta all'afflusso dalle zone montane e pedemontane settentrionali, oltre che dalle precipitazioni che insistono sul territorio.

Il territorio provinciale è attraversato da un fitto reticolo idrografico composto da corsi d'acqua naturali e da canali artificiali di grandi e piccole dimensioni. I corpi idrici più significativi sono costituiti dai fiumi Lambro, Adda e Po, le cui acque sono derivate a fini irrigui o idroelettrici per mezzo di numerose opere di presa.

Il reticolo idrografico di questa parte del territorio lodigiano è controllato dal Fiume Adda che, scorrendo in direzione nordovest sudest, segna il confine con la provincia di Cremona. Il corso d'acqua percorre in territorio lodigiano ottanta chilometri, delimitando un bacino di circa 262 kmq, prima di confluire nel Fiume Po all'altezza di Castelnuovo Bocca D'Adda.

Particolare dal punto di vista ambientale è la Lanca di Soltarico; l'elemento idrografico, che ricade nei territori di Corte Palasio , Cavenago d'Adda e S. Martino in Strada, è un meandro del fiume Adda lungo circa sette chilometri, che è stato abbandonato in seguito ad una piena del corso d'acqua nel 1976. Per la ricchezza di fauna e flora la Lanca di Soltarico fa parte dei Siti di Impotanza Comunitaria (D.P.R. 357/1999, D.P.R. 120/2003 e L. 157/1999).

Spina dorsale del sistema irriguo artificiale del territorio lodigiano è invece il Canale Muzza. L'opera consortile provvede a irrigare gran parte delle aree agricole comprese tra Lambro e Adda. Lo scavo del canale fu iniziato nel 1220, sfruttando per la parte iniziale una depressione preesistente; da quel periodo ha sempre funzionato, permettendo la derivazione, da 75 bocche, della rete secondaria di irrigazione.

Il canale presenta dimensioni imponenti, sviluppandosi per 39 km da Cassano d'Adda, dove deriva le sue acque dall'Adda, fino a Cornegliano Laudense, per una larghezza dell'alveo compresa tra 30 e 50 m e una profondità massima di 3 metri.

La Muzza è divisa in numerose sezioni per mezzo di quindici dighe trasversali, dette *levate*, che hanno il compito di regolare la sua portata e quella delle derivazioni. Il comprensorio irriguo comprende il territorio di 34 comuni, tra cui San Martino in Strada, ed è gestito dal Consorzio Muzza Bassa Lodigiana.

La restante parte del reticolo idrico di San Martino in Strada è consortile ed ha esclusiva funzione di irrigazione e/o scolo.

Il reticolo idrico consortile può essere suddiviso in due gruppi principali in base all'orientazione preferenziale dei canali che lo costituiscono. Un primo gruppo di rogge: la Roggia Triulza, la Roggia Grazzana-Cavo Bog e la Roggia Vistarina ha orientazione ovest, nordovest – sud, sudest. Le rogge situate nella parte orientale del territorio comunale: la Roggia Mairaghino, la Roggia Cavallona, il Colo Imbonati e la Roggia Cavallera Crivella, hanno orientazione nord, nordovest – sud, sudest.

Da questi canali principali derivano i corsi d'acqua minori che formano l'estesa rete irrigua di San Martino in Strada.

6.3 Aspetti idrogeologici

6.3.1 Permeabilità superficiale dei terreni

L'importanza della conoscenza dei meccanismi che regolano la circolazione idrica sotterranea è legata sia alla possibilità di orientare le scelte di pianificazione territoriale per la tutela della risorsa idrica sia, a scala molto più locale, alla quantificazione dei rischi connessi alla presenza di acqua nella costruzione di opere in sotterraneo.

La permeabilità dei primi livelli del suolo e del sottosuolo risulta fondamentale nell'influenzare i meccanismi di circolazione idrica sotterranea, se non altro per quanto riguarda gli apporti dovuti alle acque di infiltrazione e per valutare la vulnerabilità degli acquiferi, direttamente collegata alle caratteristiche tessiturali del primo sottosuolo.

La campitura utilizzata per lo sfondo della carta idrogeologica descrive la permeabilità superficiale dei terreni e con essa il grado di protezione naturale dell'acquifero freatico offerti dal suolo e dagli orizzonti più superficiali del sottosuolo. E' un dato qualitativo basato sulle conoscenze relative della granulometria dei depositi che costituiscono le unità fisiografiche, nonché sulla descrizione tessiturale della carta pedologica redatta dall'ERSAL.

Dalla composizione granulometrica di un terreno è possibile stimare il coefficiente di permeabilità. Si tratta ovviamente di stime qualitative, in grado di fornire soprattutto un intervallo di valori entro cui può variare il parametro in questione.

La tabella 1 può aiutare a valutare, in maniera indiretta, i valori di permeabilità di diverse classi di terreni in base alla loro granulometria.

La permeabilità maggiore (compresa tra 10-5 e 10-2 cm/sec) è associata ai terreni che costituiscono il livello fondamentale della pianura ed il terrazzo del Fiume Adda, caratterizzati da una tessitura superficiale sabbiosa, limosa con ghiaia.

Permeabilità compresa tra 10 E-4 e 10 E-8 cm/sec hanno i terreni riconducibili al Paleoalveo ed alla lanca di Soltarico che hanno tessitura fine, prevalente limosa, a tratti argillosa.

TAB. 1: COEFFICIENTI DI PERMEABILITÀ E TESSITURA DEL TERRENO (R. LANCELLOTTA, 1987)

Tessitura	K (cm/sec)
Ghiaia pulita	$10^{-2} \div 1$ cm/sec
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} \div 10^{-2}$ cm/sec
Sabbia molto fine	$10^{-6} \div 10^{-4}$ cm/sec
Limo	$10^{-8} \div 10^{-6}$ cm/sec
Argilla omogenea	$< 10^{-9}$ cm/sec
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} \div 10^{-4}$ cm/sec

6.3.2 La superficie piezometrica

La carta piezometrica rappresentata nella tavola 2 è stata ottenuta mediante l'elaborazione dei dati ricavati da precedenti studi di carattere idrogeologico che hanno interessato il territorio di San Martino e quello dei comuni limitrofi, e in particolar modo dal Piano di Ambito della Provincia di Lodi.

In tutti i lavori consultati e nelle rilevazioni sul terreno è stato fatto riferimento ai livelli di soggiacenza della falda contenuta nel primo acquifero.

E' stato necessario ricorrere a studi di ambito in quanto su un totale di 79 pozzi censiti nel territorio comunale, solamente in 11 pozzi è stata possibile la lettura diretta del livello freatico, in 16 estendendo il dato anche .alle captazioni dei comuni limitrofi.

I pozzi censiti sono in maggioranza attivi, quasi tutti usati a fini produttivi e potabili dalle aziende agricole e zootecniche ed intercettano la falda superficiale. Le opere di captazione presenti nel territorio di San Martino in Strada raggiungono profondità comprese tra 12 m (pozzo 74) e 175 m dal piano campagna (pozzo 72).

Nell'Allegato 1 è stato stilato un elenco dei pozzi inclusi quelli non più utilizzati.

Le quote piezometriche sono comprese tra 72,0 m s.l.m. in prossimità del confine occidentale del territorio comunale, e 62,0 m s.l.m. in prossimità del Fiume Adda L'andamento della superficie piezometrica risente dell'azione drenante esercitata dal Fiume Adda e della presenza di uno spartiacque sotterraneo orientato ovest, nord ovest e est, sud est, che orienta il flusso sotterraneo verso nord, nord est in direzione

del Fiume Adda e verso sud, sud est. con un gradiente idraulico medio del 2 per mille, variabile dall'1 al 3 per mille da ovest verso nord est. .

La soggiacenza della falda freatica assume i valori minimi nella Valle dell'Adda mentre sul Livello Fondamentale della Pianura si riconosce una zona centro settentrionale, delimitata a nord dal terrazzo fluviale, con soggiacenza compresa, mediamente, tra 5 e 10 metri, ed una zona meridionale con soggiacenza compresa mediamente, tra 2 e 5 metri (Fig. 10).

