

PROVINCIA DI CREMONA

COMUNE DI MALAGNINO

STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO  
DI SUPPORTO ALLA REDAZIONE DEL P.G.T.

- **PREMESSA**

In conformità alle disposizioni dalla L.R. 11 marzo 2005 n° 12 “*Legge per il governo del territorio*”, e successive modifiche, pubblicata sul 1° Supplemento Ordinario al B.U.R.L. (Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia) n° 11 del 16 marzo 2005, la pianificazione a livello comunale si attua attraverso un nuovo strumento urbanistico definito “*Piano di Governo del Territorio (P.G.T.)*”, articolato in tre atti: il *Documento di Piano*, il *Piano dei Servizi*, il *Piano delle Regole*.

Sulla base delle indicazioni della L.R. 12/05, il P.G.T. deve essere obbligatoriamente corredato da uno studio geologico completo nel quale devono essere analizzati in particolare gli aspetti geologici, idrogeologici e sismici del territorio comunale.

All'interno del P.G.T., lo studio geologico:

- è contenuto integralmente (fase di analisi, fase di sintesi/valutazione e fase di proposta finale) nel “*Documento di Piano*”, ove rappresenta una delle componenti del quadro conoscitivo del territorio comunale e costituisce la base per le scelte pianificatorie (art. 8, comma 1, lettera c ed art. 57, comma 1, lettera a della L.R.12/05 e succ. mod. e int.);
- le fasi di sintesi/valutazione e di proposta finale (“*Carta dei Vincoli*”, “*Carta di Sintesi*”, “*Carta di Fattibilità Geologica*” e “*Norme Geologiche di Piano*”) costituiscono parte integrante anche del “*Piano delle Regole*”, all'interno del quale sono individuate le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate (art. 10, comma 1, lettera d ed art. 57 comma 1 lettera b della L.R.12/05 e succ. mod. e int.).

Gli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici comunali hanno seguito in passato le direttive emanate in anni successivi dalla Giunta Regionale, dalla D.G.R. 18 maggio 1993 n° 5/36147 alle D.G.R. 6 agosto 1998 n° 6/37918 e D.G.R. 29 ottobre 2001 n° 7/6645, queste ultime emanate ai sensi dell'art. 3 della L.R. 24 novembre 1997 n° 41 *“Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti”*.

Con la L.R. 12/2005 è stata stabilita l'abrogazione della L.R. 41/97 (art. 104 – lett. x) e di conseguenza risultano decadere tutte le direttive tecniche ad essa riferite; queste sono state sostituite dai criteri di attuazione della L.R. 12/2005, ai sensi dell'art. 57 – comma 1 – lett. a, approvati dalla Giunta Regionale con **D.G.R. 22 dicembre 2005 n° 8/1566**: *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005 n. 12”*, pubblicata sul 3° Suppl. Str. al B.U.R.L. n° 3 del 19 gennaio 2006.

Successivamente, in seguito all'entrata in vigore, in data 5 marzo 2008, del **D.M. 14 gennaio 2008** *“Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”*, che ha apportato importanti cambiamenti rispetto alle normative previgenti, particolarmente riguardo la valutazione delle azioni sismiche di progetto, ed in seguito all'approvazione da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 12 del 18 marzo 2008, degli *“Studi di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua”*, la d.g.r. 1566/2005 è stata sostituita dalla **D.G.R. 28 maggio 2008 n. 8/7374** *“Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005 n. 12”*, pubblicata sul 2° Supplemento Straordinario al B.U.R.L. n. 24 del 12 giugno 2008.

I criteri attuativi della L.R. 12/05 forniscono agli Enti Locali, ed ai professionisti incaricati della redazione degli studi di cui all'oggetto, le linee guida, le metodologie e gli indirizzi applicativi per l'individuazione delle aree a vulnerabilità e pericolosità geologica, idrogeologica e sismica, approfondendo in particolar modo alcuni aspetti riguardanti l'analisi della pericolosità sismica e del rischio sismico.

**Il presente studio geologico verrà pertanto condotto secondo i criteri delle D.G.R. 8/1566/05 e D.G.R. 8/7374/08; esso andrà a sostituire il vigente “Studio geologico di supporto alla redazione del P.R.G.”, datato dicembre 2003 e redatto dallo scrivente in ottemperanza alla L.R. 24**

**novembre 1997 n° 41 ed alla D.G.R. 29 ottobre 2001 n° 7/6645, ed alle stesse ritenute conforme.**

Lo studio in oggetto è stato condotto secondo una metodologia già collaudata, divisa in tre fasi:

- **fase di analisi:** questa fase è fondata su un processo di ricerca storica e sintesi bibliografico-compilativa, integrato dai dati di riferimento contenuti nel Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.) della Regione Lombardia (All. 1 della d.g.r. 7374/2008), a conclusione del quale, analizzando i dati e la documentazione esistente riguardo gli aspetti geologici, strutturali, geomorfologici, pedologici, idrogeologici, idrografici, geologico-tecnici, sismici, ambientali e vincolistici, si giunge alla predisposizione della cartografia di inquadramento, finalizzata alla caratterizzazione dell'intero territorio comunale.
- **fase di sintesi e valutazione:** in questa fase del lavoro si giunge ad un quadro sintetico dello stato del territorio, il quale, sulla base di quanto emerso nella fase di analisi, è stato suddiviso, all'interno della "*Carta di Sintesi*", in aree omogenee dal punto di vista della pericolosità geologico-tecnica e della vulnerabilità idraulico-idrogeologica.
- **fase di proposta finale:** rappresenta la fase conclusiva del lavoro, nella quale la valutazione incrociata degli elementi contenuti nella "*Carta di Sintesi*" e dei fattori ambientali ed antropici propri del territorio porta alla redazione della "*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*", nella quale sono state individuate le aree ad ugual grado di rischio geologico-tecnico e/o idraulico-idrogeologico e definite le prescrizioni normative relative alle destinazioni d'uso del territorio, riportate nelle "*Norme Geologiche di Piano*".

I risultati ottenuti nelle tre fasi di lavoro sono stati sintetizzati nelle seguenti carte tematiche:

- Tav. 1: Inquadramento territoriale (scala 1:25.000)
- Tav. 2a: Carta geo-morfologica e litologica di superficie (scala 1:10.000)
- Tav. 2b: Carta pedologica (scala 1:10.000)
- Tav. 3: Carta idrogeologica con elementi idrografici (scala 1:10.000)
- Tav. 3b: Carta della vulnerabilità dell'acquifero freatico – Metodo G.O.D. (scala 1:25.000)
- Tav. 4: Carta geologico-tecnica (scala 1: 10.000)
- Tav. 5: Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello (scala 1: 10.000)
- Tav. 6: Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello (scala 1: 10.000)
- Tav. 7: Carta di sintesi (scala 1: 10.000)
- Tav. 8: Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano e classi di fattibilità (scala 1:10.000)

Nella realizzazione dell'apparato cartografico allegato allo studio, ci si è avvalsi delle seguenti basi cartografiche:

- Cartografia I.G.M.:  
F 61 III NE Tavoleta "Sospiro" (scala 1: 25.000)
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1 : 10.000, volo 1994:  
Sezione D7a4 "Persico Dosimo".  
Sezione D7b4 "Vescovato".  
Sezione D7a5 "Cremona est".  
Sezione D7b5 "Sospiro".

In riferimento alla "*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*", la riproduzione in scala 1:10.000, utilizzando come base cartografica la C.T.R., consentirà l'aggiornamento del mosaico della fattibilità contenuto nel S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) regionale.

L'adozione dello studio geologico da parte del Comune interessato costituisce presupposto di riferimento tecnico per gli adempimenti relativi alla pianificazione del territorio al fine di porre le premesse per la conservazione degli equilibri esistenti e per la costituzione di nuovi equilibri tra uomo e ambiente.

Il presente studio geologico è stato redatto tenendo come quadro di riferimento le leggi e le normative prodotte a livello statale e regionale nel campo della difesa del suolo e della salvaguardia dell'ambiente e del territorio ed è stato sviluppato in modo da considerare tutte le tematiche e le situazioni ambientali di rischio geologico riscontrate.

Non si esclude che particolari tematiche emergenti nell'area comunale possano richiedere in futuro ulteriori indagini più approfondite, che troveranno comunque nel presente lavoro una base di riferimento e d'inquadramento.

\* \* \* \* \*

Contemporaneamente alla realizzazione del presente studio, sono stati redatti lo "*Studio per l'individuazione del Reticolo Idrico Minore del Comune di Malagnino*" e l'allegato elaborato "*Reticolo Idrico Minore: Regolamento di Polizia Idraulica*", comprensivi della componente

cartografica, secondo le disposizioni di cui alle D.G.R. 25 gennaio 2002 n° 7/7868 e D.G.R. 1 agosto 2003 n° 7/13950.

L'approvazione dei suddetti elaborati, ed il conseguente inizio del procedimento di Variante allo Strumento Urbanistico, da parte del Consiglio Comunale, è subordinato al parere positivo da parte della Sede Territoriale della Regione Lombardia (S.T.E.R.), il cui parere tecnico è vincolante.

Considerato che:

1. Gli elaborati relativi all'individuazione del reticolo idrico minore ed al regolamento di Polizia Idraulica sono stati realizzati secondo le disposizioni della normativa vigente.
2. Gli stessi elaborati affrontano il tema del reticolo idrografico comunale e dei vincoli di Polizia Idraulica e/o paesaggistici, cui sono soggetti gli alvei dei corsi d'acqua pubblici e le aree di rispetto ad essi adiacenti, in modo approfondito e dettagliato.
3. Al momento della stesura della presente relazione non si conosce il parere tecnico vincolante dello STER sugli elaborati citati;

si ritiene opportuno, nelle "more" dell'*iter* di autorizzazione di detti elaborati, non riportare nella Tav. 7 "*Carta di Sintesi*" né le fasce di rispetto dei corsi d'acqua pubblici né le aree, adiacenti a detti corpi idrici, da mantenere a disposizione per consentire gli interventi di manutenzione, e di conseguenza non assegnare a queste ultime, all'interno della Tav. 8 "*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*", alcuna classe di fattibilità, come invece indicato nelle D.G.R. 8/1566/05 e D.G.R. 8/7374/08..

A giustificazione di ciò, si adduce che, a prescindere dal parere dello S.T.E.R., gli elaborati redatti rimandano a riferimenti normativi derivanti da regimi di tutela nazionale, e quindi appare superfluo assegnare una classe di fattibilità, e le relative prescrizioni, ad aree che sono già soggette a specifica disciplina, come peraltro indicato nelle medesima D.G.R. relativamente alle captazioni ad uso idropotabile, ai cimiteri ed ai depuratori.

## 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE (TAV. 1, SCALA 1 : 25.000)

Il Comune di Malagnino è posto nell'area centrale della pianura cremonese.

I suoi limiti amministrativi, che non coincidono con nette variazioni del paesaggio o della situazione geolitologica, lo pongono a confine dei Comuni di Gadesco Pieve Delmona a nord, di Vescovato e Sospiro ad est, di Bonemerse e Pieve d'Olmi a sud; infine l'area occidentale del Comune di Malagnino confina con il territorio di Cremona.

### 1.1 STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE SOVRACOMUNALE

Il Comune di Malagnino presenta sul suo territorio aree sottoposte a vincoli di diversa natura, legati alle principali infrastrutture ubicate sulla sua superficie.

- **Dugale Delmona Tagliata**

Il Dugale Delmona Tagliata, che attraversa in senso longitudinale l'intera area in esame, rientra nell'Elenco di cui alla D.G.R. 4/12028 del 25 luglio 1986, nel quale sono indicati i **corsi d'acqua pubblici** naturali ed artificiali ai sensi del R.D. 1775/33, individuati dall'art. 1 – lett. c della L. 431/85 (*“Legge Galasso”*) e tutelati ai sensi dell'art. 146 – comma 1 – lett. c del D.lgs. 490/99, attualmente sostituito dall'art. 142 – comma 1 – lett.c del D.lgs. 22 gennaio 2004 n. 42 *“Codice dei beni culturali e del paesaggio”*, previsto anche nella vigente Variante al *“Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)”* della Provincia di Cremona, Capo III – art. 14.

Il Dugale Delmona Tagliata è pertanto sottoposto a **vincolo paesaggistico per una fascia di 150 metri** misurata dal ciglio di entrambe le sponde, e soggetto alle disposizioni della Parte Terza – Titolo I del D.lgs. 42/04.

- **Pozzi pubblici ad uso idropotabile**

Nel tessuto urbano del capoluogo comunale si segnala la presenza di due pozzi pubblici ad uso idropotabile, uno posto in prossimità del centro geometrico dell'agglomerato urbano ed uno posto alla sua estremità nord occidentale.

Gli elementi di vincolo relativi ai pozzi pubblici ad uso idropotabile sono stabiliti nel D.lgs. 3 aprile 2006 n° 152 “*Norme in materia ambientale*”, art. 94 “*Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*”.

Le aree sottoposte a regime di tutela sono state individuate come segue:

- **Zona di tutela assoluta:** è costituita dall’area immediatamente circostante le captazioni e deve avere un’estensione di almeno **10 m di raggio** dalla bocca pozzo; deve essere adeguatamente protetta e deve essere adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio;
- **Zona di rispetto:** è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta, da sottoporre a vincoli e destinazioni d’uso tali da garantire la tutela qualitativa e quantitativa della risorsa idrica captata; in tale zona sono vietati l’insediamento di centri di pericolo e lo svolgimento delle attività di cui all’art. 94, comma 4 del D.Lgs 152/2006. . La Regione Lombardia, con d.g.r. 10 aprile 2003 n° 7/12693, ha emanato le “*Direttive per la disciplina delle attività all’interno delle zone di rispetto*”, di cui all’art. 21 - comma 6 del D.Lgs. 152/99, ripreso dal D.lgs. 152/06, rimandando alla d.g.r. 27 giugno 1996 n° 15137 in relazione alle modalità di delimitazione delle zone di rispetto. In questa vengono presentati tre differenti criteri in funzione della tipologia di acquifero e della conoscenza dei suoi parametri idrochimici ed idrodinamici: geometrico, temporale ed idrogeologico.

In riferimento alla determinazione della zona di rispetto, l’Ente gestore dei due pozzi pubblici di Malagnino, la società Padana Acque S.p.A., ha proceduto ad inoltrare la richiesta, supportata da relativa relazione tecnico-geologica, di riduzione ai soli 10 m della zona di tutela assoluta delle aree di rispetto dei due pozzi pubblici comunali.

Le richieste sono state inoltrate nel 1998 all’allora competente Ufficio della Regione Lombardia – Genio Civile, e portano i seguenti riferimenti:

Pozzo n° 1: richiesta n° prot. 16476 del 12/11/98, ricevuta il 12/11/1998

Pozzo n° 2: richiesta n° prot. 1031 del 19/01/1998, ricevuta il 19/01/1998.

In entrambi i casi, sia l’ente gestore sia il Comune di Malagnino sono in attesa di relativi decreti di autorizzazione alla riduzione della distanza di rispetto.

Nel presente studio, poiché a tutt’oggi non si sono ricevute comunicazioni in merito, le distanze di rispetto dei due pozzi pubblici sono state considerate aventi **raggio 200 m** dalla bocca pozzo (criterio geometrico), e sottoposte alle limitazioni d’uso previste dalla normativa vigente.

Qualora la Regione Lombardia autorizzasse la riduzione, le limitazioni previste dalla normativa verrebbero a cadere.

- **Discarica RSU-RSA**

All'estremità nord-orientale del Comune, in località Cassinetto, si riscontra la presenza di una discarica di rifiuti solidi urbani (RSU) ed assimilati agli urbani (RSA). Il testo base che regola la nascita e l'attività delle discariche in territorio lombardo, la L.R. 1 luglio 1993 n° 21, non indica la necessità di fasce di rispetto, tuttavia prescrive per le discariche una distanza minima di 200 m dai centri abitati: nel presente studio e nella relativa cartografia tale distanza viene indicata come fascia di rispetto.

- **Ferrovia Cremona-Mantova**

La linea ferroviaria Cremona-Mantova taglia longitudinalmente il territorio di Malagnino poco a nord del capoluogo comunale. Sulla base di quanto disposto dal D.P.R. 753/80 si riscontra la presenza di fasce di rispetto estese per 30 m da ciascun binario.

- **Distanze di rispetto dalle sedi stradali**

Per quanto concerne la rete viaria, sono in vigore le distanze minime dalla sede stradale definite dal D.P.R. 16 dicembre 1992 n° 495 "*Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada*", in base alla classificazione contenuta nell'art. 2 del D.Lgs. 30 aprile 1992 n° 285 "*Nuovo codice della strada*".

In particolare, al di fuori dei centri abitati delimitati ai sensi dell'art. 4 del citato D.Lgs. 285/92, le distanze di rispetto dalla sede stradale sono (art. 26 – comma 2 – D.P.R. 495/92):

- 60 m per le strade di tipo A (autostrade)
- 40 m per le strade di tipo B (strade extraurbane principali)
- 30 m per le strade di tipo C (strade extraurbane secondarie)
- 20 m per le strade di tipo F (strade locali)
- 10 m per le strade vicinali di tipo F, come definite dall'art.3 – comma1 – punto 52 del D.Lgs. 285/92.

Al di fuori dei centri abitati delimitati ai sensi dell'art. 4 del D.Lgs. 285/92, ma all'interno delle zone previste come edificabili o trasformabili dallo strumento urbanistico comunale, le distanze di rispetto stradale diventano le seguenti (art. 26 – comma 2bis – D.P.R. 495/92):



- 30 m per le strade di tipo A (autostrade)
  - 20 m per le strade di tipo B (strade extraurbane principali)
  - 10 m per le strade di tipo C (strade extraurbane secondarie).
- **Altri corsi d'acqua**

Si rimanda allo “*Studio per l'individuazione del Reticolo Idrico Minore del Comune di Malagnino*” ed all'allegato elaborato “*Reticolo Idrico Minore: Regolamento di Polizia Idraulica*” per l'analisi dettagliata della natura (pubblica o privata) dei corsi d'acqua che attraversano il territorio comunale e delle competenze attribuite dalla vigente normativa agli Enti gestori dei corsi d'acqua stessi, nonché per la definizione delle fasce di rispetto in funzione della tipologia di opera considerata e dell'ambito in cui il corso d'acqua scorre (urbano o extraurbano).

## **1.2 IL SISTEMA PAESISTICO AMBIENTALE**

Il territorio del Comune di Malagnino presenta i caratteri morfologici tipici della Pianura Padana, per cui risulta costituito da un piano (Livello Fondamentale della Pianura – L.F.P. – o Piano Generale Terrazzato – P.G.T.) con debole immersione da NO a SE, che funge da raccordo tra la fascia delle conoidi pedemontane e la valle del Po.

La relativa semplicità della superficie topografica non permette di evidenziare gli esiti dei processi tettonici che hanno portato alla formazione del territorio. Le poche strutture presenti a movimentare la superficie del L.F.P., ossia le valli fluviali, i dossi e i pianalti, legati alla dinamica fluviale durante i grandi mutamenti climatici del Quaternario, rappresentano le uniche testimonianze dei complessi fenomeni di sollevamento ed erosione che interessano le Alpi e l'Appennino settentrionale e che hanno portato alla formazione della Pianura Padana.

L'intero territorio in esame ricade entro il vasto lembo del Piano Generale Terrazzato, a morfologia pianeggiante, all'interno del quale si rileva la presenza di paleosuperfici affioranti nell'ambito nord-orientale del territorio comunale.

Nel processo di costruzione del territorio assume una notevole importanza l'azione delle acque; le grandi variazioni climatiche del Quaternario, che hanno visto lo scioglimento delle calotte glaciali che ricoprivano le Alpi, hanno provocato imponenti fenomeni di trasporto dei sedimenti mobilitati dai ghiacciai e la loro deposizione verso l'asse del Po.

La successiva stabilizzazione delle condizioni climatiche ha dato origine alla rielaborazione degli stessi sedimenti, con fenomeni di trasporto e deposizione su scala molto minore rispetto ai periodi precedenti, che hanno portato alla formazione delle attuali strutture fluviali.

### **1.2.1 FATTORI ANTROPICI**

Con l'espressione "fattori antropici" si indicano quegli interventi operati dall'uomo che hanno modificato la struttura del territorio e del paesaggio.

Nella Pianura Padana, così favorevole all'insediamento umano, le trasformazioni antropiche sono state pervasive: le opere di bonifica e di regimazione idraulica, i nuclei storici e gli insediamenti sparsi, le opere romane e la trama dei percorsi storici di epoca tardo-medievale, oltre a mostrarci la storia dell'uomo, ci testimoniano la conquista dello spazio naturale.

Un esempio di questa testimonianza è rappresentato dalle cascine, elemento strutturante del paesaggio agricolo. Nel territorio del Comune di Malagnino, al contrario di altre zone della provincia, la tipologia prevalente di insediamento rurale è la cascina a corte chiusa del cremonese, il cui impianto nasce da ragioni difensive (cascine fortificate).

### **1.2.2 LE COMPONENTI DEL SISTEMA PAESISTICO AMBIENTALE**

Sulla base dei principali aspetti paesistici ed ambientali della provincia di Cremona è possibile riconoscere le tipologie di paesaggio individuati nel Piano Territoriale Paesistico Regionale (paesaggi della cerealicoltura e paesaggi delle colture foraggere) che connotano soprattutto la valenza agricola del paesaggio. In queste tipologie si inserisce bene la pianura cremonese, bordata dai fiumi Oglio e Po, di più antico sviluppo, e caratterizzata da pochi corpi idrici naturali interni, allungati con prevalente direzione ovest est.

La pianura cremonese, ben rappresentata dall'area in esame, è il territorio con il maggior livello di antropizzazione, dovuto alla posizione sopraelevata rispetto alle adiacenti valli fluviali, grazie alla quale viene limitata la presenza di elementi naturali dannosi per le attività umane, come le paludi e i corsi d'acqua soggetti ad inondazioni. Gli elementi morfologici di chiara pertinenza fluviale presenti sulla superficie della pianura sono molto pochi; fra questi si evidenzia per continuità spaziale la struttura relitta immediatamente a sud della valle dell'Oglio.

La porzione centrale della pianura è di tipo asciutto, con presenza di sistemi di irrigazione canalizzati a percorrenza est-ovest, ed è limitata a nord ed a sud dalle valli fluviali.

Altro elemento riconoscibile nel paesaggio è l'area segnata dalla centuriazione romana, che ne costituisce il riferimento strutturale su cui si articola una parte considerevole degli attuali insediamenti.

### **1.2.3 I CARATTERI DEL PAESAGGIO AGRICOLO**

L'agricoltura, a causa della sua presenza storica sul territorio, della superficie utilizzata e dei processi produttivi e mercantili, è la maggiore responsabile dei cambiamenti nel paesaggio provinciale.

Prima dell'intensa opera di colonizzazione e bonifica, protrattasi per secoli, la pianura era occupata dalla foresta planiziale, di cui oggi rimangono pochi frammenti, generalmente in prossimità di corsi d'acqua o degli spazi non toccati dalle attività umane.

L'acqua è l'elemento che più di ogni altro caratterizza gli ambienti della pianura, e in funzione della sua presenza, superficiale e sotterranea, si individuano le stazioni vegetali tipiche della pianura.

Lungo i corsi d'acqua secondari, le strade campestri e gli elementi di parcellizzazione dei campi è ormai consolidata la tendenza ad abbattere i superstiti filari alberati, poiché attualmente non costituiscono più elemento di interesse economico, e vengono anzi visti come possibili competitori, dal punto di vista nutrizionale, per le colture di campo o come ostacoli alla meccanizzazione agricola. In questa logica sono scomparse quelle specie che agli inizi del secolo scorso venivano usate come fonti di reddito, quali il gelso, e stanno rapidamente scomparendo quelle che da sempre venivano utilizzate per il consolidamento delle sponde e delle scarpate, come gli ontani. La tendenza al "disboscamento" viene spesso contrastata piantumando specie ad elevato tasso di accrescimento, e quindi di interesse economico, ma di scarso valore paesistico-ambientale, come i pioppi ibridi. La lettura della Carta Tecnica Regionale, nonché quella degli strati topografici alla scala 1: 25.000 dell'I.G.M., che testimonia la forte riduzione della presenza di filari arborei, sintetizza efficacemente questo impoverimento.

Elemento caratteristico del paesaggio agricolo lombardo è la cascina, riscontrabile in tutta la Pianura Padana con caratteri peculiari che variano con le tecniche costruttive, le dimensioni fondiarie e la tipologia d'utilizzo. Nel territorio cremonese, caratterizzato da vasti poderi, essa prende l'aspetto di cascina isolata, in cui la struttura a corte chiusa (dettata da esigenze difensive) si coniuga con la necessità di ospitare i braccianti agricoli.

Il territorio non urbanizzato risulta quasi completamente addomesticato alle forme industriali di conduzione agricola; inoltre, i cambiamenti colturali, legati alla meccanizzazione agraria e

all'ampia diffusione della cerealicoltura, hanno notevolmente impoverito la varietà del paesaggio agricolo.

Si deve tuttavia sottolineare che quello cremonese costituisce da sempre un circondario a forte vocazione agricola, basti ricordare che l'*ager cremonensis* rappresenta una delle prime aree di centuriazione romana: la posizione salda rispetto ai circostanti sistemi fluviale e l'assenza di paludi estese hanno consentito di effettuare bonifiche meno onerose, sostanzialmente rappresentate da interventi di disboscamento e di costruzione della rete irrigua per l'apporto di acqua nei momenti di fabbisogno colturale. Il circondario rispecchia l'insieme delle colture provinciali, poiché non vi sono indirizzi peculiari e si trovano associate alla cerealicoltura le coltivazioni di grano duro, barbabietola, soia e i campi di erba medica e graminacee.

### 1.3 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA STORICA

A quanto espresso finora, si allega la serie storica della Tavoletta IGM "Sospiro", comprendente l'intero territorio del Comune di Malagnino; tale serie cartografica ha permesso di ricostruire il quadro evolutivo geomorfologico-idrografico e paesistico-antropico dal 1890 ad oggi.

Di seguito vengono evidenziati gli aspetti più rilevanti.

- Fino all'edizione 1952 la cartografia IGM segnala la presenza di aree incolte, talora acquitrinose, in cui l'attività agricola era, con ogni probabilità, fortemente limitata. Nell'edizione 1966 tali aree non risultano più segnalate: si può presumere che siano state oggetto di bonifica idraulica in questo lasso di tempo.
- La viabilità e il reticolo idrografico superficiale si mantengono pressoché invariati in tutti gli strati cartografici.
- Gli attuali insediamenti abitativi sono gli stessi già presenti nell'area alla fine dell'Ottocento.
- Dall'analisi della serie storica si rileva come il centro abitato di Malagnino, fino alla metà degli anni Sessanta, risultasse costituito dalla sede comunale e da poche rare abitazioni. L'edizione 1974 indica un forte ampliamento della superficie abitativa, ampliamento tuttora in corso (carta C.T.R., volo 1994).
- Fino al 1974, ultimo strato IGM disponibile, gli insediamenti lungo la strada srovinciale "Giuseppina" risultano pressoché assenti; solo successivamente, lungo tale asse, ha inizio la realizzazione di insediamenti produttivo-artigianali che hanno assunto, specialmente negli ultimi anni, una notevole consistenza, limitatamente al lato settentrionale della strada provinciale.

