

# *Documento di Piano del Piano di governo del territorio ex. art. 9 della Lr. 12/2005 s.m.i.*

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA**

## **Relazione illustrativa**



*Gruppo di lavoro:*

*dott. geol. Ermanno Dolci (Responsabile tecnico)*

*dott.ssa Caterina Melandri*

*dott. Davide Gotti*

*dott. Nicola Pigazzini*

*dott. Gianfranco Camana*

Staff del Comune di Martinengo:

Dott. avv. Paolo Nozza (sindaco)

Enzo Bendoricchio (assessore ai Lavori pubblici, patrimonio, manutenzioni, edilizia privata)

Fabiano Fratus (assessore all'Ecologia, ambiente, agricoltura e sport)

Dott. avv. Annalisa di Piazza (direttore generale e segretario generale)

Dott. arch. Mauro De Simone (responsabile del procedimento per la formazione del Pgt)

Dott. iunior Cristian Bono (Area 3a – Servizi Tecnici)

## **INDICE**

### *Parte I - La componente geologica e la pianificazione urbanistica*

- |           |  |          |
|-----------|--|----------|
| <b>1.</b> | <b>La funzione della componente geologica nella pianificazione urbanistica</b> | <b>3</b> |
| <b>2.</b> | <b>Approccio metodologico</b>  | <b>4</b> |

### *Parte II - La fase di analisi territoriale*

- |            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>3.</b>  | <b>Inquadramento geografico</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>4.</b>  | <b>Caratteri geologici</b>  | <b>6</b>  |
| <b>5.</b>  | <b>Caratteri geomorfologici</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>6.</b>  | <b>Caratteri pedologici</b>                                       | <b>10</b> |
|            | 6.1 Capacità d'uso dei suoli                                      | 10        |
|            | 6.2 Attitudine allo spandimento agronomico dei liquami.           | 12        |
| <b>7.</b>  | <b>Caratteri idrografici ed idrologici</b>                        | <b>14</b> |
|            | 7.1 Il fiume Serio  | 14        |
|            | 7.2 Le rogge ed i canali  | 18        |
|            | 7.3 I fontanili   | 19        |
| <b>8.</b>  | <b>Inquadramento meteo climatico</b>                              | <b>22</b> |
|            | 8.1 Precipitazioni e regime pluviometrico                         | 22        |
|            | 8.2 Temperature e regime termico                                  | 27        |
|            | 8.3 Classificazione climatica                                     | 32        |
|            | 8.4 Venti e regime anemometrico                                   | 32        |
|            | 8.5 Evapotraspirazione e bilancio idrico                          | 33        |
| <b>9.</b>  | <b>Caratteri idrogeologici</b>                                    | <b>37</b> |
|            | 9.1 Lineamenti idrogeologici generali                             | 37        |
|            | 9.2 Lineamenti idrogeologici di dettaglio                         | 37        |
|            | 9.3 Morfologia piezometrica                                       | 38        |
|            | 9.4 Le oscillazioni piezometriche                                 | 39        |
|            | 9.5 Opere di captazione   | 40        |
| <b>10.</b> | <b>Analisi della pericolosità sismica</b>                         | <b>42</b> |
|            | 10.1 Generalità   | 42        |
|            | 10.2 Analisi di 1° livello  | 43        |
|            | 10.3 Approfondimento di 2° livello                                | 45        |
| <b>11.</b> | <b>Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata</b> | <b>47</b> |
|            | 11.1 Previsioni del P.A.I.  | 47        |
|            | 11.2 Previsioni del P.T.C.P.                                      | 47        |
|            | 11.3 Previsioni del P.T.U.A.                                      | 47        |

### *Parte III - Fase di sintesi/valutazione*

- |            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>12.</b> | <b>Le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni</b> | <b>50</b> |
| <b>13.</b> | <b>La vulnerabilità della falda freatica</b>             | <b>53</b> |
| <b>14.</b> | <b>La carta di sintesi</b>                               | <b>59</b> |
| <b>15.</b> | <b>Il regime vincolistico</b>                            | <b>60</b> |
|            | 15.1 Il vincolo di polizia idraulica                     | 60        |
|            | 15.2 Le fasce di rispetto dai pozzi ad uso idropotabile  | 60        |

15.3	Le fasce fluviali del P.A.I.	60
------	------------------------------	----

***Parte IV – Fase propositiva***

<b>16.</b>	<b>La carta di fattibilità delle azioni di piano</b>	<b>62</b>
------------	--	-----------

<b>17.</b>	<b>Principali fonti bibliografiche</b>	<b>64</b>
------------	--	-----------

**APPENDICI**

- Appendice A – Indagini geotecniche
- Appendice B – Schede dei fontanili
- Appendice C – Caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica

**ALLEGATI CARTOGRAFICI**

- |  |       |          |
|--|-------|----------|
| - Allegato 1 - Carta geologico-geomorfologica  | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 2 - Carta pedologica  | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 3 - Carta dell'idrografia superficiale  | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 4 - Carta idrogeologica e delle opere di captazione   | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 4A – Sezioni idrogeologiche   |       |          |
| - Allegato 5 - Carta della pericolosità sismica locale   | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 6 - Carta geologico-tecnica   | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 7 - Carta della vulnerabilità della falda freatica  | scala | 1:10.000 |
| - Allegato 8 – Carta di sintesi  | scala | 1:5.000  |
| - Allegato 9 – Carta dei vincoli   | scala | 1:5.000  |
| - Allegato 10 – Carta di fattibilità geologica con gli ambiti<br>soggetti ad amplificazione sismica locale | scala | 1:5.000  |
| - Allegato 11 – Carta di fattibilità geologica in scala 1:10.000 (C.T.R.)                                  |       |          |

**Parte I**

***La componente geologica e la pianificazione urbanistica***

**1. La funzione della componente geologica nella pianificazione urbanistica**

La Regione Lombardia con D.g.r. 18 maggio 1993 - n° 36147, ribadita nella parte introduttiva della D.g.r. 6 agosto 1998 - n. 6/37918, stabilisce che *“la geologia è in grado di offrire al processo progettuale finalizzato ai diversi livelli della pianificazione del territorio un contributo di fondamentale importanza. Essa è infatti un supporto essenziale, correlata ad altre discipline, per fornire la spinta propulsiva ad una effettiva crescita culturale finalizzata alla individuazione delle potenzialità e vocazioni del territorio, anche al fine della prevenzione del rischio idrogeologico, sismico ed ambientale. Si configura inoltre come uno degli strumenti peculiari per una equilibrata gestione dei processi e delle risorse naturali ed ambientali rapportati all’urbanizzazione...”*.

La l.r. 24 novembre 1997 - n° 41 stabilisce, al suo art. 1, che *“ai fini della prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico, i comuni provvedono a verificare la compatibilità fra le previsioni urbanistiche e le condizioni geologiche dei territori interessati...”*.

Con la l.r. 12 del 11 marzo 2005 la componente geologica idrogeologica e sismica del territorio entra a far parte del Documento di Piano come elemento di valutazione per *individuare gli obiettivi di sviluppo, miglioramento e conservazione del territorio ed i limiti e le condizioni in ragione dei quali siano ambientalmente sostenibili*. Essa individua inoltre, all’interno del Piano delle Regole, aree a pericolosità e vulnerabilità omogenee nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime aree sono assoggettate in ordine alle attività di trasformazione territoriale.

Su tale base il Comune di Martinengo ha incaricato la scrivente Società di predisporre l’adeguamento dello studio geologico comunale di supporto alla pianificazione urbanistica, già redatto da questa stessa Società ai sensi della l.r. n. 41/97 nell’ottobre del 2001 e successivamente adottato da codesta Amministrazione.

Il presente aggiornamento è stato predisposto secondo quanto prescritto dalla l.r. 12 del 11 marzo 2005 e ai sensi della 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”*, e successivo aggiornamento di cui alla D.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374.

Il presente adeguamento va quindi ad approfondire alcune tematiche, aggiornare alcune componenti ambientali ed integrare gli aspetti prettamente geologici ed idrogeologici con la componente sismica del territorio.

Si sottolinea che, per semplicità di consultazione, le tematiche del precedente studio redatto ai sensi della l.r. n.41/97 sono state integralmente recepite nel presente in modo da fornire all’Amministrazione Comunale un unico documento di riferimento.

## **2. Approccio metodologico**

L'indagine geologica del territorio comunale ha riguardato l'intero territorio comunale inquadrandolo, per una corretta impostazione metodologica, in un contesto più generale.

Essa si è sostanzialmente articolata in tre fasi.

- Fase di analisi, in cui attraverso rilievi di campagna, nonché tramite l'ausilio della fotointerpretazione, l'esame critico di dati tratti da letteratura specializzata e delle banche dati Regionali, sono state descritte sia l'area ricompresa nel perimetro comunale di Martinengo che le porzioni territoriali al di fuori dei limiti amministrativi del comune stesso ritenute significative, soprattutto per ciò che concerne gli aspetti idrologici e idrogeologici.

Tale fase ha portato alla redazione della cartografia di inquadramento nella quale sono stati illustrati gli aspetti che caratterizzano il territorio comunale dal punto di vista geologico, geomorfologico, pedologico, idrografico, idrogeologico e simico.

A tal proposito si sottolinea che, per quanto concerne la parte pedologica, a parte qualche cenno relativo alle singole unità cartografiche, e alle loro caratteristiche in termini di capacità d'uso e di attitudine allo spandimento agronomico dei liquami, sono state demandate ad un'indagine agronomica dettagliata, le ulteriori analisi e proposte per una gestione ottimale.

- Fase di valutazione, in cui, sulla base dei dati raccolti e analizzati nella fase precedente, si individuano le componenti di vulnerabilità del territorio.

Si è proceduto innanzitutto a dare una caratterizzazione del territorio in termini di parametrizzazione geotecnica del sottosuolo al fine di individuare le eventuali criticità in termini di interazione dei terreni con opere edificatorie tramite la predisposizione di una carta geologico-tecnica.

Si è poi fornita una valutazione del territorio in termini di vulnerabilità all'inquinamento proveniente dalla superficie nei confronti della falda freatica, al fine di individuare le criticità in termini di interazione fra opere edificatorie e attività e le acque sotterranee, mediante la redazione della carta della vulnerabilità dell'acquifero

Si è quindi giunti all'accorpamento di tutte le criticità territoriali analizzate in un unico elaborato cartografico, la carta di sintesi, avente lo scopo di fornire un quadro globale sintetico delle vulnerabilità del territorio esaminato, ed anche delle interferenze fra le varie criticità.

E' stata inoltre redatta la carta dei vincoli, nella quale sono stati rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati di contenuto prettamente geologico.

- Fase propositiva, nella quale è stata valutata la propensione del territorio a subire modifiche d'uso e la compatibilità dell'utilizzo attuale in relazione alle caratteristiche di pericolosità e vulnerabilità individuate nella fase precedente.

Tutto ciò è stato esplicitato nella carta della fattibilità geologica delle azioni di piano e nelle norme geologiche di piano le quali contengono la normativa d'uso della carta di fattibilità ed il richiamo alla normativa derivante dalla carta dei vincoli.

**Parte II**  
**La fase di analisi territoriale**

**3. Inquadramento geografico**

Il territorio comunale di Martinengo è situato nella pianura bergamasca, in sinistra idrografica del fiume Serio ed in corrispondenza della porzione più settentrionale della fascia dei fontanili.

Più precisamente, il territorio in esame è delimitato a N dal Comune di Ghisalba, a NE da Mornico al Serio, a E da Palosco e Civate al Piano, a S da Cortenuova e Romano di Lombardia, a SW da Morengo ed infine a W da Cologno al Serio. Esso è ricompreso nella seguente cartografia ufficiale:

- Foglio n° 33 - “Bergamo” - della carta dell’IGM in scala 1:100.000;
- Foglio n° 97 - “Vimercate” - della carta dell’IGM in scala 1:50.000;
- Fogli C5 “Bergamo” e C6 “Crema-Treviglio” della C.T.R. in scala 1:50.000;
- Tavoletta 46 I S.O. - “Romano di Lombardia” - in scala 1:25.000;
- Sezioni C5c5 e C6c1 della C.T.R. in scala 1:10.000;
- rilievo aerofotogrammetrico comunale.

Il territorio comunale è compreso fra le seguenti coppie di coordinate Gauss-Boaga:

1.557.600÷1.563.345 E;

5.043.040÷5.047.935 N;

ha una superficie pari a circa 22,3 km<sup>2</sup> ed una quota compresa fra i 161 ed i 130 m s.l.m. ca..

Da un punto di vista viabilistico, l’area in esame è interessata da due direttrici viarie principali: la S.S. 498, che unisce Seriate con Martinengo, Romano di Lombardia, Soncino e Cremona, e la S.P. 100, che conduce da Martinengo a Palosco e Palazzolo sull’Oglio.

#### **4. Caratteri geologici**

I caratteri geologici e geomorfologici del territorio comunale sono illustrati nell'**Allegato n.1**.

Per quanto riguarda la geologia, l'area in esame deve le sue attuali caratteristiche litologiche superficiali e morfologiche agli eventi che l'hanno interessata negli ultimi 6 milioni di anni, ossia a partire dal Pliocene superiore, e che si sono così schematicamente susseguiti:

- sedimentazione, al di sopra del substrato pre-quadernario, di depositi continentali fluvio-lacustri, di pianura costiera e deltizi, dal Pliocene superiore fino al Pleistocene inferiore;
- sedimentazioni di origine anaglaciata dovute alle varie glaciazioni riconosciute;
- sedimentazioni alluvionali ed erosioni di origine cataglaciata.

Le prime deposizioni continentali sono rappresentate dalla cosiddetta unità "Villafranchiana" e sono costituite da argille, limi e sabbia fine. Queste argille hanno una struttura a varve, stratificazione orizzontale e fungono da substrato impermeabile sul quale si sono andati poi ad impostare i più permeabili depositi fluvio-glaciali ed alluvionali.

A tetto dei depositi Villafranchiani si trova una formazione di potenza anche considerevole, composta da arenarie e conglomerati talora fortemente cementati, talora invece passanti a ghiaie e sabbie sciolte definite "Ceppo".

Posteriormente alla deposizione del "Ceppo" si ha la deposizione di una vasta coltre di depositi fluvio-glaciali intervallata da erosioni e deposizioni alluvionali legate alle fasi cataglaciali.

Il sottosuolo del territorio comunale di Martinengo e di un suo adeguato intorno risulta perciò costituito da depositi di ambiente continentale attribuibili al Quadernario. Tale periodo risulta caratterizzato da numerosi mutamenti climatici che hanno indotto varie "pulsazioni" glaciali (fasi anaglaciali) intervallate da fasi più temperate (fasi cataglaciali) che grazie al loro clima sono state sede di fenomeni pedogenetici. Fino a pochi anni orsono venivano distinte le seguenti glaciazioni terziario-quadernarie, dalla più antica alla più recente: Biber (Terziario), Donau (fine del Terziario), Gunz, Mindel, Riss e Würm (tutte e quattro nel Quadernario), separate da fasi cataglaciali. Studi successivi hanno portato a distinguere, dopo il limite magnetostratigrafico Mathuyama/Brunes, posto a circa 730.000 A, almeno otto differenti fasi anaglaciali. Fra di esse solo l'ultima, che ha avuto il suo massimo circa a 18.000 A, viene fatta coincidere con la glaciazione würmiana della tradizionale nomenclatura alpina. Proprio tale fase anaglaciata ha portato alla deposizione di quello che viene definito come Fluvio-glaciatale recente o Würmiano, di età pleistocenica superiore, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.) e su cui si imposta buona parte del territorio comunale di Martinengo.

In un ambito più di dettaglio l'area è caratterizzabile, dal punto di vista litologico, grazie alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo (utilizzata come fonte per la cartografia geologica ed integrata sulla base di rilevamenti geomorfologici di campagna).