6.3.3 Geometria degli acquiferi

Le caratteristiche idrogeologiche dell'intero territorio lodigiano sono riconducibili a quelle proprie della porzione meridionale del settore pedemontano lombardo, contraddistinto dalla presenza di più orizzonti acquiferi sovrapposti, inseriti nella coltre alluvionale.

In tale contesto trova logica giustificazione la presenza di più corpi idrici sotterranei, che si differenziano per la diversa collocazione batimetrica e per il diverso regime idraulico, freatico per la falda più superficiale e artesiano o semiartesiano per le falde più profonde, captate a scopo idropotabile.

Il regime delle acque sotterranee nel territorio di San Martino in Strada non presenta alcuna differenza rispetto al resto del territorio: la cosiddetta "prima falda", freatica e contenuta in sedimenti a elevata permeabilità, assume specifica rilevanza.

Il sottosuolo della pianura lodigiana può essere suddiviso in tre litozone principali:

- litozona ghiaioso-sabbiosa superficiale: costituita da ghiaie, sabbie prevalenti e conglomerati, è sede dell'acquifero superficiale, libero, caratterizzato da trasmissività elevate.

- litozona sabbioso-argillosa: è suddivisa in due serie, la prima è costituita da argille, limi e sabbie di colore grigio-azzurro, verde, giallo, nero con frequenti livelli torbosi; la seconda è rappresentata da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi grigio azzurri o neri. E' sede di acquiferi di tipo confinato nei livelli ghiaiosi e sabbiosi.

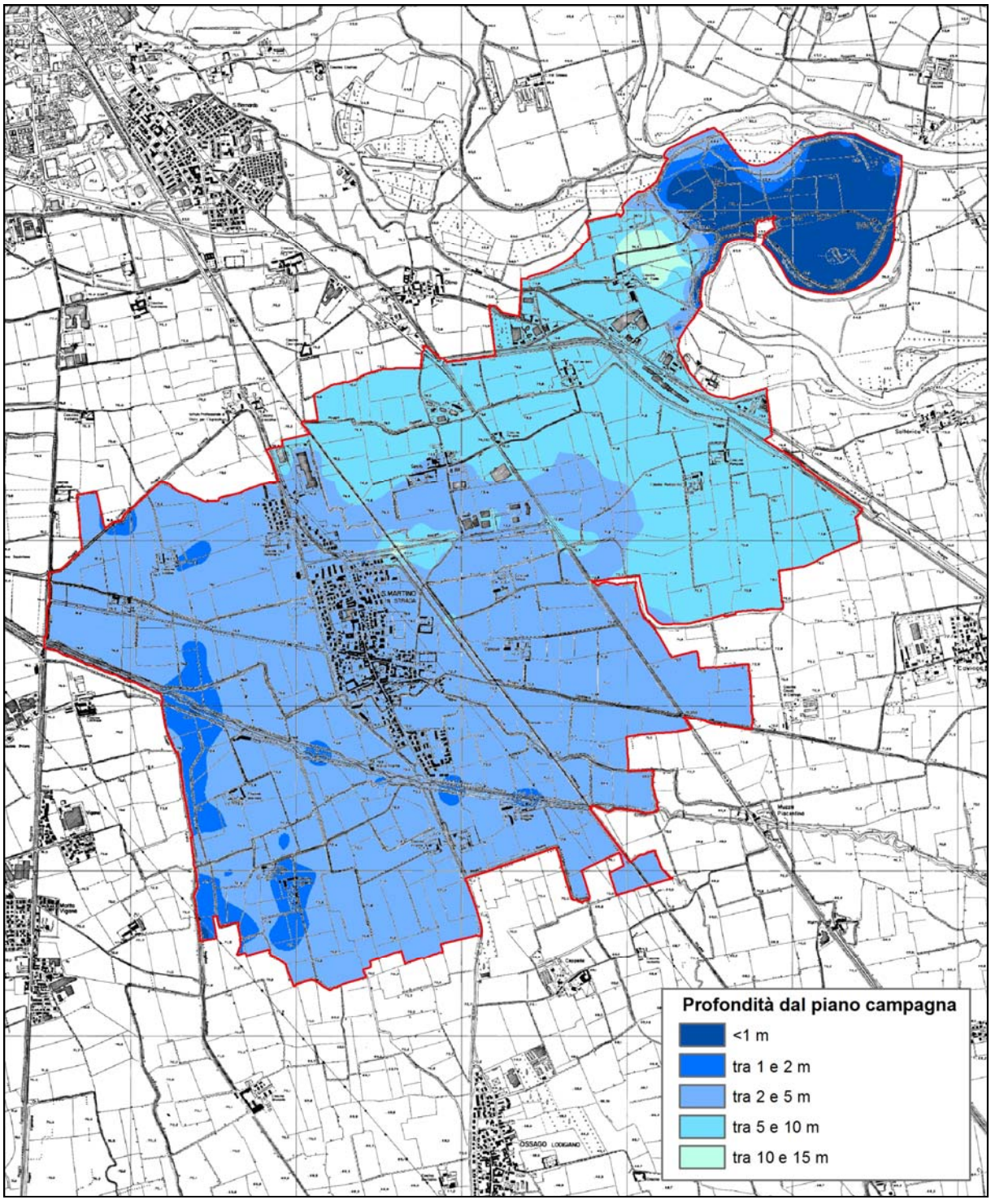


Fig. 6: Carta delle soggiacenza della falda freatica (scala 1:35.000).

- litozona argillosa: depositi costituiti da depositi fini argillosi il cui il limite superiore può essere considerato la base delle strutture idriche significative, in quanto la bassa permeabilità generale dei depositi non fa prevedere la presenza di significativi strati sabbioso- ghiaiosi. Localmente la litozona argillosa viene direttamente a contatto con la litozona ghiaioso-sabbiosa superficiale, presumibilmente a causa di movimenti orogenetici che ne hanno determinato l'emersione subaerea, l'erosione successiva e la definitiva sepoltura sotto le coltri continentali.

6.4 Vulnerabilità dell'acquifero freatico

6.4.1 Premessa

Per vulnerabilità degli acquiferi si intende la capacità dell'acquifero di sopportare gli effetti di un inquinamento. La valutazione della vulnerabilità richiede la conoscenza dettagliata di diversi elementi: le geometrie ed i parametri idraulici delle unità costituenti il sottosuolo; i meccanismi di alimentazione delle falde; i processi di interscambio tra l'inquinante, il non saturo, l'acquifero e le falde. Trattandosi di elementi non sempre di facile acquisizione e la cui importanza può essere variamente stimata, alcuni Autori hanno proposto metodologie di calcolo basate su pochi parametri significativi.

6.4.2 DRASTIC

La carta della vulnerabilità di San Martino in Strada è stata ottenuta dall'analisi di 7 elementi:

1. la soggiacenza (**D**epth to water),
2. l'alimentazione ((Net) **R**echarge),
3. la tessitura del saturo (**A**quifer Media),
4. la tessitura del suolo (**S**oil Media),
5. l'acclività (**T**opography (Slope)),
6. la tessitura del non saturo (**I**mpact of the Vadose Zone),
7. la conducibilità idraulica (**C**onductivity (Hydraulic) of the Aquifer),

L'acronimo **D.R.A.S.T.I.C**. deriva infatti dalle iniziali dei sette parametri; tra questi sono distinti i parametri dinamici: la soggiacenza e l'alimentazione in quanto mutevoli nel tempo, ed i parametri statici: la tessitura del saturo, del suolo, del non saturo e la conducibilità idraulica in quanto descrivono proprietà fisiche del terreno, non mutevoli, ed infine l'acclività che descrive le forme del territorio come sono state modellate dagli eventi naturali e/o dall'azione dell'uomo. Per approfondimenti sull'argomento si rimanda tuttavia all'articolo di Aller et alii del 1985, in questa breve nota viene infatti illustrata rapidamente la metodologia seguita ed i risultati conseguiti nella sua applicazione al territorio di San Martino in Strada.

Le operazioni di calcolo tra matrici di dati (ciascun parametro può infatti assumere valore differente spostandosi nello spazio) richieste dal metodo DRASTIC, sono state svolte con IDRISI discretizzando l'area studiata in una griglia di 5 metri di lato (tabella 2). Successivamente ad ogni cella della griglia sono stati assegnati: un valore ricavato dai grafici e algoritmi proposti da Aller ed un peso, quest'ultimo variabile in funzione dell'importanza del singolo parametro nella definizione della vulnerabilità intrinseca del territorio (cfr. *Aller et alii*, 1985).