**Bibliografia:**

PROVINCIA DI CREMONA (2003) - “*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)*” – Settore Pianificazione Territoriale e Mobilità , Cremona.

PROVINCIA DI CREMONA (2009) - “*Variante del P.T.C.P di adeguamento alla l.r. 12/2005*” – Settore Pianificazione Territoriale e Mobilità , Cremona.

REGIONE LOMBARDIA (2001) - “*Piano Territoriale Paesistico Regionale (P.T.P.R.)*” – Direzione Generale Territorio e Urbanistica, Milano.

## **2. CARTA GEO-MORFOLOGICA E LITOLOGICA DI SUPERFICIE (TAV. 2a, SCALA 1:10.000) E CARTA PEDOLOGICA (TAV. 2b, SCALA 1:10.000)**

### **2.1 PREMESSA**

In questi elaborati cartografici si sono sintetizzate le informazioni ed i dati riguardanti:

- emergenze morfologiche;
- assetto geologico dell'area, comprensivo di indicazioni sulle formazioni geologiche presenti e dei relativi rapporti cronostratigrafici;
- aspetti litologici delle formazioni;
- aspetti pedologici.

Lo studio, la verifica e la necessaria rielaborazione originale dei dati relativi alle diverse tematiche affrontate hanno richiesto due distinte metodologie di approccio, sia in merito alla reperibilità dei dati bibliografici esistenti, sia in merito alle metodologie di rilievo e di successivo sviluppo delle osservazioni fatte in situ dallo scrivente.

Per quanto riguarda l'individuazione dell'assetto geomorfologico ci si è basati sull'esame di rilievi aerofotogrammetrici esistenti e sulla successiva fase di controllo e verifica in campagna delle osservazioni fatte in studio: tale metodologia, che alterna fasi di studio a tavolino a fasi di verifica e rielaborazione direttamente in situ, consente il miglior approccio possibile alla conoscenza dell'attuale assetto del territorio, intesa come comprensione delle fasi evolutive del paesaggio, necessaria per lo sviluppo di qualsiasi attività di programmazione di intervento antropico.

Per lo studio dell'assetto geologico dell'area in esame si è fatto riferimento sia alle conoscenze dirette che a quelle bibliografiche esistenti, principalmente alla cartografia ufficiale (Fig. 61 "Cremona" della Carta Geologica d'Italia, Scala 1: 100.000), adattata, anche sulla base del rilievo diretto e delle conoscenze acquisite, alla scala cartografica utilizzata per l'intervento urbanistico; anche in questo caso si sono effettuate verifiche ed integrazioni di campagna per giungere ad una più precisa delimitazione delle formazioni geologiche.

## **2.2 PRINCIPALI ASPETTI MORFOLOGICI**

L'area oggetto di studio è una tipica pianura alluvionale a pendenza univoca verso l'asse padano (ONO-ESE), la cui continuità superficiale non è interrotta da forme secondarie che possano movimentare il paesaggio.

Si tratta infatti del monotono ripiano alluvionale compreso fra le incisioni vallive dei fiumi Oglio a Nord e Po a Sud, entro il quale si possono rilevare esclusivamente ondulazioni assai blande.

Unici elementi che evidenziano gli andamenti superficiali sono le curve isoipse, in questa porzione di territorio generalmente ad andamento NNE-SSO, nella cui costruzione si è adottata un'equidistanza pari ad 1 metro.

La presenza di paleosuperfici, databili all'interglaciale Riss-Würm ed affioranti a nord est del territorio comunale, confermano la realizzazione di cicli morfogenetici fluviali anteriori a quello che ha portato al modellamento della superficie attuale. Su queste basi si può ritenere che, al di sotto dei vari termini alluvionali che costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura, esistano numerose paleosuperfici sepolte, con proprie forme di erosione e sovralluvionamento (paleoalvei).

Per la costruzione delle isolinee si è utilizzata la metodologia classica dell'interpolazione dei punti quotati, escludendo necessariamente tutti quei valori di riferimento esclusivamente funzionali alla definizione cartografica di base e quindi non rappresentati dalla morfologia.

Le quote altimetriche del piano campagna sono comprese tra i 38 m della porzione più meridionale del territorio ed i 41 m dell'area settentrionale, che danno luogo ad una cadente topografica meridionale con pendenze medie anche inferiori all'1%, come rilevabile dalle quote espresse dalla Carta Tecnica Regionale.

Alla scala di dettaglio, gli andamenti altimetrici risultano perlopiù condizionati dalle sistemazioni superficiali degli appezzamenti, introdotte per finalità irrigue; non è quindi infrequente la presenza di piccole scarpate localizzate lungo i confini tra appezzamenti diversi o fra questi ultimi ed i tracciati viari.

## **2.3 PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI**

Per quanto riguarda l'assetto geologico dell'area in esame, i terreni affioranti sono costituiti da depositi alluvionali quaternari continentali, che formano l'ossatura del sistema deposizionale

padano, il cui spessore, sulla base dei dati ottenuti da perforazioni, è dell'ordine di alcune centinaia di metri.

Tale apparato deposizionale è essenzialmente dovuto alla successione temporale dei processi di divagazione fluviali, deposizionali ed erosivi, che hanno costituito una complessa struttura sedimentaria in cui sono tipiche le variazioni litologiche sia verticali che orizzontali.

Da un punto di vista cronostratigrafico, i termini affioranti risalenti al periodo terminale del Pleistocene costituiscono la parte sommitale della serie continentale quaternaria. Il territorio comunale è compreso nel vasto ambito del Piano Generale Terrazzato e le formazioni geologiche rilevabili nell'area sono riferibili a depositi appartenenti all'Interglaciale Riss-Würm (Pleistocene medio-superiore) ed al Fluviale Würmiano (Pleistocene superiore).

Le formazioni geologiche presenti possono essere così descritte:

- **f<sup>l</sup>W-R (Pleistocene medio-superiore)**

Depositi fluviolacustri argilloso-sabbiosi, più raramente sabbiosi, con scarsi piccoli ciottoli, fittamente stratificati, contenenti concrezioni calcaree. Questi terreni affiorano prevalentemente in corrispondenza di strutture del sottosuolo e sono portati in evidenza da movimenti tettonici tardivi, che hanno prodotto locali innalzamenti, morfologicamente non evidenti, della coltre deposizionale. In tali aree, la presenza di depositi calcarei sotto forma di concrezioni posizionate a profondità variabile tra 1,5 m e 2 m dal p.c. è dovuta al difficile drenaggio dell'acqua nei livelli argillosi, per lo più di facies lacustro-palustre.

Nel territorio compaiono, qualche chilometro a NE, tracce di antichi corsi d'acqua ad andamento variabile, testimonianza di un reticolo idrografico impostatosi in periodi pre olocenici.

- **f<sup>w</sup> (Pleistocene superiore)**

Depositi sabbiosi e sabbioso-argillosi, raramente a debole contenuto ghiaioso a ciottoli minuti. Questa formazione costituisce il Livello Fondamentale della Pianura, ed anche in questo quadrante territoriale si rilevano tracce attribuibili al fiume Oglio ed a corsi d'acqua minori, che probabilmente, nel Pleistocene superiore, divagavano all'interno di questa porzione di pianura.

Movimenti neotettonici tardivi di compressione, traslazione e sollevamento avrebbero in seguito portato all'attuale impostazione del reticolo idrografico principale.

Si rileva infine, dall'andamento delle isoipse, che il Dugale Dosimo sembra essere sottoadattato rispetto al proprio alveo, ad indicare l'impostazione di tale corso d'acqua su un paleocanale; l'andamento del suo tracciato, piuttosto regolare, sembra tuttavia indicare interventi di rettifica.



## **2.4 PRINCIPALI ASPETTI DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE**

La Tav. 2a cui si fa riferimento in questo paragrafo riassume graficamente i dati relativi all'estensione ed alla natura litologica delle principali litozone subsuperficiali che interessano l'intero territorio comunale; tale elaborato è basato su indagini granulometriche speditive, aspetti geologico-tecnici dei terreni e condizioni di drenaggio dei terreni posti al di sotto del suolo.

La caratterizzazione litologica degli orizzonti subsuperficiali è stata realizzata utilizzando sia i dati emersi da indagini dirette svolte in passato, sia quelli ottenuti da sondaggi eseguiti appositamente per la caratterizzazione geomeccanica dei terreni, considerando, in questo caso, esclusivamente la porzione superficiale, oggetto dell'indagine tematica.

La metodologia di rilevazione adottata, in particolare la dislocazione dei punti di rilievo e controllo, è stata basata su un "*criterio discrezionale*", dettato dalle discrete conoscenze personali già in possesso sulle aree di indagine.

Utilizzando quindi i dati puntuali rilevati ed alcune delle indicazioni emerse dagli elaborati, è stata realizzata, seguendo il medesimo "*criterio della prevalenza*", la carta tematica della litologia di superficie, nella quale le litozone, definite attraverso la loro prevalenza granulometrica, vengono rappresentate con segni grafici diversi. Non si esclude tuttavia, in relazione anche alla scala adottata, la presenza locale di situazioni difformi da quelle indicate esclusivamente con detto criterio.

### **2.4.1 TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI**

I terreni prevalentemente limoso-argillosi occupano due piccoli lembi al confine occidentale del territorio comunale, uno in prossimità di località Cervellara ed uno in prossimità dell'abitato di San Giacomo Lovara. Questi terreni sono costituiti in prevalenza da litotipi limoso-argillosi a basso grado di permeabilità, che presentano quindi un drenaggio mediocre e possono dar luogo a ristagni idrici superficiali.

### **2.4.2 TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSI**

Questo tipo di terreni è compreso tra gli allineamenti Villa Ripari – Malagnino – Loc. Malagnina e Loc. Cassinetto– Ca' de' Marozzi, per cui vengono ad occupare la parte nord-orientale del territorio

comunale. La loro presenza è legata ai terreni più superficiali che costituiscono la formazione geologica attribuita al Livello Fondamentale della Pianura, databile al Würm-Riss (f,l<sup>W-R</sup>).

Appare evidente che l'origine dei sedimenti limosi sia imputabile alla sedimentazione di tali materiali per un lasso di tempo anche prolungato in acque prive di energia, dove avrebbe potuto essersi insediata vegetazione igrofila. L'area attualmente è drenata artificialmente in seguito a bonifica idraulica, ma non si esclude la possibilità di periodici ristagni superficiali delle acque, sia per l'andamento altimetrico evidenziato dalle curve isoipse, sia per la scarsa capacità di drenaggio propria di questi materiali.

Lo strato di alterazione superficiale appare, in genere, mediamente sviluppato, polverulento in condizioni di scarsa umidità, molto molle in concomitanza di periodi di forti precipitazioni.

#### **2.4.3 TERRENI PREVALENTEMENTE SABBIOSI E SABBIOSO-LIMOSI**

I terreni sabbiosi e sabbioso-limosi occupano la parte centrale ed occidentale del territorio comunale, con una propaggine ad est dell'allineamento Cassinetto-Ca' de' Marozzi, aree queste legate al livello fondamentale del piano alluvionale würmiano.

Elemento costitutivo fondamentale è rappresentato da sabbie a granulometria medio fine che contengono una percentuale molto variabile di limo, che non giunge mai ad essere prevalente.

La frazione limosa abbassa il grado di permeabilità delle sabbie, dando luogo ad un drenaggio che varia da mediocre a lento, con possibilità di ristagni superficiali.

Lo strato di alterazione pedogenetica superficiale, generalmente a componente organica, è ben sviluppato e piuttosto profondo.

#### **2.5 PRINCIPALI ASPETTI PEDOLOGICI**

L'area in esame presenta un paesaggio omogeneo e regolare: si tratta infatti di un territorio a forte vocazione agricola, con un'omogeneità di utilizzo agronomico dei terreni ancora più elevata di quella riscontrabile nella tipologia dei suoli.

La descrizione delle caratteristiche pedologiche del territorio comunale ha lo scopo di ampliare ed approfondire le conoscenze di un'area, piuttosto semplice, in funzione degli elementi legati alla vulnerabilità dell'acquifero sottostante.

Per la determinazione delle caratteristiche pedologiche ci si è avvalsi della documentazione e degli elementi oggettivi riportato dal progetto "*Carta pedologica – I suoli della pianura cremonese*", edito dall'ERSAL, in cui il paesaggio viene suddiviso in **Unità Cartografiche (U.C.)** che

presentano superfici omogenee per geomorfologia, fisiografia, litologia e condizioni interne del suolo. Nella seguente trattazione, per ogni U.C. verranno riportate le indicazioni salienti, come i caratteri stazionali, quelli pedologici e le interpretazioni da essi derivate; inoltre, di ogni U.C. verranno evidenziate la localizzazione, le indicazioni morfologiche, i caratteri del substrato, l'uso del suolo, la profondità, le limitazioni, la tessitura, il drenaggio, la permeabilità, la capacità d'uso del suolo e la sua capacità protettiva.

Il territorio oggetto d'indagine è compreso interamente nella parte orientale della provincia di Cremona caratterizzata da zone morfologicamente molto stabili, lontane da zone di divagazione attuale o medio-recente dei principali corsi d'acqua.

La sua superficie è suddivisibile in cinque Unità Cartografiche.

### **Unità Cartografica A**

La maggior parte del territorio è caratterizzata da questa U.C., cui corrispondono territori pianeggianti o lievemente ondulati, con substrato a litologia prevalentemente sabbiosa, spesso limoso-sabbiosa, scarsamente calcarea e a drenaggio mediocre.

L'U.C. A presenta quasi sempre suoli molto profondi a tessitura franco limosa o franca, non calcarei, a reazione da sub-acida a neutra e a permeabilità moderatamente bassa ( $10^{-6} \div 10^{-7}$  m/s); gli orizzonti più profondi del substrato possono essere più grossolani (da franco-sabbiosi a sabbiosi).

Questa tipologia di suoli presenta poche limitazioni di lieve entità, per cui si prestano ad una vasta gamma di utilizzazioni possibili (classe d'uso II w). La capacità protettiva risulta elevata; i terreni di questa U.C. risultano inoltre adatti allo spandimento agronomico dei reflui zootecnici e moderatamente adatti allo spandimento dei fanghi di depurazione.

### **Unità Cartografica B**

Appartengono a questa U.C. le aree attorno agli abitati di Malongola e Cassinetto; tali aree, morfologicamente rilevate rispetto alle zone circostanti, presentano un substrato sabbioso, talvolta leggermente idromorfo.

I suoli sono da profondi a molto profondi e presentano una tessitura media in superficie che in profondità varia da media a moderatamente fine.

Il drenaggio è buono, localmente mediocre a causa della permeabilità moderatamente bassa ( $K = 10^{-6} \div 10^{-7}$  m/s). I suoli di questa U.C. presentano pochissime limitazioni al loro uso (classe d'uso I), ed evidenziano un'elevata capacità protettiva. Le caratteristiche del terreno lo rendono adatto allo

spargimento agronomico dei reflui zootecnici e moderatamente adatto allo spandimento di fanghi provenienti da processi di depurazione.

### **Unità Cartografica C**

Questa U.C. è presente nell'area sud occidentale del Comune di Malagnino, in un'area il cui centro è rappresentato dall'abitato di S. Giacomo Lovara. Qui il substrato appare sabbioso o sabbioso con limo, i suoli risultano molto profondi e la tessitura varia da media in superficie a moderatamente grossolana in profondità.

Il drenaggio è mediamente buono, solo localmente risulta mediocre, e la permeabilità è modesta ( $K=10^{-5}\div 10^{-6}$  m/s).

Anche questo tipo di suoli presenta pochissimi fattori limitanti l'utilizzo, per cui risultano adatti per tutte le colture (classe d'uso I). La capacità protettiva risulta modesta. I terreni di questa U.C. sono adatti allo spandimento di reflui zootecnici e moderatamente adatti per lo spandimento di fanghi di depurazione.

### **Unità cartografica D**

Queste aree che sembrerebbero essere le radici di antichi dossi, probabilmente già in origine poco rilevati, rimodellati e spianati dall'azione degli agenti geomorfici e dall'intervento antropico, si trovano sull'allineamento S. Michele – Casa Malombra e nei pressi di Ca' de' Marozzi. I suoli di questa U.C. risultano molto profondi e sviluppati su un substrato limoso, con tessitura moderatamente grossolana, drenaggio da moderatamente rapido a buono e valori di permeabilità piuttosto alti ( $K > 10^{-4}$  m/s).

Questi suoli presentano moderate limitazioni, tali da richiedere una scelta adeguata delle colture e delle pratiche conservative, per cui ricadono nella classe di capacità d'uso II s.

La capacità protettiva risulta essere bassa, pertanto sono moderatamente adatti sia allo spandimento dei reflui zootecnici che dei fanghi di depurazione.

### **Unità cartografica E**

Localizzata esclusivamente in una ristretta porzione nord-occidentale del territorio, questa U.C. presenta superfici piane a substrato sabbioso o sabbioso limoso, con falda variabile intorno a 2,50 m. I suoli di quest'area sono da profondi a molto profondi, hanno tessitura da media a moderatamente fine, drenaggio mediocre e permeabilità moderatamente bassa ( $K = 10^{-6}\div 10^{-7}$  m/s).

I suoli di questa U.C. presentano modeste limitazioni che richiedono un'opportuna scelta delle colture e moderate pratiche conservative (classe di capacità d'uso II w). La capacità protettiva è

elevata. Risultano inoltre moderatamente adatti sia allo spandimento agronomico dei reflui zootecnici che dei fanghi di depurazione.

Nella tabella riportata in Tav. 2 b “*Carta pedologica*” vengono evidenziate le caratteristiche del suolo per ogni U.C.

Gli elementi presi in considerazione per la sua realizzazione sono i seguenti:

1. profondità del suolo, e quindi il suo spessore dal piano campagna al substrato;
2. tessitura, ossia la composizione percentuale degli elementi costituenti la terra fine ( $\emptyset < 2$  mm);
3. drenaggio, cioè la capacità del terreno di smaltire le acque superficiali;
4. capacità d’uso del suolo, che rappresenta il sistema per caratterizzare il suolo evidenziandone potenzialità e limitazioni al fine di un utilizzo silvo-pastorale a prescindere da interventi antropici. In genere, l’espressione della capacità d’uso si presta bene ad una valutazione complessiva del territorio e può fornire indicazioni legate al miglior utilizzo dei suoli;
5. vulnerabilità verticale dell’acquifero, intesa come la facilità con cui un inquinante fluido riversato sulla superficie può raggiungere l’acquifero; essa è funzione della permeabilità del non saturo, del suo spessore e della soggiacenza della falda;
6. rilevanza del paesaggio, effettuata in chiave fisico-morfologica considerando, per ogni unità, l’origine, gli elementi morfologici lineari e puntiformi di pregio e gli aspetti fisico-ambientali;
7. orientamento allo spandimento dei reflui zootecnici, in base alle caratteristiche interne ed esterne del suolo ed in relazione al rischio di inquinamento per le acque superficiali e profonde;
8. attitudine all’arboricoltura da legno, valutata in classi e sottoclassi prendendo in esame, come caratteristiche limitative esteriori del suolo il rischio di inondazione, per i caratteri limitanti interni lo scheletro, il drenaggio e la profondità;
9. classi e sottoclassi della capacità d’uso del suolo, definite in base al numero, al tipo ed alla gravità delle limitazioni fisiche.

In merito alle valutazioni oggettive riportate ed analizzate in funzione degli scopi particolari della presente relazione, finalizzati a focalizzare gli aspetti legati alla vulnerabilità degli acquiferi, funzionale all’attribuzione delle classi di vulnerabilità, si può concludere che le caratteristiche del suolo dell’area in esame possono essere riassunte con il giudizio di vulnerabilità medio-bassa dell’acquifero freatico, anche se in presenza di una falda freatica a soggiacenza modesta (2 ÷ 4 m).

## **Bibliografia:**

- Petrucci F e Tagliavini S. (1969) – “*Note illustrative alla Carta geologica d’Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 61 “Cremona”*” - Poligrafica e Cartevalori – Ercolano (NA).
- Servizio Geologico d'Italia (1966) – “*Carta Geologica d'Italia – Foglio 61 "Cremona" alla scala 1:100.000*” – Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato – Roma.
- ERSAL (1997) – “*Progetto Carta Pedologica: paesaggi e suoli della provincia di Cremona*” – Provincia di Cremona.
- ERSAL (1997) – “*Progetto Carta Pedologica: i suoli della pianura cremonese centro-orientale*” – Provincia di Cremona.
- ERSAL (2000) – “*Progetto Carta Pedologica: i suoli della pianura cremonese centrale*” – Provincia di Cremona.
- Desio A. (1973) – “*Geologia d’Italia*” – UTET – Torino.
- Ippolito F. (1978) – “*Saggi di geologia e geologia economica*” – Liguori Editore.
- Peloso G.F., Pesce M. (1981) – “*Studio idrogeologico della porzione sud-est del Foglio 46 “Treviglio” e quella sud-ovest del Foglio 47 “Brescia”*” – Estr. Atti Ist. Geol. Università di Pavia, Pavia Vol. XXX.
- Ricci Lucchi F. (1978) – “*Sedimentologia – Parte III – Ambienti Sedimentari e facies*” – Clueb.

### **3. CARTA IDROGEOLOGICA CON ELEMENTI IDROGRAFICI (TAV. 3, SCALA 1:10.000)**

#### **3.1 PREMESSA**

Nel corso dello studio si è ritenuto opportuno sintetizzare su un unico elaborato cartografico sia gli aspetti riguardanti l'idrografia di superficie, sia quelli più strettamente idrogeologici.

Preliminarmente alle indagini di campagna ed alle rielaborazioni originali, è stata condotta un'accurata ricerca bibliografica che ha riguardato sia l'analisi dei principali elementi costitutivi dell'idrografia di superficie, sia le stratigrafie dei pozzi pubblici.

A questo proposito si precisa come ai fini del presente studio, che richiede dati stratigrafici certi, non si siano potuti utilizzare elementi derivanti da pozzi privati, in quanto questi, sebbene numerosi, non sono corredati da dati analitici a causa delle metodologie impiegate per la perforazione. L'elenco dei pozzi privati denunciati presso il Comune, è inserito in calce al presente capitolo (All. 3d), dove si riportano alcuni dati relativi alla proprietà, alla profondità della struttura filtrante, alla tipologia dell'utilizzo ed alla individuazione catastale della perforazione stessa.

Nell'allegato cartografico di cui alla Tav. 3 viene graficamente espressa la localizzazione di ciascun pozzo privato, corredata dalla profondità dichiarata dei filtri e dalla numerazione riferita all'elenco citato. A questa situazione di carenza di dati stratigrafici certi finalizzata ad un'approfondita caratterizzazione idrogeologica, fa eccezione l'area della discarica di RSU – RSA situata in località Cassinetto, in quanto la realizzazione di tale opera ha richiesto indagini ed informazioni estremamente dettagliate su litologia ed idrogeologia dell'area.

Per i motivi esposti, nel corso delle analisi stratigrafiche e nell'elaborazione delle relative sezioni si sono utilizzati quasi esclusivamente i dati provenienti da pozzi pubblici, di cui si allegano le colonne stratigrafiche (All. 3c), ubicati sia all'interno che all'esterno dei confini comunali.

Le strutture idrogeologiche presenti nell'area in esame sono state descritte con tre sezioni aventi valenza sia litostratigrafia, sia idrogeologica: la sezione A-A' ha direzione N-S, mentre le sezioni B-B' e C-C' hanno direzione O-E. Le strutture evidenziate in queste sezioni, riportate in All. 3a, possono essere ritenute attendibili, in quanto le stratigrafie, derivando da pozzi pubblici, sono sufficientemente dettagliate e precise.

Ulteriori dati riguardanti la situazione stratigrafica del territorio comunale sono stati ottenuti attraverso sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), sviluppati in direzione NS, di cui si allega la relativa sezione 1-1' (All. 3-B).

In relazione allo scopo del presente lavoro, si è ritenuto doveroso eseguire un'indagine di dettaglio riguardante gli andamenti e la consistenza della falda freatica, al fine di valutare la sua interferenza con le opere di fondazione delle strutture e con gli scavi necessari alla loro realizzazione.

### **3.2 MODALITA' DI REALIZZAZIONE DELLA RETE PIEZOMETRICA**

Per la realizzazione della carta delle isofreatiche ci si è esclusivamente basati sull'acquisizione dei dati di soggiacenza della falda freatica rilevati sistematicamente in corrispondenza di opportuni punti di misura. Questi ultimi possono essere rappresentati sia da pozzi privati poco profondi, la cui unica fonte di approvvigionamento è rappresentata dalla falda freatica, sia da perforazioni appositamente realizzate ed attrezzate, ubicate dove la scarsità o la totale mancanza di dati avrebbe inevitabilmente portato ad un risultato scarsamente rappresentativo della situazione dell'area. Si precisa, inoltre, che la ricerca di pozzi, privati e non, dotati delle caratteristiche necessarie alle misurazioni (esclusivo attingimento dal primo acquifero, testata del pozzo libera da flange o comunque in grado di consentire agevolmente le operazioni di lettura), anche se estesa all'intero ambito comunale, ha evidenziato l'estrema rarità di punti di misura aventi le caratteristiche necessarie: questa situazione è dovuta in parte alla pressoché costante necessità di attingere cospicue quantità d'acqua, che indirizza inevitabilmente verso l'esecuzione di pozzi profondi e con colonne filtranti multifalda, in parte alle tipologie costruttive, che prevedono apparati esterni tali da non consentire libero accesso alla bocca del pozzo.

I punti di rilevazione, rappresentati da pozzi pubblici o privati, attivi o dimessi, e da altri punti in grado di rispondere alle richieste sopra espresse, sono ubicati all'interno dell'abitato di Malagnino, in prossimità di Casa Malombra, a Vigolo, Longardore, S. Agata, Cascina Ca' de' Farina ed entro l'area della Discarica RSU-RSA di Cassinetto. Sebbene differenti per caratteristiche costruttive, i punti di rilevamento indicati hanno permesso il rilievo continuo e sistematico della soggiacenza della prima falda. Oltre a questi, sono stati utilizzati altri punti di rilevamento anche nei territori comunali limitrofi.

Come già ricordato, l'insufficienza di punti di rilevazione idonei e la loro distribuzione, alquanto disomogenea, sul territorio, hanno imposto la creazione, nell'ambito delle risorse disponibili, di ulteriori punti di rilevamento localizzati in zone non interessate dalle fasi di ricerca preliminare. Questi nuovi punti di misura sono stati realizzati ponendo in opera piezometri in ferro zincato opportunamente fessurato fino alla profondità di m 4,60 dal piano campagna; la scelta della profondità raggiunta dai piezometri è stata dettata dalle possibili oscillazioni stagionali della falda freatica.



La rete piezometrica così creata, costituita da pozzi e piezometri ubicati all'interno e all'esterno del Comune di Malagnino, è formata complessivamente da 16 punti di rilievo, la cui distribuzione territoriale permette di definire un quadro rappresentativo della soggiacenza della falda freatica. La successiva elaborazione dei dati rilevati e la loro interpolazione geometrica hanno permesso la costruzione delle curve isofreatiche rappresentate in Tav. 3.