Essa consente un'analisi geologica di elevato dettaglio distinguendo, a livello di quadernario ed anche, quindi, a livello delle singole unità fluvio-glaciali tradizionali, numerose nuove unità legate alla litologia ed alla provenienza bacinale dei depositi. I depositi quadernari vengono infatti perlopiù suddivisi in unità allostratigrafiche, ognuna delle quali corrisponde ad un corpo di depositi identificato sulla base delle discontinuità che lo delimitano e quindi riferibile ad un dato evento deposizionale.

Qui di seguito si riporta la descrizione delle unità presenti nella zona, le cui aree di affioramento sono riportate nell'**Allegato 1**.

- *Unità Postglaciatale (Pleistocene superiore - Olocene) [119c, 119cf]*

Nell'area in esame essa risulta costituita da depositi alluvionali differenziati in funzione delle aree di influenza dei principali corsi d'acqua al fine di cogliere al meglio le caratteristiche distintive e in funzione di particolari situazioni deposizionali, che possono essere ricondotte alla sedimentazione fluviale olocenica. Nella pianura bergamasca tali depositi presentano una certa variabilità sia tessiturale (ghiaie, sabbie, limi sabbiosi e limi organici), sia relativamente ai suoli evoluti sulla superficie superiore.

Nell'area strettamente in esame i depositi dell'Unità Postglaciale risultano essere per lo più legati all'attività deposizionale del fiume Serio ed avere granulometrie sabbio-ghiaiose in matrice limosa; fa eccezione una ristretta fascia all'estremo orientale del comune, grosso modo coincidente con l'attuale corso della Roggia Zerra, costituita da limi pedogenizzati che determinano il limite con le alluvioni pleistoceniche del fiume Oglio. All'interno dei depositi del Serio l'unica differenziazione possibile, stante la scarsa evidenza o l'assenza di terrazzi fluviali lungo il corso fluviale, è invece quella fra depositi alluvionali generici (119c) e depositi alluvionali con superficie superiore caratterizzata da Entisuoli (119cf), posti immediatamente a lato dell'alveo attivo attuale e spesso separate dai precedenti da orli di piccoli terrazzi.

Le coltri dell'Unità postglaciale hanno iniziato a depositarsi non appena è cominciata la fase di ritiro glaciale e sono tuttora in via di deposizione. Tale Unità risulta perciò spiccatamente diacrona ed in alcuni settori è difficilmente distinguibile dai contemporanei depositi. L'età è, quindi, Pleistocene superiore - Olocene e, in assenza di possibili relazioni dirette con i ghiacciai o con i depositi ad essi correlati, è attribuibile tramite l'osservazione del loro stato di alterazione o dei loro rapporti con i depositi attuali.

▪ *Bacino dell'Oglio*

*Complesso dell'Oglio – Unità di Palosco (Pleistocene medio - superiore) [113b]*

Nell'area esaminata essa è rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie, da grossolane a molto grossolane, a supporto clastico con matrice sabbiosa calcarea e con presenza comune di massi di dimensione metrica. Le ghiaie si presentano arrotondate, subarrotondate o discoidali, con un grado di selezione da scarso a buono e crescente verso Sud, con una gradazione diretta, un'embricatura a basso angolo e, per lo più, con stratificazione suborizzontale grossolana o incrociata concava. Si rinvengono orizzonti e lenti di natura sabbiosa con laminazione orizzontale. La cementazione è scarsa e organizzata in sottili livelli costituiti da concrezioni calcaree; localmente la sommità risulta interessata da limi argillosi interpretabili come depositi di esondazione.

L'orizzonte superficiale, di spessore variabile fra 25 e 60 cm ca., è di natura argillitica con colori da bruno scuro a bruno rossastro scuro (da 5YR4/3 a 7.5YR4/4); localmente si ha la già citata presenza di limi argillosi di colore bruno giallastro scuro (10YR4/4) caratterizzati da Inceptisuoli o da Alfisuoli poco espressi.

La granulometria è scheletrico-franca, mentre la pietrosità superficiale è elevata o moderata nelle rare aree a limi sommitali.

I suoli dominanti sono gli Alfisuoli Hapliti al limite con i Rhodici.

Nell'area in esame l'unità rappresenta una fase deposizionale di tipo fluvioglaciale connessa ad una dinamica fluviale di tipo braided.

Il limite superiore è caratterizzato da morfologie ben conservate ed orli di terrazzo netti; il limite inferiore è segnato dal passaggio ad un suolo sepolto con caratteri pedologici molto più evoluti, probabilmente sviluppatasi sulle ghiaie dell'Unità di Grumello del Monte e sui conglomerati dell'Unità di Tagliuno.

Il passaggio all'Unità di Cologno del Complesso del Serio è probabilmente eteropico e risulta obliterato dalla fascia di limi pedogenizzati appartenenti all'Unità Postglaciale allungata lungo l'attuale alveo della Roggia Zerra.

▪ *Bacino del Serio*

*Complesso del Serio – Unità di Cologno (Pleistocene superiore) [94b]*

L'Unità è composta da depositi fluvioglaciali rappresentati da ghiaie, da medio-grossolane a grossolane, a supporto clastico, con matrice sabbiosa e localmente da ghiaie molto grossolane con presenza di massi. I clasti si presentano da arrotondati a subarrotondati e discoidali, con un grado di selezione da medio a buono crescente verso Sud, con una gradazione diretta, un'embricatura a basso angolo e, per lo più, con stratificazione suborizzontale grossolana e subordinatamente incrociata concava. Si rinvengono inoltre orizzonti e lenti di natura sabbiosa, con laminazioni orizzontale e incrociata a basso angolo, e di natura limosa. La cementazione è diffusa e scarsa e localmente la sommità risulta interessata da limi argillosi, spiegabili forse come depositi di esondazione.

L'orizzonte superficiale, di spessore variabile fra 20 e 60 cm ca., è di natura argillitica con colori da bruno scuro a giallastro scuro (da 7.5YR a 10YR tra 4/3 e 4/4), fino a bruno rossastro (5YR4/4); localmente si ha la già citata presenza di limi argillosi di colore bruno scuro (da 7.5YR a 10YR, da 4/3 a 4/4) caratterizzati da Inceptisuoli o da Alfisuoli poco espressi.

La granulometria è scheletrico-franca; la pietrosità di superficie è elevata o moderata, nelle aree a limi sommitali.

L'unità costituisce, nell'ambito del territorio di Martinengo, la porzione centrorientale e risulta delimitata ad Ovest dai depositi alluvionali dell'Unità Postglaciale e ad Est dalla sottile fascia di limi pedogenizzati appartenenti sempre all'Unità Postglaciale che determinano il limite con le alluvioni del fiume Oglio.

L'unità rappresenta una fase deposizionale di tipo fluvioglaciale connessa ad una dinamica fluviale di tipo braided precedente all'Unità Postglaciale dalla quale è separata da orli di terrazzo, nella porzione settentrionale, e progressivamente ricoperta verso Sud a causa della scomparsa di tali terrazzi. Il limite superiore dell'unità è caratterizzato da morfologie terrazzate ben conservate, con orli di terrazzo evidenti nella porzione Nord fino all'altezza di Malpaga, ma che, verso Sud, tendono progressivamente a diminuire fino a scomparire; il limite inferiore è marcato dalla presenza di un suolo sepolto e, localmente, dalla presenza del Conglomerato di Seriate.

## **5. Caratteri geomorfologici**

Per ciò che concerne la geomorfologia sono state rilevate ed illustrate, al di là delle implicazioni di tipo geologico-applicativo che verranno trattate in seguito, le peculiarità del paesaggio morfologico, cercando di individuare, dove possibile, i legami intercorrenti tra paesaggio, fenomeni geomorfologici e formazioni geologiche.

A tal fine ci si è basati sulle informazioni dedotte dall'analisi aerofotografica, effettuata con l'ausilio di uno stereoscopio ausJENA, utilizzando un binoculare 3.5x15, il quale ha fornito un primo inquadramento degli elementi morfologici, successivamente verificati tramite un'apposita campagna di rilevamento sul terreno. Oggetto dell'analisi aerofotogrammetrica sono state le foto aeree in bianco e nero in scala 1:26.000 relative al volo effettuato per conto della Regione Lombardia nel 1994. In particolare, si è fatto riferimento ai fotogrammi n° 3172, 3173, 3174 e 3175 della strisciata n° 17, la cui copertura areale ha permesso di investigare l'area in esame limitatamente ai confini amministrativi comunali e di un suo adeguato intorno.

Lo scopo di tale analisi è stato quello di individuare le forme del paesaggio e di trasferirle sulla base topografica comunale (**Allegato 1**). La distinzione dei vari elementi morfologici risulta talora difficile data la scarsa variabilità altimetrica e del gradiente ed è quindi stata agevolata dall'osservazione della disposizione delle aree coltivate (particellizzazione agraria), nonché dalla presenza di colorazioni differenti ed ombreggiature sulle foto stesse. E' comunque sempre stata necessaria molta cautela in fase fotointerpretativa poiché diversi possono essere gli elementi che portano ad una errata interpretazione: la presenza stessa di ombre, filari di alberi o effetti ottici particolari, possono indurre a riconoscere forme in realtà inesistenti.

Alla luce di ciò è stata effettuata la già citata indagine di campagna, tesa ad avvalorare le indicazioni emerse dalla fotointerpretazione e ad aggiungere nuovi elementi, valutabili solo direttamente sul terreno. In definitiva, si sono potuti cartografare i seguenti elementi morfologici:

- Orli di terrazzo morfologico da attribuirsi alle relitte incisioni fluviali del fiume Serio.
- Orli di scarpata fluviale delimitanti l'attuale corso del fiume Serio. Essi sono stati distinti in funzione dello stato di attività (stabile o in erosione) e della presenza di difese spondali a stabilizzazione degli stessi.
- Tracce di paleoalvei relitti a testimonianza degli innumerevoli corsi d'acqua che incidevano i depositi fluvioglaciali e caratterizzati da una dinamica fluviale di tipo braided.

La morfologia del territorio comunale di Martinengo non presenta dunque particolari elementi caratteristici se non quelli legati all'incisione del fiume Serio, peraltro molto limitati se paragonati a quelli che caratterizzano i vicini fiumi Oglio e Brembo.

Gran parte del territorio insiste su una porzione di pianura con deboli pendenze verso Sud pari circa al 6‰, mentre lungo la direttrice Est-Ovest la pendenza varia progressivamente dallo 0,7‰ verso Est, nella porzione settentrionale del comune, all'1,4‰ verso Ovest, in quella meridionale.

## **6. Caratteri pedologici**

Per la caratterizzazione pedologica dei terreni ricadenti in ambito comunale, si è fatto riferimento alla Carta Pedologica redatta dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo Lombardo (ERSAL) relativa ai "suoli della pianura bergamasca sinistra Serio" ed alle note tecniche ed interpretative ad essa allegate.

La distribuzione dei suoli, rilevata dallo studio dell'ERSAL, è riportata nell'**Allegato 2**.

E' possibile raggruppare, seppur in maniera approssimativa, le varie tipologie di suolo individuate in 5 gruppi costituenti fasce parallele al corso del fiume Serio e accomunati una medesima genesi dell'ambito fisiografico di appartenenza.

Partendo da fiume Serio si possono individuare:

- Aree appartenenti alla piana alluvionale del fiume Serio compresa fra i terrazzi antichi ad est e la piana alluvionale recente del Serio ad Ovest. (suoli num.50-51: sottili o poco profondi, con abbondante scheletro grossolano).
- Aree appartenenti al terrazzo fluviale del fiume Serio (suoli num.43-49: da poco profondi a profondi con scheletro da con abbondante a scarso, ghiaia grande).
- Aree appartenenti al conoide del fiume Serio, (suoli num.35: sottili con frequente ghiaia media).
- Aree appartenenti al conoide del fiume Serio, (suoli num. 12-16-17: profondi abbondante scheletro e matrice limoso argillosa, tessitura media).
- Aree appartenenti al paleoalveo del Torrente Zerra, (suoli num. 31: molto profondi con tessitura fine in superficie).

Dalla classificazione e descrizione dei suoli contenuta in carta è stato possibile estrapolare carte derivate tecnico applicative.

In particolare si è ritenuto opportuno redigere due carte che si ritengono maggiormente significative in considerazione della vocazione agricola e delle vulnerabilità ambientali del territorio comunale, vale a dire la carta della capacità d'uso dei suoli e dell'attitudine allo spandimento agronomico dei liquami.

### **6.1 Capacità d'uso dei suoli**

La capacità d'uso dei suoli è l'attitudine, in base alle sue caratteristiche chimico-fisiche e delle particolari condizioni stagionali e climatiche, alle possibili pratiche colturali.

La L.C.C. (Land Capability Classification) edita nel 1961 divide i suoli in 8 classi (numerate da I a VIII) in funzione della gravità e del numero delle limitazioni difficilmente correggibili che restringono il campo delle possibili pratiche colturali.

Per quanto riguarda i suoli che costituiscono il territorio di Martinengo, si possono individuare 4 differenti classi di capacità di uso del suolo illustrate nella **Fig.1**

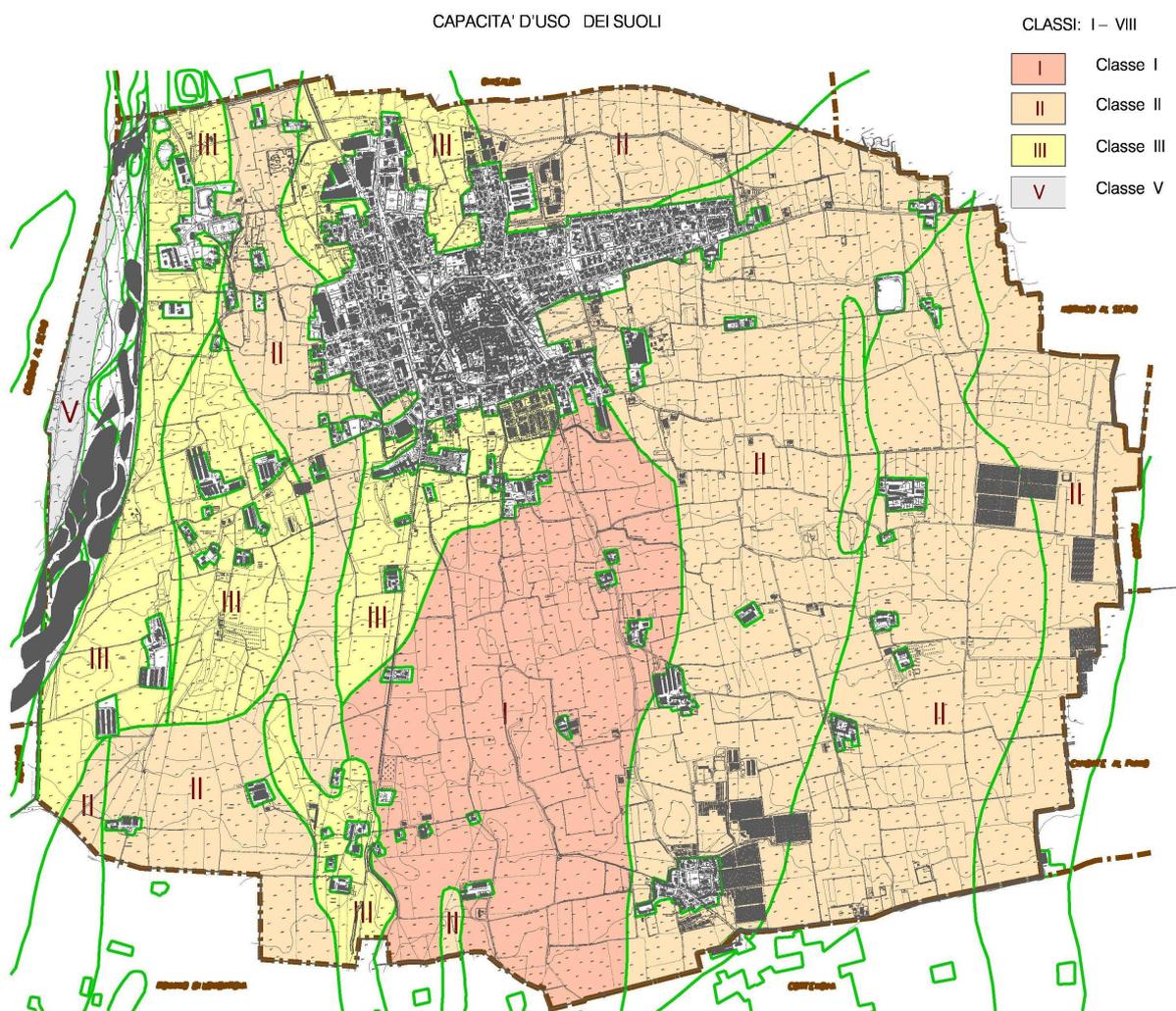


Fig. 1 – Carta della capacità d'uso dei suoli

- Suoli di classe I:  
costituito dall'unità pedologica n.17. Essi sono caratterizzati da alcune limitazioni scarse o nulle e idonei ad ospitare una vasta gamma di colture. Sono molto produttivi e adatti a coltivazioni intensive; per mantenere la fertilità necessitano delle normali pratiche colturali.
- Suoli di classe II:  
comprendenti le unità pedologiche n.12-15-16-23-30-31-38-43-44. Essi sono caratterizzati da alcune limitazioni facilmente controllabili che riducono la scelta delle colture e richiedono moderati interventi di conservazione. Le limitazioni sono dovute al drenaggio lento, inondabilità ed alle caratteristiche pedologiche.
- Suoli di classe III :  
comprendenti le unità pedologiche n.35-49-50-51. Essi sono caratterizzati da severe limitazioni che riducono la scelta delle colture e/o richiedono precise pratiche di conservazione (scelta del periodo di semina, raccolta, lavorazione del suolo). Le limitazioni sono dovute al drenaggio lento, inondabilità ed alle caratteristiche pedologiche.