Le mappe dell'acclività e della soggiacenza sono state ricavate utilizzando gli specifici moduli di interpolazione (kriging) e di analisi dei dati geografici e geomorfologici di IDRISI. Sono stati così costruiti: il modello digitale del terreno DTM (Digital Terrain Model) o DEM (Digital Elevation Model), la carta delle pendenze e la carta dell'aspetto del territorio comunale (SHADED RELIEF MAP). La procedura seguita ha richiesto la trasformazione delle quote assolute del territorio disponibili nella base informatizzata ed in AutoCAD, in un formato utilizzabile da IDRISI. Successivamente la gestione delle informazioni è avvenuta totalmente nel G.I.S., fino all'estrazione delle mappe per la stampa finale.

TAB. 2: PARAMETRI DELLA GRIGLIA UTILIZZATA PER DISCRETIZZARE IL TERRITORIO DI SAN MARTINO IN STRADA.

file title :
data type : real
file type : binary
columns : 1124
rows : 1184
ref. system : plane
ref. units : m
unit dist. : 1.0000000
min. X : 1539170.0000000
max. X : 1544790.0000000
min. Y : 5010695.0000000
max. Y : 5016615.0000000
pos'n error : unknown
resolution : unknown
min. value : 58.23720169
max. value : 83.29260254
value units : unknown
value error : unknown
flag value : none
flag def'n : none
legend cats : 0

Parametri statici

L'importanza dei caratteri tessiturali del saturo, suolo e non saturo, è legata alla velocità di infiltrazione di un inquinante. La tessitura del suolo è stata discretizzata secondo le unità cartografiche distinte dall'ERSAL nella carta pedologica. A ciascuna unità cartografica è stato associato un valore, compreso tra 6 (franco argilloso) e 4,5 (franco-franco sabbioso).

TAB. 3: VALORE PER TIPOLOGIA DI SUOLO

Unita Cartografica	tessitura superficiale	valore secondo Aller et alii
U.C. 141 SOS1/ATI1	franco sabbioso-franco	5,5
U.C. 149 SAB2	franco sabbioso	6
U.C. 150 RAM1	franco-franco limoso	5
U.C. 154 AMA1/IAS1	franco sabbioso-franco	5,5
U.C. 155 LOP/ELA1	franco sabbioso (molto fine)	5
U.C. 556 ISS1	franco sabbioso	6
U.C. 558 LOD1	franco sabbioso	6
U.C. 560 LRD1	franco sabbioso argilloso	4,5
U.C. 570 ISI1	franco sabbioso	6
U.C. 585 CPG1	franco sabbioso	6
Non definito (urbanizzato)	Assente	10

Per la tessitura del non saturo e del saturo (acquifero), è stato fatto riferimento ai logs stratigrafici dei pozzi e dei sondaggi censiti. In entrambi i casi è stato assegnato un valore univoco all'intera griglia, 8 per il non saturo e 8 per il saturo.

Il gradiente topografico determina la maggiore o minore possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche. IDRISI consente il calcolo automatico dell'acclività dal modello digitale del terreno (isoipse e punti quotati) (Fig. 7). Il D.T.M. non è altro che la rappresentazione digitale delle variazioni continue del rilievo nello spazio. Il valore di ciascun punto della griglia è stato ricavato con una procedura di calcolo automatica applicando l'espressione y=-0.4x+10 (cfr. Aller et alii, 1985) alla carta clivometrica.

La conducibilità idraulica è un parametro quantitativo complementare ai caratteri tessiturali. Permeabilità e trasmissività dell'acquifero sono stati ottenuti in modo empirico applicando la formula di Thiem-Dupuit T=Qsp*1.22. Anche in questo caso è stato attribuito il valore 8 all'intera griglia.

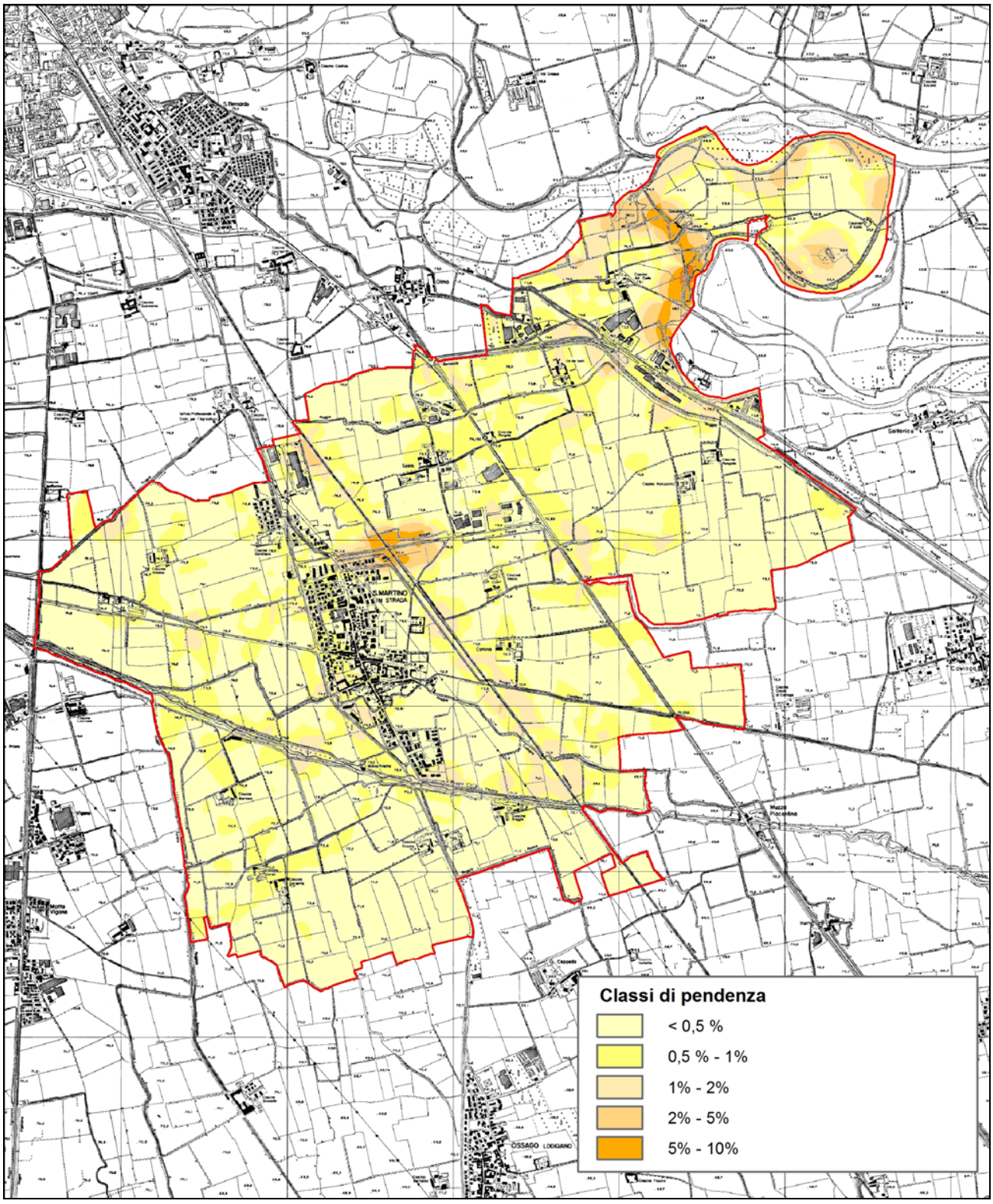


Fig. 7: Carta delle pendenze (scala 1:35.000).

Parametri dinamici

La soggiacenza esprime la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna. E' la distanza che un inquinante deve percorrere nel non saturo quando la fonte di inquinamento è superficiale. L'elaborato riportato in carta è stato ottenuto in modo automatico dalla carta delle isopiezometriche (TAV. 2). Anche il valore è stato ottenuto in modo automatico applicando la relazione di calcolo soggiacenza-valore (y=-0.3x+10) (cfr. Aller et alii, 1985).