### **3.3 METODOLOGIE DI RILEVAMENTO ED ANALISI DEI DATI**

Nel corso dell'analisi complessiva dei dati freaticometrici dell'area in esame sono stati utilizzati anche dati derivanti da studi precedenti.

Il Consorzio di Bonifica Dugali, attraverso l'uso di 11 piezometri, ha svolto continue campagne di raccolta dei valori di soggiacenza della prima falda tra marzo 1994 e dicembre 1998. Questo monitoraggio ha permesso di giungere a stabilire l'escursione media del livello freatico, nonché la relativa attendibile estrapolazione all'area complessiva in esame, e di esprimere, unitamente ai dati piezometrici rilevati attraverso gli ulteriori piezometri installati, tali dati attraverso la rappresentazione delle curve isofreatiche, con equidistanza di 1 metro, utilizzando i valori di massima escursione del livello freatico.

La direzione di flusso della falda freatica, desunta dalla lettura delle curve isofreatiche, si è rivelata leggermente variabile: nella zona nord-orientale il flusso di falda segue una direzione NNO-SSE, mentre per la restante parte del territorio comunale il flusso segue una direzione NNE-SSO.

Per differenza tra i valori delle isofreatiche e delle isoipse, si sono costruite le curve relative alla soggiacenza della tavola d'acqua (isobate della falda freatica). Il significato di tale elaborazione è particolarmente importante poiché, esprimendo la profondità del livello freatico rispetto alla superficie topografica, è direttamente collegata al grado di interferenza tra le acque di falda e le strutture interrato, e fornisce direttamente i dati per la realizzazione di volumetrie che si sviluppano al di sotto del piano campagna. Per il loro significato e per il contributo che essi forniscono nella formulazione del giudizio di fattibilità di piano, i dati riguardanti la soggiacenza della prima falda sono stati riportati nella Carta di Sintesi (Tav. 7).

Al fine di valutare l'andamento della quota della falda freatica nel corso dell'anno, e quindi poter stabilire i periodi di minima e di massima soggiacenza, sono state utilizzate le medie dei valori mensili di 15 piezometri; per comodità di elaborazione, si è effettuata una media delle osservazioni dei singoli piezometri, come indicato in tabella 1.

medie mensili 1998 – 2002	Cà de Farina (9)	Longardore (12)	Vigolo (13)	media dei 6 piezometri della discarica
gennaio	2,49	3,50	4,10	2,66
febbraio	2,50	3,54	4,15	2,70
marzo	2,56	3,60	4,20	2,65
aprile	2,52	3,56	3,96	2,64
maggio	2,56	3,58	4,20	2,80
giugno	2,50	3,53	4,17	2,54
luglio	2,55	3,60	4,22	2,10
agosto	2,66	3,70	4,32	2,15
settembre	2,75	3,75	4,40	2,46
ottobre	2,87	3,72	4,46	2,74
novembre	2,93	3,94	4,52	2,11
dicembre	3,00	4,05	4,55	2,32

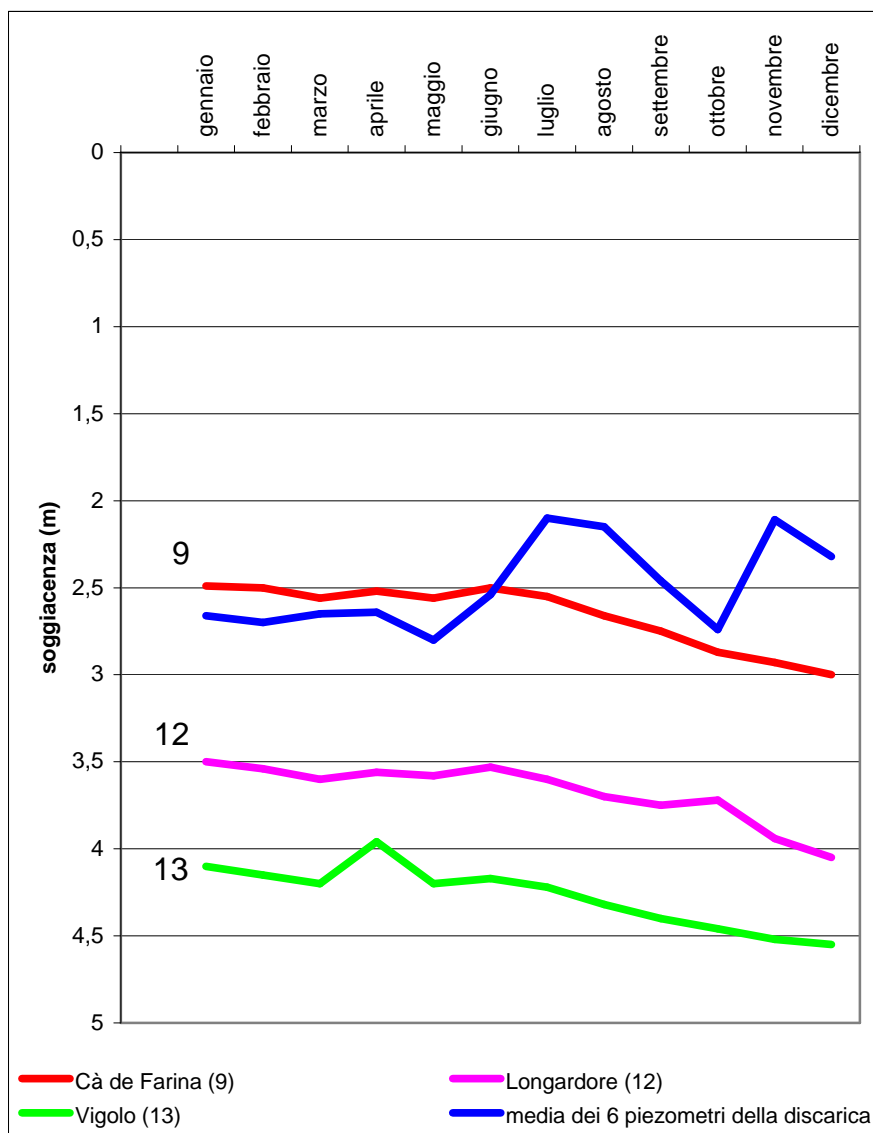
**Tabella 1**

La successiva elaborazione ha evidenziato gli andamenti riportati in fig. 1

Come si può rilevare, il trend generale indica che la falda freatica tende ad avere un massimo primaverile, che a seconda della litologia presente nei punti di campionamento, si manifesta tra marzo ed aprile e può anche assumere la connotazione di massimo assoluto.

Si rileva la presenza di un secondo massimo estivo, che nel caso dei piezometri della discarica di Loc. Cassinetto diventa il massimo assoluto, che si manifesta generalmente verso giugno, per quanto riguarda i piezometri di Ca' de Farina, Longardore e Vigolo, mentre per i piezometri della discarica RSU-RSA esso si manifesta tra luglio ed agosto. Per quanto riguarda il massimo riferito ai piezometri di loc. Cassinetto, la sua presenza sembra legata alle pratiche irrigue, ampiamente diffuse nei mesi estivi, che contribuiscono alla ricarica della falda; l'interpretazione del dato riguardante gli altri piezometri sembra più dubbio, in quanto il massimo relativo estivo si manifesta all'inizio dell'estate, quando le pratiche di irrigazione agricola non sono ancora al loro apice.

Durante l'autunno il livello della falda diminuisce fino a raggiungere il minimo in febbraio. Questo andamento, piuttosto netto per i piezometri di Ca' de Farina e Vigolo, viene contraddetto dagli altri dati. Il trend indicato dal piezometro di Longardore presenta una diminuzione costante del livello della falda da giugno fino a settembre, per raggiungere un nuovo massimo in ottobre; i piezometri della discarica indicano una diminuzione costante da agosto fino ad ottobre, per raggiungere un nuovo massimo in novembre. Questa situazione, apparentemente contraddittoria, è pienamente giustificabile qualora si considerino i suoli e le litologie, e quindi i rispettivi differenti valori di permeabilità, in corrispondenza dei diversi punti di misura.



**Figura 1**

In conclusione, i dati raccolti e disponibili sembrano indicare che, per l'area in esame, la falda freatica tende a presentare tre massimi, corrispondenti ai periodi primaverile (e quindi legato alle piogge), estivo (legato all'infiltrazione delle acque in eccesso utilizzate per le pratiche irrigue), ed autunnale (legato nuovamente alle precipitazioni meteoriche); a seconda dei punti di misura, e quindi delle litologie interessate, questi massimi possono subire degli spostamenti temporali dell'ordine di circa 1 mese o addirittura non manifestarsi (come nel caso di Ca' de Farina e Vigolo, che non mostrano la presenza del massimo autunnale).

Il periodo in cui si verifica la minima altezza della falda freatica è senza dubbio il periodo invernale, tra febbraio e marzo.

### **3.4 SEZIONI IDROGEOLOGICHE**

In questo paragrafo vengono descritte le caratteristiche geologiche del territorio comunale ottenute dalla restituzione grafica di sezioni interpretative dei dati stratigrafici ottenuti da pozzi profondi, di cui agli All. 3a, 3-B, 3c, 3E.

Osservando le stratigrafie di pozzo, delle quali sono state considerate esclusivamente quelle riferite ai pozzi pubblici di Malagnino, Bonemerse, Pieve d'Olmi, Gadesco Pieve Delmona e Sospiro, appare evidente come la coltre alluvionale costituisca un ambiente assai propizio alla formazione di falde acquifere. Tra i principali fattori predisponenti spiccano quelli litologici e strutturali: più precisamente, i primi derivano dalla successione alternata di livelli permeabili e orizzonti impermeabili, i secondi, invece, scaturiscono dalla giacitura sostanzialmente monoclinale della successione alluvionale. Ulteriore ed importante condizione favorevole è rappresentata dal comportamento del basamento impermeabile plio-pleistocenico, che rimane comunque alquanto lontano dal piano campagna.

Considerando l'assetto blandamente monoclinale della successione alluvionale, è evidente come il flusso idrico sia di tipo unidirezionale, vergente verso l'asse del Po, con graduale decremento della velocità dovuta alla progressiva riduzione della granulometria, e quindi della permeabilità, dei sedimenti attraversati. Inoltre appare altrettanto evidente che le zone di alimentazione degli acquiferi profondi sono dislocate quasi esclusivamente nelle aree pedemontane a nord dell'area in esame, al di fuori dei confini provinciali.

#### **3.4.1 SEZIONE A-A' (All. 3-a-1)**

La sezione A-A', che si sviluppa interamente nel Piano Generale Terrazzato (P.G.T.) in direzione da nord verso sud, comprende i territori comunali di Gadesco Pieve Delmona a nord, Malagnino e Pieve d'Olmi a sud. Limitatamente al territorio comunale ed entro la profondità massima indagata, si riconoscono tre diverse litozone.

- La prima litozona, che si estende dal p.c. fino a profondità variabile, da nord verso sud, da m. 20÷25 a m. 45÷50 ed oltre da p.c., risulta costituita da un primo livello superficiale limoso-argilloso ed argilloso di potenza variabile da qualche metro (m. 2÷3) a, localmente, anche m. 10, seguito fino alla profondità indicata da sabbie a granulometria media e fine costituenti il serbatoio acquifero freatico.
- Una seconda litozona, compresa tra la profondità di m. 20/25÷45/50 e m. 90 dal p.c., è costituita da fitte alternanze di livelli argillosi, di potenza variabile fino a m. 5÷6 dal p.c.

inglobanti spesso lenti torbose, nettamente prevalenti sui livelli sabbioso-argillosi e sabbiosi intercalati, che non raggiungono mai spessori superiori a qualche metro. Questa litozona, che assume le caratteristiche descritte specialmente in corrispondenza del territorio comunale di Malagnino, rappresenta la zona intermedia di separazione tra l'acquifero freatico e quelli posti a profondità maggiori; essa tende a ridurre il proprio spessore nella parte meridionale del territorio comunale, presentando potenza via via decrescente procedendo verso la valle del Po, dove tendono a prevalere nell'intero corpo alluvionale i depositi di più recente apporto padano.

- Si passa quindi ad una terza litozona, compresa fra la profondità di m. 90 e quella massima di m. 150÷200, nella quale risultano prevalere gli orizzonti sabbiosi, talora con ghiaietto, che possono raggiungere ed anche superare una potenza di m. 20, cui risultano intercalati livelli e/o lenti argillose di potenza limitata ad alcuni metri. Questa litozona, nel settore di pianura considerato, rappresenta la maggiore fonte di approvvigionamento per le strutture di emungimento pubbliche ad uso idropotabile.

#### **3.4.2 SEZIONE B-B' (All. 3-a-2)**

La sezione B-B' interessa, con andamento da ovest verso est, i territori comunali di Cremona, Gadesco Pieve Delmona, Vescovato e Cicognolo, senza attraversare il territorio comunale di Malagnino; si è ritenuto opportuno produrre anche questa sezione per completare il quadro idrogeologico di insieme del quadrante territoriale in esame.

La situazione idrogeologica evidenziata sembra indicare anche in questo caso, se pur con minore evidenza ed omogeneità, la presenza di tre litozone.

- La prima litozona, dal p.c. e fino alla profondità di m. 25÷30, presenta caratteristiche litostratigrafiche disomogenee entro le quali il livello superficiale, compreso tra m. 5 e m. 10 da p.c., di natura prevalentemente argillosa, è seguito da sabbie a granulometria variabile, talora inglobanti ghiaietti e lenti argillose di limitato spessore, estese fino alla profondità di circa m. 20 da p.c.. Alla base del precedente livello permeabile, sede della falda freatica, è sempre presente un livello argilloso avente potenza variabile da m. 5÷6 ad ovest, e via via crescente procedendo verso est, dove, in corrispondenza dei pozzi di Vescovato e Cicognolo, assume potenza anche superiore a m. 15÷20. Detto livello impermeabile, posto alla base della prima litozona di cui si tratta, presenta continuità laterale tale da costituire il principale setto di separazione fra l'acquifero freatico e quelli sottostanti.

- La seconda litozona, che può essere considerata mediamente estesa tra m. 25÷30 e m. 120÷150 da p.c., assume in questa sezione caratteristiche assai disomogenee; si presenta infatti come costituita da alternanze di livelli permeabili a prevalente componente ghiaiosa di potenza anche superiore a m. 40, nettamente prevalenti su livelli impermeabili argillosi di potenza variabile tra m. 7÷8 e m. 15÷20 nella parte occidentale del quadrante in esame (pozzi Cremona e Gadesco), per passare ad una situazione inversa in quello orientale, dove, infatti, le alternanze risultano più fitte e vedono la prevalente presenza dei livelli impermeabili rispetto a quelli sabbiosi, che non assumono mai potenza superiore a qualche metro.
- La terza e più profonda litozona, estesa tra le profondità di m. 120÷150 e quella massima raggiunta dalle terebrazioni idropotabili, di m. 160÷240, manifesta maggiore omogeneità delle caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche, con livelli sabbiosi acquiferi e setti argillosi impermeabili che, al di là della maggiore o minore prevalenza dei primi sui secondi, presentano andamenti e distribuzione più regolare. Questa terza litozona presenta omogeneamente la fonte di emungimento della risora idropotabile.

Le caratteristiche litostratigrafiche rilevate attraverso questa sezione, il cui reale andamento planimetrico è quello da sud-ovest verso nord-est, definiscono abbastanza chiaramente il passaggio tra le caratteristiche litologiche prevalenti della coltre alluvionale più prossima alla valle del Po (a sud-ovest) rispetto a quella più caratteristica delle unità idrogeologiche della bassa pianura meno prossime all'alveo padano.

### **3.4.3 SEZIONE C-C' (All. 3-a-3)**

La sezione C-C', estesa tra i territori del comune di Cremona ad ovest e quello di Sospiro ad est, interseca esclusivamente il lembo meridionale del territorio di Malagnino posto a sud della via Giuseppina; essa rappresenta più marcatamente, lungo il proprio sviluppo, le caratteristiche del prisma alluvionale prossimo all'asse del Po. Anche in questo caso può in linea di massima essere mantenuto per comodità di analisi il modello di suddivisione in tre litozone.

- La prima litozona, prossima alla superficie topografica, si presenta con potenza crescente dai m. 20 del settore occidentale fino ai m. 70÷80 di quello orientale, con la diffusa presenza di materiali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi solo raramente intercalati da sottili livelli e/o lenti

argillose; queste ultime, pur assumendo maggiore consistenza e frequenza nella parte orientale della sezione limitatamente ai primi m. 10÷12 da p.c., non sembrano interrompere la continuità di questo primo acquifero, che deve essere considerato freatico ed in comunicazione pressoché diretta con l'areato di superficie. Alla base di questa litozona, anche in questo caso, è costantemente presente un livello argilloso di potenza variabile tra i m. 10 della zona occidentale e fino oltre m. 245 di quella orientale, che assume la valenza di setto di separazione fra l'acquifero freatico e quelli profondi.

- La seconda litozona si estende fra la profondità di m. 20÷30 e quella di m. 100 dal p.c. procedendo da ovest verso est. Essa è caratterizzata da estesi banchi sabbiosi nella porzione occidentale della sezione, che si vanno assottigliando e sfrangiando procedendo verso est, dove vengono via via sostituiti prima da bancate argillose con intercalazioni sabbiose e quindi da un unico livello argilloso ed argilloso-torboso di rilevante spessore (circa m. 25), cui si è fatto cenno in precedenza.
- La terza litozona è estesa tra le profondità di circa m. 100 e quella massima indicata dai pozzi, di m. 230÷240; in essa gli andamenti litostratigrafici sono più regolari e definiscono nel complesso caratteristiche analoghe a quelle espresse per la sezione B-B' e che costituiscono, relativamente ai potenti banchi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, la fonte di attingimento della risorsa idropotabile. Anche in questo caso, si può sottolineare l'elevato grado di protezione degli acquiferi presenti in questa terza litozona.

#### **3.4.4 SEZIONE IDROGEOLOGICA INTERPRETATIVA DI S.E.V. (All. 3-B)**

Al fine di integrare ed approfondire i risultati emersi dall'analisi idrogeologica, sono stati utilizzati precedenti studi geologici, effettuati sul territorio cremonese per altri scopi dall'ENEA, basati su prove eseguite sul campo, soprattutto su sondaggi elettrici verticali (S.E.V.) volti a definire le caratteristiche dei primi 40 m del prisma alluvionale, privilegiando quindi la litologia di superficie e l'ambito interessato dalla falda freatica.

La sezione interpretativa qui allegata, con andamento N-S, si estende dall'abitato di Ardole S. Martino all'abitato di Malagnino, con andamento pressoché parallelo alla sezione A-A', per piegare poi in direzione SSO e raggiungere così il centro abitato di Bonemerse. Relativamente all'ambito del Comune di Malagnino, si evidenzia la presenza di un orizzonte superficiale pressoché continuo di materiali prevalentemente argillosi a potenza variabile, ma mediamente attorno ai 10 m, seguito, fino alla profondità di 25 m dal p.c. da sabbie, cui si intercalano lenti argilloso-limose discontinue fino alla profondità di 40 m.

Gli elementi evidenziati dalla sezione confermano, dal punto di vista litologico, quanto emerso in sezione A-A'.

### **3.5 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

In ambito comunale si rileva la presenza di importanti opere di bonifica realizzate nel corso del tempo per consentire l'allontanamento delle acque in eccesso; tali opere vanno osservate e citate nel loro complesso, in quanto costituiscono il sistema delle opere di bonifica della porzione orientale del territorio provinciale compreso fra l'Oglio a nord ed il Po a sud.

Tale vastissimo areale, qui considerato limitatamente alla parte orientale della provincia, è posto alla quota più elevata, pressoché coincidente con il Piano Generale Terrazzato, per cui è posto al riparo dal rischio di inondazioni; per inciso, i livelli di massima piena dei fiumi che lo delimitano (il Po e l'Oglio) hanno raggiunto, rispettivamente, i 30,92 m s.l.m. a Casalmaggiore e i 25,42 m s.l.m. a S. Matteo delle Chiaviche. Per quanto riguarda l'idrometro di Cremona, posto sul ponte della S.S. 10, il massimo livello idrometrico è stato raggiunto durante l'evento di piena del 2000, in cui si è registrata un'altezza di 6,26 m sullo zero idrometrico, per cui il pelo d'acqua risultava toccare i 40,40 m s.l.m.

Da questi valori risulta evidente che i problemi idraulici di scolo del territorio assumono rilevanza assai eterogenea nelle varie fasce altimetriche, in base alla loro quota rispetto ai livelli di massima piena dei fiumi limitrofi. Tale situazione ha pertanto dato origine, nel corso dei secoli, ad una serie di progetti e di interventi più o meno organici, che hanno fatto sì che la rete di scolo, all'inizio del XX secolo, risultasse configurata da canali che, scorrendo in direzione O-E, giungono a sfociare in Oglio attraverso dieci chiaviche, delle quali solo due a servizio di bacini dotati di impianto di sollevamento idrovoro.

Nel settore orientale della provincia, la rete scolante è costituita dai seguenti canali:

- Dugale Delmona Vecchia, che raccoglie le acque dei territori a N e a NE della città di Cremona e confluisce nel Dugale Delmona Tagliata ad O di Pieve S. Giacomo;
- Dugale Delmona Tagliata, il cui tracciato è per lo più impostato lungo l'antico tracciato della Via Postumia. L'opera, mantenuta costantemente efficiente dal Consorzio di Bonifica Dugali, subì opere di rettifica, prima del XIX secolo, per renderne più efficiente e rapido lo scarico. Sul finire del XIX secolo, inoltre, subì un intervento di prolungamento nel tratto compreso fra Canova di Gazzo e Malagnino. Questo canale, il cui tracciato lo porta ad attraversare tutto il



Comune di Malagnino e il suo capoluogo, drena le acque in esubero della porzione settentrionale del territorio e sfocia in Oglio nei pressi di Locarolo (MN);

- Canale Acque Alte, avente la stessa funzione e la stessa direzione dei canali di bonifica già citati, lambisce ed interseca le aree meridionali del Comune di Malagnino nei pressi di località Casa Malombra. Il colatore intercetta le acque dei terreni compresi tra il Dugale Delmona Tagliata ed il proprio tracciato, attraverso i canali Gambalone, Delmoncello, Delmoncina, Cingia, Cingello e Gambalina di sopra, di mezzo e di sotto, e sfocia naturalmente in Oglio, ad est del territorio provinciale a monte di Gazzuolo (MN).

- **CANALI A FUNZIONE IRRIGUA**

L'irrigazione del vasto quadrante esaminato è assicurata da una complessa rete di canali, da cui dipartono numerose canalette distributrici, a prevalente andamento NO-SE, che fa capo perlopiù alla risorsa irrigua proveniente dal settore nord occidentale della provincia dove, in località Tomba Morta, confluiscono le acque dell'Adda (tramite il Canale Vacchelli) e quelle dell'Oglio (tramite il Naviglio). A valle di Tomba Morta, nei pressi di Mirabello Ciria, prendono origine i canali Ciria Nuova e Ciria Vecchia, i quali, sviluppando il proprio tracciato sul PGT parallelamente all'Oglio, distribuiscono la risorsa idrica alle numerose rogge irrigue dei territori meridionali.

Si rimanda allo “*Studio per l'individuazione del Reticolo Idrico Minore del Comune di Malagnino*” per eventuali approfondimenti relativi ai principali corsi d'acqua che interessano il territorio comunale.

### **3.6 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI**

L'analisi della salvaguardia delle falde acquifere nelle aree di pianura, relativamente alla permeabilità dei materiali e alla vulnerabilità degli acquiferi, deve prendere in considerazione i differenti parametri fisici, ambientali ed antropici atti a differenziare e a graduare il grado di suscettibilità all'inquinamento delle acque sotterranee e quello complessivo della vulnerabilità.

Si ritiene opportuno, prima di iniziare l'analisi per il territorio in esame, riportare pressoché testualmente quanto contenuto al Cap. 9 “Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento” a cura di A. Zavatti, dello “Studio idrogeologico della provincia di Cremona”, ricerca eseguita dalla sezione geologica applicata del Politecnico di Milano, stampato nella collana “Quaderni di tecniche di protezione ambientale” da Pitagora Editrice (Bologna, 1992).

Lo studio citato rappresenta, limitatamente alla tematica in esame, il lavoro più recente e completo sulla Provincia di Cremona; le metodologie in esso proposte sono state applicate al contesto in esame.