- Suoli di classe V :

costituito dall'unità pedologica n.33. Essi sono adatti al pascolo e alla forestazione con vincoli che impediscono la lavorazione del terreno ed in particolare il rischio di inondazione del fiume Serio.

## 6.2 Attitudine allo spandimento agronomico dei liquami.

I liquami prodotti in zootecnia (dagli allevamenti suinicoli e dalle stalle per bovini a stabulazione libera) vengono di norma sparsi sui terreni aziendali; questa pratica, quando non sia condotta con i dovuti accorgimenti può risultare dannosa per le acque di superficie e di profondità. Il problema è rappresentato soprattutto dall'azoto contenuto in forma ammoniacale nei liquami freschi, ma che viene rapidamente trasformato in forma nitrica dalla flora batterica del suolo.

I suoli sono considerati adatti allo spandimento quando le loro caratteristiche sono tali da permettere un elevato immagazzinamento dei liquami, senza favorirne la perdita in superficie (scorrimento) ed in profondità (percolazione).

Per quanto riguarda i suoli che costituiscono il territorio di Martinengo , le unità pedologiche individuate possono essere raggruppate nelle seguenti categorie illustrate nella **Fig. 2**:

- Suoli adatti:

costituiti dalle unità pedologiche n. 31-38.

- Suoli moderatamente adatti:

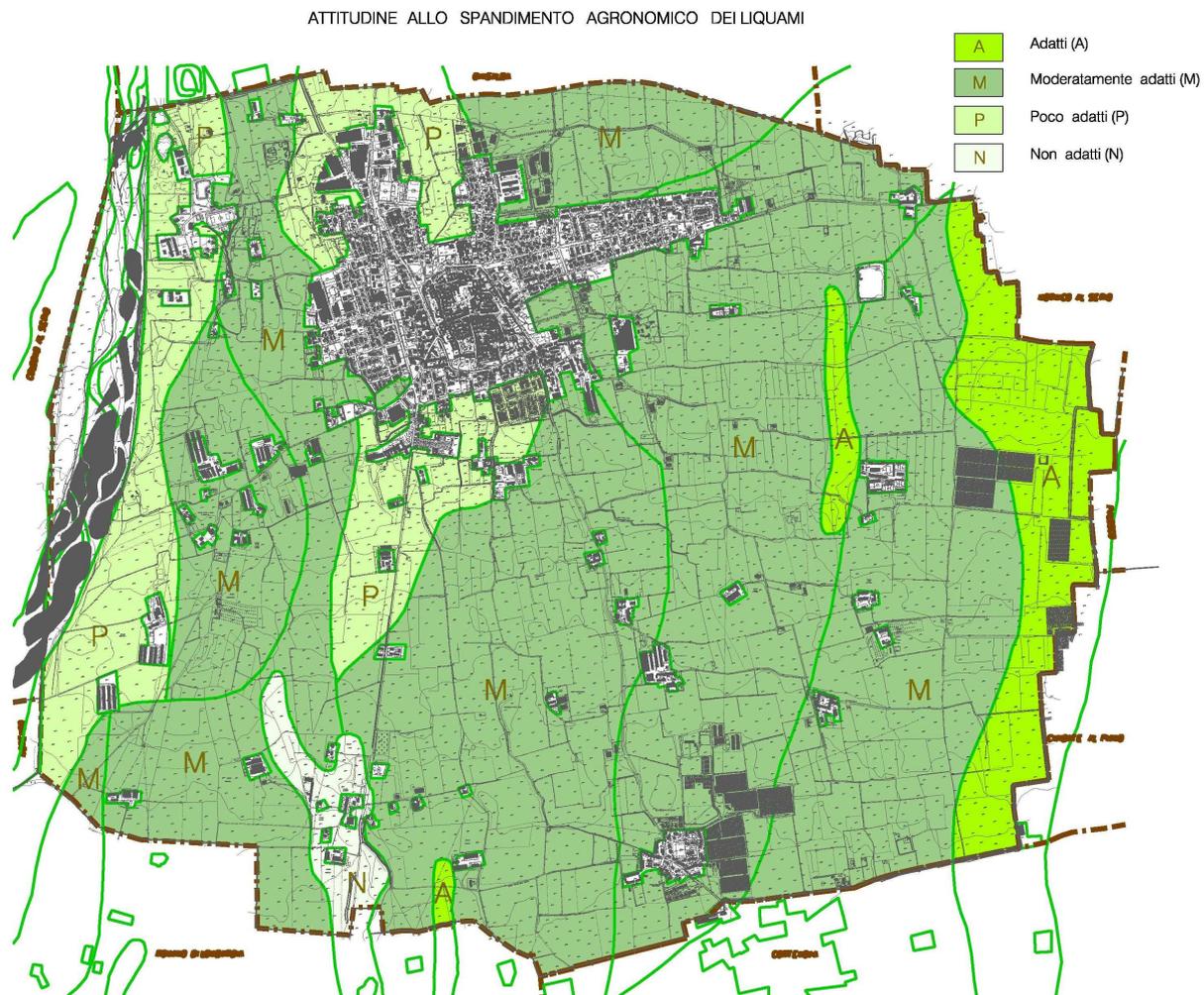
costituiti dalle unità pedologiche n. 12-15-16-17-43-51-44.

- Suoli poco adatti:

costituiti dalle unità pedologiche n. 35-50.

- Suoli non adatti o poco adatti:

costituiti dall'unità pedologica n. 49.



*Fig. 2 – Carta dell'attitudine allo spandimento agronomico dei liquami*

## **7. Caratteri idrografici ed idrologici**

L'idrografia del comune di Martinengo risulta dominata dalla presenza di un grande corso d'acqua, il Serio, cui si aggiungono una serie di elementi idrografici minori, le rogge, che, insieme ad altri canali irrigui e a fossi di scolo, interessano l'intero territorio comunale.

Si sottolinea che il Comune di Martinengo ha individuato il reticolo idrico minore come previsto dalla D.g.r. 25 gennaio 2002 n.7/7868 e s.m.i..

Si evidenzia pertanto che nell'**Allegato 3** – Carta dell'idrografia superficiale, sono stati recepiti e indicati i quei corsi d'acqua che sono stati riconosciuti come tali nell'ambito del suddetto studio.

Non sono stati indicati canali irrigui ed i fossi di scolo che non possiedono una significativa funzione idraulica di drenaggio e allontanamento delle acque superficiali e sui quali non viene pertanto effettuata l'attività di polizia idraulica.

### **7.1 Il fiume Serio**

Il fiume Serio è un interessante esempio di corso d'acqua che presenta integralmente la successione delle morfologie tipiche dell'idraulica fluviale. Esso, infatti, nasce e si sviluppa in ambiente montano, con caratteri morfologici ed idraulici di tipo torrentizio legati alla geologia e litologia delle formazioni dell'area, nonché alle caratteristiche idrologiche della regione; attraversa poi nella fascia pedemontana, a valle di Nembro, un lungo conoide costituito da depositi alluvionale decisamente permeabili; giunge a Seriate dove assume una morfologia "braided" (intrecciata) tipica degli alvei con pendenze sensibili e impostati su alluvioni incoerenti, ed infine, all'uscita della provincia, scorre in pianure a bassa pendenza, su alluvioni fini e coesive, con una morfologia meandriforme.

Esso nasce convenzionalmente dalle pendici sud occidentali del M. Torena a circa 2.500 m di quota; poche centinaia di metri più sotto, a quota 2.129 m, si trova il lago Barbellino superiore (naturale), che raccoglie l'acqua delle suddette sorgenti unitamente agli apporti d'acqua provenienti dalle valli laterali, per poi riversarle nel sottostante lago Barbellino (artificiale) posto sopra l'abitato di Valbondione. Numerosi torrenti delle valli laterali concentrati nel tratto fra Valbondione e Ponte Nossola versano le loro acque nel Serio: i maggiori sono il Bondione (Lizzola), il Fiume Nero, il Grabiasca, il Goglio, l'Acqualina (Valcanale), l'Ogna (Valzurio) ed il Riso. Con la confluenza di quest'ultimo, a valle di Ponte Nossola, terminano gli apporti significativi di torrenti laterali ed il Serio scorre verso la pianura dove, attorno a Seriate, il suo letto si fa molto largo e, per gran parte del tempo, asciutto. Qui, dopo aver rifornito numerosi canali di derivazione, il fiume cede le acque che ancora gli restano al sottosuolo, che fino a Mozzanica risulta essere di natura ghiaiosa e molto permeabile, andando ad alimentare falde idriche sotterranee, mentre da Mozzanica al suo sbocco nell'Adda, in località Bocca Serio, a Sud di Crema, scorre sulle già citate alluvioni fini con andamento spesso meandriforme. Il corso del fiume ha uno sviluppo complessivo di circa 120 km, un bacino imbrifero con superficie di 1.170 km<sup>2</sup> ed altezze massime, minime e medie pari rispettivamente a 3.050 m s.l.m. (Pizzo Coca), 45 m s.l.m. (sbocco in Adda) e 410 m s.l.m..

I dati sull'idrologia del Serio riguardano la media Val Seriana, non essendo reperibili notizie relative alla porzione inferiore del suo corso. Al ponte di Cene, situato a ben 72 km dalla confluenza con l'Adda, si ritrova l'unica stazione idrografica, a monte della quale il bacino ha un'estensione di 455 km<sup>2</sup>, un'altitudine massima di 3.050 m (Pizzo Coca), una quota media di 1.335 m s.l.m. ed una quota minima di 353,15 m s.l.m. (zero idrografico). In tale stazione le rilevazioni hanno avuto inizio nel 1927 e nello stesso anno, il 10 novembre, si registrò la portata massima pari a 547 m<sup>3</sup>/s, mentre

quella minima si verificò il 2 febbraio 1947 con 1,44 m<sup>3</sup>/s. La durata delle portate a Cene, calcolata su un periodo di osservazione di 40 anni, mostra una portata di piena (uguagliata o superata per 10 giorni/anno) di 66,50 m<sup>3</sup>/s, una portata di magra (uguagliata o superata per 355 giorni/anno) pari a 6,08 m<sup>3</sup>/s ed una portata semipermanente (uguagliata o superata per 182 giorni/anno) di 15,50 m<sup>3</sup>/s. In media le maggiori portate si hanno nei mesi primaverili (aprile, maggio e giugno) mentre un secondo massimo cade in novembre, in accordo con il regime delle precipitazioni alle quali, in primavera, si aggiunge il deflusso determinato dalla fusione delle nevi. Una certa influenza sulle portate è esercitata dai serbatoi artificiali esistenti nell'alto bacino, la cui capacità complessiva ammonta a 23,9 milioni di m<sup>3</sup>. Essi contribuiscono a ridurre il massimo primaverile e ad aumentare viceversa le portate autunnali ed invernali: in primavera infatti essi vengono riempiti mentre da ottobre a tutto aprile se ne effettua lo svaso.

Il reticolo idrografico del tratto di fiume interessante il territorio comunale in esame e le sue adiacenze risulta, alla luce di quanto esposto poc'anzi, di tipo anastomizzato: il corso d'acqua si ramifica in maniera oltremodo irregolare, raggiungendo così larghezze dell'alveo spesso considerevoli che solo saltuariamente, in occasione delle massime piene, vengono invase dalla corrente, caratterizzata da notevoli vorticosità, turbolenze ed irregolarità nella sua distribuzione trasversale. Tale morfologia fluviale nasce in presenza di materiali incoerenti, granulometricamente eterogenei, nei quali l'azione di trascinamento sulle sponde provoca più facilmente il movimento e lo scoscendimento dei sedimenti di quanto non succeda sul fondo, con conseguente tendenza al continuo allargamento dell'alveo e alla formazione di nuovi filoni di corrente. Analizzando in dettaglio il corso d'acqua si può osservare la presenza di isole alluvionali che separano la corrente durante le fasi di magra (prevalenti) e che vengono più o meno sommerse durante i (pochi) periodi di piena (vedi **Fig.3**).



*Fig.3 – Vista del fiume Serio in corrispondenza del tratto che corre nella parte settentrionale del territorio comunale.*

Le portate di piena, calcolate per vari tempi di ritorno, dall’Autorità di Bacino del fiume Po in corrispondenza della sezione di chiusura posta a Romano di Lombardia, ovvero per una superficie di bacino sotteso pari a 717 kmq, sono apri a:

Q20 = 470 mc/s

Q100 = 570 mc/s

Q200 = 620 mc/s

Q500 = 700 mc/s

Per ciò che concerne le zone esondabili sono state riportate le fasce di esondazione così come definite nel Progetto di Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico redatto dall’Autorità di Bacino del fiume Po.

Si riscontrano in particolare le seguenti fasce fluviali:

- Fascia A : fascia di deflusso della piena. Essa è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall’insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena.
- Fascia B : fascia di esondazione (calcolata con una portata con un tempo di ritorno di 200 anni)
- Fascia C : fascia di inondazione per piena catastrofica (calcolata con una portata pari alla massima piena storicamente registrata, se corrispondente ad un tempo di ritorno superiore ai 200 anni, o in assenza di essa, la piena con un tempo di ritorno di 500 anni).

L'analisi di dettaglio del fiume Serio, realizzata tramite un'indagine di campagna è stata finalizzata alla valutazione degli alvei, della presenza o eventuale mancanza di opere di difesa idraulica e loro adeguatezza, di eventuali situazioni critiche dal punto di vista dell'erosione spondale.

Tutte queste informazioni sono riportate nell'**Allegato 3**.

Le sponde fluviali, lungo tutto il tratto che attraversa il territorio comunale, risultano instabili, a causa della dinamica fluviale tipica del fiume precedentemente descritta, fatta eccezione per un lungo tratto in corrispondenza del settore centrale del corso del fiume, in cui sono state realizzate opere di difesa spondale (**Fig.4**).



**Fig.4** – *Tratto in erosione della sponda sinistra del fiume Serio*

Bisogna sottolineare che le zone appartenenti alla Fascia A, coincidono con aree di naturale divagazione dell'alveo. In particolare l'alveo del Serio dove la fascia A risulta più ampia, ovvero in corrispondenza della Cascina Roccolo Poloni, fino al 1976 divagava con un'ansa decisamente meandrica, largamente occupata da fosse di cava. Il tratto di sponda attuale risulta artificialmente rettificato rispetto al precedente andamento e protetto da opere di difesa spondale finalizzate a salvaguardare le aree a tergo dall'erosione fluviale (**Fig.5**).