L'alimentazione dell'acquifero freatico avviene essenzialmente per infiltrazione delle piogge (infiltrazione efficace) e per dispersione dalle rogge. L'applicazione dell'espressione di Turc per il calcolo dell'evapotraspirazione reale ha permesso di quantificare le precipitazioni efficaci. L'infiltrazione efficace è stata stimata considerando una frazione percentuale (ca. 30%) di queste ultime. Il valore attribuito in modo univoco all'intera griglia è 4.5 (infiltrazione efficace ca. 180-200 mm).

Pesi

DRASTIC prevede l'assegnazione di un peso, variabile da 1 a 5, a ciascun parametro in base all'importanza che può avere nella valutazione della vulnerabilità. Sono ipotizzati due casi:

- quando non si fa uso di prodotti chimici in agricoltura - condizioni normali
- uso di diserbanti e pesticidi – condizioni agricole.

Soggiacenza	5
Alimentazione	4
tessitura del saturo	3
tessitura del suolo	2
Acclività	1
tessitura del non saturo	5
conducibilità idraulica	3

TAB. 4: PESI NORMALI

soggiacenza	5
alimentazione	4
tessitura del saturo	3
tessitura del suolo	5
acclività	3
tessitura del non saturo	4
conducibilità idraulica	2

TAB. 5: PESI AGRICOLI

Il valore della vulnerabilità è stato quindi ottenuto sommando, in una griglia finale, i valori di ciascun parametro moltiplicati per i relativi pesi.

I valori percentuali delle classi di vulnerabilità sono:

1	vulnerabilità massima	91-100%
2	vulnerabilità estremamente alta	81-90%
3	vulnerabilità molto alta	71-80%
4	vulnerabilità alta	61-70%
5	vulnerabilità mediamente alta	51-60%
6	vulnerabilità mediamente bassa	41-50%
7	vulnerabilità bassa	31-40%
8	vulnerabilità molto bassa	21-30%
9	vulnerabilità estremamente bassa	11-20%
10	vulnerabilità minima	1-10%

TAB. 6: VALORI PERCENTUALI DELLE CLASSI DI VULNERABILITÀ

6.4.3 Vulnerabilità della falda freatica nel territorio di San Martino in Strada

Le classi di vulnerabilità rappresentate nel territorio di San Martino in Strada sono comprese tra alta ed estremamente alta. La loro distribuzione ed estensione è determinata principalmente dalla soggiacenza della falda, dalla presenza del suolo e dalla sua tessitura (Figg. 8 e 9).

Per i pesi normali la vulnerabilità presenta una certa omogeneità su tutto il territorio comunale, mantenendosi comunque su valori molto elevati (compresi tra 71 e 80%). La vulnerabilità presenta un leggero calo in corrispondenza di due aree poste a quote altimetriche leggermente più elevate, in prossimità dell'orlo di terrazzo fluviale.

Anche per i pesi agricoli la vulnerabilità è compresa tra alta ed estremamente alta; le aree a vulnerabilità molto alta (compresa 81% e 90%) sono più estese e anche in questo caso la vulnerabilità diminuisce sensibilmente in prossimità dell'orlo di terrazzo fluviale.

In entrambi i casi la diminuzione della vulnerabilità è legata al sensibile aumento della soggiacenza ed alla tessitura fine dei suoli che rappresenta un fattore di protezione per le acque sotterranee.

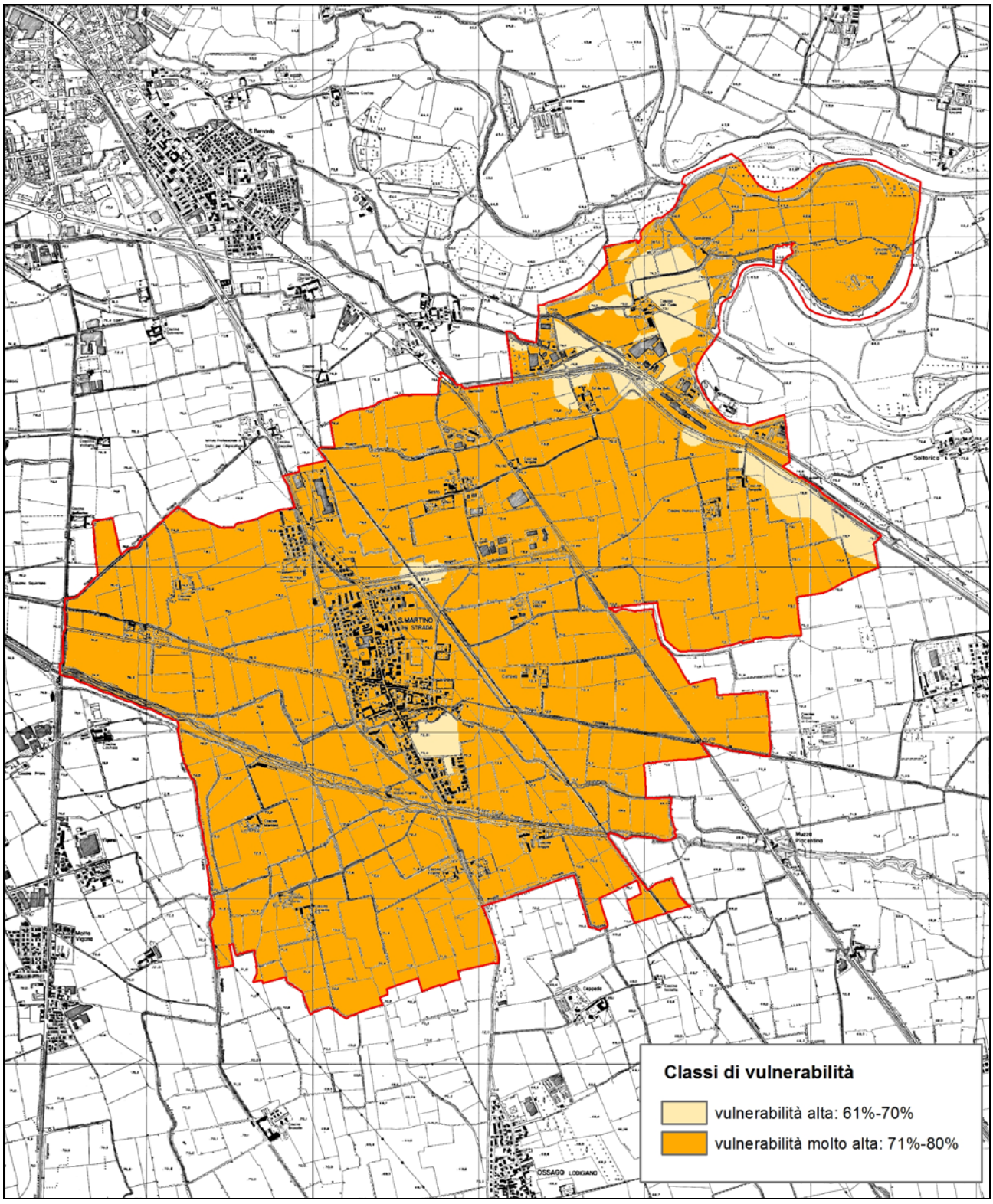


Fig.8: Carta della vulnerabilità (pesi normali) (scala 1:35.000).