**“STUDIO IDROGEOLOGICO DELLA PROVINCIA DI CREMONA”, “QUADERNI DI TECNICHE DI PROTEZIONE AMBIENTALE”, PITAGORA EDITRICE (BOLOGNA, 1992)**

**CAPITOLO 9. “VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO” A CURA DI A. ZAVATTI**

**9/1     PREMESSA**

*Nell'intento di fornire una suddivisione delle aree maggiormente esposte alla contaminazione, utilizzabile a medio-lungo termine per la programmazione dell'uso delle acque, si compilano le Carte della Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento che rappresentano «la possibilità di penetrazione e propagazione, in condizioni naturali, nei serbatoi naturali ospitanti la prima falda generalmente libera, di inquinanti provenienti dalla superficie».*

*Secondo la definizione più recente di Civita M., 1987 tale vulnerabilità rappresenta «la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo».*

*In sintesi gli AA. concordano nel ritenere che la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento dipenda da diversi parametri tra i quali prevalgono la litologia e la struttura del sistema idrogeologico, la natura del suolo e la geometria della copertura, il processo di ricarica-deflusso-emergenza delle acque sotterranee e l'interazione chimico-fisico-biologico.*

**9/2     LA RAPPRESENTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO**

*La predisposizione di una cartografia tematica in questo settore costituisce parte integrante della documentazione, che deve essere allestita per una programmazione territoriale, finalizzata alla rappresentazione di «indicatori vocazionali» che evidenzino le caratteristiche intrinseche di ogni specifico ambito territoriale e le sue attendibili reazioni alle sollecitazioni indotte dai sistemi insediativi e produttivi.*

*Il supporto cartografico indispensabile per la stesura della vulnerabilità all'inquinamento necessita della sovrapposizione di più carte tematiche.*

*I parametri fisici dell'ambiente vengono integrati con quelli connessi alle modificazioni antropiche, sia per quanto riguarda l'uso delle risorse idriche che l'impatto dell'urbanizzazione. Infatti laddove il patrimonio idrico viene utilizzato in modo eccessivo, fino ad arrivare talvolta alla predominanza del 'uso sulla effettiva disponibilità della risorsa (sovrasfruttamento), si è soliti definire una idrologia dei sistemi urbani («urban hydrological system» UNESCO, 1979). In assenza di un carico antropico pregresso («pre-urban hydrological system», UNESCO, 1979), la vulnerabilità sarebbe in effetti rappresentabile con un certo numero di elementi fisici come la*

*permeabilità, la litologia di superficie, le linee di flusso della falda, la morfologia, l'andamento del reticolato idrografico, l'ubicazione delle captazioni, etc., con un diverso grado di influenza dei vari fattori a seconda dell'aspetto specifico considerato (vulnerabilità del suolo, delle acque superficiali o sotterranee).*

*In un contesto già ampiamente antropizzato, come quello di alcuni settori territoriali, occorre tenere conto anche della pressione sull'ambiente esercitata dalle attività già in essere che senza dubbio sono in grado di modificare profondamente i risultati di una lettura operata sulla base di soli indici fisici.*

*Permane comunque un livello di rischio differenziale delle attività a seconda della diversa protezione dei luoghi in cui tali attività risultano insediate.*

*La cartografia tematica relativa alla Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi ha lo scopo di:*

- *fornire informazioni circa il diverso grado di idoneità dei vari settori ad accogliere insediamenti o attività;*
- *evidenziare natura ed entità del rischio in funzione delle diverse attività prefigurabili per uno stesso sito;*
- *localizzare e stabilire una gerarchia dei punti e delle situazioni di incompatibilità dello stato di fatto, così da consentire interventi per l'attenuazione del rischio;*
- *contribuire all'individuazione di vincoli e condizioni di gestione di determinate attività, nel proprio contesto ambientale, da attuare attraverso la disciplina urbanistica a livello locale e comprensoriale.*

*Sotto il profilo operativo uno degli aspetti più complessi riguarda la selezione dei parametri fisici ed antropici da rappresentare, in vista dell'ottimizzazione del rapporto tra massa di dati, informazioni potenzialmente utilizzabili ed effettive possibilità e capacità di elaborazione dei medesimi, così da fornire concrete indicazioni in tempi congruenti con le esigenze della pianificazione territoriale.*

*Per quanto riguarda i fattori antropici va rilevato che la sola localizzazione è largamente insufficiente a determinare il contributo di pericolosità per l'ambiente.*

*È comunque accertato che il campo di definizione dell'indagine e i livelli di approfondimento da conseguirsi siano da correlarsi alla disponibilità e alla possibilità di acquisizione ed elaborazione di elementi conoscitivi fisici ed antropici.*

*Nei singoli settori, secondo le differenti competenze amministrative (Comuni, U.S.S.L., Consorzi, Province, Regioni), si ha un supporto informativo di diversa qualità e quantità che deve essere considerato in sede di stesura delle carte. Un ulteriore contributo alla prevenzione dell'inquinamento in corrispondenza dei centri di pericolo può essere quello di definire «attività critiche» alle quali corrispondono «quantità critiche» di sostanze utilizzate, trattate o immagazzinate da assoggettare ad apposite regolamentazioni.*

*Tenendo conto di quanto precedentemente esposto è proponibile uno sviluppo degli studi attraverso le seguenti fasi:*

- a) *Rappresentazione dei soli parametri di tipo fisico ed individuazione dei diversi livelli di «vulnerabilità intrinseca» attribuibili ai differenti settori.*
- b) *Sovrapposizione dei «fattori antropici» alla vulnerabilità intrinseca.*
- c) *Lettura incrociata dei dati rilevati ed elaborati nelle fasi a e b.*

*Il principale problema dal punto di vista idrogeologico è dato dalla definizione dei criteri da adottare per la rappresentazione della vulnerabilità intrinseca.*

*I criteri utilizzati per la costruzione delle carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento sono basati principalmente sui seguenti elementi (Civita M., 1991):*

- *tempo di transito dell'acqua e di un eventuale inquinante fluido idroportato nel mezzo non saturo, fino a raggiungere la superficie piezometrica nell'acquifero sottogiacente;*
- *dinamica del deflusso idrico sotterraneo e di un eventuale inquinante fluido idroportato nel mezzo saturo;*
- *concentrazione residua di un inquinante fluido idroportato al suo arrivo nel mezzo saturo rispetto a quella iniziale che identifica la capacità di attenuazione del mezzo non saturo.*

*Come infatti può essere agevolmente previsto la possibilità che le acque sotterranee possano essere contaminate dipende dalla velocità con la quale si ha il trasferimento dalla superficie topografica a quella della falda, dall'entità dell'infiltrazione e dal percorso effettuato e dai meccanismi chimico-fisici e biologici che operano selettivamente in relazione al tipo di terreno e di sostanze.*

*In base a queste considerazioni Civita M., 1991 ha definito un sistema per identificare la categoria più idonea di rappresentazione, derivato dall'esperienza italiana conseguita dalla Linea di Ricerca 4-Progetto V AZAR del Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche-C.N.R..*

*Secondo Civita M., 1991 i sistemi di zonazione per aree omogenee, che consistono nell'applicazione di conoscenze idrogeologiche che definiscono la vulnerabilità del sito in funzione delle modalità di circolazione sotterranea, presentano un ampio campo di applicazione e sono utilizzabili quando le informazioni sono scarse e disperse sul territorio e per denominatori di scala medio-grandi.*

*Il metodo più semplice e di facile lettura è quello di cartografare le aree dove le acque sotterranee sono più esposte o più protette dall'inquinamento.*

*Queste carte della vulnerabilità di «prima generazione» rappresentano il fenomeno e sono date dalla sovrapposizione di fattori statici, quale la struttura idrogeologica, a fattori dinamici quali la piezometria, l'uso delle acque, la presenza di attività antropiche, etc..*

*Si tratta di una cartografia che riporta una valutazione «qualitativa» della vulnerabilità, operando una selezione per intervalli e classi.*

*Va peraltro ricordato che il dato quantitativo non è assente in questo tipo di elaborazione, ma viene utilizzato per definire una classificazione prevalentemente idrogeologica.*

*Per valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento della Provincia di Cremona si è*

*adottata la metodologia proposta dal C.N.R.-Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, L.R.4: «Vulnerabilità degli acquiferi» (C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988) che è già stata ampiamente sperimentata in territori limitrofi dell'Emilia-Romagna (Alifranco G. et Al. 1990, Baraldi et Al. 1990, Tagliavini S. et Al., 1989, Zavatti A et Al., 1989).*

*In questo tipo di cartografia sono considerati i seguenti elementi.*

#### *1. Caratteristiche degli acquiferi*

*Sono distinte cinque classi in base al grado di vulnerabilità (da bassissimo ad estremamente elevato); le informazioni riportate riguardano, oltre alle modalità di circolazione idrica all'interno dei litotipi, la presenza e il tipo di copertura superficiale, la soggiacenza della falda e la posizione della superficie piezometrica rispetto ai corsi d'acqua.*

#### *2. Elementi idrostrutturali*

*Gli elementi idrostrutturali riportati in cartografia permettono di valutare rapidamente la geometria degli acquiferi, la direzione di flusso e quindi l'evoluzione spaziale e temporale di una eventuale contaminazione.*

*Gli elementi da cartografare prevedono conoscenze acquisite mediante prove e misure di campagna.*

#### *3. Stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei*

*La rappresentazione delle aree di qualità degradata delle acque sotterranee consente di definire il passaggio, da potenziale a reale, della vulnerabilità degli acquiferi, oltre che localizzare le zone dove sono necessari interventi di risanamento.*

#### *4. Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei*

*Con una apposita simbologia vengono rappresentati i «centri di pericolo» definiti come qualsiasi funzione, attività, insediamento, manufatto, ovvero modalità d'uso di insediamenti, manufatti ed aree, in grado di generare direttamente o indirettamente fattori reali o potenziali di degrado delle acque sotterranee; a tal proposito si veda l'elenco dei centri di pericolo e dei relativi fattori di degrado riportati in Muratori A., 1988.*

#### *5. Potenziali ingestori di inquinamento dei corpi idrici sotterranei*

*In questa categoria sono compresi i fattori naturali ed antropici (ad esempio le cave) in grado di amplificare la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, diminuendo o eliminando gli effetti del potere autodepurante del terreno.*

#### *6. Preventori e/o riduttori di inquinamento*

*Si tratta di opere ed impianti destinati alla diminuzione del carico inquinante che insiste sull'acquifero di una determinata zona o alla sua sorveglianza, diminuendo gli effetti, in termini socio-economici, di eventuali episodi accidentali.*

#### *7. Principali soggetti di inquinamento*

*I principali elementi sensibili dal punto di vista dell'uso delle acque sono costituiti dalle opere di*

*captazione (pozzi, sorgenti, prese d' acqua superficiale) in quanto un eventuale inquinamento delle zone circostanti è in grado di compromettere il prelievo di acque.*

### **9/3 VULNERABILITÀ INTRINSECA**

*La carta della vulnerabilità degli acquiferi all' inquinamento, seppure in modo schematico, suddivide l'area esaminata in base alla sua capacità di diffusione nel sottosuolo di eventuali agenti inquinanti.*

*La sua realizzazione è basata essenzialmente su tre fattori naturali: litologia di superficie, profondità del tetto delle ghiaie, suddivisione fra falde libere e in pressione.*

*Per la provincia di Cremona, nel suo complesso, si è adottata la seguente classificazione:*

#### **1. Aree a vulnerabilità estremamente elevata**

*Falda subaffiorante o affiorante, tetto delle ghiaie coincidente con il piano campagna.*

#### **2. Aree a vulnerabilità elevata**

*Soggiacenza della falda minore di m. 5, tetto delle ghiaie a profondità inferiore a m. 10; protezione dell'acquifero saturo costituita da ghiaie e sabbie.*

#### **3. Aree a vulnerabilità alta**

*Soggiacenza della falda minore di m. 5, tetto delle ghiaie a profondità inferiore a m. 10; protezione dell'acquifero saturo costituita da sabbia e ghiaia con limi sporadici.*

#### **4. Aree a vulnerabilità media**

*Soggiacenza della falda inferiore a m. 5, tetto delle ghiaie a profondità compresa fra m. 10 e 20, protezione dell'acquifero saturo costituita da sabbie e limi; aree con soggiacenza superiore a m. 5, tetto delle ghiaie a profondità compresa fra m. 10 e 20, protezione formata da ghiaie, sabbie e limi.*

#### **5. Aree a vulnerabilità bassa**

*Soggiacenza della falda superiore a m. 5, tetto delle ghiaie a profondità superiore a m. 20, copertura dell'acquifero saturo costituita limi e argille.*

*L'area provinciale presenta varie porzioni di territorio a vulnerabilità naturale estremamente elevata, elevata e alta, sia nella porzione occidentale, sia in quella orientale, soprattutto per la scarsa soggiacenza della falda.*

*I settori con vulnerabilità estremamente elevata coincidono con gli alvei fluviali e le alluvioni recenti, mentre quelli con vulnerabilità elevata formano fasce più o meno ampie intorno ad esse, occupando generalmente l' alveo di massima piena dei corsi d' acqua e le alluvioni oloceniche. L'area a vulnerabilità elevata acquista una ampia estensione nel tratto meridionale, dove occupa a nord del F. Po un settore di oltre 5 km di larghezza.*

*Viene attribuita vulnerabilità alta a una grande estensione di territorio, che corrisponde per lo più*

*ai depositi ghiaioso-sabbiosi del Pleistocene superiore che formano il livello di base della pianura.*

*Tutto questo territorio presenta infatti una soggiacenza che raramente supera i m. 5.*

*Le aree a vulnerabilità media sono in corrispondenza di litologie superficiali a permeabilità modesta, a un tetto del primo livello permeabile profondo e a un orizzonte acquifero in pressione o più frequentemente libero.*

*Nella parte settentrionale della Provincia queste aree si trovano in corrispondenza delle propaggini più avanzate dei depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio, protette da una ben marcata coltre eluviale, e in quelle inferiori nelle aree di colmamento con materiali sabbioso-limosi delle zone più depresse.*

*Si tratta per lo più di settori in cui anche la soggiacenza della falda tende ad aumentare, per la vicinanza di corsi d'acqua o di paleoalvei drenanti.*

*I settori con vulnerabilità bassa sono poco estesi, e vengono a coincidere con aree di sovralluvionamento del F. Oglio nella parte centro orientale dell'area esaminata, dove limi e argille hanno a lungo colmato depressioni morfologiche sulla destra orografica del corso d'acqua probabilmente in una fase würmiana tardiva.*

#### - FATTORI ANTROPICI

*La presenza di fattori antropici ha costituito un elemento importante dello studio che ha permesso di raccogliere preziose informazioni che, se continuamente aggiornate, potranno essere di stimolo per la pianificazione territoriale mirata alla salvaguardia e tutela dell'ambiente, ma soprattutto permetteranno di individuare un grado della pericolosità degli insediamenti e quindi la possibilità di intervenire in tempo utile in caso di accertato inquinamento.*

*Nella cartografia si sono riuniti i centri di pericolo e i punti maggiormente da difendere, costituiti da captazioni di acque potabili.*

*Si è accertato che la distribuzione dei centri di pericolo, cioè delle attività, insediamenti, infrastrutture reali e potenziali fonti di inquinamento, è distribuita in modo disomogeneo sul territorio. Si nota anzitutto che gli impianti industriali sono concentrati soprattutto nel Cremasco settentrionale, ai confini della Provincia di Bergamo, nei comuni di Torlino, Sergnano, Casaletto, Pianengo, Pandino, Trescore e nell'area di Cremona, Pizzighettone, Spinadesco, Castelveverde. Al di fuori di questi due settori gli insediamenti industriali sono poco significativi e sporadici.*

*Le industrie zootecniche prevalgono invece sulle altre attività sia nel settore nord-orientale (Soncino, Camisano, Offanengo), sia in quello centro-settentrionale (Romanengo, Izano). Altrove presentano una elevata frequenza, anche se minore di quella delle aree dianzi ricordate, cosicché nessun settore della pianura è esente da allevamenti bovini o suini.*

*Una eccezione è rappresentata da una porzione di territorio tra Castelveverde, Annicco e Castelleone, dove non sono risultate attività rilevanti di questo tipo.*

*Devono essere segnalate le attività di escavazione in prossimità del F. Po, che caratterizzano tutta la fascia meridionale della Provincia con una densità veramente rilevante, alla quale si oppone il piccolo numero di cave del Cremasco e nel settore nord-orientale, pur con le eccezioni delle aree prossime ai Fiumi Adda, Serio e Oglio.*

*Dalla sovrapposizione dei dati sintetizzati nelle due carte, si evidenzia come gli insediamenti industriali vengano quasi tutti a ricadere in settori a vulnerabilità alta (Cremona e Cremasco settentrionale) con soggiacenza della falda inferiore a m. 5 e falda scarsamente protetta.*

*Analoga considerazione deve essere fatta per la massima parte delle industrie zootecniche, che in numero ridotto ricadono all'interno dei settori a media e bassa vulnerabilità.*

*I maggiori pericoli derivano alle captazioni poste nelle aree settentrionali, dove spesso gli insediamenti zootecnici e industriali sono ravvicinati ai pozzi, e si succedono sul territorio con densità tale da rendere difficile la collocazione sicura di nuove fonti di approvvigionamento.*

*Si osserva inoltre che le cave sono disposte per la quasi totalità in aree che già sono a elevata vulnerabilità, divenendo quindi non tanto nel periodo di attività, quanto una volta dismesse, motivo di grave preoccupazione per la protezione delle acque sotterranee.*

*Le conseguenze sul degrado delle acque delle condizioni di vulnerabilità sono molto nette, cosicché si può riscontrare una alterazione qualitativa in corrispondenza delle aree in cui gli insediamenti e le attività che sono potenziale fonte di inquinamento insistono numerosi su terreni a vulnerabilità intrinseca alta e un buono stato qualitativo delle falde dove i centri di pericolo sono rari o assenti e nei rari settori in cui la vulnerabilità è ridotta.*

### **3.6.1 ANALISI RELATIVA ALL'AREA IN ESAME**

La documentazione di base contenente gli “indicatori vocazionali”, in relazione all’area oggetto di studio, risulta ampiamente discussa e complessivamente rappresentata negli elaborati cartografici allegati alla presente relazione: gli elementi fisici che caratterizzano il territorio, ossia la litologia di superficie, la pedologia, la permeabilità, le linee di flusso e la soggiacenza della falda freatica, la morfologia, l’andamento del reticolo idrografico e l’ubicazione delle captazioni, già trattati in precedenza, contribuiscono alla formulazione del “giudizio di vulnerabilità”.

Il contesto antropico, qui rappresentato esclusivamente dagli insediamenti abitativi a bassa concentrazione e da quelli agricoli sparsi che hanno un impatto relativamente modesto, esercita una pressione sull’ambiente decisamente blanda.

Sulla base degli elementi tratti in precedenza, è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

#### **1. Caratteristiche degli acquiferi**

Gli acquiferi profondi, fonte di attingimento pubblico a scopo idropotabile, sono esenti da eventuali contaminazioni superficiali, in quanto protetti da una litozona, quella descritta e definita come intermedia, a bassa permeabilità.



L'acquifero freatico, oggetto di maggiore attenzione, risulta localizzato in corrispondenza della litozona superficiale e si estende da 2,5-3,0 m di profondità (quota di soggiacenza della falda freatica) fino alla profondità molto variabile di circa m. 25÷70 da p.c..

La protezione di questo acquifero è affidata alla presenza della copertura pedogenetica superficiale, mentre risulta difficile la valutazione del grado di protezione nei confronti di eventuali elementi contaminanti che potrebbero giungere attraverso le dispersioni di subalveo dei corsi d'acqua presenti nell'area. Trattandosi, nella totalità dei casi, di corsi d'acqua di irrigazione e/o di colto di provenienza esterna al Comune, si deve definire incerta tale valutazione; gli elementi disponibili risultano comunque confortanti circa la qualità di tali contributi.

## **2. Elementi idrostrutturali**

La struttura monoclinale del serbatoio acquifero freatico, con vergenza SSO dei flussi freatici, provenienti quindi da aree a scarsa pressione antropica e praticamente prive di zone industriali a rischio, non introducono nella valutazione elementi di particolare attenzione.

## **3. Strato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei**

Non risultano noti elementi di particolare degrado delle falde sotterranee nel loro complesso.

## **4. Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei**

Non sono presenti nell'area centri di pericolo relativi al possibile potenziale degrado delle acque sotterranee.

## **5. Potenziali ingestori di inquinamento dei corpi idrici sotterranei**

Non risultano presenti nell'area elementi, quali le cave, tali da poter eventualmente amplificare la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi. La presenza di una discarica può rappresentare una potenziale fonte di inquinamento della falda freatica. Il monitoraggio su campioni d'acqua prelevati in corrispondenza ed al contorno della discarica di loc. Cassinetto indicano che, nell'area occupata dalla discarica ed in quelle circostanti, viste le modalità di costruzione e gestione dell'impianto in esercizio, per il quale sono in atto sistemi di monitoraggio in continuo dei parametri ambientali (aria, acque superficiali e sotterranee) che sono risultati costantemente conformi a quelli imposti dalla normativa vigente, il rischio di inquinamento della prima falda risulta remoto.

## 6. Preventori e/o riduttori di inquinamento

Stanti le caratteristiche prevalentemente agricole dell'area, non se ne rileva la presenza; sono invece presenti all'interno del perimetro della discarica.

La principale struttura volta alla prevenzione/riduzione dell'inquinamento è senza dubbio la discarica RSU-RSA di loc. Cassinetto, posta all'estremità nord orientale del territorio comunale. Di seguito si fornisce una descrizione sintetica delle caratteristiche costruttive e dei sistemi di prevenzione e monitoraggio.

- La discarica è stata costruita in un'area in cui le prove effettuate preventivamente hanno evidenziato la presenza di materiali di sottofondo con permeabilità inferiore a  $10^{-6}$  cm/s. In aree limitate, poste all'interno del perimetro effettivo dell'impianto, si è riscontrata la presenza di materiali con valori di permeabilità superiori a quelli indicati dalla normativa, per cui si è provveduto ad additivare polvere di bentonite ai terreni in posto e ad eseguire opportune lavorazioni, fino ad ottenere valori di permeabilità sempre inferiori a  $10^{-6}$  cm/s.
- Lo strato argilloso di fondo, di spessore pari ad un metro e con le caratteristiche sopra indicate, è esteso anche all'impronta planimetrica delle arginature perimetrali.
- Sullo strato argilloso, così adeguato alla normativa, è stata realizzata l'impermeabilizzazione costituita da una doppia membrana impermeabile in HDPE da 2 mm con interposto sistema drenante di infratelo, costituito da tubi fessurati, convergente verso l'esterno e raccordato a collettori indipendenti con sistema di ispezione e prelievo campioni per le analisi; sotto ogni telo, è stato steso un manto di tessuto non tessuto.
- Tutti i teli di impermeabilizzazione di fondo sono stati stesi in continuità anche lungo le scarpate interne delle arginature di contenimento perimetrale e sono stati immorsati alla sommità delle arginature.
- Sotto i teli situati lungo le arginature è stato posizionato un materassino bentonitico impermeabilizzante di spessore pari a 20 cm.
- Sul secondo telo è stato impostato un sistema di drenaggio del percolato (costituito da tubi fessurati) immersi in uno strato spesso 40 cm di inerte granulare, quale sistema di protezione del secondo telo dal contatto con i rifiuti. Questo sistema drenante del percolato converge con pendenza naturale verso l'esterno delle vasche alla rete di raccolta che conferisce i liquidi al pozzetto di rilancio verso i serbatoi di stoccaggio.

- L'impianto è provvisto di pozzi verticali di raccolta e drenaggio del biogas, immersi nella massa dei rifiuti, collegati ad una centrale di controllo in continuo del chimismo del biogas stesso prima che questo venga inviato verso i camini di combustioni e/o verso due distinti gruppi di conversione e produzione di energia elettrica.
- Dall'entrata in funzione (1995) dell'impianto, è in atto un sistema di monitoraggio periodico da parte degli incaricati dell'Amministrazione Provinciale, i quali provvedono al campionamento ed all'analisi della qualità delle acque di falda attraverso alcuni dei piezometri posti a valle dell'impianto, oltre che sulle acque dei corpi idrici superficiali posti al contorno dell'impianto. Il monitoraggio è condotto inoltre sistematicamente anche sui liquami di infratelo.
- La qualità dell'aria nei pressi dell'impianto è continuamente monitorata da una centralina ubicata nei pressi dell'impianto.
- Al perimetro della discarica sono state realizzate fasce alberate a costituire fasce boscate.

## 7. Principali soggetti di inquinamento

Le opere di captazione, con particolare riferimento a quelle ad uso idropotabile, risultano, in relazione ai flussi freatici, concentrate nel capoluogo comunale e non costituiscono elemento di compromissione.

\* \* \* \* \*

Al fine della formulazione del giudizio sulla vulnerabilità delle acque sotterranee, al di là delle analisi indicate al punto precedente, assumono particolare importanza le caratteristiche litologiche dell'acquifero freatico e gli elementi pedologici della coltre superficiale (Tav. 2 a e Tav. 2 b).

### • **Litologia**

Le litologie dei terreni, indicate come prevalentemente sabbiose, sabbioso-limose e limose, devono essere attribuite ai materiali delle formazioni geologiche del fluviale Riss – Würm e del fluviale Würm. Esse si estendono in profondità dalla base della coltre di alterazione pedogenetica fino a qualche decina di metri di profondità (20 – 70 m) e costituiscono il serbatoio acquifero freatico.

### • **Pedologia**

In merito alle caratteristiche del suolo, si fa espresso riferimento agli elementi oggettivi segnalati nella Carta dei Suoli (ERSAL) di questo ambito provinciale, in cui il territorio cartografato risulta

compreso in cinque Unità Cartografiche (indicate con le lettere A, B, C, D, E), cui vengono attribuite le seguenti caratteristiche salienti:

Profondità del suolo	Da profondo a molto profondo (m 1,5 – 2)
Tessitura	Da moderatamente fine (sabbie medie limose) a grossolana
Drenaggio	Da mediocre (attribuzione che non esclude eventuali ristagni superficiali locali) a buono e moderatamente rapido
Capacità d'uso del suolo	Alta (da un punto di vista agronomico)
Vulnerabilità verticale dell'acquifero	Medio-bassa (in funzione della permeabilità, indicata in $10^{-6}$ , $10^{-7}$ m/s), tale da motivare il giudizio di suoli “adatti” o “moderatamente adatti” allo spandimento dei reflui zootecnici.

Gli elementi considerati consentono di assegnare all'acquifero freatico un grado di vulnerabilità medio-basso.

- **Vulnerabilità Intrinseca**

I fattori suggeriti dagli Autori per la classificazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi (indicati al punto precedente) sono quelli relativi alla litologia di superficie ed alla profondità della falda, anche in funzione della suddivisione tra falda libera e falda in pressione.

Per l'area in esame, in cui sono assenti i livelli ghiaiosi, è presente una coltre pedogenetica a permeabilità medio-bassa ( $K = 10^{-6} - 10^{-7}$  m/s) ma di rilevante spessore (1,5 – 2 m), pur in presenza di una soggiacenza media del livello freatico di circa 3 m, si può ragionevolmente indicare una vulnerabilità dell'acquifero freatico da “media” a “medio-bassa”, compresa fra le classi 4 e 5, essendo questa attribuzione confortata dall'analoga attribuzione rilevabile nel giudizio relativo alla Carta dei Suoli dell'ERSAL.

Acquisito pertanto il giudizio da “media” a “medio-bassa” per la vulnerabilità intrinseca e valutata nel contempo, per l'area in esame, l'assenza di cave e l'ininfluenza della discarica di RSU-RSA di loc. Cassinetto, con la presenza esclusiva di attività zootecniche di medie dimensioni si può ragionevolmente estendere il giudizio espresso anche al rischio di inquinamento degli acquiferi.

### 3.6.2 VULNERABILITA' DELLE ACQUE AI NITRATI I ORIGINE AGRICOLA

Nel “*Programma di Tutela ed Uso delle Acque (P.T.U.A.)*”, in accordo con quanto stabilito dal D.lgs. 152/99, la valutazione della vulnerabilità delle acque sotterranee e superficiali è stata

effettuata attraverso un approccio di tipo pedologico-idrogeologico, che considera la capacità protettiva dei suoli e le caratteristiche dell'acquifero, integrato dalla conoscenza della distribuzione della pressione esercitata sul territorio dai carichi di origine agricolo – zootecnica e civile, al fine di ottenere una stima della vulnerabilità integrata del territorio regionale, che ha portato alla definizione di macroaree, ridefinite successivamente su base comunale, con differenti condizioni di vulnerabilità.

All'interno del P.T.U.A., il Comune di Malagnino è stato inserito, nell'elenco di cui all'Appendice D delle relative Norme Tecniche di Attuazione, all'interno delle “*zone di attenzione*” (Tab. C).

Successivamente, il territorio comunale di Malagnino, con D.G.R. 11 ottobre 2006 n. 8/3297 “*Nuove aree vulnerabili ai sensi del D.lgs. 152/2006: criteri di designazione e individuazione*”, è stato inserito nell'elenco dei comuni interamente compresi nell'area vulnerabile da nitrati provenienti da fonti agricole (agro-zootecniche); detto elenco, di cui ad All. 2 della delibera sopraccitata, sostituisce l'elenco dell'Appendice D delle N.T.A. del P.T.U.A..

I riferimenti normativi principali a livello nazionale sono rappresentati dal D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 “*Norme in materia ambientale*” ed il D.lgs. 16 gennaio 2008 n. 4 “*Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale*”, mentre in Regione Lombardia allo stato attuale trovano applicazione le norme stabilite dalla L.R. 15 dicembre 1993 n. 37 “*Norme per il trattamento, la maturazione e l'utilizzo dei reflui zootecnici*”, nel rispetto della direttiva comunitaria 676/91/CEE (Direttiva Nitrati), e dal suo regolamento attuativo.

### **3.7 VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO FREATICO – METODO G.O.D. (TAV. 3b, SCALA 1:25.000)**

Per poter avere un termine di paragone con la vulnerabilità espressa con il metodo applicato da A. Zavatti nella succitata pubblicazione, si è ritenuto opportuno effettuare una stima della vulnerabilità dell'acquifero freatico utilizzando un'altra metodologia. Nell'impossibilità di utilizzare metodi quantitativi o semi quantitativi (quali i metodi DRASTIC o SINTACS), che avrebbero richiesto un considerevole aumento delle risorse economiche a disposizione per le indagini, si è optato per l'utilizzo del metodo GOD.