Si segnala che lungo la sponda sinistra del fiume in passato si è avuta un'intensa attività di escavazione di ghiaia e sabbia, anche in alveo, la quale ha probabilmente contribuito all'abbassamento del letto (3m c.a.) verificatosi rispetto alle quote rilevate nel 1976.



*Fig.5 – Tratto della sponda sinistra del fiume Serio rettificata e protetta da opere di difesa*

Appare quindi evidente come la manutenzione e la verifica della funzionalità delle opere stesse rappresenti una condizione indispensabile per la conservazione del territorio posto a tergo.

## 7.2 Le rogge ed i canali.

Il reticolo idrico comunale è alimentato in buona parte dal sistema irriguo proveniente dalle derivazioni del fiume Serio; un buon contributo è dato anche dai fontanili che danno origine ad una serie di rogge che scorrono nel settore occidentale del territorio comunale.

L'orientazione preferenziale di questi corsi d'acqua è nord-sud e secondariamente est-ovest ed è condizionata generalmente dall'assetto degli appezzamenti agricoli.

Le numerose rogge e scoli fungono sia da colatori che da canali di irrigazione permettendo, attraverso la regimazione effettuata attraverso paratie mobili, il controllo dei flussi idrici in caso di forte piovosità e la distribuzione di acqua per fini irrigui.

Ciò ha garantito fino ad oggi l'assenza di significativi fenomeni di esondazione, anche se la rete capillare di canali di scolo che ha storicamente permesso un veloce drenaggio delle acque piovane evitando fenomeni di allagamenti e ristagni d'acqua anche nelle aree maggiormente argillose, ha oggi perso parte della sua funzione in quanto molte rogge risultano interrotte.

L'interruzione del reticolo si presenta molto frequente nelle aree urbanizzate dove i corsi d'acqua sono stati in gran parte dei casi intubati ed in parte anche interrotti a causa degli interventi edificatori.

Appare degno di menzione il Vallo Colleonesco, un fossato di origine artificiale che circonda il nucleo storico più antico, nel quale l'acqua scaturisce spontaneamente sul lato Nord (polle) a circa 4.5 metri di profondità.

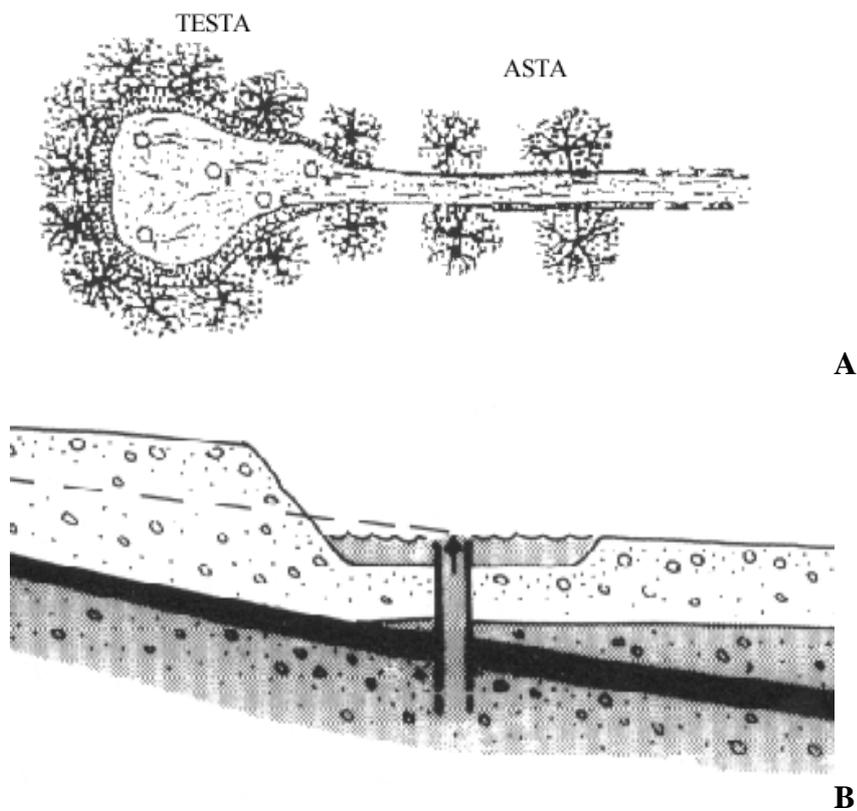
Esso, rimasto in asciutta per diverse decine di anni, si è recentissimamente riattivato a causa del recente innalzamento della falda freatica e della conseguente riattivazione di fontanili.

### 7.3 I fontanili

Un elemento di fondamentale rilevanza del territorio comunale sia sotto l'aspetto paesaggistico e naturalistico che sotto l'aspetto idrico, è costituito dalle emergenze idriche, presenti sul settore occidentale del territorio comunale ed indicate in **Allegato 3**.

Tale fenomeno è presente in tutta l'area lombarda al passaggio dall'alta alla bassa pianura, dove le acque della falda freatica si avvicinano alla superficie topografica e vengono a giorno spontaneamente in corrispondenza di depressioni naturali o artificiali.

Fin dal XI-XII secolo fu organizzata una canalizzazione delle acque affioranti per bonificare vaste zone paludose mediante una rete irrigua che consentisse il deflusso delle stesse. Venivano scavate inoltre nuove sedi artificiali nelle quali, mediante infissione di tubi per favorirne la risalita, l'acqua scaturiva naturalmente in una zona circoscritta detta comunemente "testa" e defluiva in un sistema di canali definiti "aste" (**Fig.6**).



**Fig. 6 – Descrizione schematica del fontanile (pianta A e sezione B)**

Intorno al 1500 la funzione dei fontanili si converte da drenante ad irrigua e la destinazione principale di questo importante complesso di acque sorgive diventa per molto tempo l'irrigazione del prato a marcita e delle risaie, fino al recente abbandono avvenuto alcuni decenni orsono, a causa del progressivo abbassamento del livello della falda e l'estinzione delle risorgive.

Negli ultimi anni si sta assistendo ad una controtendenza dell'oscillazione della falda freatica, la quale ha ripreso lentamente a risalire e a rialimentare gradualmente tutti i fontanili, fino al corrente inverno in cui, per la prima volta dopo molti anni, tutti i fontanili risultavano attivi.

Qui di seguito vengono riportati i fontanili presenti nel territorio comunale:

- Fontanina ovest (all'interno del campo sportivo)
- Fontanina est(all'interno del campo sportivo)
- Sorgente Cornella (Via Fermi)
- Fontana Riberto (Via Pinetti)
- Fontana Marina (sud di c.na Marina)
- Campo Rosso (ovest di c.na Campo Rosso)
- Del Dosso (nord di c.na Barboglia) - estinto
- Baiona (sud-ovest di c.na Bellina)
- Boschine (sud di c.na Moscona)

Considerato il lungo periodo di inattività e di conseguente assenza di manutenzione, essi appaiono generalmente in cattivo stato di conservazione e ostruiti dalla presenza di sedimenti.

La risalita dell'acqua allo stato attuale avviene non più dalle polle ma direttamente dal fondo del bacino ogni qualvolta si innalza la falda. Il fontanile presenta quindi una frequente alternanza di pe-

riodi di asciutta e di presenza d'acqua in funzione della piovosità. A fine di garantire una certa continuità della funzionalità risulta pertanto di fondamentale importanza effettuare la pulizia periodica del fondo della testa per evitare che le polle si intasino interrompendo quindi la risalita naturale dell'acqua.

Si sottolinea che il ripristino delle funzioni idrauliche e vegetazionali dei fontanili permetterebbe anche di recuperare i complessi ecosistemi ad essi legati.

A tal proposito si fa presente che sia Il Parco del Serio che il Comune di Martinengo hanno già predisposto un piano di recupero che prevede la riqualificazione dia idraulica che vegetazionale dei seguenti fontanili:

- Fontanina ovest (all'interno del campo sportivo)
- Fontanina est(all'interno del campo sportivo)
- Sorgente Cornella (Via Fermi)
- Fontana Marina (sud di c.na Marina)
- Campo Rosso (ovest di c.na Campo Rosso)

Per meglio caratterizzare il sistema delle risorgive fornendone una valutazione sia idrogeologica che naturalistica, si è ritenuto opportuno compilare delle schede identificative per ogni fontanile.

Le suddette schede sono contenute nell'**Appendice B**.

## 8. Inquadramento meteo climatico

I parametri utilizzati per definire il clima di una data località sono, in prima istanza, le temperature e le precipitazioni medie annue e mensili, anche se una certa importanza rivestono altri fattori quali la media trentennale dei giorni di pioggia e dei giorni di sole, il regime dei venti regnanti e dominanti e i valori della radiazione solare. Per studiare le condizioni climatiche dell'area in questione è stata presa in considerazione la stazione meteorologica dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo, posta ad una quota di 218 m s.l.m., ad una distanza dall'area in esame relativamente ridotta (circa 12 Km a NNW) ed avente caratteristiche fisiografiche relativamente simili a quelle dell'area in esame. A tal riguardo si consiglia, comunque, di considerare le osservazioni, soprattutto pluviometriche, con una certa cautela, tenendo presente che le precipitazioni autunnali e invernali sono apportate da estese perturbazioni, mentre quelle estive, e spesso anche quelle primaverili, sono apportate frequentemente da temporali locali, aventi talvolta effetti arealmente molto limitati.

### 8.1 Precipitazioni e regime pluviometrico

Le precipitazioni considerate successivamente tengono conto sia degli apporti liquidi (pioggia), sia di quelli solidi (neve e grandine). Per quel che riguarda la pioggia, che è il tipo di precipitazione sensibilmente più frequente, viene di seguito considerata secondo tre differenti aspetti, ossia dal punto di vista della quantità (precipitazioni mensili ed annuali), da quello della frequenza (numero dei giorni piovosi) e da quello dell'intensità (rapporto fra l'entità delle precipitazioni ed il numero di giorni piovosi).

Per meglio interpretare i dati riguardanti le precipitazioni si tenga presente che:

- una giornata viene considerata piovosa se vengono misurati almeno 0,1 mm di pioggia;
- 1 mm di pioggia equivale ad 1 litro di acqua per metro quadro di superficie;
- agli effetti della pioggia caduta 1 cm di neve equivale ad 1 mm di pioggia;
- le precipitazioni in mm successivamente esposte comprendono la neve convertita, come appena detto, in acqua.

I dati messi a disposizione dall'Istituto Sperimentale di Cerealicoltura - Sezione di Bergamo sono riportati nelle seguenti Tabelle.

**Tabella 1** - *Pluviometria (in mm di pioggia) relativa all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.*

Anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	Ago	set	ott	nov	dic	Totale annuale
1969	101,2	83,4	80,4	70,0	58,0	120,4	41,6	150,4	93,4	0,0	108,2	22,8	930
1970	138,8	24,8	109,6	53,0	104,2	171,0	57,6	197,8	28,6	34,6	214,8	32,0	1167
1971	103,0	52,6	119,6	67,4	152,8	176,0	59,2	79,2	72,6	12,2	129,8	34,8	1059
1972	95,0	141,0	94,4	147,4	86,0	104,6	105,6	57,4	114,0	75,4	25,5	85,0	1131
1973	76,2	13,8	1,4	44,2	49,0	156,2	181,0	111,8	69,4	123,6	34,0	56,9	918
1974	34,4	147,6	64,1	97,6	52,4	63,4	35,0	154,2	61,8	72,0	78,0	9,2	870
1975	116,6	56,8	119,4	27,8	207,8	126,0	33,0	166,1	244,8	129,4	137,2	80,3	1445
1976	16,4	23,4	13,2	54,6	61,8	20,6	164,8	158,6	290,8	298,4	137,4	48,0	1288
1977	220,4	141,0	122,2	94,2	244,6	135,6	229,6	252,4	78,2	158,0	35,2	61,8	1773
1978	181,6	151,2	44,0	103,8	160,6	81,4	135,4	78,6	2,2	36,6	31,6	74,6	1082

**Comune di Martinengo***La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i**Relazione illustrativa*

1979	99,8	88,0	184,2	138,4	21,6	128,8	61,8	213,9	166,4	243,4	96,2	123,2	1566
1980	56,2	28,4	133,0	9,8	117,4	145,4	46,2	36,8	35,8	229,6	108,0	18,4	965
1981	2,6	1,0	84,8	45,4	199,6	42,8	190,0	82,8	207,0	119,8	131,8	130,6	1238
1982	20,4	22,8	111,8	9,0	97,4	144,4	190,8	134,4	62,0	274,0	191,0	70,4	1328
1983	1,4	32,8	114,8	119,0	173,2	48,4	46,0	142,8	6,8	41,4	0,6	134,9	862
1984	14,2	60,2	117,8	95,0	284,6	100,8	15,4	132,8	143,0	113,8	91,6	78,2	1247
1985	92,0	6,6	211,0	51,0	171,0	154,8	77,4	54,4	30,4	35,2	139,2	75,6	1099
1986	151,6	90,2	54,8	133,6	97,0	85,2	74,0	107,8	72,4	15,0	58,0	12,2	952
1987	51,0	190,4	28,4	82,2	124,4	115,4	39,0	112,0	32,4	137,2	55,0	45,8	1013
1988	144,8	44,4	57,0	81,6	170,8	140,0	57,8	49,4	23,8	214,0	5,2	47,0	1036
1989	6,0	77,6	43,6	291,0	57,2	145,6	209,6	73,2	131,0	9,2	48,6	21,4	1114
1990	30,2	17,4	22,0	154,0	117,2	74,0	83,2	91,8	25,6	181,4	93,4	63,8	954
1991	59,0	20,0	66,4	85,4	85,6	65,6	151,0	1,0	136,0	109,0	109,0	98,0	986
1992	29,4	26,8	59,0	160,4	60,0	205,4	167,8	52,4	112,0	203,2	38,4	111,6	1226
1993	2,8	9,6	64,6	95,0	76,6	95,2	74,2	97,0	406,6	297,8	89,4	23,0	1332
1994	140,8	46,8	17,8	65,6	84,0	59,0	37,2	165,6	298,6	100,6	13,2	69,6	1099
1995	64,0	82,8	82,4	110,4	203,6	117,8	42,4	132,2	229,2	32,2	71,4	109,8	1278
1996	177,8	34,8	17,2	79,2	98,2	154,0	86,6	189,0	55,0	258,4	156,0	123,8	1430
1997	74,6	8,4	5,4	48,8	31,8	340,8	59,8	91,6	23,4	19,4	167,4	162,0	1033
1998	66,4	28,4	9,8	128,8	118,0	115,8	73,4	40,0	160,8	156,6	15,8	15,0	929
media mensile	79,0	58,4	75,1	91,5	118,9	121,1	94,2	113,6	113,8	124,4	87,0	68,0	media annuale: 1145

**Comune di Martinengo***La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i**Relazione illustrativa***Tabella 2** - Numero di giorni piovosi relativi all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	Ago	set	ott	nov	dic	Totale annuale
1969	6	12	10	8	8	9	8	11	13	0	13	3	101
1970	13	5	12	10	10	12	3	12	3	4	10	6	100
1971	11	4	8	10	20	13	6	9	5	3	15	6	110
1972	13	15	11	16	15	14	11	8	13	7	5	11	139
1973	11	6	4	8	13	12	13	8	11	7	8	9	110
1974	11	13	11	11	10	13	3	8	8	14	18	2	122
1975	8	6	15	9	15	13	8	9	8	9	10	7	117
1976	1	6	5	7	9	10	13	12	15	18	12	9	117
1977	18	11	10	9	19	15	16	17	4	11	5	5	140
1978	14	12	10	15	16	13	11	10	2	5	3	18	129
1979	10	14	17	20	6	11	6	14	6	11	8	12	135
1980	12	1	13	5	19	14	5	6	2	11	13	4	105
1981	1	1	12	8	14	9	12	8	15	9	21	10	120
1982	5	7	10	6	6	12	13	13	9	16	13	12	122
1983	1	7	6	16	20	6	5	9	4	6	3	6	89
1984	7	8	10	15	24	6	2	15	11	12	13	9	132
1985	6	2	17	6	9	10	5	4	1	4	12	12	88
1986	9	11	10	21	10	11	5	9	5	1	6	3	101
1987	6	11	5	8	14	9	7	6	5	14	9	3	97
1988	9	7	6	15	18	17	7	4	4	8	3	3	101
1989	1	4	7	23	9	15	11	9	9	2	10	9	109
1990	5	4	6	18	11	15	4	7	6	18	9	4	107
1991	7	4	10	10	12	8	8	1	10	12	12	11	105
1992	8	3	4	12	15	22	7	6	9	17	6	7	116
1993	5	1	4	10	13	7	6	6	17	20	12	5	106
1994	9	11	1	11	14	11	7	7	14	9	8	6	108
1995	8	11	6	12	13	15	6	13	11	6	9	17	127
1996	11	9	4	11	15	9	12	12	10	11	15	14	133
1997	10	3	2	2	10	13	7	8	2	6	13	13	89
1998	8	2	3	14	13	11	8	4	11	10	5	2	91
media mensile	8,1	7,0	8,3	11,5	13,3	11,8	7,8	8,8	8,1	9,4	10,0	7,9	media annuale: 112