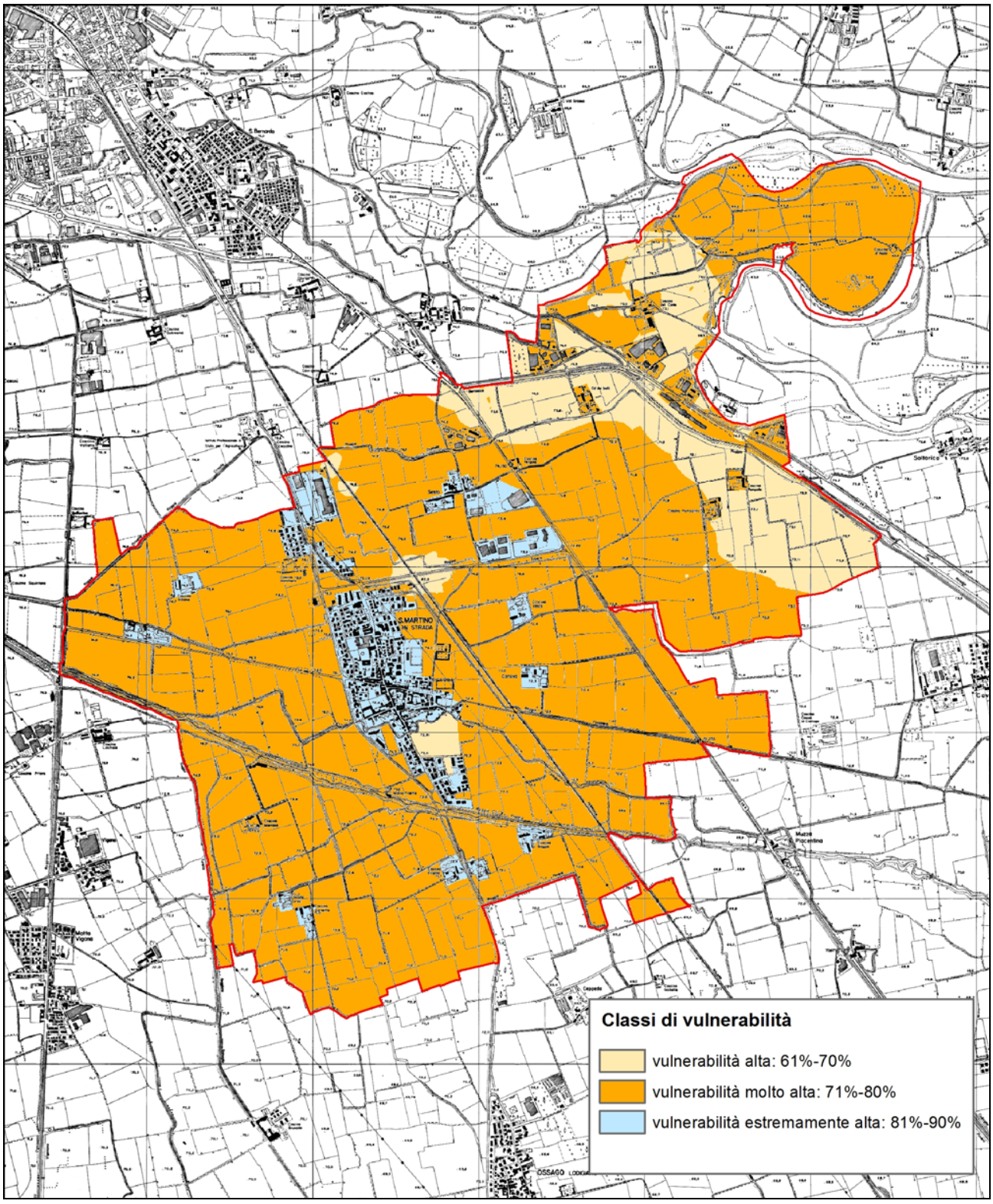


Fig. 9: Carta della vulnerabilità (pesi agricoli) (scala 1:35.000).

7 CARTA DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA (TAV. 3)

7.1 Premessa

Allo scopo di fornire una caratterizzazione qualitativa del terreno ai fini della propensione allo sviluppo urbanistico del comune, è stata acquisita la documentazione relativa a interventi di edilizia privata e pubblica realizzati sul territorio comunale e contenenti indagine specifiche del sottosuolo.

Oltre alla tessitura del terreno ed alle sue proprietà meccaniche è stata posta particolare attenzione alla soggiacenza della falda poiché il livello piezometrico è soggetto a oscillazioni stagionali e, prendere come riferimento livelli piezometrici in cui la falda risulti particolarmente depressa, può portare a spiacevoli sorprese in occasione delle prime piogge stagionali.

Si è giunti così ad una prima caratterizzazione geotecnica a scala comunale che nella sostanza riflette la suddivisione nelle due unità fisiografiche principali, ma che dovrà essere opportunamente approfondita in fase di progettazione esecutiva delle opere.

7.1.1 Livello Fondamentale della Pianura

Sul Livello Fondamentale della Pianura il primo sottosuolo è costituito prevalentemente da sabbie, sabbie limose e localmente da livelli di ghiaie. Esiste una certa eterogeneità verticale e laterale, espressione dell'ambiente deposizionale fluvioglaciale.

I suoli sono profondi, hanno tessitura moderatamente grossolana e permeabilità moderata. La falda è da molto superficiale a mediamente profonda nella parte centro settentrionale dell'ambito di competenza.

La componente sabbiosa è composta principalmente da granuli di quarzo, feldspati, miche e calcarei (subordinati), mentre nei livelli ghiaiosi i ciottoli sono in prevalenza di natura igneo-metamorfica e subordinatamente calcareo dolomitici.

I valori dei parametri fisici che ne caratterizzano le proprietà meccaniche e il loro stato di addensamento, sono associati ad una portanza da discreta a modesta.

7.1.2 Valle Alluvionale Attuale dell'Adda, terrazzo superiore

Le unità terrazzate del Fiume Adda sono formate in prevalenza da sabbie e sabbie limose. Sono presenti anche in questo caso livelli di ghiaia più o meno importanti a causa dell'eterogeneità verticale e laterale intrinseca alla natura dei depositi.

La soggiacenza della falda freatica è minore di un metro.

I suoli sono profondi, hanno tessitura prevalentemente da media a grossolana e permeabilità da moderata a moderatamente elevata.

I valori dei parametri fisici che ne caratterizzano le proprietà meccaniche e il loro stato di addensamento sono associati ad una portanza da discreta a modesta.

Nell'ambito di questa macrozonazione sono stati distinti:

- Il Paleomeandro della Lanca di Soltarico il cui sottosuolo è formato da limi e limi argillosi dovuti alla lenta decantazione delle frazioni più fini nel ramo abbandonato alle quali è associata una portanza scarsa.
- Le aree di cava all'interno dell'ex ambito estrattivo Rg1 dove a causa delle attività di scavo e movimentazione di terra si sono realizzate condizioni di forte eterogeneità tessiturale e meccanica del materiale.

8 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (TAV. 4)

8.1 Premessa

L'analisi sismica è articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale ed alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 8/1566 e successive integrazioni).

Le zone sismiche sono quattro e sono così definite:

TAB. 7: ZONE SISMICHE

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

dove *ag* è il valore dell'accelerazione orizzontale massima espresso come frazione della gravità (g).

Il territorio comunale di San Martino in Strada ricade nella zona sismica 4 (bassa sismicità).

I livelli di approfondimento e le fasi di applicazione richieste dalla normativa sono riassunti nella tabella seguente.

TAB. 8: LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

zona sismica	livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
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.

Il primo livello di approfondimento comporta il riconoscimento delle aree nelle quali è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche e morfologiche ricavabili dalle carte di inquadramento tematico (Tab. 9).

A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica ed il relativo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono lo scenario di pericolosità sismica sono rappresentate nell'omonima tavola (TAV. 4).

L'applicazione del secondo livello di analisi consente di verificare se i valori di spettro elastico, previsti dal D.M. 14 settembre 2005, sono adatti alle tipologie di opere in progetto oppure se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

TAB. 9: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE

Sigla	***SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE***	***EFFETTI***	***CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA***
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti		H2 - livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana		
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni	H2 - livello di approfondimento 3°
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	H2 - livello di approfondimento 2° (3°)
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate		
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 -livello di approfondimento 2°
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre		
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)		
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale		
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali	H2 -livello di approfondimento 3°

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Va sempre applicato a progetti di edifici strategici e/o rilevanti che prevedono affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), per l'analisi del potenziale di liquefazione del terreno, e dell'amplificazione litologica quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati. Nelle zone a PSL Z3a e Z3b il terzo livello di approfondimento deve essere applicato quando si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale compreso tra 5 e 15 piani.

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella d.g.r. n 8/7374 del 28 maggio 2008 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono state definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).

A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs_{30} superiori a 800m/s, comprendenti eventuali starti di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 metri.

B – *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata Cu > 250 kPa).