Il metodo GOD (Foster, 1987) è un metodo d'indagine qualitativo basato su tre parametri:

**G** (*Groundwater occurrence*): tipologia dell'acquifero

**O** (*Overall lithology of aquifer or aquitard*): litologia dell'insaturo

**D** (*Depth to groundwater table or strike*): profondità della superficie piezometrica

Il metodo, che si impiega quando non si hanno a disposizione maggiori informazioni, quali ad es. la ricarica netta o la conducibilità idraulica dell'acquifero, prevede la conoscenza dei tre parametri, ad ognuno dei quali viene attribuito un fattore di rischio variabile tra 0 e 1. La sovrapposizione delle carte riguardanti il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturo e la soggiacenza della falda genera una serie di poligoni il cui indice di vulnerabilità ( $I_v$ ) è dato dall'equazione:

$$I_v = G \cdot O \cdot D$$

I valori ottenuti per ogni poligono vengono attribuiti ad una delle cinque classi di vulnerabilità (da molto bassa a molto alta). I valori di ogni poligono, rappresentati in Tav. 3b, danno origine a zone a rischio omogeneo.

- **Applicazione del metodo G.O.D.**

Per valutare la vulnerabilità dell'acquifero freatico, si è proceduto alla costruzione di un'apposita tavola (Tav. 3B) in cui sono stati presi in considerazione i dati riguardanti la soggiacenza della falda freatica e la litologia di superficie.

Sulla base dell'intersezione dei dati indicati, si è proceduto all'individuazione delle aree in cui soggiacenza e litologia risultassero omogenee, venendo così ad individuare 10 poligoni, indicati con le lettere da A a L. In seguito è stata creata una tabella (tab 2) in cui, per ogni poligono, è stato assegnato un valore a ciascuno dei parametri considerati (G: tipologia dell'acquifero, O: litologia dell'insaturo, D: profondità del tetto dell'acquifero).

**Comune di Malagnino – Provincia di Cremona**

**Determinazione qualitativa della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero freatico – Metodo GOD**

Poligono	G	O	D	$I_v$	Grado di vulnerabilità
A	0,6	0,50	0,90	0,270	Basso
B	0,6	0,50	0,95	0,285	Basso
C	0,6	0,55	0,95	0,314	Basso
D	0,6	0,35	0,81	0,170	Molto Basso
E	0,6	0,55	0,81	0,267	Basso
F	0,6	0,55	0,85	0,281	Basso
G	0,6	0,50	0,87	0,261	Basso
H	0,6	0,55	0,87	0,287	Basso
I	0,6	0,35	0,81	0,170	Molto Basso
L	0,6	0,55	0,90	0,297	Basso

**Tabella 2.**

In particolare si segnala che:

- al parametro G è stato assegnato costantemente il valore 0,6, che identifica acquiferi non confinati coperti, indipendentemente da qualsiasi altra considerazione
- al parametro O sono stati assegnati i valori 0,50, che identifica terreni limosi, 0,55, per indicare terreni sabbioso-limosi di origine fluvioglaciale e 0,35, ad indicare una situazione intermedia tra terreni argillosi e suoli residuali. Sebbene in realtà il valore corretto da inserire fosse 0,30 (che identifica le argille), si è ritenuto utilizzare, in via cautelativa, un valore leggermente più alto;
- i valori assegnati al parametro D, infine, variano a un valore minimo di 0,81 ad uno massimo di 0,95, in funzione della soggiacenza della falda freatica.

Questi valori hanno portato al calcolo dell'indice di vulnerabilità Iv ed all'individuazione del grado di vulnerabilità di ogni poligono; come si vede dalla tabella 2, la vulnerabilità risulta essere variabile tra bassa e molto bassa.

La letteratura sottolinea che con il metodo G.O.D. si ottengono dei valori di vulnerabilità inferiori alla vulnerabilità reale, per cui si è ritenuto opportuno, in via cautelativa, aumentare ogni valore Iv del 20 % rispetto a quanto calcolato.

Comune di Malagnino - Provincia di Cremona						
Valutazione della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero freatico: incremento del 20 dell'indice di vulnerabilità						
Poligono	G	O	D	Iv	Iv incrementato del 20%	Grado di vulnerabilità
A	0,6	0,50	0,90	0,270	0,324	Basso
B	0,6	0,50	0,95	0,285	0,342	Basso
C	0,6	0,55	0,95	0,314	0,376	Basso
D	0,6	0,35	0,81	0,170	0,204	Basso
E	0,6	0,55	0,81	0,267	0,321	Basso
F	0,6	0,55	0,85	0,281	0,337	Basso
G	0,6	0,5	0,87	0,261	0,313	Basso
H	0,6	0,55	0,87	0,287	0,345	Basso
I	0,6	0,35	0,81	0,170	0,204	Basso
L	0,6	0,55	0,90	0,297	0,356	Basso

**Tabella 3.**

Come si vede, l'aumento cautelativo del 20 % dell'indice di vulnerabilità non porta ad una variazione del rischio, in quanto tutti i valori di Iv si mantengono all'interno del range 0,20–0,40 che indica appunto situazioni di bassa vulnerabilità.

Sulla base di quanto emerso nel corso della presente trattazione, si conferma che per il territorio del Comune di Malagnino l'acquifero superficiale presenta un basso grado di vulnerabilità.

### **Bibliografia:**

AA.VV. (1996) - *“Contributo allo studio delle acque della Provincia di Cremona”* – Provincia di Cremona, Cremona.

BASSI G. (1985) – *“Idrografia della Provincia di Cremona”* – Provincia di Cremona, Assessorato all'Ecologia, Cremona.

BERETTA G.P., FRANCANI V., FUMAGALLI L. (1992) – *“Studio Idrogeologico della Provincia di Cremona”* – Collana Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale – Pitagora Editrice, Bologna.

CASTANY G. (1987) – *“Idrogeologia – Principi e Metodi ”* – Dario Flaccovio Editore.

CELICO P. (1990) – *“Prospezioni Idrogeologiche I”* – Liguori Editore.

DESIO A., VILLA F. (1960) – *“Stratigrafie dei pozzi per acqua della Pianura Padana, 1-Lombardia”* –, Ist. Geol. Università di Milano.

FOSTER S.S.D. (1987) – *“Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy”* – In: van Duijvenbooden G.W. & van Waegeningh H.G., eds. *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants* – TNO – The Hague, pp. 69-86.

FRANCANI V. (1992) – *“Geologia applicata – 4. Idrogeologia generale”* - Clup.

PROVINCIA DI CREMONA (1995) – *“I fontanili e i bodri in provincia di Cremona”* – Centro di Documentazione Ambientale, Cremona.

REGIONE LOMBARDIA (2004) – *“Programma di tutela e uso delle acque”* – Direzione Generale Servizi di Pubblica Utilità – Unità Organizzativa Risorse Idriche, Milano.



## **4. CARTA GEOLOGICO – TECNICA (TAV. 4, SCALA 1:10.000)**

### **4.1 PREMESSA**

All'interno della pianificazione comunale, l'analisi geologico-tecnica assume particolare importanza, in quanto nelle condizioni del territorio in esame, costituito da aree di pianura alluvionale in cui la conoscenza delle caratteristiche litologiche è affidata quasi esclusivamente a dati provenienti da indagini indirette, si rileva una forte e spiccata variabilità, anche a grande scala, delle caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche dei terreni direttamente interessati dai sovraccarichi applicati attraverso le strutture di fondazione.

L'approccio alla problematica ha richiesto una preventiva ricerca dei dati disponibili, in quanto si è ritenuto impossibile basare l'analisi esclusivamente su indagini appositamente realizzate.

Pertanto si è proceduto ad un prima fase di raccolta bibliografica, in cui si è fatto ricorso ai risultati di indagini raccolte dallo scrivente in tempi precedenti, e si è inoltre proceduti alla ricerca, presso enti e studi privati, di ulteriori elementi atti a fornire un quadro il più possibile completo della situazione generale del territorio.

I dati geotecnici dell'area comunale, quanto mai sporadici, sono stati integrati con dati puntuali rilevati su aree al contorno del territorio indagato, consentendo la definizione di un quadro complessivo discretamente approfondito di rappresentazione della tematica in esame.

Per quanto riguarda il presente studio, ci si è potuti basare sui risultati di 44 prove penetrometriche; in seguito alla loro elaborazione, sono state indicate in carta 15 colonne litostratigrafiche e di analisi geomeccanica puntuale.

Anche al fine di ottimizzare le risorse fornite dalla Committenza, si è ritenuto di poter escludere le aree a vocazione chiaramente agricola, non soggette ad urbanizzazione, pur avendo esteso l'analisi interpretativa anche a queste ultime.

Elaborando i dati già in possesso e quelli di nuova acquisizione, si è giunti a fornire (Tav. 4) una rappresentazione sintetica, anche se non esaustiva, sia delle caratteristiche litologiche che di quelle geomeccaniche del territorio comunale.

Le 15 colonne litostratigrafiche-geomeccaniche, emerse nella prima fase di screening ed omogeneizzazione, sono state puntualmente ubicate in carta; al margine destro della loro rappresentazione grafica si sono espresse, tramite sigle, le caratteristiche litologiche (G: ghiaia, S: sabbia, L: limo, A: argilla), mentre al margine sinistro si sono indicati valori di Rpm (Resistenza media alla punta, espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ) relativi alle prove statiche.

Si sottolinea che i valori forniti hanno un carattere puramente indicativo, dal momento che si tratta di valori medi non generalizzabili, né tanto meno assumibili ai fini di eventuali elaborazioni geotecniche.

Il lavoro svolto rappresenta esclusivamente lo strumento adottato per la successiva fase interpretativa, funzionale alla definizione del giudizio sintetico sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

#### **4.2 MODALITA' DI ESPRESSIONE DEL GIUDIZIO SINTETICO RELATIVO ALLE CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOMECCANICHE DEI TERRENI**

Sulla base dei dati riportati in cartografia e su quanto raccolto nelle fase precedente, si è pervenuti all'individuazione di aree il più possibile omogenee sotto il profilo litologico e geomeccanico.

Il criterio utilizzato nella rappresentazione sintetica di tali caratteristiche è quello indicato dalle specifiche emanate dalla Regione Lombardia in "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale 1993", dove si suggerisce espressamente l'utilizzazione delle metodologie a suo tempo espresse nel quaderno "*Engineering Geological Maps*" edito da Unesco Press nel 1976.

Il criterio utilizzato in questo lavoro per la rappresentazione cartografica è un specifica rielaborazione originale di dette metodologie internazionali, opportunamente adattate alle condizioni locali.

Il metodo adottato per la caratterizzazione ha consentito di fornire le indicazioni relative ai terreni entro intervalli di profondità prefissati, scelti opportunamente in relazione ai più comuni tipi di fondazioni: il primo intervallo è compreso tra 1,00 m e 2,50 m dal p.c. e rappresenta quello più direttamente influenzato da fondazioni di tipo superficiale dirette; il secondo strato, compreso tra - 2,50 m e - 5,00 m, è quello direttamente coinvolto dai sovraccarichi applicati con le fondazioni superficiali dirette; l'ultimo intervallo è quello a profondità superiori ai 5,00 m dal p.c. e che potrebbe essere sede di fondazioni indirette.

Nell'individuazione dei livelli sopra riportati si è escluso lo strato superficiale, pari ad 1 m, in quanto esso risulta inadatto alla posa di opere di fondazione a causa della presenza della componente organica e dei problemi legati alla gelività.

Il diverso andamento della copertura a tratteggio, verticale, orizzontale ed obliqua, caratterizza, rispettivamente, il primo, secondo e terzo strato, mentre la diversa tonalità cromatica esprime il giudizio sintetico delle qualità geomeccaniche secondo la seguente logica:

- *rosso*: “scarse” qualità geomeccaniche
- *blu*: “sufficienti” qualità geomeccaniche
- *verde*: “buone qualità geomeccaniche

Nella scelta della terminologia adottata per individuare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni (scarso, sufficiente, buono) si è tenuto conto dei valori di resistenza media alla punta (Rpm) verificati attraverso prove penetrometriche statiche, mediante le quali il giudizio sintetico espresso rappresenta un’indicazione soggettiva con cui si intende sia fornire, in modo estremamente schematico, l’indicazione della capacità portante, sia focalizzare l’attenzione degli operatori sulla possibilità dell’insorgere di cedimenti dovuti all’applicazione di sovraccarichi.

Le modalità di interpretazione dei dati espressi in carta fin qui descritte dovrebbero risultare immediate, in quanto i due elementi caratterizzanti, profondità dello strato considerato e relativo giudizio sintetico, sono chiaramente espressi sia dall’orientazione del tratteggio, sia dalle diverse colorazioni adottate.

Si precisa che il confine tra le diverse aree va ritenuto puramente indicativo, poiché la transizione fra diverse situazioni, come avviene per ogni fenomeno naturale, non può essere rappresentata da una netta limitazione.

### **4.3 PRINCIPALI RISULTATI EMERSI**

Sulla base della rappresentazione grafica delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni e, in particolare, del giudizio sintetico espresso per ogni strato, si possono esprimere le indicazioni emerse dall’analisi complessiva del territorio comunale.

La frequente eterogeneità dell’assetto litostratigrafico, tipica dei depositi che hanno avuto origine dalla dinamica fluviale, caratterizzata da frequenti variazioni dell’energia trattiva delle correnti, determina condizioni deposizionali diverse che portano alla formazione di ripetute sequenze litostratigrafiche in cui risultano localizzati termini meno favorevoli dal punto di vista geologico-tecnico. La coltre superficiale del materasso alluvionale presenta infatti, anche nella porzione più superficiale, frequenti variazioni litologiche, sia verticali che orizzontali, che possono interferire negativamente con le opere di fondazione.

La coltre alluvionale oggetto di studio ha evidenziato nella sua porzione più profonda (superiore ai 5,00 m dal p.c.) caratteristiche litologiche che permettono di esprimere una valutazione favorevole in tutte le aree in esame, dal momento che si rilevano condizioni tali da consentire un giudizio da “sufficiente” a “buono”, rappresentato in carta con la metodologia illustrata in precedenza.

Infatti, al di sotto dei 5 m di profondità e fino ai 10-12 m dal p.c., i depositi sabbioso-limosi rilevati presentano caratteristiche di buona compattezza, in grado di far loro sopportare i sovraccarichi applicati senza indurre apprezzabili cedimenti assoluti e/o differenziali.

Nel medesimo intervallo di profondità i depositi limosi e limoso-argillosi, che occupano longitudinalmente la porzione centrale del territorio comunale, presentano caratteristiche di compattezza considerate sufficienti.

I terreni che costituiscono lo strato intermedio (2,50 – 5,00 m dal p.c.) sono in genere rappresentati da sabbie, talora limose, e limo, a volte limo-sabbioso o limo-argilloso.

La variazione delle caratteristiche litologiche ed il minor grado di addensamento di tali depositi inducono una lieve variabilità del comportamento geomeccanico: si è infatti rilevato, nella quasi totalità dell'area indagata, che le condizioni geomeccaniche sufficienti o buone di questi terreni li rendono capaci di sopportare favorevolmente carichi di rilevante entità pur essendo soggetti a cedimenti. Caratteristiche di buona compattezza si verificano in località Vigolo e più a sud in zona Visnadello, oltre che nella porzione sud orientale del capoluogo.

I terreni più superficiali (tra – 1,00 m e – 2,50 m dal p.c.) sono di natura prevalentemente argillosa, limosa, limoso-argillosa e/o limoso-sabbiosa.

Nella maggior parte dei sondaggi effettuati e dei diagrammi penetrometrici esaminati essi presentano caratteristiche geomeccaniche ritenute “sufficienti”, tali comunque da non pregiudicare sfavorevolmente la variazione urbanistica all'uso attuale dei terreni. Solo localmente si rilevano casi di maggiore sviluppo della coltre di alterazione alluvionale, dovuti al livellamento di locali ed antiche depressioni, tali da far registrare condizioni meno favorevoli, che hanno portato ad assegnar loro il giudizio di “scarso”.

Queste situazioni sono state rilevate a nord della Via Postumia, in corrispondenza della porzione nord orientale dell'abitato di Malagnino, e nella parte meridionale del territorio comunale, in corrispondenza ed a sud della frazione S. Michele.

Pur presentando complessivamente scarse caratteristiche geotecniche, queste zone non presentano valori di Rpm tali da precludere un loro utilizzo a scopi urbanistici, anche se alcune limitazioni andranno verificate secondo la vigente normativa in materia, al fine di dimensionare adeguatamente le opere di fondazione in progetto, come riportato all'interno delle “*Norme Geologiche di Piano*”.

Si riportano in All. 4a le colonne stratigrafiche interpretative dei dati liostratigrafici e geomeccanici dei terreni indagati attraverso le prove penetrometriche statiche C.P.T., nonché il corrispettivo giudizio sintetico sulle qualità geomeccaniche del materiale, così come riportate in Tav. 4.

## **Bibliografia**

AA.VV. (1976) – “*Engineering Geological Maps*” – The UNESCO Press, Paris.

AA. VV. (1982) – “*Geologia tecnica*” – Speciale in occasione della Società geologica Italiana – Vol. A – Anno XXIX n° 2 – Aprile-Giugno.

CASADIO M. & ELMI C. (1995) – “*Il Manuale del Geologo*” – Pitagore Editrice, Bologna.

CESTARI F. (1990) – “*Prove geotecniche in sito*” – Geo-Graph snc Editrice, Segrate (MI).

COLOMBO P. (1976) – “*Elementi di geotecnica*” – Zanichelli Editrice, Bologna.

COLOMBO P. & COLLESELLI F. (1996) – “*Elementi di geotecnica*” - II<sup>a</sup> edizione - Zanichelli Editrice, Bologna.

LANCELLOTTA R. (1997) – “*Geotecnica*” – Zanichelli Editrice, Bologna.

TERZAGHI K. & PECK R.B. (1979) – “*Geotecnica*” – UTET, Torino.

## **5. CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (TAV. 5 – TAV. 6, SCALA 1 : 10.000)**

### **5.1 PREMESSA**

Dopo un periodo sperimentale, durante il quale vi era in numerosi casi la possibilità di riferirsi a normative pre-vigenti, dal 1° luglio 2009 il riferimento normativo principale relativamente alla progettazione, all'esecuzione ed al collaudo di **tutte le tipologie di costruzioni** è rappresentato dal **D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”**.

**Lo stesso D.M. 14 gennaio 2008, tuttavia, per le costruzioni di tipo 1 e 2 e classe d'uso I e II, così come definite nel decreto stesso (Cap. 2), e limitatamente ai siti ricadenti in Zona Sismica 4, ammette, in paragrafo 2.7, il riferimento, per quanto riguarda le opere ed i sistemi geotecnici, al D.M. 11 marzo 1988 “Norme Tecniche per i terreni, le rocce e la stabilità dei pendii” e relativa c.m. 24 settembre 1988 n. 30483, nonché al D.M. 16 gennaio 1996 “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” e relativa c.m. 10 aprile 1997 n. 65.**

**Il rispetto delle disposizioni del D.M. 14-01-08 è in ogni caso obbligatorio per gli edifici e le opere infrastrutturali di interesse strategico per finalità di protezione civile, nonché per gli edifici e le opere infrastrutturali rilevanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, ricadenti rispettivamente in classe d'uso IV e classe d'uso III, come riportato nel decreto ministeriale. L'elenco degli edifici e delle opere strategiche e rilevanti, approvato con D.d.u.o. 21 novembre 2003 n° 19904, viene riportato in All. 5a in calce al capitolo.**

Successivamente all'approvazione del D.M. 14 gennaio 2008, la Regione Lombardia ha emanato la D.G.R. 7374/2008, che rappresenta la delibera di riferimento nel presente studio, all'interno della quale viene più volte sottolineata l'importanza di una corretta definizione della componente sismica del P.G.T. comunale, da realizzarsi sulla base delle disposizioni nazionali e delle indicazioni tecniche previste dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”,

L'O.P.C.M., che suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche, identificate attraverso una numerazione crescente al diminuire del sisma atteso, con successive integrazioni e/o modificazioni, è entrata in vigore, per gli aspetti relativi alla classificazione sismica, il 23 ottobre 2005, in coincidenza con l'entrata in vigore del D.M. 14 settembre 2005 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”, il quale recepisce ed integra sia la documentazione tecnica dell'O.P.C.M. 3274/03 che la classificazione sismica in essa proposta.

Il Comune di Malagnino, sulla base delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3274/2003, è stato inserito in Zona Sismica 4, come confermato dalla Regione Lombardia con D.G.R. 14964/03 “*Disposizioni preliminari per l’attuazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»*”.

In recepimento del D.M. 14 settembre 2005 e delle indicazioni riportate in All. 1 dell'O.P.C.M. 3274/03, è stata emanata successivamente l'O.P.C.M. 28 aprile 2006 n° 3519 “*Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*”, dove viene indicato che l’individuazione delle zone sismiche dovrà assumere come riferimento la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Allo stato attuale, come riportato all’interno della D.G.R. 7374/2008, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione della azioni sismiche in fase di progettazione **non** è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, sulla base di un reticolo di riferimento esteso all’intero territorio nazionale.

Come descritto nell’All. A del D.M. 14 gennaio 2008, l’azione sismica di riferimento per la progettazione dovrà essere definita sulla base dei valori stimati di pericolosità sismica proposti dall’I.N.G.V. all’interno del “*Progetto SI*”, successivamente elaborati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e riportati nelle tabelle di cui ad All. B del citato D.M..

**Pertanto, la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell’O.P.C.M. 3274/03 e dell’O.P.C.M. 3519/06) ha un significato esclusivamente amministrativo, e nell’analisi della componente sismica del territorio comunale individua unicamente l’ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.**

La metodologia di valutazione proposta dalla Regione Lombardia in All. 5 della D.G.R. 7374/2008, “*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei P.G.T.*”, prevede difatti **tre livelli di approfondimento** con grado di dettaglio in ordine crescente; essa aggiorna le precedenti procedure di analisi, basandosi sui risultati ottenuti su alcune aree campione in territorio regionale dallo studio – pilota “*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in determinati Comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l’analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui*

alla d.g.r. n° 14964 del 7 novembre 2003”, redatto dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale (marzo 2005), successivamente integrati e/o modificati in funzione delle nuove disposizioni riportate nel D.M. 14 gennaio 2008.

Con l’approvazione del D.M. 14 gennaio 2008, dunque, il concetto di zonazione sismica è stato totalmente superato, sostituito da un approccio di tipo quantitativo–probabilistico ed interpolatorio–deterministico, che ha portato alla definizione ed alla realizzazione di un reticolo di riferimento su tutto il territorio nazionale, attraverso il quale è possibile determinare l’azione sismica agente sulle costruzioni in un generico sito.

Con tale metodologia le azioni sismiche di progetto, e quindi la pericolosità sismica di un generico sito di costruzione, presenta una discreta variabilità anche all’interno di uno stesso territorio, in funzione sia dei parametri ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ ) che, secondo differenti tempi di ritorno ( $T_R$ ), definiscono le forme spettrali e la “*pericolosità sismica di base*”, sia del fattore suolo (S), legato agli effetti di amplificazione locale (stratigrafica e topografica) che caratterizzano la “*risposta sismica locale*”.

*Sulla base della situazione normativa sopra esposta, all’interno del presente studio l’analisi della componente sismica viene affrontato seguendo i criteri di cui alla d.g.r. 7374/2008, approfondendo anche alcuni argomenti trattati nel D.M. 14 gennaio 2008, quali ad esempio la definizione di pericolosità sismica e la valutazione dell’accelerazione di progetto da utilizzare nella verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione.*

## 5.2 DEFINIZIONE DEL RISCHIO

La valutazione del rischio sismico (R) associato ad un evento tellurico è funzione della pericolosità (P), distinta in pericolosità sismica di base (PSB) ed in pericolosità sismica locale (PSL), della vulnerabilità (V) e del valore esposto (E).

La comprensione di tali basilari concetti assume una grande importanza nell’individuazione e nella definizione di uno “scenario di rischio sismico”, principale obiettivo di un “Piano di Emergenza Comunale”; una breve descrizione delle variabili in gioco viene di seguito riportata:

- **Pericolosità sismica di base (PSB)**: rappresenta la probabilità che l’evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito con riferimento ad un terremoto standard di riferimento;



- **Pericolosità sismica locale (PSL):** rappresenta una stima a scala di dettaglio delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito in cui si prevede l'evento sismico (condizioni locali);
- **Vulnerabilità (V):** rappresenta il grado di suscettibilità del territorio agli effetti negativi prodotti dal fenomeno considerato, ovvero l'attitudine dell'elemento a rischio a subire danni, ed è funzione della distribuzione dell'urbanizzato, della densità della popolazione, della distribuzione delle attività e dei servizi pubblici, dell'ambiente naturale;
- **Valore esposto (E):** rappresenta il valore socio – economico relativo agli elementi a rischio ed è funzione della tipologia dell'elemento stesso (ospedali, scuole, case, stalle,...).

Il **rischio (R)** connesso con un determinato evento rappresenta pertanto il prodotto tra questi tre fattori:

$$R = P \times V \times E$$

In definitiva, esso rappresenta il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà ed alle attività economiche dovuti ad un evento tellurico di una data intensità che ha coinvolto una particolare area per un dato periodo di tempo.

In particolare, le analisi e gli studi riguardanti la pericolosità sismica locale (PSL) hanno permesso di individuare, in determinate caratteristiche proprie del terreno e del suo assetto morfologico, alcune delle cause che possono variare la pericolosità sismica di base (PSB) di un territorio e di conseguenza rendere alcune aree più pericolose di altre.

I differenti effetti che le condizioni locali di un'area possono provocare vengono suddivisi in due categorie principali:

1. **Effetti di sito o di amplificazione sismica locale:** interessano i terreni che presentano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono legati alle caratteristiche topografiche e/o litologiche del territorio in grado di generare un'esaltazione locale delle azioni sismiche di base;
2. **Effetti di instabilità:** interessano i terreni che presentano un comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e possono causare fenomeni di franamento, di liquefazione, di subsidenza, di cedimento assoluto e/o differenziale.

Con il termine **microzonazione sismica** viene definito l'insieme di tutti gli studi necessari ad individuare e definire quantitativamente gli effetti che le condizioni locali di un sito provocano nei confronti del moto sismico di riferimento, al fine di apportare tutte quelle misure, all'interno di un programma di pianificazione urbanistica del territorio, atte a prevenire e/o limitare il rischio sismico.

Nelle “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”, di cui al D.M. 14 gennaio 2008, la **pericolosità sismica** costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati.

[...] “*La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{v_R}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purchè correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa, le **forme spettrali** sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{v_R}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

- $a_g$                       *accelerazione orizzontale massima al sito*
- $F_o$                         *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale*
- $T_c^*$                       *periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale*

*In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.”*

La pericolosità sismica sopra descritta è da intendersi come **pericolosità sismica di base**, derivante da studi condotti a livello nazionale, che han portato alla realizzazione del **reticolo o griglia di riferimento**. Individuata, per un determinato tempo di ritorno  $T_R$  (**intervallo di riferimento**), l'azione sismica di base, l'azione sismica di progetto viene ottenuta tenendo in considerazione la risposta sismica locale del sito in esame, ossia degli effetti di amplificazione sismica locale sopra esposti.