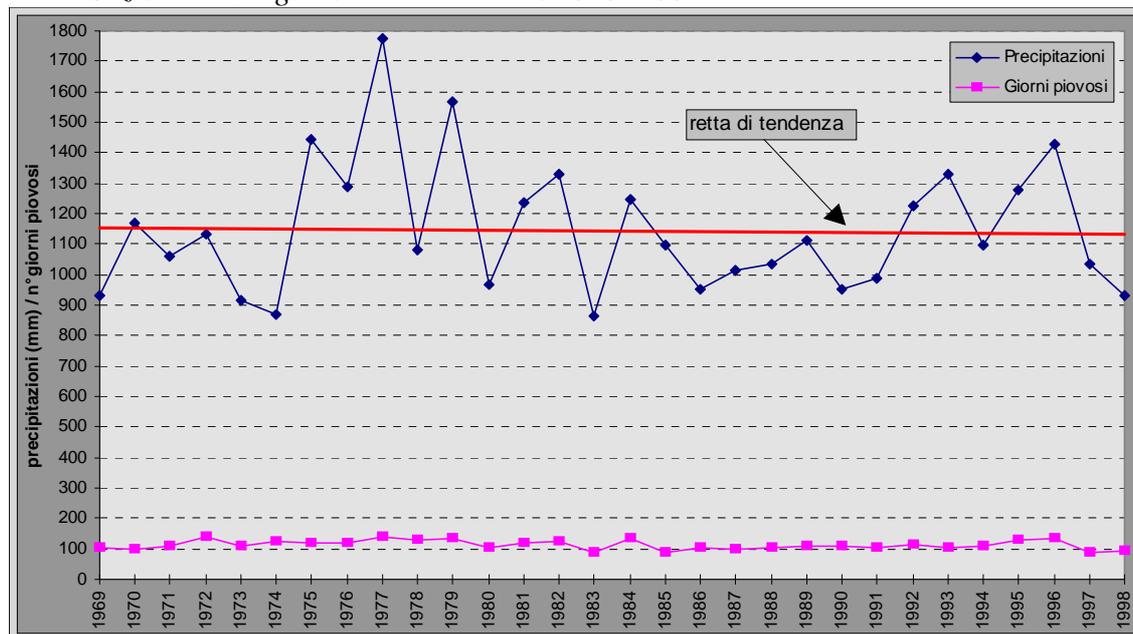
Dall'analisi delle precedenti tabelle si possono fare le seguenti considerazioni, concernenti i dati annuali:

- la precipitazione annua media è pari a 1145 mm, ma tale dato nasce da una serie di valori aventi una certa dispersione, infatti l'anno meno piovoso (1983) ha fatto registrare una precipitazione pari a 862 mm che è poco meno della metà di quella avutasi nell'anno più piovoso (1977) pari a 1773 mm;

- gli anni considerati molto piovosi ( $P > 1400$  mm) sono i seguenti: 1975, 1977, 1979, 1996, mentre quelli poco piovosi ( $P < 900$  mm) sono: 1974 e 1983;
- il numero annuale medio di giorni piovosi è pari a 112 e risulta compreso fra gli 88 giorni del 1985 e i 139 del 1972;

Per verificare un'eventuale trend nell'entità delle precipitazioni annue è stato realizzato il grafico di **Fig.7** sul quale è stata calcolata la retta di tendenza.

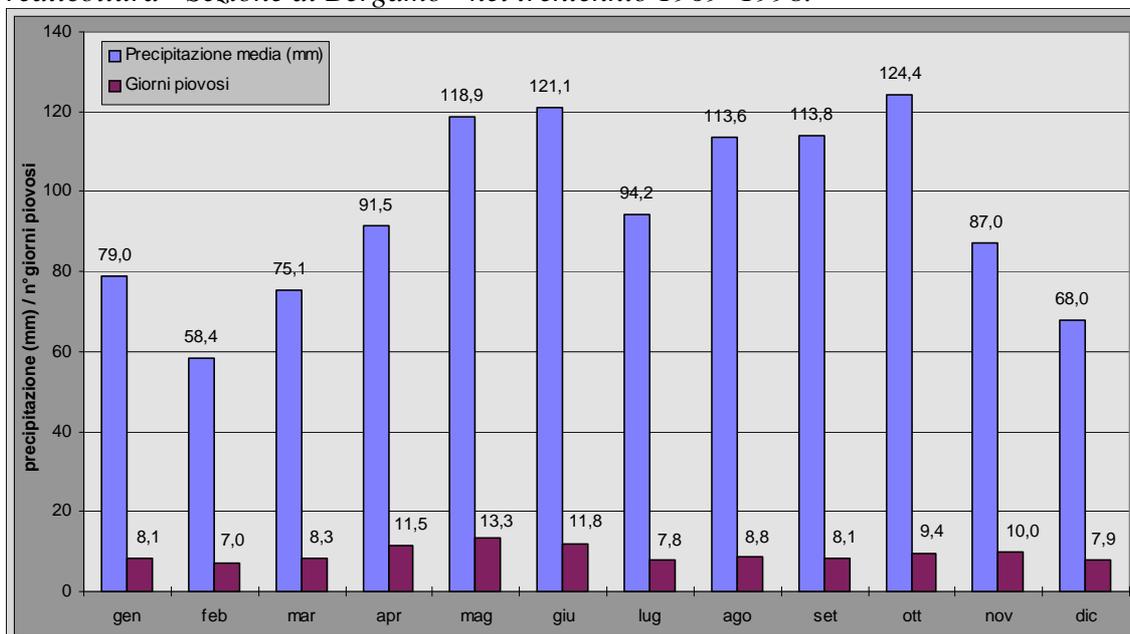
**Fig.7** - Andamento delle precipitazioni annuali relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.



Da tale grafico si evince come, pur tra alti e bassi, non si sia evidenziato alcun trend di variazione dell'entità delle precipitazioni annue, se non una leggera diminuzione legata essenzialmente alla presenza di un periodo particolarmente piovoso nella seconda metà degli anni settanta.

È stato inoltre redatto il grafico di **Fig.8** al fine di rappresentare in maniera più chiara l'andamento mensile medio delle precipitazioni e dei giorni piovosi.

**Fig.8** - *Andamento mensile medio delle precipitazioni relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.*

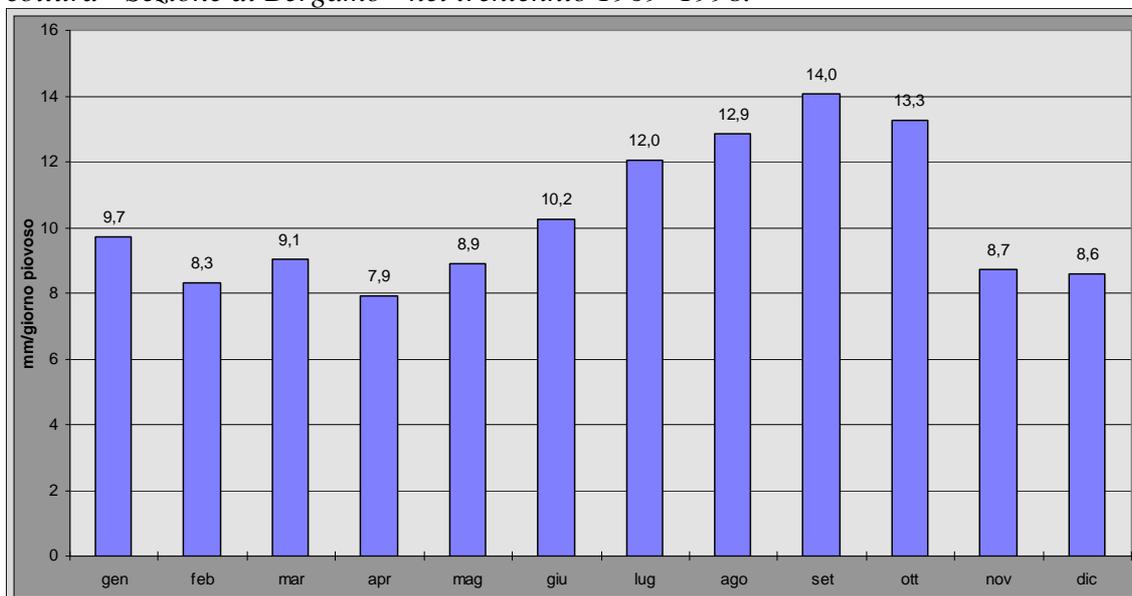


Dalla sua analisi si evince quanto segue:

- il minimo assoluto si registra in febbraio con 58,4 mm a cui segue un periodo di graduale crescita delle precipitazioni che culmina in un massimo, che si rivelerà poi relativo (anche se per pochissimo) in giugno con 121,1 mm;
- si assiste ad un certo calo delle precipitazioni in luglio (94,2 mm) e ad un successivo aumento in agosto (113,6 mm) e in settembre (113,8 mm) che culmina nel massimo assoluto di ottobre (124,4 mm);
- infine, si evince un calo graduale delle precipitazioni nei mesi di novembre (87,0 mm) e dicembre (68,0 mm), mese in cui si ha un minimo relativo cui segue un lieve incremento delle precipitazioni in gennaio (79,0 mm), per poi giungere al già citato minimo assoluto di febbraio (58,4 mm);
- l'andamento del numero di giorni piovosi non è proporzionale a quello dell'entità delle precipitazioni e ciò suggerisce, come si vedrà meglio in seguito, una differente intensità delle stesse;
- si ha il minimo assoluto dei giorni piovosi in febbraio (7,0) seguito da un costante loro aumento fino al massimo assoluto di maggio (13,3), cui segue una diminuzione fino al minimo relativo di luglio (7,8) ed un andamento altalenante fino al già citato minimo assoluto di febbraio.

Dal rapporto fra l'entità delle precipitazioni e il numero di giorni in cui esse si realizzano si ottiene un'indicazione sull'intensità degli eventi meteorici, riportata nel grafico che segue.

**Fig.9** -Intensità mensile media delle precipitazioni relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.



Da esso si ricava come si abbia un andamento altalenante nei primi quattro mesi dell'anno a cui segue un aumento graduale dell'intensità fino al massimo assoluto di settembre (14 mm/gg. piovoso), cui segue dapprima un lieve calo in ottobre (13,3 mm/gg. piovoso) e poi un brusca diminuzione in novembre (8,7 mm/ gg. piovoso), dopodiché l'intensità si mantiene pressoché costante in dicembre (8,6 mm/ gg. piovoso).

## 8.2 Temperature e regime termico

La temperatura dell'aria dipende essenzialmente dalla quantità di radiazione solare ricevuta e dai movimenti della terra e dell'atmosfera. I dati utilizzati per lo studio della temperatura sono, anche in questo caso, quelli dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo e sono riportati nelle seguenti tabelle.

**Comune di Martinengo***La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i**Relazione illustrativa***Tabella 3 - Temperature minime mensili relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.**

anno	Gen	feb	mar	apr	mag	Giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	Media annuale
1969	-2,7	-2,0	2,9	5,5	12,1	12,6	17,4	15,8	13,8	9,0	4,3	-3,1	7,1
1970	-0,5	-1,1	1,2	4,8	8,8	15,6	16,1	16,5	14,4	6,9	4,1	-3,2	7,0
1971	-2,1	-1,0	0,3	8,3	11,6	13,1	17,5	17,7	12,2	7,2	3,6	-1,1	7,3
1972	0,4	5,9	4,8	7,3	10,2	14,6	17,0	15,6	11,0	7,6	3,4	-0,1	8,1
1973	0,0	-0,1	2,4	4,6	12,0	16,0	17,0	18,5	15,2	7,9	2,8	-1,6	7,9
1974	1,0	4,1	4,8	6,9	10,8	13,5	16,9	17,6	13,4	4,3	3,7	-0,7	8,0
1975	0,8	0,7	3,9	6,6	11,3	13,6	17,1	17,3	15,5	8,5	4,0	0,2	8,3
1976	-1,5	1,9	2,0	6,6	10,7	15,9	17,4	15,1	11,9	9,9	4,6	0,3	7,9
1977	-0,1	2,5	5,5	6,5	10,8	14,5	16,1	15,7	11,8	10,6	3,3	-0,7	8,0
1978	-0,2	-0,4	4,7	6,7	10,0	13,8	16,1	16,1	12,6	8,4	1,6	-0,5	7,4
1979	-3,2	1,9	4,7	5,6	11,1	16,2	17,0	15,9	13,3	10,2	2,7	1,7	8,1
1980	-1,3	0,8	4,1	4,6	10,2	13,1	15,1	17,5	14,5	8,4	3,1	-1,6	7,4
1981	-3,5	-1,2	4,5	7,8	10,4	15,7	15,7	16,6	14,7	8,9	1,5	-1,8	7,4
1982	-1,3	-1,2	2,3	6,4	11,8	16,3	17,6	16,5	15,7	8,9	5,4	1,0	8,3
1983	-0,6	-1,7	4,0	7,9	10,6	15,5	20,0	16,8	14,4	9,4	2,9	-0,6	8,2
1984	-1,3	-0,6	2,6	6,5	8,6	13,8	17,0	17,2	12,7	10,0	5,1	0,9	7,7
1985	-5,4	-1,8	4,0	6,5	11,6	14,7	19,0	16,5	15,4	10,3	3,0	1,4	7,9
1986	-1,3	-0,6	3,8	8,0	14,6	15,5	17,5	17,2	14,2	9,9	5,5	-0,5	8,7
1987	-3,4	0,5	0,9	7,1	9,0	14,0	19,3	17,7	17,1	10,9	5,0	1,3	8,3
1988	2,7	0,5	3,2	8,3	13,1	14,8	18,7	18,3	13,9	11,9	1,6	-0,7	8,9
1989	-2,7	1,7	6,0	7,7	12,4	14,1	17,4	17,3	14,1	8,1	3,3	-0,4	8,3
1990	-2,0	2,6	4,9	6,0	12,8	15,5	17,4	17,5	13,2	10,8	2,7	-1,9	8,3
1991	-0,7	-2,8	7,5	6,5	9,2	15,3	18,9	19,7	16,7	9,4	3,9	-2,5	8,4
1992	-1,5	-0,1	3,2	6,3	12,7	14,3	18,2	19,9	14,4	9,3	4,6	0,8	8,5
1993	-0,3	-1,1	2,6	7,6	12,7	16,3	16,4	18,6	13,6	9,8	3,7	0,3	8,4
1994	0,8	0,2	5,9	6,9	13,1	15,9	20,0	19,0	14,2	9,0	6,7	1,5	9,4
1995	-1,5	2,3	2,4	7,2	11,9	14,2	20,0	17,1	12,3	10,5	4,4	1,7	8,5
1996	1,6	0,2	3,3	8,1	11,5	16,0	17,5	17,3	11,6	10,3	5,6	1,4	8,7
1997	0,8	1,6	5,3	5,9	12,6	15,7	16,8	18,0	15,5	9,3	4,9	0,8	8,9
1998	0,2	1,7	2,4	7,5	13,3	16,3	18,0	18,4	13,5	8,8	1,8	-1,7	8,4
media mensile	-1,0	0,4	3,7	6,7	11,4	14,9	17,5	17,3	13,9	9,1	3,8	-0,3	media annuale: 8,1