C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti,* con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < Cu < 250$ kPa).

D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $Vs_{30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, Cu < 70 kPa).

E – *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $Vs_{30} > 800$ m/s).

8.2 Zonazione della pericolosità sismica locale

8.2.1 Primo livello

Nel territorio di San Martino in Strada sono stati individuati i seguenti scenari di Pericolosità Sismica Locale:

- lo scenario **Z2** è esteso all'intero territorio comunale in quanto il sottosuolo è formato in prevalenza da terreni granulari fini con falda da molto superficiale a mediamente profonda;

- lo scenario **Z3a** è circoscritto alla scarpata che delimita il Livello Fondamentale della Pianura con altezza uguale o superiore a 10 metri;

- lo scenario **Z4** è anch'esso esteso all'intero territorio comunale di San Martino in Strada in quanto formato da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari.

La pericolosità sismica per tutti e tre gli scenari è definita dalla classe H2.

8.2.2 Secondo livello

Nel'ambito dello scenario Z2 dovrà essere applicato direttamente il terzo livello di approfondimento sismico all'analisi del potenziale di liquefazione di edifici sensibili e/o rilevanti che prevedano affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

L'approfondimento di secondo/terzo livello per lo scenario Z3a non è previsto in quanto tali ambiti ricadono completamente in classe di fattibilità 4.

Nell'ambito dello scenario Z4a la procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termine di fattore di amplificazione (Fa) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (Tab. 10).

TAB. 10: VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI SAN MARTINO IN STRADA

	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	- -	1,4	1,8	2,2	1,9
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	- -	1,7	2,4	4,1	3,0

L'individuazione dei fattori di amplificazione è stata ottenuta rispettando le indicazioni contenute nell'allegato 5 della D.G.R. 8/1566 e successive integrazioni.

La procedura di valutazione degli effetti litologici presuppone la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (**Vs**) nel primo sottosuolo.

Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima dei valori del *Fa*.

8.3 Procedura

Il primo punto della procedura di secondo livello prevede l'identificazione della litologia prevalente ed il raffronto del profilo delle **Vs** con l'apposito abaco contenuto nelle schede fornite dalla Regione Lombardia.

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è stato verificato l'andamento delle **Vs** con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione.

Nel caso in cui l'andamento delle **Vs** con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente deve essere utilizzare la scheda che presenta l'andamento delle **Vs** più simile a quello riscontrato nell'indagine. In alcuni casi la valutazione del *fattore di amplificazione* è stata eseguita utilizzando più di una scheda e scegliendo la situazione più cautelativa.

Ove possibile è stata utilizzata la scheda litologica corrispondente, negli altri casi è stata utilizzata la curva con maggiore approssimazione per la stima del valore di *Fa* negli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s.

Il periodo proprio del sito (T) è stato calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o maggiore a 800 m/s, mediante la seguente equazione:

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

dove hi e Vs sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo.

Laddove le prospezioni non abbiano investigato una profondità tale da raggiungere strati con *Vs* = 800 m/s tale limite è stato interpolato manualmente.

Il valore del fattore di amplificazione ottenuto, con un'approssimazione di ± 0,1 è stato confrontato con i valori soglia forniti dalla Regione Lombardia.

Lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante l'esecuzione di prospezioni geofisiche di tipo MASW sul Livello Fondamentale della Pianura e sul Terrazzo del Fiume Adda (TAV. 4).

8.4 La metodologia MASW

8.4.1 Teoria

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

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

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

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

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di

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

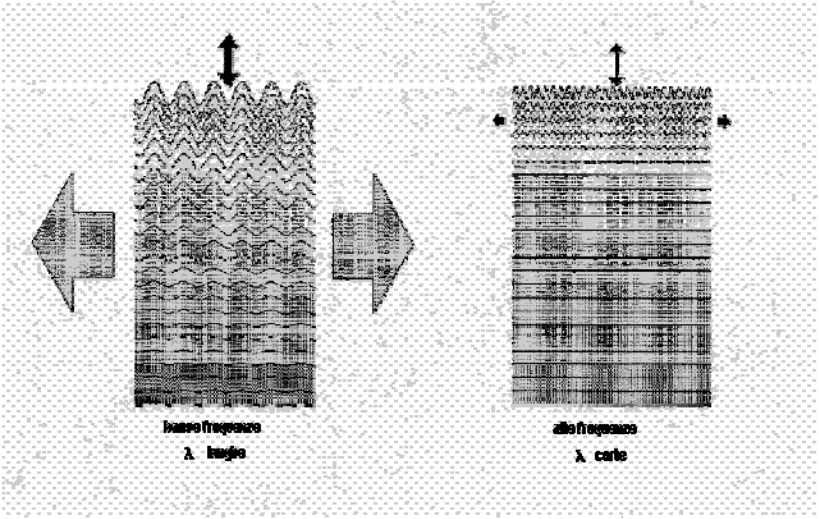


Fig. 10: Proprietà di dispersione delle onde superficiali

La figura 10 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una

registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

8.4.2 Procedura in sito

La base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico lungo 48 metri e di 24 geofoni con una spaziatura di 2 metri dei punti di ricezione. Sono stati impostati due punti di energizzazione (shots) dall'origine dell'allineamento sismico, normalmente a 5 e 10 metri di distanza, ottenendo per ciascun sito due profili stratigrafici delle V_S.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in un sismografo ECHO 24/2002 e 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è stata ottenuta impiegando una mazza ed una piastra appoggiata al terreno.

Il rilievo altimetrico dei punti-geofono e dei punti di energizzazione non si è reso necessario in quanto il piano topografico è risultato pianeggiante.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

8.4.3 Interpretazione delle misure

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi

diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

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

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi Aster SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri è ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella

teorica. Una volta trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle Vs con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

8.4.4 Analisi dei risultati

Sono state eseguite tre prove MASW nei siti individuati dai numeri 1, 2 e 3 (Allegato 5).

In ciascun sito sono stati ricavati due profili sismici energizzando il terreno a 5 e 10 metri dall'origine dell'allineamento geofonico.

TAB. 11: VALORI DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLE PROVE MASW

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs30 m/s
Sito 1	2,4	1,4	259 – 274
Sito 2	1,8	1,1	259 – 216
Sito 3	1,5	1,0	669 – 494

TAB. 12: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

	suolo tipo B		suolo tipo C		suolo tipo D		suolo tipo E	
Periodo	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5
Soglia	**1,4**	**1,7**	**1,8**	**2,4**	**2,2**	**4,1**	**1,9**	**3,0**
Sito 1			2,4	1,4				
Sito 2			1,8	1,1				
Sito 3	1,5	1,0	1,5	1,0				

Le velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità collocano il sottosuolo di San Martino in Strada in classe sismica C. Il maggior valore rilevato nella prova 3 è probabilmente dovuto alla presenza di livelli cementati di ghiaie e sabbie che possono determinare, localmente, condizioni stratigrafiche simili a quelle previste per i sottosuoli di classe B.

Nel confronto con i valori soglia previsti dalla normativa sismica sono stati utilizzati i valori del fattore di amplificazione più cautelativi. E' risultato che:

- i valori soglia per il periodo compreso tra 0,1 - 0,5 s non sono sempre verificati ed in almeno un caso (Sito 1) il *Fa* è risultato maggiore del valore soglia;

- i valori soglia per il periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s sono sempre verificati.

8.4.5 Considerazioni finali

Il territorio di San Martino in Strada comprende gli scenari di Pericolosità Sismica Locale **Z2**, **Z3a** e **Z4a**.

Nel'ambito dello scenario Z2 dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico all'analisi del potenziale di liquefazione di edifici strategici e/o rilevanti che prevedano affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03). In prima analisi il potenziale di liquefazione dei terreni sotto scuotimento sismico può essere definito da basso a nullo nei territori caratterizzati da sottosuoli di tipo C ed E, nullo in quelli caratterizzati da profilo stratigrafico tipo B. Infatti solo nei terreni tipo C ed E possono essere presenti livelli sabbiosi sciolti potenzialmente liquefacibili sotto scuotimento sismico.