### 5.3 METODOLOGIA UTILIZZATA

Come disposto dalla D.G.R. 7374/2008, la valutazione della **Pericolosità Sismica Locale (PSL)** e degli effetti prodotti dalle condizioni di una determinata area avviene attraverso un'analisi che prevede tre livelli di approfondimento, con grado di dettaglio in ordine crescente:

- ❑ **1° Livello di approfondimento:** approccio di tipo qualitativo che permette il riconoscimento i differenti scenari di pericolosità sismica locale (PSL) sulla base dei dati relativi all'assetto geologico, geomorfologico, litologico, idrogeologico e geotecnico del territorio in esame, propedeutico ai successivi livelli di approfondimento.
- ❑ **2° Livello di approfondimento:** approccio di tipo semi – quantitativo che permette l'analisi degli effetti di sito o di amplificazione sismica locale attraverso la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).
- ❑ **3° Livello di approfondimento:** approccio di tipo quantitativo che permette l'analisi sia degli effetti di instabilità, attraverso indagini ed analisi approfondite, che degli effetti di sito o di amplificazione sismica locale, con metodologie che prevedono un dettaglio maggiore di quelle utilizzate nel 2° livello.

A seconda dello scenario di pericolosità sismica locale (PSL), così come individuato nel 1° livello di approfondimento, e della zona sismica di appartenenza del territorio comunale in esame, ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003, si passerà ove previsto ai successivi livelli.

Si riporta di seguito la tabella, di cui alla D.G.R. 7374/2008, nella quale sono elencati i principali scenari di pericolosità sismica locale (PSL), individuati attraverso una sigla alfanumerica, e gli effetti che potrebbero verificarsi all'interno delle aree ad essi associate in occasione di evento sismico.

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL)	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni

Z3a	Zona di ciglio H > 10 m	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite–arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coerenti	
Z4d	Zona 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

Nella tabella che segue vengono presentati i livelli di approfondimento da effettuare in funzione della zona sismica di appartenenza del territorio comunale, sulla base della classificazione sismica prevista dall’O.P.C.M. 3274/03 – All. 1.

<b>LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE</b>			
		<b>FASE PIANIFICATORIA</b>	<b>FASE PROGETTUALE</b>
		<b>1° LIVELLO</b>	<b>2° LIVELLO</b>
		<b>3° LIVELLO</b>	
<b>ZONA SISMICA 2 – 3</b>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; -Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5.
<b>ZONA SISMICA 4</b>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (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.

In sintesi:

- **1° Livello: fase pianificatoria** – Obbligatorio per tutti i comuni della Regione Lombardia ed esteso a tutto il territorio comunale.
- **2° Livello: fase pianificatoria**
  - Zone sismiche 2 e 3: obbligatorio nelle aree PSL Z3 e Z4 interferenti con l'urbanizzato esistente o di previsione.
  - Zona sismica 4: obbligatorio nelle aree PSL Z3 e Z4 con presenza di edifici strategici e rilevanti.
- **3° Livello: fase progettuale**
  - Quando con il 2° livello di approfondimento il valore di Fa (Fattore di amplificazione) calcolato supera il valore di soglia comunale.
  - Nelle aree PSL Z1, Z2, Z5 (solo per edifici strategici e rilevanti in zona sismica 4).

Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale, si dovrà procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello non dovranno essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali, o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

#### **5.4 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL TERRITORIO COMUNALE**

Il Comune di Malagnino è stato inserito, ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03 e della d.g.r. 14964/03, in zona sismica 4.

Sulla base delle indicazioni sintetizzate nel precedente paragrafo, il 1° livello di approfondimento in fase di pianificazione è obbligatorio e deve essere esteso all'intero territorio comunale; in seguito all'analisi delle aree di pericolosità sismica locale (PSL) individuate in questa fase, verrà valutato se sono presenti condizioni tali per cui sia necessaria l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento.

##### **5.4.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

L'analisi di 1° livello prevede la realizzazione della “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*” (Tav. 5), all'interno della quale devono essere rappresentati gli ambiti territoriali

caratterizzati dagli scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati nel territorio comunale ed in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Gli scenari PSL riconosciuti all'interno del territorio comunale di Malagnino sono i seguenti:

- **Scenario PSL Z2:** zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi.
- **Scenario PSL Z4a:** zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

Gli scenari di pericolosità sismica individuati vengono di seguito brevemente illustrati.

#### **5.4.1.1 SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE Z2 – CEDIMENTI / LIQUEFAZIONI**

Ricadono in tali aree i terreni classificati come “sismicamente instabili” che, a seguito dello sforzo di taglio indotto dall'azione sismica, possono dare luogo a cedimenti assoluti e/o differenziali della struttura per improvvisa densificazione del materiale insaturo oppure a fenomeni di liquefazione per una perdita della resistenza al taglio di un materiale saturo a causa di un aumento istantaneo delle pressioni interstiziali, con conseguenti effetti di “fluidificazione” che portano a situazioni di instabilità più o meno gravi. L'analisi e la distribuzione areale di queste due tipologie di fenomeni, che potrebbero insorgere all'interno del territorio comunale in conseguenza di una sollecitazione sismica, è stata effettuata sulla base dei risultati ottenuti attraverso le prove penetrometriche di cui alla Tav. 4 “*Carta geologico – tecnica*”; l'esito di tale approfondimento viene di seguito presentato.

##### **• Stima della suscettibilità ai cedimenti in condizioni sismiche**

La rappresentazione areale dei terreni che presentano caratteristiche geomeccaniche scadenti e che sono potenzialmente soggetti a cedimenti assoluti e/o differenziali è stata eseguita sulla base della zonazione prodotta nella sopraccitata Tav. 4.

In tale rappresentazione cartografica, si evidenzia la presenza di due aree caratterizzate da terreni superficiali (tra -1,00 m e -2,50 m da p.c.) di natura prevalentemente argillosa, limosa e limoso – argillosa, che hanno portato ad assegnare un giudizio di “scarso” relativamente alle loro caratteristiche geotecniche.

Le aree in oggetto sono state rilevate a nord della Via Postumia, in corrispondenza della porzione orientale dell'abitato di Malagnino, e nella parte meridionale del territorio comunale, in corrispondenza ed a sud della frazione S. Michele; la soggiacenza della falda freatica superficiale presenta in questi ambiti valori compresi tra 2,50 m e 3,50 m da p.c.

La delimitazione proposta, rappresentata nella “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*”, costituisce solamente un’indicazione di massima in relazione alle caratteristiche geomeccaniche intrinseche del materiale, senza considerare i parametri progettuali che caratterizzano la struttura di fondazione, le sovrastrutture ed i carichi da esse trasmessi al terreno attraverso la fondazione stessa, oltre alle variabili tecniche che andranno analizzate in modo approfondito in fase di progettazione dell’opera.

A causa delle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali sopra descritti, un’eventuale sollecitazione sismica potrebbe provocare all’interno di tali materiali cedimenti assoluti e/o differenziali non compatibili con le strutture sovrastanti.

In fase pianificatoria, appare poco realistica una previsione dei cedimenti assoluti e/o differenziali attesi in corrispondenza di terreni granulari sopra falda (insaturi) e sotto falda (saturi), in relazione soprattutto alle incertezze legate alla determinazione dei parametri di compressibilità di detti materiali, a differenza degli strati coesivi (maggiormente compressibili).

Pertanto, l’individuazione a priori di aree suscettibili ai cedimenti e caratterizzate da terreni incoerenti, con caratteristiche litologiche e geomeccaniche variabili, in assenza di informazioni puntuali relative all’opera in progetto, sarebbe affetta da una percentuale di errore non trascurabile.

In genere, per la maggior parte delle opere e per il campo di tensioni più frequentemente trasmesse al terreno, si hanno valori significativi del cedimento quando si interessano strati di argilla NC (normalconsolidata) o leggermente SC (sovracconsolidata), mentre quando si interessano strati di argilla SC, sabbia o ghiaia, in relazione alla compressibilità relativamente bassa di questi terreni, si hanno cedimenti limitati.

In relazione a quanto sopra esposto, al fine di definire nella fase di pianificazione un corretto scenario di pericolosità sismica, che dovrà essere tenuto in considerazione in una successiva fase di progettazione, secondo le indicazioni e le modalità descritte in precedenza e nelle “*Norme Geologiche di Piano*”, si ritiene opportuno inserire nella “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*”, relativamente alla suscettibilità dei terreni ai cedimenti in condizioni insature, solamente le aree caratterizzate da terreni superficiali costituiti da materiali prevalentemente coesivi, che rappresentano i materiali maggiormente compressibili e di conseguenza maggiormente interessati da eventuali cedimenti assoluti e/o differenziali, che dovranno essere analizzati in dettaglio in fase di progettazione delle opere.

- **Stima della suscettibilità alla liquefazione di materiale saturo in condizioni sismiche**

Con il termine “liquefazione” viene definita *«la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno»*.

In particolare, con il termine “liquefazione” si definisce il fenomeno per cui un terreno incoerente saturo, sottoposto ad una sollecitazione sismica, assume un comportamento meccanico simile a quello dei liquidi, con l'annullamento quasi totale della sua resistenza al taglio  $\tau$  in seguito ad un aumento istantaneo della pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti intergranulari.

A parità di altre condizioni, esso si verifica con maggiore probabilità in materiali incoerenti sabbiosi e/o sabbioso – limosi con elevato grado di saturazione e basso grado di addensamento, ossia bassa densità relativa  $D_r$  (%) ed elevato indice dei vuoti.

La valutazione della tendenza alla liquefazione dei terreni di fondazione saturi di natura incoerente in caso di eventi sismici è stata effettuata sulla base delle indicazioni presenti nel D.M. 14-01-08, all'interno del quale si rende obbligatoria la verifica della stabilità del sito di costruzione e di conseguenza delle opere in progetto, in funzione di un'azione sismica di progetto e delle amplificazioni sismiche che l'azione sismica di base subisce per effetto delle condizioni locali.

Come previsto dal citato D.M., per la verifica della tendenza alla liquefazione dei terreni di fondazione è stato utilizzato un metodo semplificato che utilizza i risultati ottenuti mediante indagini penetrometriche in sito.

Nel caso in esame, detta verifica è stata effettuata utilizzando i valori dei parametri geotecnici dei terreni desunti attraverso 4 prove penetrometriche statiche C.P.T., distribuite in modo uniforme all'interno del territorio comunale di Malagnino e scelte come rappresentative dell'assetto litologico del sottosuolo analizzato.

Il metodo semplificato utilizzato è quello di Robertson & Wride (1997), raccomandato dal “*National Center for Earthquake Research (NCEER)*”, che permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno ( $R$ ) con i risultati derivanti da prove penetrometriche statiche C.P.T..

Tale metodologie si basa sul calcolo di un Fattore di sicurezza ( $F_s$ ), dato dal rapporto tra la resistenza al taglio mobilitante ( $R$ ) caratteristica del materiale, ovvero il suo stato di deformazione critica, e lo sforzo di taglio ( $T$ ) indotto dall'azione sismica, in funzione dell'accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) e della magnitudo di riferimento del sisma di progetto ( $M_w$ ).



Un materiale sabbioso o sabbioso – limoso saturo risulterà suscettibile al fenomeno della liquefazione nel caso in cui:

$$F_s = R / T < 1 \quad \text{materiale liquefacibile}$$

La verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni, come nel caso dei cedimenti, deve rappresentare in questa fase di pianificazione solamente un'indicazione generale sul comportamento sismico dei materiali oggetto di studio.

Tale verifica non può e non deve sostituire approfondimenti a dettaglio maggiore, da prevedere durante la fase progettuale in funzione sia della tipologia di opera che dell'utilizzo della stessa, in particolar modo per edifici strategici e/o rilevanti, nei quali sono previsti affollamenti significativi.

Poichè in fase di pianificazione la verifica alla liquefazione non è effettuata in corrispondenza di un determinato sito di costruzione, al quale si associano univoci parametri sismici su suolo di riferimento rigido a superficie topografica orizzontale, ma è estesa alle zone indagate dalle sopraccitate prove penetrometriche statiche C.P.T., nella determinazione della pericolosità sismica di base sono stati utilizzati i valori dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  di un generico sito ubicato all'interno del centro edificato di Malagnino.

L'approssimazione utilizzata, sebbene non descriva puntualmente le condizioni di pericolosità sismica di base di ogni sito di costruzione, data la variabilità dei parametri sismici all'interno di un medesimo territorio comunale, appare comunque accettabile in fase di pianificazione, in quanto fornisce un inquadramento generale della pericolosità sismica dell'ambito territoriale in analisi.

Si sottolinea che, qualora in fase di progettazione di un'opera si volessero utilizzare le indicazioni del D.M. 14-01-08, i valori dei suddetti parametri sismici, per ogni intervallo di riferimento, dovranno essere ricalcolati sulla base delle esatte coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del sito di costruzione, e non dovranno pertanto essere utilizzati i valori generici riportati nel presente studio.

Nel calcolo dei parametri sismici di progetto è stato utilizzato il foglio di calcolo “*Spettri NTC ver. 1.0.2*”, reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale.

In allegato al presente capitolo (All. 5b), vengono riportati in forma tabellare i valori dei parametri sismici per i nove periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento, relativi ad un suolo di riferimento rigido (Categoria A) a superficie topografica orizzontale, quattro dei quali corrispondenti ai differenti Stati Limite da considerare nelle verifiche di sicurezza per le costruzioni, ed i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione riferiti a costruzioni ordinarie di tipo II con vita nominale  $V_N=50$  anni e Classe d'uso II (normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali).

Per la determinazione dell'accelerazione sismica massima attesa in superficie ( $a_{max}$ ) in un generico sito ubicato all'interno del territorio comunale, è necessario valutare l'amplificazione stratigrafica locale. In mancanza di dati relativi alla  $V_{S30}$  (propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità), si è ritenuto opportuno, in linea generale, considerare in via cautelativa la peggiore delle categorie di sottosuolo previste dalla normativa, la categoria di sottosuolo **D**, ovvero *“depositi di terreno a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti”*.

Pertanto, sulla base delle considerazioni sopra espresse, viene di seguito ricavata l'accelerazione sismica massima attesa in superficie ( $a_{max}$ ) in un generico sito ubicato all'interno del territorio comunale, relativamente allo stato limite ultimo **S.L.V.** (Stato Limite di Salvaguardia della Vita):

$$\mathbf{a_{max}} = \mathbf{a_g} \cdot \mathbf{S}$$

dove:

$a_g$  = accelerazione sismica massima attesa su suolo di riferimento rigido (Categoria A) a superficie topografica orizzontale, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (S.L.V.), corrispondente al valore di ancoraggio dello spettro di risposta elastico in accelerazione con  $T=0$  (T: periodo dell'oscillatore semplice); è espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ .

$S$  = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo (nel caso in esame: categoria D) e delle condizioni topografiche, ossia  $S = S_S \cdot S_T$ , essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica.

Sulla base del valore di  $a_g$ , corrispondente allo stato limite S.L.V., riportato in All. 5b e del valore di  $S$  relativo alla categoria di sottosuolo D, si ha:

$$\mathbf{a_{max}} = 0,081 \cdot 1,800 = \mathbf{0,146 \text{ g [m/s}^2\text{]}}$$

Questo valore rappresenta l'accelerazione sismica massima attesa in superficie, espressa come frazione di  $g$ , in corrispondenza di un generico sito ubicato all'interno del territorio comunale, per azioni sismiche con  $T_R = 475$  anni (stato limite S.L.V.), relativamente a costruzioni ordinarie di tipo II con periodo di riferimento  $V_R = 50$  anni.

Nelle elaborazioni effettuate tale coefficiente è stato utilizzato per la verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

Come magnitudo ( $M_w$ ) del sisma di progetto, è stato utilizzato il valore della magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica limitrofa al territorio comunale, ovvero la zona 907 denominata “Bergamasco”. A tale zona è associato un valore di  $M_w = 5,91$ , valore che verrà utilizzato nelle elaborazioni eseguite.

In seguito alle elaborazioni effettuate, delle quali si riportano in All. 5b i diagrammi relativi all’andamento in profondità del coefficiente di sicurezza  $F_s$ , si evince che non sono presenti nelle aree analizzate condizioni tali affinché si verificino fenomeni di liquefazione significativi.

In tutti i casi analizzati il Fattore di sicurezza  $F_s$  calcolato ha assunto valori sufficientemente elevati ( $F_s > 1$ ) da potere escludere fenomeni di liquefazione, mentre in rari casi il basso valore da esso registrato ( $F_s \leq 1$ ) è associato a materiale coesivo, principalmente argilla ed argilla limosa, che non è soggetto al fenomeno della liquefazione.

\* \* \* \*

In conseguenza delle considerazioni sopra espresse, nella “*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*” si è ritenuto opportuno rappresentare la zona PSLZ2 solamente attraverso una delimitazione delle aree potenzialmente soggette a cedimenti assoluti e/o differenziali in seguito ad azioni sismiche, mentre non appare opportuna, in funzione dei risultati ottenuti nel presente lavoro, l’individuazione di aree potenzialmente soggette a liquefazione.

In fase di progettazione di un’opera sarà comunque compito del tecnico incaricato, a sua discrezione e sotto la propria responsabilità, valutare la possibilità di un’approfondita analisi della liquefazione in condizioni sismiche in funzione dell’opera in progetto e dei materiali rilevati attraverso le indagini geognostiche.

Si sottolinea nuovamente che tale verifica **non può e non deve** sostituire approfondimenti a dettaglio maggiore, da prevedere durante la fase progettuale da parte del tecnico incaricato, e sotto la propria responsabilità, in funzione sia della tipologia dell’opera che dell’utilizzo della stessa, in particolar modo per edifici strategici e/o rilevanti di cui al D.d.u.o. 21 novembre 2003 n° 19904, per i quali il D.M. 14 gennaio 2008 e le delibere regionali hanno imposto l’obbligo della progettazione antisismica.

#### 5.4.1.2 SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE Z4a – AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

Lo scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a deve essere assegnato a tutte le aree di pianura che presentano depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

I terreni di fondazione che li costituiscono vengono classificati, dal punto di vista sismico, come “*sismicamente stabili*”, in quanto, in seguito a sollecitazioni sismiche, sono caratterizzati da fenomeni di amplificazione sismica legati alle loro particolari caratteristiche litologiche e geometriche.

Detti depositi, in funzione delle caratteristiche tessiturali e geomeccaniche e dei rapporti stratigrafici intercorrenti tra le differenti unità litologiche e tra queste ed il substrato roccioso, possono generare una variazione nell'ampiezza e nella frequenza delle onde sismiche, che provoca un'amplificazione locale dell'azione sismica trasmessa dal terreno in seguito a fenomeni di riflessione multipla, di interferenza, di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno, di doppia risonanza tra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

In caso di aree di pianura alluvionale, come espresso dalle normative vigenti, il substrato di riferimento deve essere individuato in corrispondenza del materiale che presenta un valore di  $V_s$  (velocità delle onde sismiche secondarie o di taglio) pari o superiore a 800 m/s, per il quale l'amplificazione litologica attesa è nulla.

Il territorio comunale di Malagnino, come rappresentato in Tav. 2a, è caratterizzato dalle seguenti formazioni geologiche:

- **$f_1^{W-R}$  (Pleistocene medio-superiore):** depositi fluviolacustri argilloso-sabbiosi, più raramente sabbiosi, con scarsi piccoli ciottoli, fittamente stratificati, contenenti concrezioni calcaree.
- **$f^W$  (Pleistocene superiore):** depositi sabbiosi e sabbioso-argillosi, raramente a debole contenuto ghiaioso a ciottoli minuti.

I terreni appartenenti alle formazioni geologiche sopraccitate presentano caratteristiche litologiche tali per essere considerati appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, così come rappresentato in Tav. 5.

#### 5.4.2 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE AL 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

L'applicazione del 1° livello di approfondimento ha permesso di individuare, all'interno del territorio comunale di Malagnino, due differenti scenari di pericolosità sismica locale PSL, rappresentati nella Tav. 5 "*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*", secondo le indicazioni della D.G.R. 7374/2008:

- **Scenario PSL Z2:** comprende le aree individuate a nord della Via Postumia, in corrispondenza della porzione orientale dell'abitato di Malagnino, e nella parte meridionale del territorio comunale, in corrispondenza ed a sud della frazione S. Michele; sono state assegnate allo scenario PSLZ2 in quanto caratterizzate da terreni di fondazione superficiali di natura prevalentemente argillosa, limosa e limoso-argillosa e di conseguenza soggetti a potenziali cedimenti, che potrebbero determinare condizioni di instabilità durante un evento sismico.
- **Scenario PSL Z4a:** caratterizza tutti i depositi granulari e coesivi presenti in zone di pianura, ovvero l'intero territorio comunale.

In seguito ai risultati ottenuti nel 1° livello di approfondimento, l'applicazione dei successivi livelli al territorio comunale di Malagnino, che appartiene alla Zona Sismica 4, dovrà seguire le seguenti fasi:

- **2° Livello: fase pianificatoria**

- Obbligatorio nelle aree PSL Z4a in presenza di edifici strategici e rilevanti (D.d.u.o. 19904/03).

- **3° Livello: fase progettuale**

- Nelle aree PSL Z4a quando con il 2° livello di approfondimento il valore di Fa (Fattore di amplificazione) calcolato supera il valore di soglia comunale.
- Nelle aree PSL Z2 solo per edifici strategici e rilevanti (D.d.u.o. 19904/03).

**Pertanto, risulta necessario in fase di pianificazione l'analisi di 2° livello per lo scenario PSL Z4a, ovvero per l'intero territorio comunale ad esclusione delle aree associate allo scenario PSL Z2, in corrispondenza delle quali si riscontra la sovrapposizione di due scenari; per queste aree, in fase di progettazione dovrà essere adottato il 3° livello di approfondimento, obbligatorio solamente per gli edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, ferma restando**

**la facoltà del Comune di estenderlo anche ad altre categorie di edifici, come verrà indicato all'interno delle "Norme Geologiche di Piano".**

Poiché all'interno delle aree di futuro sviluppo urbanistico è prevista la realizzazione di opere che ricadono negli elenchi di cui al D.d.u.o. 19904/03, è necessario procedere all'applicazione del 2° livello di approfondimento per le aree di cui allo scenario PSL Z4a, secondo la metodologia e con le limitazioni descritte nel successivo paragrafo.

#### **5.4.3 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

Il 2° livello di approfondimento, che rappresenta una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione litologica e geometrica attesi, viene applicato alle aree associate allo scenario di pericolosità sismica PSL Z4a, così come individuato nella procedura di 1° livello, in quanto suscettibili di amplificazioni sismiche.

La procedura utilizzata, come descritto in All. 5 della D.G.R. 7374/2008, fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa), riferito agli intervalli di periodo tra **0,1–0,5 s** e **0,5–1,5 s**, scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

In particolare, l'intervallo tra **0,1-0,5 s** si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra **0,5-1,5 s** si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

L'applicazione del 2° livello di approfondimento permette di individuare le aree PSL Z4a nelle quali la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, ovvero se il **Fa calcolato** risulta superiore al **Fa di soglia**, fornito dal Politecnico di Milano, relativo al Comune di Malagnino, riferito ad entrambi gli intervalli di periodo sopraccitati ed in funzione della categoria di sottosuolo di riferimento, di cui al D.M. 14-01-08.

In sintesi, la procedura consiste in:

- Individuazione della litologia prevalente nel territorio in esame, così come individuata durante la fase di analisi.
- Definizione della distribuzione delle Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità e della categoria di sottosuolo di riferimento, di cui al D.M. 14-01-08.
- Scelta della scheda litologica di valutazione di riferimento, riportata in All. 5 della D.G.R. 7374/2008.

- Determinazione algebrica del Fa relativo ai due intervalli di periodo citati.
- Confronto tra il Fa calcolato ed il Fa di soglia relativo al territorio comunale.
- Considerazioni conclusive.

\* \* \* \*

L'individuazione della litologia prevalente nel territorio comunale di Malagnino si è basata sia sull'analisi dei risultati delle indagini penetrometriche statiche note che sulle sezioni idrogeologiche e litostratigrafie descritte in Cap. 3 della presente relazione, nonché sull'analisi delle colonne stratigrafiche dei pozzi pubblici utilizzate per la realizzazione delle sezioni stesse.

Dalle analisi effettuate, emerge che i terreni più superficiali, fino a circa 10 m da p.c., sono caratterizzati da depositi prevalentemente argillosi e/o limoso-argillosi, mentre a profondità maggiori sono presenti potenti banchi di materiali a componente sabbiosa prevalente, con scarsa presenza di limo e ghiaia.

Pertanto, in considerazione della prevalente presenza di terreni di natura granulare, si ritiene opportuno utilizzare come scheda litologica di riferimento la “*scheda litologica sabbiosa*”, in quanto rappresentativa della maggior parte dei depositi che caratterizzano il sottosuolo del territorio in esame.

La caratterizzazione geologico-tecnica preliminare dei terreni, estesa all'intero territorio comunale ricadente nello scenario PSL Z4a, ha permesso di risalire alla velocità delle onde di taglio Vs di ogni singolo strato indagato sino alla profondità di 30 m dal p.c., attraverso una doppia correlazione empirica, come previsto anche dalla D.G.R. 7374/2008, che ha permesso di risalire dai valori di resistenza penetrometrica statica alla punta Rp ai corrispondenti valori di penetrazione alla punta dinamica Nspt, e da questi ai relativi valori di Vs.

La determinazione empirica delle Vs ha permesso, in generale, di assegnare i terreni in esame alla **categoria di sottosuolo C**; si precisa che la categoria di sottosuolo utilizzata per le verifiche di liquefazione (categoria D) era stata scelta in via cautelativa e sulla base del valore di resistenza penetrometrica dinamica equivalente Nspt<sub>30</sub>, mentre nelle presenti elaborazioni essa è stata desunta attraverso il valore di Vs<sub>30</sub> derivante da correlazioni empiriche, alle quali è possibile assegnare un grado di attendibilità medio, come riportato nella successiva tabella, nella quale viene indicato, come previsto dalla normativa, il grado di attendibilità dei parametri utilizzati.

<b>Dati</b>	<b>Attendibilità</b>	<b>Tipologia</b>
Litologici	Alta	Da prove indirette in sito
Stratigrafici (spessori)	Media	Da prove indirette in sito e da sezioni litostratigrafiche
Geofisici (Vs)	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche

All'interno della scheda di valutazione scelta, è stata utilizzata la curva 2 e le corrispondenti formule algebriche, adottando il valore del periodo proprio di oscillazione del sito, calcolato attraverso la seguente espressione.