**Comune di Martinengo***La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i**Relazione illustrativa***Tabella 4** - *Temperature massime mensili relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.*

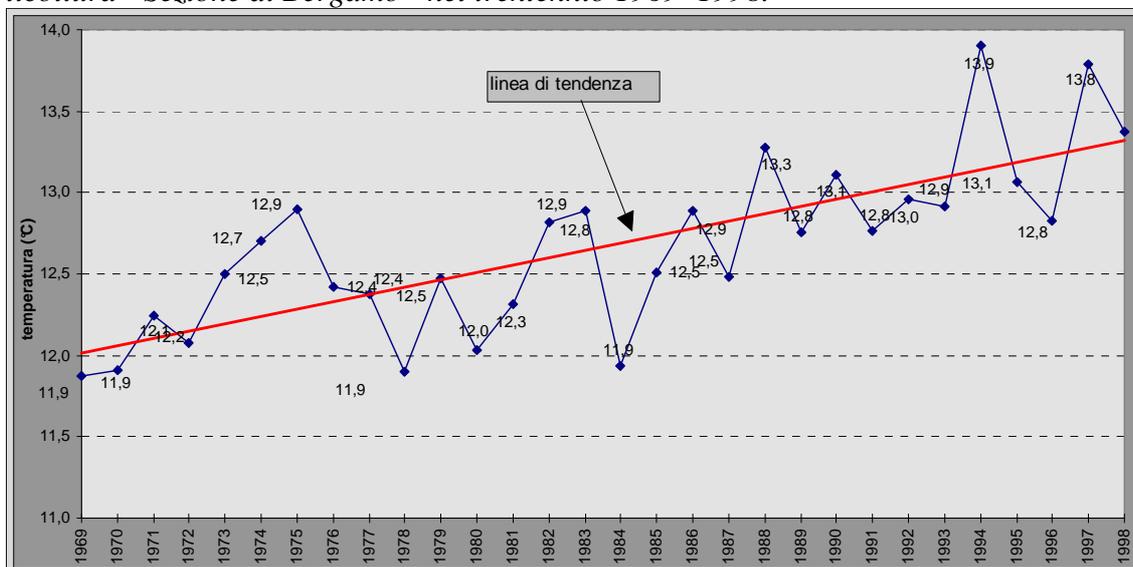
anno	Gen	feb	mar	apr	mag	Giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	Media annuale
1969	5,1	4,7	10,7	16,1	23,1	24,4	28,4	26,4	23,5	20,6	11,5	4,9	16,6
1970	4,9	7,3	10,0	16,1	20,1	26,2	28,8	27,4	25,4	18,0	12,8	5,2	16,9
1971	5,7	9,6	9,6	17,9	21,5	24,2	29,3	29,6	23,1	18,2	11,4	6,5	17,2
1972	4,9	6,6	14,1	15,6	20,9	24,5	27,0	26,6	19,6	16,0	10,8	5,5	16,0
1973	6,1	9,3	13,1	15,4	21,8	26,0	27,0	27,9	24,1	17,5	11,4	5,8	17,1
1974	7,6	10,4	12,7	16,4	21,1	24,9	28,9	29,2	23,7	13,7	11,0	9,0	17,4
1975	8,1	9,9	12,1	18,1	21,5	24,6	29,4	26,8	25,1	17,8	9,6	7,0	17,5
1976	6,2	9,4	10,9	17,5	22,3	28,2	28,9	24,6	20,6	17,0	11,9	5,9	17,0
1977	4,5	9,1	13,9	16,0	19,7	24,7	27,1	25,7	22,5	18,6	11,3	7,4	16,7
1978	7,1	5,3	14,0	14,6	18,6	25,1	26,8	26,3	25,0	17,9	11,0	4,9	16,4
1979	3,8	7,6	12,6	15,0	23,0	26,8	27,5	26,4	23,6	16,8	10,9	8,2	16,9
1980	4,7	9,7	12,1	16,7	19,1	24,4	26,8	28,9	25,2	17,7	8,3	6,7	16,7
1981	6,8	7,8	14,6	17,5	20,8	26,4	26,9	27,8	23,1	17,4	10,9	6,3	17,2
1982	5,7	6,5	12,5	16,6	22,4	27,2	29,0	26,9	25,8	16,5	11,4	7,8	17,4
1983	8,8	5,6	12,9	16,3	20,0	26,4	31,5	27,3	24,8	19,4	11,2	6,6	17,6
1984	6,5	6,6	11,1	16,3	16,5	25,2	29,0	26,2	22,2	18,1	9,0	7,3	16,2
1985	1,7	5,5	10,6	17,5	21,1	24,7	29,8	29,0	27,0	19,4	11,9	6,8	17,1
1986	6,6	3,8	11,3	14,3	24,8	25,8	27,5	28,1	23,8	20,0	11,7	7,8	17,1
1987	4,3	6,5	9,7	17,1	20,3	24,8	29,3	27,0	26,1	16,8	11,0	7,3	16,7
1988	7,9	10,2	13,7	16,8	21,2	24,6	28,9	28,6	24,2	19,4	9,3	7,6	17,7
1989	6,4	10,8	15,8	14,8	22,8	25,0	27,2	27,6	22,4	17,6	9,8	6,9	17,3
1990	6,9	12,1	16,2	15,4	23,2	25,2	28,3	28,2	24,2	18,4	11,0	6,0	17,9
1991	5,9	6,3	14,5	15,8	19,2	25,1	30,3	29,8	25,2	15,6	10,3	7,2	17,1
1992	5,9	9,5	14,2	16,0	23,5	24,2	27,6	30,3	24,2	15,4	12,1	6,1	17,4
1993	7,1	10,0	12,7	16,5	23,4	27,1	27,4	29,6	21,7	16,2	9,6	8,4	17,5
1994	9,3	7,7	17,7	16,5	21,8	26,3	30,5	30,3	23,0	17,3	12,1	8,0	18,4
1995	7,8	10,3	13,1	16,7	21,7	23,6	30,1	27,5	22,1	20,0	11,6	6,7	17,6
1996	5,9	7,1	10,9	18,1	22,4	27,4	26,8	26,8	21,1	17,4	12,2	7,3	17,0
1997	8,0	11,5	17,5	18,1	23,6	24,6	27,8	28,3	26,0	18,8	12,0	7,5	18,6
1998	7,2	13,9	14,9	16,4	23,1	27,1	29,3	29,8	23,4	17,9	10,6	7,2	18,4
media mensile	6,2	8,4	13,0	16,4	21,5	25,5	28,4	27,8	23,7	17,7	11,0	6,9	media annuale: 17,2

**Comune di Martinengo***La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i**Relazione illustrativa***Tabella 5 - Temperature medie mensili relative all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.**

anno	Gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	Media annuale
1969	1,2	1,4	6,8	10,8	17,6	18,5	22,9	21,1	18,7	14,8	7,9	0,9	11,9
1970	2,2	3,1	5,6	10,5	14,5	20,9	22,5	22,0	19,9	12,5	8,5	1,0	11,9
1971	1,8	4,3	5,0	13,1	16,6	18,7	23,4	23,7	17,7	12,7	7,5	2,7	12,2
1972	2,7	6,3	9,5	11,5	15,6	19,6	22,0	21,1	15,3	11,8	7,1	2,7	12,1
1973	3,1	4,6	7,8	10,0	16,9	21,0	22,0	23,2	19,7	12,7	7,1	2,1	12,5
1974	4,3	7,3	8,8	11,7	16,0	19,2	22,9	23,4	18,6	9,0	7,4	4,2	12,7
1975	4,5	5,3	8,0	12,4	16,4	19,1	23,3	22,1	20,3	13,2	6,8	3,6	12,9
1976	2,4	5,7	6,5	12,1	16,5	22,1	23,2	19,9	16,3	13,5	8,3	3,1	12,4
1977	2,2	5,8	9,7	11,3	15,3	19,6	21,6	20,7	17,2	14,6	7,3	3,4	12,4
1978	3,5	2,5	9,4	10,7	14,3	19,5	21,5	21,2	18,8	13,2	6,3	2,2	11,9
1979	0,3	4,8	8,7	10,3	17,1	21,5	22,3	21,2	18,5	13,5	6,8	5,0	12,5
1980	1,7	5,3	8,1	10,7	14,7	18,8	21,0	23,2	19,9	13,1	5,7	2,6	12,0
1981	1,7	3,3	9,6	12,7	15,6	21,1	21,3	22,2	18,9	13,2	6,2	2,3	12,3
1982	2,2	2,7	7,4	11,5	17,1	21,8	23,3	21,7	20,8	12,7	8,4	4,4	12,8
1983	4,1	2,0	8,5	12,1	15,3	21,0	25,8	22,1	19,6	14,4	7,1	3,0	12,9
1984	2,6	3,0	6,9	11,4	12,6	19,5	23,0	21,7	17,5	14,1	7,1	4,1	11,9
1985	-1,9	1,9	7,3	12,0	16,4	19,7	24,4	22,8	21,2	14,9	7,5	4,1	12,5
1986	2,7	1,6	7,6	11,2	19,7	20,7	22,5	22,7	19,0	15,0	8,6	3,7	12,9
1987	0,5	3,5	5,3	12,1	14,7	19,4	24,3	22,4	21,6	13,9	8,0	4,3	12,5
1988	5,3	5,4	8,5	12,6	17,2	19,7	23,8	23,5	19,1	15,7	5,5	3,5	13,3
1989	1,9	6,3	10,9	11,3	17,6	19,6	22,3	22,5	18,3	12,9	6,6	3,3	12,8
1990	2,5	7,4	10,6	10,7	18,0	20,4	22,9	22,9	18,7	14,6	6,9	2,1	13,1
1991	2,6	1,8	11,0	11,2	14,2	20,2	24,6	24,8	21,0	12,5	7,1	2,4	12,8
1992	2,2	4,7	8,7	11,2	18,1	19,3	22,9	25,1	19,3	12,4	8,4	3,5	13,0
1993	3,4	4,5	7,7	12,1	18,1	21,7	21,9	24,1	17,7	13,0	6,7	4,4	12,9
1994	5,1	4,0	11,8	11,7	17,5	21,1	25,3	24,7	18,6	13,2	9,4	4,8	13,9
1995	3,2	6,3	7,8	12,0	16,8	18,9	25,1	22,3	17,2	15,3	8,0	4,2	13,1
1996	3,8	3,7	7,1	13,1	17,0	21,7	22,2	22,1	16,4	13,9	8,9	4,4	12,8
1997	4,4	6,6	11,4	12,0	18,1	20,2	22,3	23,2	20,8	14,1	8,5	4,2	13,8
1998	3,7	7,8	8,7	12,0	18,2	21,7	23,7	24,1	18,5	13,4	6,2	2,8	13,4
media mensile	2,6	4,4	8,3	11,6	16,4	20,2	23,0	22,6	18,8	13,4	7,4	3,3	media annuale 12,7

Per verificare un'eventuale trend nell'andamento delle temperature annue medie è stato realizzato il grafico di **Fig. 10** sul quale è stata calcolata la linea di tendenza.

**Fi. 10** -Andamento annuo delle temperature medie relativo all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.



Da tale grafico si evince un deciso trend che porta, se pur ovviamente tra alti e bassi, ad un aumento medio delle temperature medie annue di circa 0,04 °C.

Il seguente grafico è stato, invece, redatto al fine di riassumere i dati termometrici mensili medi ed estremi del trentennio considerato.

**Fig.11** -Andamento mensile medio delle temperature relativo all'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.



Dall'analisi dei dati termometrici fin qui esposti si possono fare le seguenti considerazioni:

- la temperatura media annua è di 12,7 °C; tale valore non risulta comunque molto rappresentativo alla luce di quanto poc'anzi esposto in merito al trend di variazione delle temperature annue medie;
- l'andamento ha, ovviamente, il tipico andamento a campana con un minimo invernale ed un massimo estivo. È interessante però notare come questi due estremi non cadano nei mesi in cui si

verificano i rispettivi solstizi (giugno e dicembre), ma siano ritardati rispetto ai solstizi stessi di un mese; abbiamo, infatti, il massimo in luglio (media di 23,0 °C) ed il minimo in gennaio (media di 2,6 °C). Ciò è dovuto al fatto che la superficie terrestre continua ad accumulare (o perdere) calore anche quando l'altezza del sole comincia a diminuire (o aumentare) immediatamente dopo il solstizio d'estate (o d'inverno);

- l'escursione termica media annua (differenza fra le temperature medie dei mesi più caldo e più freddo) è pari a 20,4 °C ed è compresa fra un massimo di 26,3 °C del 1985 ed un minimo di 18,4 °C del 1996;
- il massimo assoluto, sia per ciò che concerne le temperature medie che quelle massime, si è registrato nel luglio 1983 (media di 25,8 °C; media delle massime di 31,5);
- il minimo assoluto, sia per ciò che concerne le temperature medie che quelle minime, si è registrato nel gennaio 1985 (media di -1,9 °C; media delle minime di -5,4 °C);
- il regime termico della stazione meteorologica considerata è di tipo 2-3, ossia con febbraio più caldo di dicembre e marzo più caldo di novembre ed è tipico di zone a clima mesotermico umido (C, nella classificazione di Köppen).

### 8.3 Classificazione climatica

Dall'insieme dei dati pluviometrici e termometrici si può affermare che il clima, oltre ad essere mesotermico umido (tipo C di Köppen), risente di una certa continentalità evidenziata dall'abbastanza elevata escursione termica annua. Per essere più precisi i parametri termometrici misurati fanno ricadere la zona rappresentata dalla stazione meteorologica di Bergamo in un tipo di clima definito da Köppen come temperato sublitoraneo, ovvero avente le seguenti caratteristiche:

- media annua della temperatura compresa fra 10 e 14,4°C;
- media della temperatura del mese più freddo compresa fra -1 e 3,9°C;
- da 1 a 3 mesi con temperatura media  $\geq 20^\circ\text{C}$ ;
- escursione termica annua superiore a 19°C.

Unendo le considerazioni pluviometriche a quelle termometriche si ottiene un tipo di clima, secondo Köppen, definito Cfa e assimilabile al già citato clima temperato sublitoraneo, dove :

- C indica un clima mesotermico umido;
- f indica l'assenza di un vero e proprio periodo arido;
- a indica una temperatura media del mese più caldo superiore a 22°C.

Un breve cenno merita anche il regime termico dei suoli ricavato dai dati pubblicati dall'Istituto Sperimentale di Cerealicoltura – Sezione di Bergamo e relativi al decennio 1978-1987. Tali dati riguardano le temperature del suolo misurate a tre differenti profondità (5, 10, 20 cm) e da essi si deduce come i valori mensili medi sul decennio non siano mai risultati negativi, mentre quelli dei singoli mesi siano risultati negativi per ciò che concerne gennaio 1985 (a tutte e tre le profondità) e gennaio 1981 (a 5 cm). Dall'insieme di tali dati si ipotizza, per i suoli del territorio in esame, un regime di tipo "mesico", definito dalla Soil Taxonomy Classification, come caratterizzato da una temperatura media annua del suolo, a 560 cm di profondità, uguale o superiore a 8 °C e inferiore a 15 °C, con differenze fra le temperature medie estive e quelle medie invernali superiore ai 5 °C.

### 8.4 Venti e regime anemometrico

E' la differenza di temperatura esistente fra le varie aree della terra che provoca l'insorgere dei venti; infatti, differente temperatura significa differente densità dell'aria e di conseguenza differente pressione atmosferica. Tali differenze bariche producono dei movimenti d'aria (i venti) da zone ad

alta pressione verso zone a pressione più bassa. Oltre a questi movimenti d'aria a grande scala ve ne sono altri a livello locale: le brezze, che sono sia stagionali che giornaliere.