L'approfondimento di secondo/terzo livello per lo scenario Z3a non è previsto in quanto tali ambiti ricadono completamente in classe di fattibilità 4.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che, per lo scenario Z4a, i valori soglia del *fattore di amplificazione* stabiliti dalla Regione Lombardia non sono sufficientemente cautelativi per l'analisi delle amplificazioni litologiche di progetti di strutture con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5s. In questi casi dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento.

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/1566 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale. La scelta del metodo è a discrezione del professionista che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare gli svantaggi dei differenti approcci.

Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche contenuti nella d.g.r. n 8/7374 del 28 maggio 2008, tale approfondimento dovrà essere preceduto dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A. B, C, D, E).

Per quanto concerne l'amplificazione litologica, ovvero per le strutture con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5 s, potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento utilizzando lo spettro di norma caratteristico della classe di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D

9 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 5)

Nella Carta dei Vincoli sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idrogeologico e/o ambientale–paesaggistico.

Sono riportati:

- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89 ed in particolare del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, n. 18/2001 del 26.04.2001. Sono state individuate sul territorio comunale le tre fasce PAI definite come segue:

  - *Fascia di deflusso della piena (Fascia A)* costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento, così come definita nell'Allegato 3 dello stesso Piano;
  - *Fascia di esondazione (Fascia B),* esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;
  - *Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C),* costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

  La perimetrazione rappresentata nella cartografia allegata al PAI è stata fatta coincidere con alcuni elementi fisici rilevabili alla scala di maggior dettaglio del rilievo aerofotogrammetrico ai sensi dell'art. 27 comma 3 delle Norme PAI.

- vincoli di polizia idraulica sul reticolo idrografico principale, minore e consortile (individuati in base alla D.G.R. 7/7868 del 2002 e successive integrazioni) ai sensi del R.D. 523/1904 e del R.D. 368/1904, come meglio specificato nello studio di individuazione del reticolo minore redatto dallo Studio EUROGEO di Bergamo;

- area di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (pozzi e sorgenti): D.L. 152/99, D.L. 258/00 e D.G.R. 7-12693/2003;

- area denominata “Lanca di Soltarico” identificata come Sito di Importanza Comunitaria (SIC così come individuata dalle Direttive Comunitarie 92/43/CEE e 79/409/CEE recepite rispettivamente dal D.P.R. 357/1999 e successivamente modificato dal D.P.R. 120/2003 e dalla Legge 157/1992a

- area compresa nei limiti del Parco Regionale dell’Adda Sud (L.R. n. 81 del 16/09/1983).

9.1 Fasce PAI

Fascia A – fascia di deflusso della piena

Nella fascia A sono vietate ai sensi dell’art. 29 delle NdA:

a. Le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l’assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatte salve le prescrizioni dei successivi articoli;
b. La realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l’ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l’esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 22/97, fatto salvo quanto previsto al punto “l” delle attività consentite;
c. La realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l’ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al punto “m” delle attività consentite;
d. Le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturalizzazione con specie autoctone, per un’ampiezza di almeno 10 metri dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell’alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente;
e. La realizzazione di complessi ricettivi all’aperto;
f. Il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere.

Sono invece consentiti:

a. I cambi colturali, che potranno interessare esclusivamente aree attualmente coltivate;

b. Gli interventi volti alla ricostruzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;

c. Le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;

d. I prelievi manuali di ciottoli, senza taglio di vegetazione, per quantitativi non superiori a 150 m^3 annui;

e. La realizzazione di accessi per natanti alle cave di estrazione ubicate in golena, per il trasporto all'impianto di trasformazione, purché inserite in programmi individuati nell'ambito dei Piani di settore;

f. I depositi temporanei conseguenti e connessi ad attività estrattiva autorizzata ed agli impianti di trattamento del materiale estratto e presente nel luogo di produzione da realizzare secondo le modalità prescritte dal dispositivo di autorizzazione;

g. Il miglioramento fondiario limitato alle infrastrutture rurali compatibili con l'assetto di fascia;

h. Il deposito temporaneo a cielo aperto di materiali che per le loro caratteristiche non si identificano come rifiuti, finalizzato ad interventi di recupero ambientale comportanti il ritombamento di cave;

i. il deposito temporaneo di rifiuti come definito all'art. 6, comma 1, let. M) del D.Lgs. 22/97;

j. l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 22/97 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/97) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa;

k. l'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali.

Fascia B – fascia di esondazione

Ai sensi dell'art. 30 delle NdA del PAI, nella fascia B sono vietati:

a. gli interventi che comportino una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di invaso, salvo che questi interventi prevedano un pari aumento delle capacità di invaso in area idraulicamente equivalente;

b. la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 22/97, fatto salvo quanto previsto per le operazioni consentite descritte per la fascia A alla lettera l;

c. in presenza di argini, interventi e strutture che tendano a orientare la corrente verso il rilevato e scavi o abbassamenti del piano di campagna che possano compromettere la stabilità delle fondazioni dell'argine.

Sono consentiti, oltre agli interventi consentiti per la fascia A (art. 29 NdA):

d. gli interventi di sistemazione idraulica quali argini o casse di espansione e ogni altra misura idraulica atta ad incidere sulle dinamiche fluviali, solo se compatibili con l'assetto di progetto dell'alveo derivante dalla limitazione della fascia;

e. gli impianti di trattamento delle acque reflue, qualora sia dimostrata l'impossibilità della loro localizzazione al di fuori delle fasce, nonché gli ampliamenti e messa in sicurezza di quelli esistenti; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino;

f. la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente;

g. l'accumulo temporaneo di letame per uso agronomico e la realizzazione di contenitori per il trattamento e/o stoccaggio degli effluenti zootecnici, ferme restando le disposizioni all'art. 38 del D. Lgs. 153/99 e successive modifiche e integrazioni;

h. il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino.

Gli interventi consentiti debbono inoltre assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti.

Fascia C – area di inondazione per piena catastrofica

Per la Fascia C il PAI non prevede l'individuazione di attività possibili o vietate, lasciando agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica la regolamentazione delle attività consentite e vietate (art. 31, comma 4 delle NdA del PAI).

Per tale ambito è definita la seguente normativa che dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione della fascia C. La norma prevede che in fascia C gli interventi non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo, né costituiscano significativo ostacolo al deflusso e/o limitino in maniera significativa la capacità d'invaso. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da un'analisi di compatibilità idraulica che documenti l'assenza delle suddette interferenze o indichi i rimedi progettuali per ovviare a tale rischio quali ad esempio sopralzi, recinzioni impermeabili ed altri accorgimenti tecnici necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento (altezza degli impianti elettrici dalla pavimentazione).

9.2 Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili

Le captazioni idropotabili ricadenti all'interno del territorio di San Martino in Strada sono sei. Per ciascuna captazione sono riportate le aree di salvaguardia di tutela assoluta e di rispetto.

9.2.1 Aree di tutela assoluta

Si tratta delle aree di raggio uguale a 10 metri di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003.

Le aree di tutela assoluta devono essere adeguatamente protette ed adibite esclusivamente ad opere di captazione ed alle infrastrutture accessorie. E' vietato al loro interno ogni tipo di intervento.

9.2.2 Aree di rispetto

Le zone di rispetto sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. In tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 e ribadito nell'art. 94 del D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006.

10 CARTA DI SINTESI (TAV. 6)

La Carta di Sintesi è costituita da una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica. La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori.

La delimitazione dei poligoni è basata su valutazioni della pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni.

In particolare sono state individuate:

10.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

sl: area a pericolosità potenziale di scivolamenti degli orli di terrazzo comprese le scarpate che delimitano il Canale Muzza ed una fascia di rispetto a ridosso del ciglio e del piede della scarpata.

10.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

sg1: area con soggiacenza della falda freatica molto bassa. Comprende i terreni posti all'interno della Valle Alluvionale Attuale del Fiume Adda e quelli sul Livello fondamentale della Pianura contraddistinti da una soggiacenza inferiore a 5 metri..

sg2: area con bassa soggiacenza della falda freatica. Comprende quei terreni posti sul Livello Fondamentale della Pianura dove la soggiacenza è compresa tra 5 e 10 metri.

dc: area interessata dalla presenza di centri di pericolo. Discarica Località Camairana. Sito contaminato inserito nel programma degli interventi a breve termine (D.c.r. 17 febbraio 2004 – n. VII/958)

10.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

in1: area di pertinenza dell'alveo attuale e recente del Fiume Adda compresa la Fascia A del PAI.