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

Utilizzando la formula sopra riportata, è stato calcolato il periodo proprio medio dei territori ricadenti in ambito comunale, ovvero:

$$\mathbf{T = 0,48 \text{ s}}$$

Pertanto, la formule da utilizzare per il calcolo del fatto di amplificazione  $F_a$ , relative alla curva n. 2 ed al periodo T calcolato sono le seguenti:

- $F_{a \ 0,1-0,5 \text{ s}} = 0,83 - 0,88 \ln T$
- $F_{a \ 0,5-1,5 \text{ s}} = -6,11 \cdot T^3 + 5,79 \cdot T^2 \cdot 0,44 \cdot T + 0,93$

Utilizzando il valore di T sopra calcolato, si avrà:

- $F_{a \ 0,1-0,5 \text{ s}} = 1,5$
- $F_{a \ 0,5-1,5 \text{ s}} = 1,8$

Per il Comune di Malagnino, i valori di  $F_a$  di soglia sono riportati nella banca dati “**analisi sismica – soglie lombardia DGR n. 7374/08**”, all'interno della quale essi presentano, per le diverse categorie di sottosuolo, i seguenti valori:



Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s				
Comune	Categoria di suolo tipo B	Categoria di suolo tipo C	Categoria di suolo tipo D	Categoria di suolo tipo E
Malagnino	1,4	1,8	2,1	1,9

Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s				
Comune	Categoria di suolo tipo B	Categoria di suolo tipo C	Categoria di suolo tipo D	Categoria di suolo tipo E
Malagnino	1,7	2,4	4,0	3,0

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- **Fa** (soglia) 0,1-0,5 s = **1,8**
- **Fa** (soglia) 0,5-1,5 s = **2,4**

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa, ovvero:

- **Fa** (calc) 0,1-0,5 s = **1,5**
- **Fa** (calc) 0,5-1,5 s = **1,8**

si evince che:

$$\begin{aligned} \mathbf{Fa}_{(calc) 0,1-0,5 s} = 1,5 &< \mathbf{Fa}_{(soglia) 0,1-0,5 s} = 1,8 \\ \mathbf{Fa}_{(calc) 0,5-1,5 s} = 1,8 &< \mathbf{Fa}_{(soglia) 0,5-1,5 s} = 2,4 \end{aligned}$$

Pertanto, in entrambi i casi i valori di Fa di soglia proposti dalla normativa sono superiori ai corrispondenti valori di Fa calcolati, e di conseguenza **la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa vigente per la categoria di sottosuolo C.**

#### 5.4.4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE AL 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

L'applicazione del 2° livello di approfondimento si è resa necessaria in seguito all'individuazione in territorio comunale di Malagnino, nella fase di 1° livello di approfondimento, dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, così come rappresentato nella Tav. 5 "*Carta della pericolosità sismica locale di 1° livello*", per il quale si prevedono effetti di amplificazione sismica.

Attraverso la procedura descritta in precedenza, è stato verificato che il Fattore di amplificazione litologica  $F_a$  atteso, calcolato sulla base delle indicazioni della D.G.R. 7374/2008, risulta **minore** del corrispondente  $F_a$  di soglia corrispondente al territorio comunale di Malagnino ed alla categoria di sottosuolo considerata (categoria C), sia relativamente all'intervallo di periodo **0,1–0,5 s** che all'intervallo **0,5–1,5 s**, tipici delle tipologie edilizie più comuni, ovvero:

$$\begin{array}{lcl} \mathbf{F_a}_{(calc) 0,1-0,5 s} & < & \mathbf{F_a}_{(soglia) 0,1-0,5 s} \\ \mathbf{F_a}_{(calc) 0,1-0,5 s} & < & \mathbf{F_a}_{(soglia) 0,1-0,5 s} \end{array}$$

In base ai risultati ottenuti, è possibile dunque ritenere che la normativa vigente sia sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

**In conclusione, poichè il Comune di Malagnino appartiene alla zona sismica 4, in fase progettuale il 3° livello di approfondimento dovrà essere applicato:**

- **Nelle zone PSL Z2 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, ferma restando la facoltà del Comune di estenderlo anche ad altre categorie di edifici.**

La suddivisione areale del territorio in funzione degli scenari PSL Z4a e PSL Z2 viene riportata nella cartografia di cui alla Tav. 6 “*Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello*” .

## **Bibliografia**

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (I.N.G.V.) (2004) – “*Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall’Ordinanza P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 – Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*” – Gruppo di lavoro 2004, I.N.G.V., Milano – Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (I.N.G.V.) (2004) – “*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*” - Gruppo di lavoro CPTI04, I.N.G.V., Bologna.

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (I.N.G.V.) – DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE (D.P.C.) (2007) – “*Progetto SI – Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza P.C.M. 3274/2003 e progettazione di ulteriori sviluppi. Rapporto finale.*” – a cura di C. Meletti, G.M. Calvi, M. Stucchi.

POLITECNICO DI MILANO – REGIONE LOMBARDIA (2005) – “*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in determinati Comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l’analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui alla d.g.r. n° 14964 del 7 novembre 2003 – 1° Obiettivo – Rapporto Finale*” – Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano – a cura di Pergalani F., Compagnoni M., Petrini V. – Milano.

PROGRAM GEO (2005) – “*Manuale utente del software Liquef – versione 2.2*” – Software di Geologia Applicata, Carpendolo (BS).

REGIONE LOMBARDIA – C.N.R. (1996) – “*Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*” – Regione Lombardia, Settore Ambiente ed Energia, Servizio Geologico – Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.), Istituto di Ricerca sul Rischio sismico – Milano.

## **6. CARTA DI SINTESI (TAV. 7, SCALA 1 : 10.000)**

### **6.1 PREMESSA**

La “*Carta di Sintesi*” è stata redatta in scala 1:10.000 per l’intero territorio comunale (Tav. 7). Come previsto nella D.G.R. 8/7374/2008, sulla base dei risultati emersi durante la precedente fase di inquadramento ed analisi sono state individuate aree poligonali che presentano caratteristiche omogenee in funzione del fenomeno che le caratterizza; nello specifico caso, è stata effettuata una suddivisione del territorio basata principalmente sulla vulnerabilità idrogeologica del territorio e sulle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Si è ritenuto opportuno, data la scarsità di vincoli presenti sul territorio comunale, riportare gli stessi, in luogo della “*Carta dei Vincoli*”, direttamente nella “*Carta di Sintesi*”, per motivazioni esclusivamente di praticità di rappresentazione cartografica.

All’interno di detta tavola cartografica, si riportano i vincoli idrogeologici, i vincoli paesaggistici e l’area occupata dalla discarica R.S.U. – R.S.A., ubicata in località Cassinetto, nella porzione nord – orientale del territorio comunale, nonché la relativa fascia di rispetto di 200 m.

L’obiettivo del presente elaborato è quello di fornire un quadro sintetico dello stato del territorio funzionale alle valutazioni diagnostiche ed al successivo giudizio di fattibilità delle azioni di piano.

### **6.2 AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO E VINCOLI IDROGEOLOGICI**

La vulnerabilità idrogeologica del territorio viene espressa esclusivamente attraverso l’individuazione delle aree che presentano valori di soggiacenza del livello della falda freatica superficiale, rilevato durante il periodo di osservazione, inferiore a 2,00 m dal piano campagna.

Si sottolinea in proposito che la soggiacenza di 2,50 m – 3,00 m del livello freatico rappresenta una condizione estesa alla maggior parte del territorio comunale.

A differenza di quanto stabilito dai criteri attuativi della pre-vigente L.R. 41/97, all’interno della “*Carta di Sintesi*” non è richiesta la rappresentazione delle aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile e di conseguenza neppure la determinazione della corrispondente classe di fattibilità, essendo tali aree soggette a specifica normativa.

Nonostante ciò, si è ritenuto opportuno rappresentare i vincoli idrogeologici riguardanti i pozzi pubblici ad uso idropotabile a servizio dell’acquedotto comunale, così come stabiliti nel D.lgs. 3

aprile 2006 n° 152 “*Norme in materia ambientale*” – art. 94 “*Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*”.

Le aree sottoposte a regime di tutela, e rappresentate nella cartografia allegata, sono individuate come segue:

- **Zona di tutela assoluta**: finalizzata alla massima protezione del pozzo, è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni e deve avere un'estensione di almeno 10 metri di raggio dal punto di captazione (bocca pozzo). Su tale area, dove possibile opportunamente recintata, non sono consentite attività di alcun genere, né la presenza di strutture ad eccezione delle opere di captazione e delle relative infrastrutture di servizio.
  
- **Zona di rispetto**: è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta, da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata; in essa sono vietati l'insediamento dei centri di pericolo e lo svolgimento delle attività di cui all'art. 94 - comma 4 del D.Lgs 152/06. La Regione Lombardia, con D.G.R. 10 aprile 2003 n° 7/12693, ha emanato le “*Direttive per la disciplina delle attività all'interno delle zone di rispetto*”, di cui all'art. 21 - comma 6 del D.Lgs. 152/99, ripreso dal D.lgs. 152/06, rimandando alla D.G.R. 27 giugno 1996 n° 15137 in relazione alle modalità di delimitazione delle zone di rispetto. In questa vengono presentati tre differenti criteri in funzione della tipologia di acquifero e della conoscenza dei suoi parametri idrochimici ed idrodinamici: geometrico, temporale ed idrogeologico. Nel Comune di Malagnino, in mancanza di uno specifico studio idrogeologico, idrochimico ed ambientale dell'area in esame, la zona di rispetto dei pozzi pubblici ad uso idropotabile è stata definita adottando il criterio geometrico, il quale prevede in via cautelativa un'area di rispetto di raggio non inferiore a 200 metri intorno all'opera di captazione. L'attuazione di interventi ex novo in tale zona, tra cui si cita a titolo d'esempio l'edilizia residenziale, sono disciplinati dall'art. 3 - commi 1, 2, 3 della D.G.R. 7/12693.

La rappresentazione delle suddette aree di tutela non verrà riportata nella successiva Tav. 8 “*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*”, così come stabilito nella vigente normativa.

### 6.3 AREE CHE PRESENTANO SCADENTI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Si riportano nella presente rappresentazione cartografica le indicazioni sintetiche relative alle caratteristiche geomeccaniche dei materiali analizzati in dettaglio all'interno del Cap. 4 del presente studio.

Ad ogni zona, così come individuata nella Tav. 4 “*Carta geologico-tecnica*”, è stato associato il giudizio sintetico relativo alle caratteristiche geotecniche dei terreni secondo tre prefissati intervalli di profondità, espresso graficamente mediante differenti tonalità cromatiche.

A differenza della tavola sopra menzionata, si è ritenuto opportuno, anche in relazione all'analisi della risposta sismica dei terreni nei confronti di un'eventuale azione sismica, riportare in cartografia due aree che presentano terreni superficiali con caratteristiche geotecniche scadenti, distinte sulla base del litotipo prevalente, del suo spessore e/o della profondità sino alla quale esso è presente:

- A1 – Area in cui sono presenti livelli di argilla organica e/o argilla – limosa a profondità generalmente inferiori a 2,50 m da p.c..
- A2 – Area in cui si riconosce un livello di argilla organica e/o argilla – limosa a profondità compresa tra 1,20 m e 2,20 m da p.c..

### 6.4 AREE SOGGETTE A VINCOLO PAESAGGISTICO

Nell' “*Elenco delle Acque Pubbliche*”, di cui alla D.G.R. 25 luglio 1986 n° 4/12028, sono indicati i corsi d'acqua pubblici naturali ed artificiali ai sensi del R.D. 11 dicembre 1933 n° 1775, individuati dall'art. 1 – lett. c) della L. 431/85 e tutelati ai sensi dell'art. 146 – comma 1 – lett. c) del D.lgs. 490/99, attualmente sostituito dall'art. 142 – comma 1 - lett. c) del D.lgs. 22-01-04 n. 42.

Tale regime di tutela è previsto anche nella vigente Variante di adeguamento alla L.R. 12/05 del “*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)*” della Provincia di Cremona, Capo III - art. 14 – comma 1.

Sono di conseguenza “*sottoposti a vincolo paesaggistico i corsi d'acqua e le relative sponde o piede di argini per una fascia di 150 metri ciascuna*”, e quindi soggetti alle disposizioni della Parte Terza - Titolo I del D.lgs. 42/04.

Nel Comune di Malagnino è presente solamente un corso d'acqua che, iscritto nel suddetto elenco al n° 51, è sottoposto a vincolo paesaggistico: il **Dugale Delmona Tagliata**, di competenza del Consorzio di Bonifica “*Dugali*”.

I rimanenti corsi d'acqua minori (rogge, colatori, rivi, fossi), che non sono iscritti nell' *"Elenco delle Acque Pubbliche"* e neppure negli elenchi di cui alle D.G.R. 7/7868, D.G.R. 7/13950, D.G.R. 7/20552, devono considerarsi di natura privatistica e pertanto soggetti alla disciplina stabilita nel Codice Civile relativamente all'uso delle acque ed agli interventi di manutenzione in regime di diritto privato.

L'argomento in questione viene approfondito negli elaborati *"Studio per l'individuazione del Reticolo Idrico Minore del Comune di Malagnino"*, con le relative rappresentazioni cartografiche, e *"Reticolo Idrico Minore: Regolamento di Polizia Idraulica"*, redatti sulla base di quanto disposto dalla D.G.R. 25 gennaio 2002 n° 7/7868 e dalla successiva D.G.R. 1 agosto 2003 n° 7/13950.

## **6.5 AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO**

Per quanto riguarda la vulnerabilità idraulica del territorio, non si rilevano aree potenzialmente soggette ad allagamenti e/o alvei interessati da rilevanti fenomeni di erosione spondale.

I corsi d'acqua che attraversano il territorio comunale, con funzione di colatori e/o irrigua, sono gestiti dal Consorzio di Bonifica "Dugali", da consorzi irrigui o da frontisti, ai quali è affidato l'onere della manutenzione e la gestione del regime idraulico, garantendo pertanto l'efficienza del corso d'acqua e la sistemazione di dissesti in atto o potenziali.

In particolare, per l'esercizio delle funzioni di manutenzione ordinaria, straordinaria e di pulizia dell'alveo del corso d'acqua, compresi gli interventi di difesa idraulica, deve essere mantenuta libera una fascia ad esso adiacente per consentire l'accessibilità dei mezzi meccanici.

L'art. 14 delle *"Norme di attuazione"* del P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico), che modifica l'art. 140 lett. e) del R.D. 368/1904, stabilisce che all'interno del perimetro di un "Comprensorio di Bonifica", in cui il territorio comunale è compreso, venga mantenuta libera una fascia larga fino a 5 metri da entrambe le sponde degli scoli artificiali e/o canali consortili per permettere il passaggio dei mezzi meccanici ed il deposito delle materie di spurgo.

Considerando che la materia è trattata nello studio relativo all'individuazione del reticolo idrico minore e nell'allegato regolamento di Polizia Idraulica, non si ritiene necessario rappresentare tale fascia nella *"Carta di Sintesi"*.

Si rimanda pertanto alla cartografia allegata allo studio sopraccitato, all'interno del quale la definizione delle distanze di rispetto viene ampiamente discussa e motivata.

## 6.6 CONCLUSIONI

Dalla “*Carta di Sintesi*” emergono i principali aspetti di carattere idrogeologico, geologico – tecnico e vincolistico che caratterizzano il territorio comunale di Malagnino, di estrema importanza nell’ambito della pianificazione urbanistica del territorio.

Relativamente agli aspetti idrogeologici, si rilevano generalmente valori di soggiacenza della falda freatica inferiori a 2,00 m da p.c. nelle zone settentrionali del territorio comunale, in corrispondenza del confine con il Comune di Gadesco Pieve Delmona.

Terreni superficiali con scadenti proprietà geologico-tecniche, e pertanto soggetti a potenziali cedimenti assoluti e differenziali, si individuano nelle aree indicate in cartografia con le sigle A1 e A2; all’interno di tali aree dovranno essere previste, in fase di progettazione preliminare, approfondite indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione litostratigrafica e geologico-tecnica dei terreni di fondazione e dei livelli di terreno maggiormente suscettibili a cedimenti.

Per quanto riguarda le aree soggette a vincolo idrogeologico e/o a vincolo paesaggistico, la delimitazione effettuata in Tav. 7 non dovrà essere riportata all’interno della Tav. 8 “*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*”, in quanto tali zone sono soggette a specifica normativa, a prescindere dalla classe di fattibilità a cui verranno associate, la quale deve derivare esclusivamente da valutazioni relative alla pericolosità/vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera.



## **7. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO E CLASSI DI FATTIBILITA' (TAV. 8, SCALA 1 : 10.000)**

### **7.1 PREMESSA**

Sulla base delle principali informazioni geologiche, idrogeologiche, sismiche e vincolistiche relative al territorio comunale, derivanti dagli approfondimenti effettuati durante la fase di analisi, opportunamente sintetizzati nella fase di sintesi, è stato realizzato l'elaborato denominato "*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*", redatto in scala 1:10.000 ed esteso a tutto il territorio comunale, all'interno del quale viene definita la fattibilità geologica degli interventi di pianificazione urbanistica, in funzione della suddivisione del territorio in ambiti omogenei dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità nei confronti dello specifico fenomeno che genera tali condizioni, così come rappresentati nella Tav. 7 "*Carta di Sintesi*".

Ad ogni classi di fattibilità geologica individuata, sono stati sovrapposti gli scenari di pericolosità sismica locale, di cui alla Tav. 6 "*Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello*", ovvero gli scenari di pericolosità sismica PSL Z2 (zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi) e PSL Z4a (zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi). La rappresentazione delle aree a pericolosità sismica locale individuate non comporta un automatico cambio di Classe di Fattibilità Geologica, ma fornisce indicazioni riguardo agli approfondimenti da effettuare in fase di progettazione in considerazione della componente sismica del territorio comunale, sulla base delle risultanze del presente studio.

Le classi di fattibilità geologica e le aree a pericolosità sismica locale sono state inoltre riprodotte in formato "*shape file*", secondo lo schema fisico dei dati definito dalla Regione Lombardia, ai fini dell'aggiornamento del mosaico della fattibilità contenuto nel Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.) integrato regionale.

Ad ogni Classe di Fattibilità Geologica individuata sono state attribuite specifiche prescrizioni, relative anche agli aspetti sismici del territorio comunale, riportate all'interno delle "*Norme Geologiche di Piano*", riassunte in modo schematico nella tabella presentata in calce a dette norme ed all'interno della Tav. 8.

L'attribuzione delle Classi di Fattibilità Geologica al territorio comunale di Malagnino è avvenuta attraverso le due fasi successive previste dalla D.G.R. 7374/2008, di seguito descritte.

## **7.2 FASE 1: ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI INGRESSO ALLE CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA**

Seguendo le indicazioni della D.G.R. 7374/2008, ad ogni ambito territoriale omogeneo individuato all'interno della "*Carta di Sintesi*", soggetto a specifici fenomeni che ne determinano condizioni di pericolosità e vulnerabilità, è stato attribuito un valore di ingresso, riportato nella Tabella 1 della citata delibera, corrispondente al fattore di vulnerabilità e/o pericolosità in essa rilevato, propedeutico alla definitiva attribuzione delle Classi di Fattibilità Geologica (Fase 2).

All'interno del territorio comunale di Malagnino sono state individuate le seguenti condizioni previste nella citata tabella:

### ***Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico***

Aree a bassa soggiacenza della falda – Classe di ingresso **3**.

### ***Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche***

Aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante – Classe di ingresso **3**.

Aree con riporti di materiale, aree colmate (discarica) – Classe di ingresso **3**.

In riferimento alle aree soggette a vincolo idrogeologico, a vincolo paesaggistico ed a vincolo idraulico e/o di Polizia Idraulica, come riportato nel precedente capitolo, non è prevista l'attribuzione di un'apposita Classe di Fattibilità Geologica, essendo esse soggette a specifica disciplina normativa; tali aree, pertanto, assumeranno la Classe di Fattibilità Geologica del territorio al quale appartengono, definita esclusivamente in funzione delle caratteristiche geologiche e/o idrogeologiche dello stesso.

Sulla base delle considerazioni sopra espresse, vengono di seguito presentate le Classi di Fattibilità Geologica assegnate in via definitiva al territorio comunale di Malagnino.

### **7.3 FASE 2: ATTRIBUZIONE DEFINITIVA DELLE CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA**

In riferimento all'attribuzione delle Classi di Fattibilità Geologica al territorio comunale, si ritiene di poter confermare la Classe di ingresso **3** adottata nella Fase 1 relativamente alle aree a bassa soggiacenza della falda freatica ed alle aree caratterizzate da terreni che presentano limitata capacità portante, mentre si ritiene di dovere assegnare una Classe di Fattibilità Geologica superiore, ovvero la Classe **4**, alla porzione di territorio interessata dalla presenza della discarica di rifiuti non pericolosi.

Si è ritenuto opportuno inoltre suddividere la Classe di Fattibilità Geologica **3** in sottoclassi, in ognuna delle quali rientrano ambiti territoriali caratterizzati da uno specifico fenomeno che ne determina condizioni di pericolosità e/o vulnerabilità diversificate.

Pertanto, vengono di seguito presentate le Classi di Fattibilità Geologica definitive attribuite al territorio comunale di Malagnino.

#### **Classe 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni**

Aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Caratterizza la porzione occidentale del territorio comunale, in corrispondenza della quale si rilevano valori di soggiacenza della falda freatica generalmente superiori a m. 4,00 da p.c., che permettono di limitare e/o escludere interferenze con eventuali volumetrie interrato di progetto.

I terreni di fondazione presentano livelli superficiali prevalentemente argillosi e/o argilloso-limosi, ai quali seguono in profondità materiali a componente sabbiosa prevalente con discrete/buone proprietà geologico-tecniche, ed ai quali è stato attribuito un giudizio di *“sufficiente / buono”*.

Questi terreni, ad esclusione del livello di copertura con scadenti proprietà geomeccaniche, sono compatibili con l'adozione di strutture di fondazione superficiali ed i cedimenti teorici previsti, peraltro poco significativi, si esauriscono generalmente in corso d'opera in seguito alla progressiva applicazione dei carichi.

#### **Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

Aree nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

E' stata assegnata alla porzione del territorio comunale caratterizzata da valori di soggiacenza della falda freatica generalmente compresi tra m. 2,00 e m. 4,00 dal p.c., pertanto nel caso di realizzazione di volumetrie interrato dovranno essere previste opportune campagne di monitoraggio del livello freatico al fine di valutare e verificare eventuali interferenze tra le acque sotterranee e le strutture di fondazione delle opere in progetto.

I terreni di fondazione sono in linea generale caratterizzati da uno strato superficiale di natura prevalentemente argillosa e/o limoso-argillosa con caratteristiche geologico-tecniche ritenute comunque “*sufficienti*” a sopportare i carichi applicati dalla maggior parte delle sovrastrutture.

Al di sotto di detto livello, i depositi sono caratterizzati in prevalenza da materiali sabbiosi e sabbioso-limosi che risultano in generale adeguati all'adozione di fondazione dirette, essendo previsti per essi valori di capacità portante compatibili con i sovraccarichi applicati dalle tipologie di opere più comuni, e cedimenti assoluti e/o differenziali poco significativi.

### **Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni**

Aree 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 e/o vulnerabilità individuate.

La Classe di Fattibilità Geologica 3, che caratterizza alcune porzioni del territorio comunale, viene suddivisa in 3 sottoclassi, in funzione del fenomeno che maggiormente caratterizza le aree in esse ricadenti.

#### **Sottoclasse 3a: aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico**

Rappresenta l'area localizzata a nord-est rispetto al centro abitato di Malagnino, al confine con il Comune di Gadesco Pieve Delmona, caratterizzata da una soggiacenza della falda freatica generalmente inferiore a 2,00 m dal p.c.; tale condizione impone una dettagliata valutazione dell'interferenza tra le acque sotterranee e le strutture di fondazione, nonché il controllo delle venute d'acqua durante la realizzazione degli scavi.

Relativamente alle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni di fondazione, sono in generale da “*sufficienti*” a “*buone*”, essendo caratterizzati in prevalenza da materiale superficiale limoso-argilloso e/o limoso, che passa a sabbioso e sabbioso-limoso in profondità, compatibile con l'adozione di strutture di fondazione superficiali e con i sovraccarichi applicati al terreno dalla maggior parte delle opere; in corrispondenza di essi non sono previsti significativi fenomeni di cedimento.

### **Sottoclasse 3b: aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche**

Ricadono all'interno di questa sottoclasse le aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche, caratterizzate da terreni superficiali (tra -1,00 m e -2,50 m da p.c.) di natura prevalentemente argillosa, limosa e limoso – argillosa, inadeguate a sopportare i sovraccarichi, anche di modesta entità, trasmessi ad essi attraverso le strutture di fondazione.

La compressibilità del materiale argilloso è tale da determinare, per il campo di tensioni più frequentemente trasmesse al terreno, cedimenti assoluti e differenziali significativi, sia in condizioni sismiche che non sismiche, potenzialmente incompatibili con la stabilità delle sovrastrutture.

Le zone in oggetto sono state rilevate a nord della Via Postumia, in corrispondenza della porzione orientale dell'abitato di Malagnino, e nella parte meridionale del territorio comunale, in corrispondenza ed a sud della frazione S. Michele.

### **Sottoclasse 3c: fascia di rispetto di 200m dalla discarica in località Cassinetto**

E' stata assegnata alla fascia di territorio che si estende sino ad una distanza di m. 200 dalla discarica di rifiuti non pericolosi di località Cassinetto.

Poiché le discariche risultano definite, ai sensi del D.M. 23 dicembre 1976 "*Elenco delle industrie insalubri di cui all'art. 216 del Testo Unico delle leggi sanitarie*", come "industrie insalubri", la distanza tra l'impianto ed eventuali aree residenziali non può essere inferiore a 100 m; per un criterio di opportunità, l'ampiezza della fascia di rispetto è stata aumentata a 200 m, così come suggerito in letteratura, anche in relazione alla presenza di fasce filtro alberate, presenti con continuità lungo l'intero perimetro dell'impianto.

La L.R. 01/07/1993 n° 21 esclude la realizzazione di pozzi per qualsiasi finalità, se non funzionali all'impianto, entro una distanza minima di 200 m.

### **Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni**

Rappresenta l'area della discarica di rifiuti non pericolosi in località Cassinetto, delimitata dalla relativa recinzione, che comprende le vasche di accumulo dei rifiuti e le aree di servizio poste al perimetro delle stesse ove sono localizzati, fuori terra e all'interno di idonee vasche di contenimento in calcestruzzo, i serbatoi di stoccaggio del percolato e gli impianti di aspirazione e combustione del biogas, nonché di utilizzazione dello stesso per la produzione di energia elettrica.

\* \* \* \*

Nel capitolo che segue si riportano le “*Norme Geologiche di Piano*”, che contengono la normativa d’uso associata ad ognuna delle Classi di Fattibilità Geologica attribuite al territorio comunale di Malagnino, e le corrispondenti indicazioni relative alle indagini di approfondimento da realizzare prima degli interventi urbanistici.

Inoltre, per le aree appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale PSL individuati in territorio comunale, si riporta la normativa sismica di riferimento e le modalità di applicazione della stessa in funzione dei risultati emersi nel corso dello studio.

## **8. NORME GEOLOGICHE DI PIANO**

### **ART. 1**

Il Comune di Malagnino è tenuto ad informare i Soggetti Attuatori delle previsioni dello strumento urbanistico, denominato “*Piano di Governo del Territorio (P.G.T.)*”, sulle limitazioni derivanti dalla classificazione di fattibilità assegnata e dalle prescrizioni contenute all’interno delle “*Norme Geologiche di Piano*”, e ne deve garantire il rispetto.