Nel territorio bergamasco ovviamente si riscontra la presenza di tutte queste tipologie di venti. Per quanto riguarda le brezze giornaliere esse traggono origine dal fatto che l'atmosfera che circonda i rilievi si riscalda e si raffredda più intensamente di quella che sovrasta la pianura, a parità di altitudine. Precisamente di giorno all'altezza delle vette e al di sopra dei pendii si ha una temperatura più alta di quella dell'atmosfera libera alla stessa quota, per cui si genera un gradiente termico-barico diretto verso la montagna che a sua volta provoca uno spostamento d'aria nella stessa direzione; durante la notte il gradiente si inverte e pertanto anche le correnti locali mutano la loro direzione (brezza di valle e di monte).

Cosa analoga avviene per le brezze stagionali, fra inverno ed estate; infatti in inverno l'aria in prossimità di vette e pendii ha mediamente una temperatura inferiore a quella dell'atmosfera libera ed il gradiente termico-barico, e di conseguenza le brezze che ne derivano, hanno direzione dai monti verso la pianura, mentre nel periodo estivo la direzione si inverte.

I dati riportati nella seguente tabella sono quelli pubblicati dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura, Sezione di Bergamo e sono relativi al ventennio 1962-1981 e alla stazione di Bergamo.

**Tabella 6** - *Frequenza percentuale della direzione del vento pubblicati dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - per il trentennio 1962-1981.*

Mese	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Gennaio	9.8	29.0	5.6	12.7	6.8	15.9	11.7	8.5
Febbraio	7.7	19.7	5.3	17.6	10.5	24.7	7.6	6.8
Marzo	6.0	21.3	6.1	25.1	6.1	21.6	7.1	6.8
Aprile	5.2	20.6	5.7	26.1	9.3	17.6	7.4	8.3
Maggio	8.3	18.8	6.5	20.0	7.0	21.5	10.5	7.4
Giugno	10.3	19.8	6.5	18.0	8.4	22.1	8.6	6.4
Luglio	10.9	20.7	6.2	21.5	9.2	19.4	7.1	5.1
Agosto	11.3	23.4	5.4	22.4	7.3	19.1	6.1	4.9
Settembre	9.4	22.7	8.6	19.7	5.7	21.0	8.2	4.7
Ottobre	5.1	30.3	9.2	14.7	6.4	22.4	7.7	4.3
Novembre	8.8	26.8	7.2	9.8	4.5	25.9	10.2	6.9
Dicembre	11.1	29.3	9.1	9.1	4.4	18.1	10.2	8.8
Media	8.7	23.5	6.8	18.1	7.1	20.7	8.5	6.5

Dalla tabella si può ricavare come le direzioni di provenienza più frequenti siano tre e più precisamente da NE (23.5 %), da SO (20.7 %) e da SE (18.1 %); seguono poi, nettamente meno frequenti, le altre direzioni.

Da un'analisi più approfondita dei dati si nota come la direzione di provenienza da NE sia nettamente la più frequente nei mesi freddi, mentre è subordinata a quella da SO nei mesi caldi. Ciò è legato all'instaurarsi delle brezze stagionali che, come già accennato, spirano da monte (nella provincia di Bergamo perciò da Nord) verso valle nei mesi freddi e verso monte in quelli più caldi. Nello stesso studio da cui sono tratti i dati anemometrici si cita il Gavazzeni che afferma che, mentre al mattino prevalgono i venti da NE, al pomeriggio dominano invece quelli da SO. Tale fatto è in pieno accordo con la teoria riguardante le brezze giornaliere (di valle e di monte).

## 8.5 Evapotraspirazione e bilancio idrico

L'evapotraspirazione è un fattore climatico di grande importanza ai fini del bilancio idrico di un'area e quindi per la valutazione delle potenzialità idriche superficiali e sotterranee. Essa è rappresentata numericamente dalla quantità di acqua persa in seguito a fenomeni di evaporazione e di traspirazione. Per l'effettiva comprensione di quanto il fenomeno incida sulla riserva idrica del suolo, determinandone variazioni annuali e pluriennali, si è soliti distinguere fra un'evapotraspirazione potenziale, funzione principalmente della temperatura, dell'insolazione e della velocità e turbolenza del vento e che è la quantità di acqua che effettivamente sarebbe soggetta ad evapotraspirazione in assenza di periodi di deficit idrico, ed una reale che rappresenta invece la quantità di acqua realmente soggetta ad evapotraspirazione. Infatti nei mesi in cui il valore delle precipitazioni è maggiore o uguale all'evapotraspirazione potenziale, l'evapotraspirazione reale uguaglia quella potenziale e la quantità d'acqua in eccesso, la cosiddetta eccedenza idrica, in parte va a ricostituire la riserva idrica del suolo e in parte alimenta lo scorrimento superficiale. Al contrario, se le precipitazioni sono inferiori rispetto all'evapotraspirazione potenziale, si ha un deficit idrico che comporta una diminuzione della riserva idrica del suolo.

I metodi per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale e reale elaborati nel corso degli anni sono numerosi e per una stima precisa bisognerebbe tener conto della capacità di ritenzione dei suoli e di conseguenza il calcolo andrebbe effettuato per ogni suolo presente sul territorio comunale di Martinengo. Alla luce del fatto che i dati udo-termometrici disponibili per l'utilizzazione in tali elaborazioni non sono riferiti esattamente alla zona in esame, ma ad una stazione meteorologica posta a circa 8÷9 km di distanza, ci si è limitati al calcolo dell'evapotraspirazione potenziale utilizzando la formula di Thornthwaite:

$$E_p = 16K(10T/ic)a$$

dove:

$E_p$  = evapotraspirazione potenziale media mensile in mm;

$K$  = coefficiente correttivo che tiene conto della latitudine e dell'insolazione;

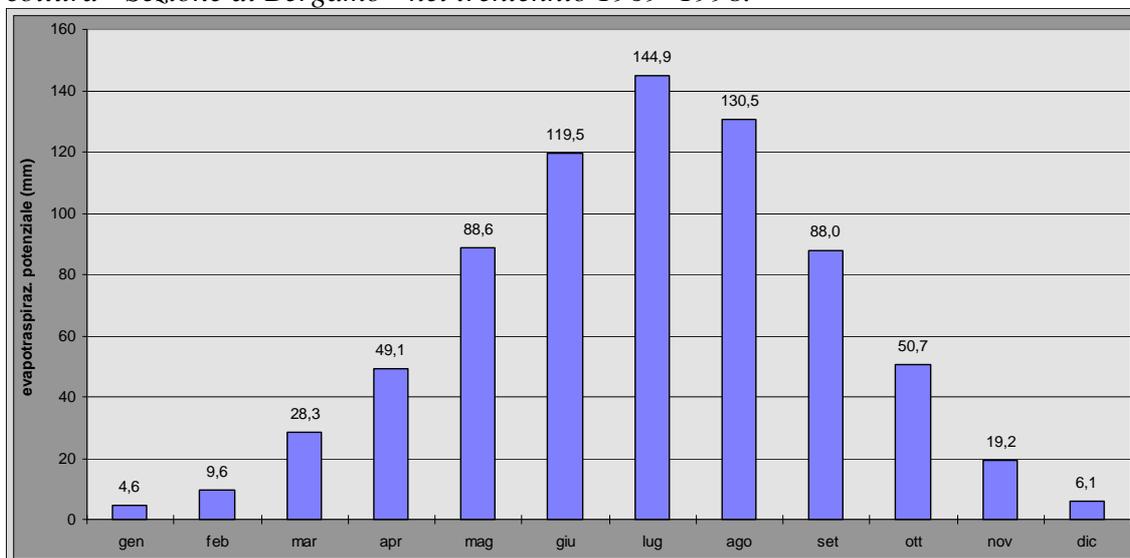
$T$  = temperatura media mensile dell'aria in °C;

$ic$  = indice annuo di calore dato dalla somma dei singoli indici mensili;

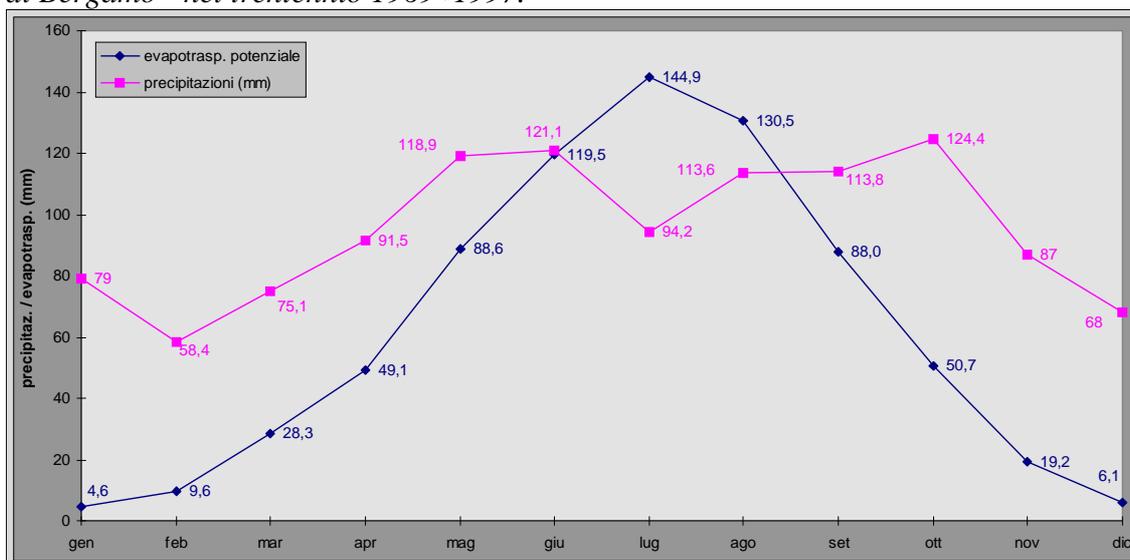
$a$  = fattore legato a  $ic$ .

I risultati di tale elaborazione sono riportati nel grafico di **Fig. 12**, mentre nel grafico di **Fig.13** si riporta il bilancio idrico medio mensile. L'evapotraspirazione potenziale annua è stata perciò stimata in 739,2 mm.

**Fig.12** -Evapotraspirazione media mensile potenziale relativa all'Istituto Sperimentale di Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1998.



**Fig.13** -Bilancio idrico medio mensile relativo all'Istituto Sperimentale di Cerealicoltura - Sezione di Bergamo - nel trentennio 1969÷1997.



Da quest'ultimo grafico si nota come per la maggior parte dei mesi l'evapotraspirazione potenziale sia numericamente inferiore all'entità delle precipitazioni e che solo per i mesi di luglio ed agosto si registri il contrario. Alla luce di ciò il periodo autunnale, invernale e primaverile risultano momenti di surplus idrico con alimentazione della falda e scorrimento superficiale; il periodo estivo corrisponde ad un momento di deficit e di utilizzazione idrica, mentre durante la prima parte del periodo autunnale, grosso modo fino alla metà di ottobre, si ha un periodo di ricostituzione del patrimonio idrico grazie all'eccedenza delle precipitazioni sull'evapotraspirazione.

Per una stima dell'evapotraspirazione reale si è utilizzata la formula di Turc:

$$Er = P / [0.9 + (P^2 / L^2)] \cdot 0.5$$

dove:

## **Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

### *Relazione illustrativa*

---

Er = evapotraspirazione reale annua in mm;

P = altezza media annua delle precipitazioni in mm;

L =  $300+25T+0.05T^3$  con T = temperatura media annua in °C.

In realtà, invece, di T si utilizza di norma la grandezza Tp calcolata come segue:

$$T_p = \frac{\sum P_i T_i}{\sum P_i}$$

dove:

Ti = temperatura media di ciascun mese;

Pi = precipitazione media di ciascun mese.

Tramite tale formula si è calcolato un valore dell'evapotraspirazione reale annua pari a 618,3 mm.

Va ricordato, infine, come i valori dell'evapotraspirazione calcolata siano da intendersi come orientativi in quanto alcuni fattori, come la copertura e l'uso del suolo, nonché la capacità di ritenzione idrica propria di ogni differente suolo, possono apportare significative variazioni al fenomeno.

## **9. Caratteri idrogeologici**

### 9.1 Lineamenti idrogeologici generali

La struttura idrogeologica in questo settore della pianura bergamasca è riassumibile in un **primo acquifero**, partendo dall'alto, che si spinge fino a 50-70 m di profondità, costituito da ghiaie e sabbie, e subordinatamente da conglomerati e arenarie e lenti argilloso-limose; tale struttura è geologicamente costituita dall'alto verso il basso:

- depositi fluvio-glaciali dell' "Unità di Cologno", dell' "Unità di Palosco" e dei depositi alluvionali più recenti dell' "Unità Postglaciale".
- al di sotto di esse si trova la formazione del "Ceppo". Si tratta di un'unità conglomeratica, a ghiaie cementate che presenta uno spessore quasi sempre superiore ai 50 metri e massimo di 70, e che si esaurisce verso Sud nella zona di Martinengo.

Dal punto di vista idrogeologico, possiedono grande importanza l'elevata permeabilità degli strati superficiali, che comporta una notevole capacità d'infiltrazione delle acque, e l'altrettanto elevata trasmissività dell'acquifero nei conglomerati.

Al di sotto di tale complesso si sviluppa un orizzonte argilloso limoso che rappresenta la base della prima struttura acquifera e l'elemento di separazione con gli acquiferi più profondi, costituiti dalla cosiddetta "Unità Villafranchiana" in cui è riconoscibile un ambiente di sedimentazione marino.

Il complesso impermeabile è caratterizzato da un'alternanza di orizzonti argillosi e di orizzonti sabbioso-ghiaiosi di spessore molto variabile e con predominanza dei primi rispetto ai secondi o viceversa a seconda delle zone.

La variabilità di spessore di questi orizzonti, che nell'insieme costituiscono il **secondo acquifero**, condiziona la capacità di accumulo di acqua dei livelli acquiferi profondi i quali si trovano in condizioni sempre artesiane e a volte saliente oltre il piano campagna.

La base impermeabile del primo acquifero, ha un andamento sotterraneo caratterizzato procedendo est-ovest, da un alternarsi di depressioni e dorsali che coincide con maggiori o minori spessori dell'acquifero. In particolare risultano caratteristiche le depressioni relative all'asse del fiume Serio e Adda con andamento marcatamente nord-sud.

E' importante osservare che i corpi ghiaiosi e conglomeratici costituiscono il "condotto" naturale in cui le acque si infiltrano e si distribuiscono dalla superficie nel sottosuolo. Tali "condotti", si dipartono dallo sbocco delle attuali valli, ovvero dalle apici dei conoidi dei corsi d'acqua, aprendosi a ventaglio verso la pianura.

### 9.2 Lineamenti idrogeologici di dettaglio

Come già citato, l'area in esame appartiene alla "media pianura bergamasca" ed è interessata esclusivamente da sedimenti alluvionali e fluvio-glaciali risalenti al quaternario. La geologia superficiale è relativamente poco complessa essendo caratterizzata da poche unità arealmente molto estese; al contrario, essa tende a divenire più complessa ed articolata man mano che si procede in profondità; infatti si ha una graduale differenziazione sia al passaggio con le sottostanti unità più antiche, sia all'interno delle singole unità. Tali caratteristiche geologiche sono di rilevante importanza in quanto condizionano fortemente la circolazione idrica sotterranea.

Sulla base delle indicazioni stratigrafiche relative ai numerosi pozzi presenti nella zona, sono state ricostruite tre sezioni idrogeologiche, una orientata N-S e le altre E-W (riportate nell'**Allegato 4A**), dalle quali è stato possibile ricostruire la struttura idrogeologica sotterranea.

La sezione idrogeologica A-A' ha un decorso grosso modo orientato E-W ed interessa, oltre a Martinengo, anche i comuni di Cologno al Serio e Mornico al Serio. Si nota che lo spessore delle litologie sabbioso-ghiaiose del primo acquifero è variabile da circa 20 metri a oltre 40 (nel pozzo 13) e che al suo interno sono intercalate locali lenti argillose e conglomeratiche; al di sotto di questi si rinvengono alternanze di livelli a prevalenze di limi ed argille con isolate lenti conglomeratiche e argillose.