In2: area frequentemente inondabile compresa la fascia B del PAI

10.4 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

gt1: area prevalentemente limosa e limoso argillosa con scarsa capacità portante. Vi sono incluse le zone di paleomeandro.

gt2: area prevalentemente sabbiosa, sabbioso limosa localmente ghiaiosa con discreta, modesta capacità portante. In questo ambito ricadono i terreni che formano il primo sottosuolo del Livello Fondamentale della Pianura.

gt3: area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali. In questo ambito sono compresi i terreni che formano l'alveo del Fiume Adda comprese quelle zone oggetto di escavazione all'interno del perimetro dell'ex ambito estrattivo da recuperare Rg1 "Camairana" individuato nel Piano Cave della Provincia di Lodi del 1999 (L.R. 14/98 – D.G.R. 6/41714 del 26/02/1999) e stralciato nella successivo aggiornamento del 2004 (D.c.r. VII/1131 del 15 dicembre 2004).

10.5 Aree di particolare interesse scientifico e naturalistico

ter: ambito di tutela paesaggistica degli orli di terrazzo relitti.

11 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (TAV. 7)

11.1 Classi di fattibilità geologica

I dati raccolti ed elaborati nei capitoli precedenti consentono, mediante l'analisi dei vari elementi che caratterizzano l'area in esame, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica. Si tratta di una classificazione della pericolosità che fornisce indicazioni generali sulle destinazioni d'uso, sulle cautele generali da adottare per gli interventi, sugli studi e le indagini necessarie in caso di intervento e sulle opere di riduzione degli eventuali rischi territoriali, ciò al di là di ogni considerazione di carattere economico e amministrativo, ma esclusivamente in funzione dei diversi parametri naturali che caratterizzano il territorio.

E' opportuno ricordare che i cambiamenti di destinazione d'uso di una qualsiasi parte del territorio devono derivare dalla lettura incrociata della carta della fattibilità e della carta dei vincoli dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 adotta quattro classi di fattibilità.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

Classe 2 (gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

Classe 3 (arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Il professionista deve in alternativa:

• se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali

• se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;

• se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad es. conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione. Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38).

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non é strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

A discrezione del professionista ogni classe di fattibilità, con particolare riferimento alle classi 2 e 3, può essere, per maggiore chiarezza, suddivisa in sottoclassi riguardanti ambiti omogenei.

11.2 Motivazioni dell'attribuzione delle classi di fattibilità

La suddivisione del territorio nelle diverse classi di fattibilità è accompagnata dai relativi articoli con le prescrizioni a cui attenersi per regolarne l'edificabilità.

L'attribuzione di alcune classi di fattibilità trova motivazioni nelle indicazioni contenute nella D.G.R. 8/1566 per la redazione dello studio geologico ai sensi della L.R. 12 del 11 marzo 2005, secondo un rigido schema che prescrive la corrispondenza tra classi di fattibilità e le aree soggette ai vincoli nonché ai pericoli individuati nella carta di sintesi (Tabb. 13 e 14).

TAB. 13: SCHEMA DI ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA NELLE AREE SOTTOPOSTE A VINCOLO

PAI – fascia A all'esterno dei centri edificati	**4**
PAI – fascia B all'esterno dei centri edificati	**3**
PAI – fascia C	da attribuire in base alle problematiche riscontrate
Aree estrattive attive e stralciate	**3**

TAB. 14: SCHEMA DI ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITÀ PER LE AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO

Aree a bassa soggiacenza della falda	**3**

11.3 La fattibilità geologica nel comune di San Martino in Strada

11.3.1 Classe 2

. Esprime una fattibilità con modeste limitazioni dovute alle modeste proprietà meccaniche del primo sottosuolo ed alla modesta profondità della falda dal piano campagna (compresa tra 5 e 10 m) e conseguente alta vulnerabilità dell'acquifero freatico. In questa classe ricade la zona nord orientale posta sui terreni del Livello Fondamentale della Pianura.

Qualsiasi modifica alle destinazioni d'uso di questa area è subordinata alla realizzazione di un accertamento geognostico sulla base di quanto contenuto nel D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008.

Tale accertamento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

Allo scopo di proteggere le acque sotterranee le richieste di concessione edilizia dovranno contenere:

- un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione;
- un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e relativi criteri costruttivi.

11.3.2 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state rilevate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate tre sottoclassi.

- 3a

Nella sottoclasse 3a ricade la zona sud, sud orientale del territorio comunale anch'essa parte del Livello Fondamentale della Pianura.

Questo ambito è contraddistinto da modeste proprietà meccaniche del primo sottosuolo e da una soggiacenza della falda freatica molto bassa (minore di 5 metri).

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Per la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento si applicano le medesime prescrizioni previste per la classe 2.

Si applicano altresì le prescrizioni contenute nelle "*direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto* (paragrafo 9.2)

- 3b

La sottoclasse 3b comprende quelle aree poste all'interno della Valle dell'Adda che ricadono entro la perimetrazione della fascia B del PAI. Ad esse si applicano le prescrizioni previste per la fascia B (paragrafo 9.1).

- 3c

La sottoclasse 3c individua un'area oggetto di attività di escavazione e/o riporto posta in prossimità della Cascina Camairana, all'interno della Valle Alluvionale Attuale dell'Adda.

L'utilizzo di questa area è subordinato alla realizzazione di un'indagine ambientale per definire la qualità delle matrici ambientali (terreni, acque sotterranee) mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e analisi ad hoc in applicazione del D.Lgs. 3 Aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".

Si applicano altresì le prescrizioni generali di cui alla sottoclasse 3a e le prescrizioni previste per la fascia B (paragrafo 9.1) per quegli ambiti che ricadono nella relativa perimetrazione PAI.

11.3.3 Classe 4

In classe 4 dovrà essere esclusa qualsiasi edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo come definiti dall'art. 31 lettere a), b) e c) della 457/78.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio presente.

- 4a

La sottoclasse 4a coincide con la perimetrazione della fascia A del PAI. Si applicano le relative prescrizioni (paragrafo 9.1).

- 4b

Nella sottoclasse 4b ricadono le scarpate del terrazzo fluviale del Fiume Adda compresa una fascia di rispetto ampia 10 metri dal ciglio. L'attribuzione della classe 4 è dovuta all'elevata acclività delle scarpate e alla valenza ambientale che rivestono tali ambiti.

- 4c

In questo ambito ricade l'area della Discarica Località Camairana per la quale sono in corso le procedure previste dal D.Lgs. 471/1999 (non più in vigore e sostituito dal D. Lgs. 152/2006) per attivare gli interventi di bonifica dei terreni e delle acque sotterranee.

11.4 Normativa sismica

Il territorio di San Martino in Strada comprende gli scenari di Pericolosità Sismica Locale **Z2**, **Z3a** e **Z4a**.

Nel'ambito dello scenario Z2 dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico all'analisi del potenziale di liquefazione di edifici strategici e/o rilevanti che prevedano affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

L'approfondimento di secondo/terzo livello per lo scenario Z3a non è previsto in quanto tali ambiti ricadono completamente in classe di fattibilità 4.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che, per lo scenario Z4a, i valori soglia del *fattore di amplificazione* stabiliti dalla Regione Lombardia non sono sufficientemente cautelativi per l'analisi delle amplificazioni litologiche di progetti di strutture con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5s e che in questi casi, dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento.

L’applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell’allegato 5 alla D.G.R. 8/1566 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell’area di studio e nell’applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale. La scelta del metodo è a discrezione del professionista che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare gli svantaggi dei differenti approcci.

Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche contenuti nella d.g.r. n 8/7374 del 28 maggio 2008, tale approfondimento dovrà essere preceduto dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A. B, C, D, E).

Per quanto concerne l’amplificazione litologica, ovvero per le strutture con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5 s, potrà essere evitata l’applicazione del terzo livello di approfondimento utilizzando lo spettro di norma caratteristico della classe di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.