### **ART. 2**

Le “*Norme Geologiche di Piano*” devono essere riportate integralmente all’interno del “*Documento di Piano*” del P.G.T. e del “*Piano delle Regole*” del P.G.T..

### **ART. 3**

Le indagini e gli approfondimenti prescritti per tutte le Classi di Fattibilità Geologica e per le aree PSL Z2 e PSL Z4a devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi, in quanto propedeutici alla pianificazione dell’intervento ed alla progettazione stessa.

### **ART. 4**

Copia delle indagini di cui all’ art. 3, della relazione geologica e della relazione geologico-tecnica o geotecnica obbligatoria di supporto, deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione di Variante Generale al P.G.T., di Variante Parziale al P.G.T., dei Piani Attuativi, dei Programmi Integrati di Intervento, e di tutti gli interventi edilizi che apportino variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione.

### **ART. 5**

Il riferimento normativo principale relativamente alla progettazione, all’esecuzione ed al collaudo di tutte le tipologie di costruzioni è rappresentato dal D.M. 14-01-2008, “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”.

Per le costruzioni di tipo 1 e 2 e classe d’uso I e II, così come definite nel D.M. 14-01-2008, è ammesso il riferimento al D.M. 11-03-1988 “*Norme Tecniche per i terreni, le rocce e la stabilità dei pendii*” e relativa c.m. 24-09-1988 n. 30483, nonché al D.M. 16-01-1996 “*Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche*” e relativa c.m. 10-04-1997 n. 65/AA.GG per la valutazione delle azioni sismiche.

Il rispetto delle disposizioni del D.M. 14-01-08 è in ogni caso obbligatorio per gli edifici ed opere strategiche e rilevanti di nuova previsione, il cui elenco, approvato con D.d.u.o. 21 novembre 2003 n° 19904, viene riportato in art. 14.

#### **ART. 6**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni**

Per le aree ricadenti in questa classe, qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione dovrà essere preceduto da specifiche indagini geologiche e geologico-tecniche, dirette e/o indirette, finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico del sito e del modello geotecnico del sottosuolo, necessari alla progettazione ed alle verifiche di sicurezza e delle prestazioni delle opere in progetto.

Le analisi geologiche del territorio, i metodi ed i risultati delle indagini geologiche e geologico-tecniche realizzate dovranno essere compiutamente esposti e commentati in una relazione geologica ed in una relazione geologico-tecnica o geotecnica, a firma di professionista abilitato iscritto all'Albo.

All'interno della relazione geologico-tecnica o geotecnica dovrà essere riportata in modo dettagliato la verifica della capacità portante dei terreni di fondazione e la valutazione relativa ai cedimenti teorici assoluti e differenziali indotti dalle opere in progetto, utilizzando il "metodo alle tensioni ammissibili" oppure il "metodo agli stati limite", in funzione del riferimento normativo adottato.

Il numero, l'estensione e la tipologia delle indagini dovranno essere opportunamente previste e programmate dal tecnico incaricato, in funzione dell'opera in progetto e della dimensione dell'area di intervento.

Le aree in oggetto ricadono all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, per il quale la normativa vigente è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi non è necessaria in fase di progettazione l'applicazione del 3° livello di approfondimento, fermo restando l'obbligo del rispetto delle disposizioni riportate in precedenza.

In riferimento agli edifici ed alle opere strategiche e rilevanti di nuova previsione, è obbligatoria l'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, nel rispetto delle disposizioni del D.M. 14-01-08.



In riferimento a tutte le altre tipologie di opere, sarà compito del tecnico incaricato, a sua discrezione e sotto la propria responsabilità, valutare la possibilità di un'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche qualora la litologia rilevata attraverso le indagini realizzate sia potenzialmente suscettibile al fenomeno.

Le indagini e gli approfondimenti di cui sopra dovranno essere realizzati secondo la normativa di cui all'art. 5.

#### **ART. 7**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

Per le aree ricadenti in questa classe, per qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione valgono le medesime indicazioni riportate in art. 6.

In aggiunta, in caso di interventi che prevedono la realizzazione di piani interrati, dovrà essere prevista l'installazione di almeno un piezometro, attraverso il quale si procederà alla misurazione del livello piezometrico della falda freatica superficiale ed alla verifica delle sue variazioni nel tempo.

La realizzazione di volumetrie interrate dovrà essere accompagnata dalla descrizione, nell'ambito della relazione geologica/idrogeologica obbligatoria di supporto, delle indagini volte a definire la soggiacenza minima della falda freatica superficiale all'interno dell'area in esame, nonché delle metodologie utilizzate per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto (impermeabilizzazioni, tecniche di abbattimento della falda freatica in fase di cantiere,...).

Le aree in oggetto ricadono all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a; per esse valgono le indicazioni riportate in art. 6.

#### **ART. 8**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 3 / Sottoclasse 3a – Fattibilità con consistenti limitazioni**

Per le aree ricadenti in questa sottoclasse, valgono le indicazioni riportate in art. 6 ed in art. 7.

In aggiunta, dovrà essere prevista in ogni caso l'installazione di almeno un piezometro, attraverso il quale si procederà alla misurazione del livello piezometrico della falda freatica superficiale ed alla verifica delle sue variazioni nel tempo.

La realizzazione delle strutture di fondazione, nonché di eventuali volumetrie interrato, che si ritiene di sconsigliare, dovrà essere accompagnata dalla descrizione, all'interno della relazione geologica obbligatoria di supporto, delle indagini volte a definire la soggiacenza minima della falda freatica superficiale all'interno dell'area in esame, nonché delle metodologie utilizzate per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto (impermeabilizzazioni, tecniche di abbattimento della falda in fase di cantiere,...).

Le aree in oggetto ricadono all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a; per esse valgono le indicazioni riportate in art. 6.

#### **ART. 9**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 3 / Sottoclasse 3b – Fattibilità con consistenti limitazioni**

Per le aree ricadenti in questa sottoclasse, valgono le indicazioni riportate in art. 6 ed in art. 7.

In particolare, dovranno essere previsti rilievi approfonditi relativamente ai terreni di fondazione, al fine di individuare i livelli che presentano scadenti caratteristiche geologico-tecniche, inadeguati ai sovraccarichi applicati e potenzialmente soggetti al verificarsi di cedimenti assoluti e differenziali, con conseguente diminuzione della stabilità delle opere realizzate in superficie.

Le aree in oggetto ricadono all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z2; solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, di cui al D.d.u.o. 19904/2003, è obbligatoria in fase di progettazione l'applicazione del 3° livello di approfondimento, di cui alla d.g.r. 7374/2008, ferma restando la facoltà del Comune di estenderlo anche ad altre categorie di edifici.

#### **ART. 10**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 3 / Sottoclasse 3c – Fattibilità con consistenti limitazioni**

Per le aree circostanti la discarica R.S.U. – R.S.A. in località Cassinetta è stata proposta una fascia di rispetto di 200 m, posta al contorno della recinzione dell'impianto della discarica in esercizio.

Entro queste aree è consentito esclusivamente l'utilizzo agricolo dei suoli.

La L.R. n° 21 dell'01/07/1993 vieta l'escavazione di pozzi per qualsiasi finalità entro quella fascia di rispetto.

#### **ART. 11**

##### **Classe di Fattibilità Geologica 4 – Fattibilità con gravi limitazioni**

All'interno dell'area della discarica di rifiuti non pericolosi in località Cassinetta sono esclusivamente consentite le opere funzionali all'impianto.

## ART. 12

### **Vincolo idrogeologico**

In corrispondenza dei pozzi pubblici ad uso idropotabile a servizio dell'acquedotto comunale, presenti in corrispondenza del centro abitato di Malagnino, dovranno essere rispettate le seguenti zone di vincolo idrogeologico previste all'interno del D.lgs. 3 aprile 2006 n° 152.

Fascia di tutela assoluta: 10 m

Fascia di rispetto: 200 m

## ART. 13

### **Vincolo paesaggistico**

Il Dugale Delmona Tagliata, iscritto nell'“*Elenco delle Acque Pubbliche*” della Provincia di Cremona al n° 51, di cui alla D.G.R. 25 luglio 1986 n° 4/12028, è sottoposto a vincolo paesaggistico per una fascia di 150 metri da entrambe le sponde, e soggetto alle disposizioni della Parte Terza - Titolo I del D.lgs. 22-01-04 n. 42, al quale si rimanda.

## ART. 14

Elenco degli edifici strategici e rilevanti di cui al Decreto Dirigenziale della Regione Lombardia D.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904.

**a) Edifici ed opere strategiche:** categorie di edifici e di opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza regionale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione regionale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione provinciale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione comunale (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Edifici destinati a sedi di Comunità Montane (prioritamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Strutture non di competenza statale individuate come sedi di sale operative per la gestione delle emergenze (COM, COC, ecc.).
- Centri funzionali di protezione civile.
- Edifici ed opere individuate nei piani di emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza.
- Ospedali e strutture sanitarie, anche accreditate, dotati di Pronto Soccorso o dipartimenti d'emergenza, urgenza ed accettazione.
- Sedi Aziende Unità Sanitarie Locali (limitatamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza).
- Centrali operative 118.

**b) Edifici ed opere rilevanti:** categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

### **Edifici**

- Asili nido e scuole, dalle materne alle superiori (sia pubbliche che private).
- Strutture ricreative (ivi compresi gli oratori), sportive e culturali, locali di spettacolo ed intrattenimento in genere.
- Edifici aperti al culto non rientranti tra quelli di cui all'allegato 1, elenco B, punto 1.3 del decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, n. 3685 del 21 ottobre 2003.
- Strutture sanitarie e/o socio assistenziali con ospiti non autosufficienti (ospizi, orfanotrofi, ecc.).
- Edifici e strutture aperti al pubblico destinate all'erogazione dei servizi, adibiti al commercio (centri commerciali), suscettibili di grande affollamento.

### **Opere infrastrutturali**

- Punti sensibili (ponti, gallerie, tratti stradali, tratti ferroviari) situati lungo strade "strategiche" provinciali e comunali non comprese tra la "grande viabilità" di cui al citato documento del Dipartimento della Protezione Civile nonché quelle considerate "strategiche" nei piani di emergenza provinciali e comunali.
- Stazioni di linee ferroviarie a carattere regionale (FNM, metropolitane).
- Porti, aeroporti ed eliporti non di competenza statale individuati nei piani di emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza.
- Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica.
- Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di materiali combustibili (oleodotti, gasdotti, ecc.).
- Strutture connesse con il funzionamento di acquedotti locali.
- Strutture non di competenza statale connesse con i servizi di comunicazione (radio, telefonia fissa e portatile, televisione).
- Strutture a carattere industriale, non di competenza statale, di produzione e stoccaggio di prodotti insalubri e/o pericolosi.
- Opere di ritenuta di competenza statale.

\* \* \* \* \*

Si fornisce di seguito la tabella riassuntiva delle prescrizioni indicate per le aree attribuite alle Classi di Fattibilità Geologica all'interno del territorio comunale di Malagnino, riportata anche nella Tav. 8 "*Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano e Classi di Fattibilità*".

**TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PRESCRIZIONI RELATIVE ALLE CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA**

Classe	C1	C2	C3			C4	PRESCRIZIONI
Sottoclasse			3 a	3 b	3 c		
	X	X	X	X			Qualsiasi intervento edificatorio che apporti variazioni dei sovraccarichi di progetto applicati ai terreni di fondazione attraverso le strutture di fondazione dovrà essere preceduto da specifiche indagini geologiche, dirette e/o indirette, finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico del sito di intervento, dettagliatamente analizzato e descritto all'interno di una relazione geologica, a firma di tecnico abilitato iscritto all'Albo. Riferimenti normativi: D.M. 14-01-08, D.M. 16-01-96 e relativa c.m. 65-97, D.M. 11-03-88 e relativa c.m. 30483-88.
	X	X	X	X			Indagini geologico-tecniche, dirette e/o indirette, finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo, necessario alla progettazione ed alle verifiche di sicurezza e delle prestazioni delle opere in progetto, dettagliatamente analizzato e descritto all'interno di una relazione geologico-tecnica o geotecnica, a firma di tecnico abilitato iscritto all'Albo. All'interno della relazione geologico-tecnica o geotecnica dovrà essere riportata in modo dettagliato la verifica della capacità portante dei terreni di fondazione e la valutazione relativa ai cedimenti teorici assoluti e differenziali indotti dalle opere in progetto, utilizzando il "metodo alle tensioni ammissibili" oppure il "metodo agli stati limite", in funzione del riferimento normativo adottato. Riferimenti normativi: D.M. 14-01-08, D.M. 16-01-96 e relativa c.m. 65-97, D.M. 11-03-88 e relativa c.m. 30483/88.
		X	X	X			In caso di interventi che prevedano la realizzazione di piani interrati, posa di almeno un piezometro per la misura del livello piezometrico della falda freatica superficiale e delle relative escursioni nel tempo, nonché l'indicazione delle metodologie utilizzate per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto (impermeabilizzazioni, abbattimento della falda freatica in fase di cantiere).
			X				Deve essere prevista in ogni caso l'installazione di almeno un piezometro, attraverso il quale si procederà alla misurazione del livello piezometrico della falda freatica superficiale ed alla verifica delle sue variazioni nel tempo. La realizzazione delle strutture di fondazione, nonché di eventuali volumetrie interrate, che si ritiene di sconsigliare, dovrà essere accompagnata dalla descrizione, all'interno della relazione geologica obbligatoria di supporto, delle indagini volte a definire la soggiacenza minima della falda freatica superficiale all'interno dell'area in esame, nonché delle metodologie utilizzate per escludere eventuali interferenze reciproche tra le acque sotterranee e le opere in progetto.
				X			Rilievi approfonditi al fine di individuare i livelli che presentano scadenti caratteristiche geologico-tecniche, inadeguati ai sovraccarichi applicati e potenzialmente soggetti al verificarsi di cedimenti assoluti e differenziali, con conseguente diminuzione della stabilità delle opere realizzate in superficie.
	X	X	X				Aree appartenenti allo scenario PSL Z4a: la normativa vigente è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi non è necessaria in fase di progettazione l'applicazione del 3° livello di approfondimento, fermo restando l'obbligo delle disposizioni previste per ciascuna classe di fattibilità geologica.
				X			Aree appartenenti allo scenario PSL Z2: al loro interno, solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione, di cui al D.d.u.o. 19904/2003, ferma restando la facoltà del Comune di estenderlo anche ad altre categorie di edifici, è obbligatoria in fase di progettazione l'applicazione del 3° livello di approfondimento, di cui alla d.g.r. 7374/2008.
	X	X	X	X			In riferimento agli edifici ed alle opere strategiche e rilevanti di nuova previsione, è obbligatoria l'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, nel rispetto delle disposizioni del D.M. 14-01-08. In riferimento a tutte le altre tipologie di opere, sarà compito del tecnico incaricato, a sua discrezione e sotto la propria responsabilità, valutare la possibilità di un'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche qualora la litologia rilevata attraverso le indagini realizzate sia potenzialmente suscettibile al fenomeno.
					X		Fascia di rispetto dalla discarica di 200 m, in località Cassineto. Fascia di rispetto di 200 m posta al contorno della recinzione dell'impianto di discarica RSU – RSA (rifiuti non pericolosi). E' consentito esclusivamente l'utilizzo agricolo dei suoli. La L.R. 01/07/1993 n. 21 vieta l'escavazione di pozzi per qualsiasi finalità entro quella fascia di rispetto.
						X	Area dell'impianto di discarica R.S.U. – R.S.A. (rifiuti non pericolosi) in località Cassineto. Sono esclusivamente consentite le opere funzionali all'impianto.

## **9. CLIMATOLOGIA**

### **9.1 PREMESSA**

La climatologia dell'area in esame si inquadra nell'ampio settore definito della Pianura Padana, che rappresenta il contenitore di riferimento cui fanno capo le principali linee di tendenza.

Per quanto concerne le statistiche meteorologiche, il territorio padano viene suddiviso in bacini imbriferi principali, che comprendono a loro volta i bacini imbriferi di più corsi d'acqua secondari, che rappresentano le aree di naturale raccolta e deflusso delle precipitazioni.

Il Comune di Malagnino rientra nel vasto bacino imbrifero "Padano-Atesino", e, entro quest'ultimo, nel bacino secondario "sinistra medio Po", cui viene attribuito un regime mediterraneo caratterizzato da estati calde e siccitose con primavere instabili e particolari caratteristiche dinamiche che determinano frequenti precipitazioni interrotte da schiarite improvvise e mutevoli cambiamenti della direzione dei venti. Le temperature estive si presentano costantemente elevate, con accentuata umidità, pur alternando periodi di vento e siccità.

Le più maggiori perturbazioni stagionali si verificano nel periodo autunnale; esse presentano talora notevole violenza e si prolungano spesso anche nel periodo invernale: si tratta del periodo delle maggiori perturbazioni cicloniche che introducono un'accentuata variabilità dei venti e dei fenomeni derivanti, quali le persistenti nebbie intervallate da giorni sereni e limpidi cui si possono associare brinate, gelate e, talora, precipitazioni nevose.

Durante l'inverno, i venti provengono generalmente dalle direzioni nord occidentali, subendo, sulla Pianura Padana, un rallentamento determinato dall'azione di contrasto dell'anticiclone orientale: l'aria continentale diventa quindi particolarmente fredda, l'umidità è accentuata, le temperature diventano rigide e le piogge scarse; in queste condizioni diventano frequenti le nebbie, le brinate e le gelate.

In primavera prevale una circolazione da sudovest in un sistema depressionario che richiama nella pianura masse d'aria umida mediterranea ed atlantica che determinano abbondanti precipitazioni.

L'estate è dominata dalle alte pressioni o da quelle livellate, che riducono la circolazione delle masse d'aria e ne determinano il prevalente ristagno e riscaldamento, cui fa eccezione l'infiltrazione

di aria fresca di provenienza alpina, che determina la possibilità, prevalentemente a scala locale, di manifestazioni a carattere temporalesco anche violente.

In autunno, l'area è soggetta alla circolazione, perlopiù proveniente dai quadranti occidentali, derivante dalla ricorrente depressione mediterranea che produce l'ingresso di aria umida con andamento ovest-est con produzione di precipitazioni generalmente abbondanti.

Con particolare riferimento al territorio cremonese, l'analisi dei dati relativa ai principali elementi climatici, quali temperatura ed entità delle precipitazioni, viene qui riferita ai dati termopluviometrici della stazione di riferimento di Cremona, posta alla quota di 45 m s.l.m., della quale sono risultate reperibili le rilevazioni mensili del periodo compreso tra il 1961 ed il 1990.

Risultano registrate, in corrispondenza di tale stazione, oltre alle precipitazioni, anche le temperature massime e minime.

Per completare il quadro complessivo, si è fatto riferimento anche ai dati e alle considerazioni espresse nell'annuario di statistiche meteorologiche dell'Istituto Centrale di Statistica (Vol. XXIII ed. 1983 e Vol. XXVIII ed. 2000), oltre a quanto più recentemente pubblicato nei già citati "Contributo allo studio delle acque della Provincia di Cremona", a cura di B. Loffi (Provincia di Cremona, 1996), ed allo "Studio idrogeologico della Provincia di Cremona", A.C.A. – Pitagora Editrice.

## **9.2 REGIME TERMICO E PLUVIOMETRICO DELL'AREA IN ESAME**

In base ai dati relativi alle temperature ed alle precipitazioni riportati nelle fonti bibliografiche ricordate in premessa, è stato possibile elaborare e fornire il materiale di seguito allegato:

All. 1	Media delle temperature (°C) e delle precipitazioni mensili (mm) registrate alla stazione di Cremona nel periodo 1961-1990
All. 2	Precipitazioni totali annue (mm) registrate alla stazione di Cremona nel periodo 1961-1990
All. 3	Precipitazioni medie mensili (mm) registrate a Cremona nel periodo 1961-1990
All. 4	Precipitazioni totali annue (mm) registrate a Cremona nel periodo 1961-1990
All. 5	Regime termico medio (°C) alla stazione di Cremona nel periodo 1961-1990
All. 6	Temperature medie e massime/minime assolute registrate a Cremona nel periodo 1974-1993
All. 7	Temperature medie annue registrate a Cremona nel periodo 1974-1993
All. 8	Diagramma dei venti al suolo a Cremona riferito alle medie dei quinquennio 1968-1973
All. 9	Diagramma dei venti per direzione di provenienza e velocità giornaliera media dei valori negli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate
All. 9 bis	Diagramma dei venti per direzione di provenienza e frequenza giornaliera media nell'anno 1998, riferita alla media dei valori negli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate
All. 10	Altri fenomeni meteorologici (neve-rovesci-temporali-grandine-brina-rugiada-nebbia) registrati nel corso del 1982 negli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate
All. 11	Tabella della frequenza di alcuni fenomeni meteorologici, nell'anno 1998, riferiti agli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate



### **9.3 REGIME PLUVIOMETRICO**

Analizzando i valori medi delle precipitazioni registrati alla stazione di Cremona nel trentennio 1961-1990, si rilevano valori piuttosto omogenei nei primi mesi dell'anno, con un graduale aumento della quantità di pioggia caduta nella stagione primaverile, in cui si raggiunge un primo massimo relativo in aprile-maggio, seguito dal minimo relativo di luglio e da un'ulteriore marcata crescita dei valori ad agosto, dovuta quest'ultima ai frequenti eventi temporaleschi che possono prolungarsi anche a settembre.

I primi mesi dell'autunno sono caratterizzati dalle più elevate precipitazioni, con il massimo assoluto ad ottobre e abbondanti precipitazioni a novembre.

Nel lungo periodo considerato, il regime delle precipitazioni medie mensili registrate conferma le considerazioni espresse in premessa.

Risulta inoltre significativa la notazione che il valore delle precipitazioni medie massime registrate nel periodo autunnale risulta pressoché doppio rispetto a quello dei periodi più siccitosi, che si rilevano nel periodo di febbraio e di luglio (All. 1 – 3).

In ordine alle precipitazioni totali annue del territorio considerato (All. 2 – 4), risulta che i valori registrati alla stazione di Cremona sono decisamente variabili, passando da un minimo di 568 mm nel 1967 ad un massimo di 1.137 mm nel 1963; il valore medio del trentennio è di 774,4 mm.

### **9.4 REGIME TERMICO**

Facendo riferimento ai dati riportati nella cartografia relativa al periodo 1926-1955, estesa a tutto il bacino del fiume Po (Ministero dei Lavori Pubblici, 1996), il settore settentrionale della Provincia di Cremona risulta interessato dall'isoterma media annua di 13°C; quella del mese più caldo, luglio, è di circa 24°C, mentre quella del mese più freddo, gennaio, è compresa tra 0°C e 2°C.

Attraverso i dati disponibili della stazione di rilevamento di Cremona per il periodo 1961-1990, di cui sono state riportate all'All. 1 le temperature medie mensili, è stato costruito il grafico di cui all'All. 5 che evidenzia il regime termico annuo medio.

Si confermano così, anche in sede locale e per il trentennio successivo, i dati più generali già citati per il trentennio precedente, con valori medi delle temperature minime di gennaio di 1,1°C e delle temperature massime medie di luglio pari a 23,9°C; la temperatura media sull'intero periodo dell'anno è di 13,3°C.

A completamento dell'analisi espressa, vengono riportati, in All. 6, i valori significativi delle temperature registrate a Cremona nel periodo 1974–1993; vi si rilevano le temperature medie annue e quelle massime e minime assolute.

In All. 7 si evidenzia l'andamento delle temperature medie annue del ventennio considerato.

Gli scostamenti più significativi, rispetto al valore medio del ventennio (13,2°C), sono quello relativo al 1981 (15 °C) e quello del 1985 (12,1°C).

## **9.5 CARATTERISTICHE ANEMOMETRICHE**

In assenza di dati rilevati in sede locale, si forniscono i principali elementi relativi alla stazione di Cremona (All. VIII); questi sono riferiti ai valori registrati in un periodo piuttosto breve e lontano nel tempo, si tratta infatti dei valori del vento al suolo riferiti alla media del quinquennio 1968-1972, espressa attraverso la frequenza percentuale dei giorni di vento dalle direzioni indicate.

I valori più elevati della frequenza sono attribuiti a venti orientali ed occidentali con prevalenza dei primi; le percentuali danno il 23% per i venti provenienti da est ed il 18% per quelli da ovest.

Le calme sono rappresentate dal 18%, in larga misura attribuibili alle stagioni estiva ed invernale.

L'intensità del vento è generalmente bassa, con valori che raramente raggiungono i 16 Km/h e solo sporadicamente superano i 35 Km/h.

Le punte massime delle raffiche di vento sono comunque contenute al di sotto dei 100 Km/h e sono attribuite ai venti da NE e SE.

Negli All. IX e IX bis sono riportati, invece, gli schemi relativi ai valori ottenuti nell'anno 1998 dalla media dei dati forniti dagli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate.

I massimi valori di frequenza, in questo caso, si ottengono con i venti provenienti da O (14,5%) e da E (12%); le calme risultano avere valori medi pari al 26%.

I più alti dati di velocità si hanno, invece, con i venti di provenienza da NO, con valori di 2,4 m/s (8,6 Km/h) ed E e SE, con valori di 2,3 m/s (8,3 Km/h)

## 9.6 ALTRI FENOMENI METEOROLOGICI

Vengono fornite, negli All. 10 e 11, le indicazioni relative ai fenomeni meteorologici di altra natura, quali neve, rovesci, temporali grandine, brina, rugiada e nebbia, rilevati, in mancanza di dati registrati localmente, nei principali aeroporti delle località prossime a quella in esame.

I valori riportati in tabella sono espressi in “*Annuario di statistiche meteorologiche*” (Vol. XXIII ed 1983 e Vol. XXVIII ed 2000) ed indicano la frequenza in giorni dei fenomeni verificatisi nel corso del 1982 e del 1998 negli aeroporti di Piacenza S. Damiano, Bergamo Orio al Serio, Brescia Ghedi, Milano Linate).

### **Bibliografia:**

E.R.S.A.L. (1985) – “*Censimento delle strutture di rilevamento meteorologico in Lombardia*”, Milano.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO IDROGRAFICO (1966) – “*Carta delle temperature medie annue vere in Italia: trentennio 1926-1955*”, Roma.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO IDROGRAFICO (1959) – “*Precipitazioni medie mensili annue e numero di giorni piovosi per il trentennio 1921-1959: bacino del Po*”, Pubbl. n°24/142, Roma.

ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA (1985) – “*Annuario di statistiche meteorologiche, vol.XXIII*”, ed. 1983, Roma.

ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA (2000) – “*Annuario di statistiche meteorologiche, vol.XXVIII*”, ed. 2000, Roma.

OTTONE C., ROSSETTI R. (1980) – “*Condizioni termopluviometriche delle Lombardia*”, Atti Ist. Geologia Univ. Pavia, vol XXIX, Pavia.

PROVINCIA DI CREMONA (1996) – “*Contributo allo studio delle acque della Provincia di Cremona*”, a cura di B. Loffi.

BERETTA G.P., FRANCANI V., FUMAGALLI L. (1992) – “*Studio Idrogeologico della Provincia di Cremona*”, Collana Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora editrice, Bologna.

Cremona, marzo 2010

Dott. Geol. Giuseppe Malerba