Anche la sezione idrogeologica B-B' presenta uno sviluppo orientato Est-Ovest, interessando i comuni di Martinengo, Cologno al Serio e Civate al Piano. Qui nel pozzo n° 19 per oltre 50 metri a partire dal piano campagna si incontrano sabbie e ghiaie, mentre si incontra un livello impermeabile con una certa continuità e posto a quote medie di circa 85-90 m s.l.m..

La sezione idrogeologica C-C' interessa, da Nord a Sud, i comuni di Ghisalba, Martinengo e Romano di Lombardia. In questo caso, oltre ad apprezzare l'inclinazione della superficie topografica verso Sud, è possibile notare come lo spessore degli strati sabbio-ghiaiosi sia notevolmente maggiore nei due pozzi posti più a Sud (il n°18 ed il n°4), dove si superano i 40 metri, mentre addirittura nel pozzo n°13, posto a Ghisalba, sottili strati sabbio-ghiaiosi si alternano con quelli decisamente più consistenti a natura conglomeratica e limoso-argillosi.

Correlando le varie sezioni sopra descritte si può notare come il settore nord occidentale del territorio comunale sia caratterizzato da un "dosso" a prevalenza argillosa e conglomeratica che si trova già a profondità di -15m, ben visibile nell'estremità occidentale della sezione A-A' ed in quella settentrionale della sezione C-C'.

### 9.3 Morfologia piezometrica

In generale, l'acquifero superficiale riceve alimentazione dalle aree settentrionali, principalmente grazie alle precipitazioni efficaci, alle perdite dagli alvei dei fiumi Serio e Cherio, nonché dai canali artificiali; l'irrigazione contribuisce in modo sostanziale all'alimentazione della falda. Per gli acquiferi profondi il problema si presenta più complesso, ma è probabile un contributo degli acquiferi superficiali, soprattutto nelle zone settentrionali.

La superficie piezometrica a livello regionale presenta un andamento iperbolico nelle sezioni Nord-Sud; in corrispondenza di Seriate si raggiunge la massima soggiacenza (55-60 m), mentre spostandosi verso meridione la falda risale, e oltre Ghisalba si stabilizza alla profondità di 3-7 metri, con emergenze nella zona dei fontanili. Questi ultimi sono infatti originati dall'emergenza della falda superficiale, mentre le falde profonde rimangono contenute negli acquiferi e superano senza disturbi questa linea.

L'andamento della superficie piezometrica, rappresentato negli **Allegati 4 e 4A**, è stato ricostruito sulla base di una campagna piezometrica eseguita ad hoc nel gennaio 2011, nella quale è stata rilevata la misura del livello della superficie della falda freatica in alcuni pozzi ad uso privato sparsi sul territorio comunale.

L'elenco dei pozzi di misura con le relative misure, sia della soggiacenza, che della quota della superficie piezometrica, è illustrato nella **Tabella 7**.

Nome Pozzo	Soggiacenza falda ( m dal p.c.)	Quota falda (m s.l.m.)
Azienda agricola "La Rosa"	-5	150.8
Azienda agricola Sporchia	-1.2	144.8
Leporati F.lli	-2.8	133.2
Orticultura Bellina Manuel	-3.7	131.3
Società agricola Gatti	-3.2	134.8
Società agricola "Le case"	-4.8	140.7
Azienda agricola Morotti	-7.45	148.5
Civera F.lli	-2.2	145.8

**Tabella 7** – *Elenco pozzi nei quali sono state effettuate le misure della campagna piezometrica del gennaio 2011.*

I dati rilevati sono stati quindi interpolati, mediante modellazione in 3D, in modo da ottenere il modello della superficie piezometrica al Gennaio 2011 su tutto il territorio comunale.

Dall'analisi della piezometria si osserva che spostandosi verso Est, la superficie della falda tende ad approfondirsi rispetto alla superficie topografica e ciò si giustifica, in parte, con la vicinanza al fiume Oglio il quale ha una funzione drenante della falda e con la funzione invece di alimentazione da parte del fiume Serio.

La direttrice principale del deflusso della falda risulta pertanto da Nord a Sud, con una leggera componente verso E.

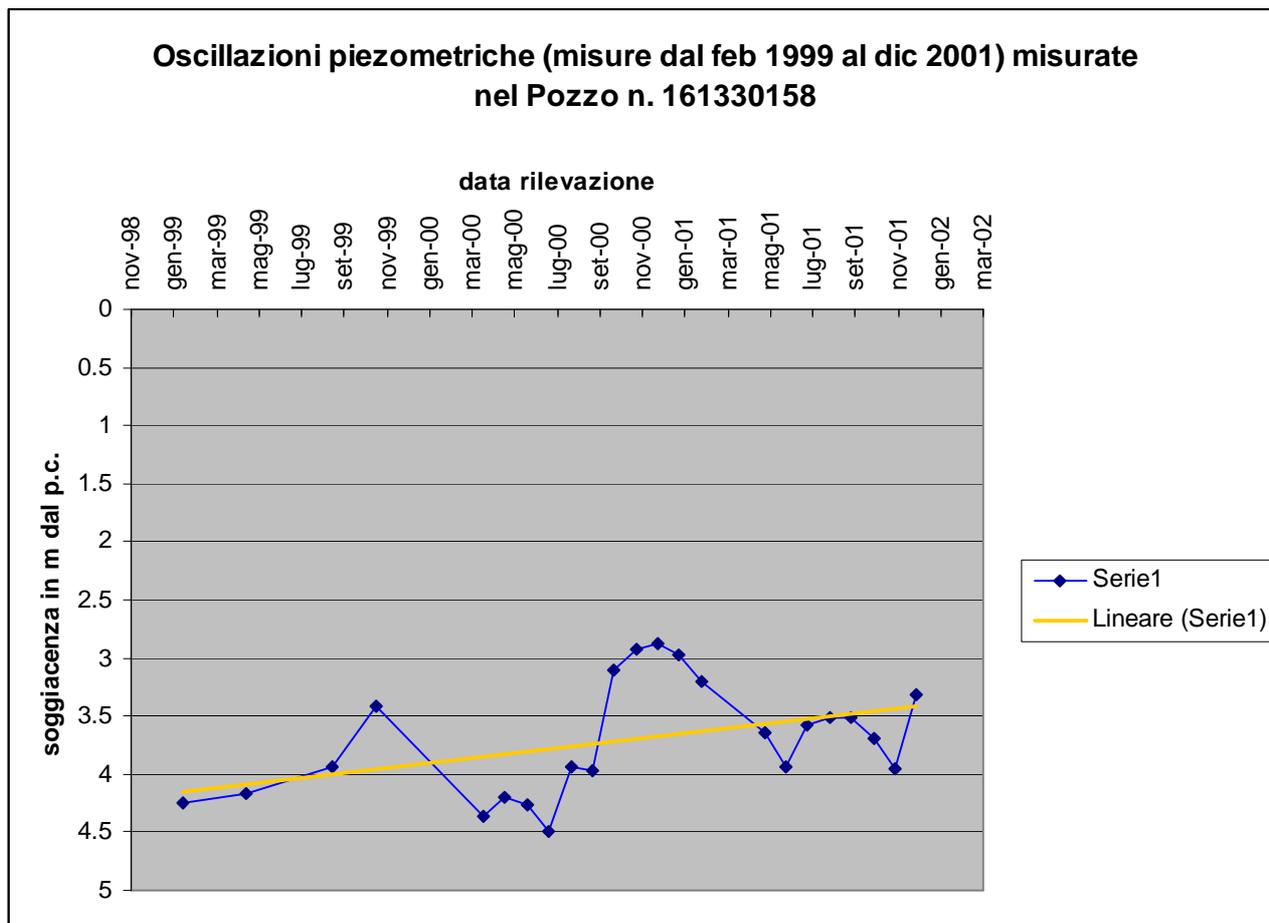
I valori di soggiacenza della superficie piezometrica rispetto al piano campagna variano da un minimo di -2m nella porzione sud occidentale del territorio comunale, nelle vicinanze del fiume Serio, fino ad un massimo di -8m che si riscontra nel settore nord orientale.

#### 9.4 Le oscillazioni piezometriche

Al fine di valutare le oscillazioni piezometriche delle falda freatica si a livello stagionale che come trend evolutivo è stata eseguita un'elaborazione delle misure piezometriche rilevate dal febbraio 1999 al dicembre 2001 nell'ambito del progetto di "monitoraggio delle acque sotterranee della Provincia di Bergamo".

Tale progetto ha avuto inizio nel 1999, prefiggendosi, come attività, la raccolta di informazioni sulla piezometria e sulla qualità delle acque sotterranee attraverso periodici controlli realizzati presso una serie di pozzi pubblici e privati omogeneamente distribuiti sul territorio provinciale. Tali pozzi costituiscono la rete di monitoraggio operativa in provincia di Bergamo.

Mediante l'elaborazione dei dati a disposizione, i quali, considerato il breve periodo di osservazione, non possono comunque ritenersi esaustivi, si è giunti alla realizzazione del grafico sottostante di **Fig.14** riportante l'oscillazione della falda nel tempo e sul quale è stata calcolata anche la retta di tendenza dal quale si deducono le seguenti osservazioni.



1. Le oscillazioni stagionali mostrano un massimo innalzamento della falda nel mese di novembre-dicembre e valori minimi nei mesi di giugno luglio con differenze che hanno raggiunto un massimo di 1.60m.
2. E' evidente un trend evolutivo di innalzamento della falda (linea gialla) in accordo con il trend regionale.

A tal proposito si sottolinea che, in corrispondenza del pozzo di misura (cod.161330158), la piezometria del gennaio 2011 (indicata nella carta piezometria dell'**Allegato 4**), indica una soggiacenza di 2.7m, in accordo col trend evolutivo di innalzamento.

Un'altra misura disponibile è quella del pozzo pubblico per acqua potabile comunale ubicato in via Zambianchi, attualmente gestito da UniAcque S.p.A.e per il quale è disponibile un'unica misura effettuata nel luglio 1994 pari ad una soggiacenza di 9.65 m.

Alla luce dei pochi dati disponibili si può pertanto stimare, seppur in maniera molto approssimativa, che il trend evolutivo della falda indica un innalzamento medio di circa 50cm all'anno.

## 9.5 Opere di captazione

Il prelievo di acqua dal sottosuolo per scopi privati, in prevalenza per uso agricolo, per l'allevamento ed in secondo piano industriale, assume, nel territorio comunale, particolare rilevanza.

I pozzi censiti, estratti dal SITer della Provincia di Bergamo, risultano in tutto 109, molti dei quali attualmente in disuso; la loro ubicazione è illustrata nell'**Allegato 4**.

Per l'approvvigionamento idrico di allevamenti e agricoltura in questi ultimi anni si è progressivamente abbandonato il prelievo dalle acque superficiali, anche a causa dell'estinzione progressiva dei fontanili che alimentavano parte delle rogge irrigue, a scapito dei prelievi di acque sotterranee.

Allo stato attuale, la gestione dei pozzi irrigui passa attraverso il Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca, il Consorzio della Roggia Sale oppure resta in capo ai singoli agricoltori.

Il quadro sopra esposto evidenzia una presenza eccessiva di pozzi, molti dei quali in disuso; a tal proposito si evidenzia che i pozzi rappresentano punti di veicolazione diretta degli eventuali inquinanti presenti in superficie verso la falda acquifera, senza che essa subisca l'effetto di naturale filtraggio da parte dei terreni sovrastanti l'acquifero; tutto ciò aumenta in maniera esponenziale la vulnerabilità della falda, che come vedremo in seguito, risulta già scarsamente protetta.

## **10 Analisi della pericolosità sismica**

### 10.1 Generalità

Con l'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», pubblicata sulla G.U. n.105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n.72, vengono individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale. Tale ordinanza è in vigore dal 23 ottobre 2005 per gli aspetti inerenti la classificazione sismica: di tale classificazione la Regione Lombardia ha preso atto con d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003.

Con Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 pubblicata sulla G.U. n.108 del 11/05/06 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone» viene aggiornata la carta della pericolosità sismica di riferimento per tutto il territorio nazionale.

A ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Zona 1 - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
---

Zona 2 - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
---

Zona 3 - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
---

Zona 4 - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.
--

### Il territorio del Comune di Martinengo viene classificato in Zona Sismica 3.

A ciascuna zona è stato attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 «Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni» pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008), infatti, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un

valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

La l.r.12/2005 vincola i Comuni sismici ad un approfondimento sismico (microzonazione) finalizzato alla valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal d.m. 14 gennaio 2008.

La metodologia è definita nell'ambito della d.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374 relativa alla definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ed in particolare nell'Allegato 5.

In funzione dell'appartenenza del Comune ad una determinata zona sismica, ai sensi di tale normativa si dovranno applicare differenti livelli di approfondimento.

In particolare per il Comune di Martinengo, essendo classificato in Zona Sismica 3, deve essere eseguito, in fase pianificatoria, obbligatoriamente il 1° livello di approfondimento su tutto il territorio comunale ed il 2° livello nelle zone PSL3 e Z4 se interferenti con l'urbanizzato e se urbanizzabili (escludendo le aree inedificabili).

## 10.2 Analisi di 1° livello

I criteri contenuti nella d.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374 servono per consentire una protezione adeguata dagli effetti di amplificazione sismica locali ove la normativa nazionale non fosse sufficiente. Infatti le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. In sostanza l'azione di eventi sismici sulle strutture è condizionata anche dalle condizioni geologiche e geomorfologiche locali che possono portare a fenomeni di amplificazione del fenomeno rispetto a quanto ci si dovrebbe aspettare.

In funzione delle caratteristiche del terreno presente si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: effetti di sito ed effetti di instabilità.

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa della interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Gli effetti di sito si possono distinguere in:

- *Effetti di amplificazione topografica.* Si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo.
- *Effetti di amplificazione litologica.* Tali effetti sono funzione delle variazioni litologiche locali e della relativa differente risposta sismica all'evento di riferimento.

Gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese.

L'approfondimento di 1° livello consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette la zonazione del territorio in termini dei diversi effetti prodotti dall'azione sismica, desunti sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, (quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Lo studio consiste nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc.) e nella redazione di un'apposita cartografia (a scala 1:10.000) denominata nell'**Allegato 5 - Carta della pericolosità sismica locale (PSL)**, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (**Tabella 8**) in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	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 (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	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 fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

**Tabella 8 - Scenari di pericolosità sismica locale**

Nell'ambito dell'intero territorio di Martinengo sono stati individuati quali scenari di potenziale pericolosità i seguenti contesti:

- **Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi (Z4a).**

Viene compreso in questo scenario tutto il territorio comunale essendo caratterizzato da depositi sciolti di natura alluvionale o fluvio-glaciale con spessori considerevoli. Tali depositi anche se generalmente distribuiti in modo uniforme sul territorio possono presentare corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni che possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Le zone identificate come Z4a devono essere assoggettate all'esecuzione delle procedure di 2° livello per valutare, mediante procedure semplificate semiquantitative, il grado di protezione che la

normativa sismica nazionale può garantire nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale.

- **Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi (Z1a).**

Queste zone sono rappresentate da quegli elementi lineari costituiti dagli orli di scarpata fluviale del Fiume Serio, caratterizzati da fenomeni di instabilità.

Queste aree dovrebbero essere sottoposte automaticamente al 3° livello di approfondimento sismico, ma considerando che esse risultano inedificabili a causa dell'esistenza di vincoli (vincolo di polizia idraulica) e di una classe 4 di fattibilità geologica dovuta alla presenza del rischio esondativo (fascia A del PAI), non risulta necessario eseguire il suddetto approfondimento.

Si fa presente che in tutto il territorio comunale ed in particolare nelle aree individuate come "aree rimaneggiate" e "cave e discariche dismesse" potrebbero riscontrarsi aree, comunque di estensione limitata, nelle quali i terreni di fondazione risultano particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, zone con depositi granulari fini saturi).

Questo tipo di depositi può dar luogo, in conseguenza di un evento sismico, a fenomeni di instabilità quali cedimenti e/o liquefazioni e comportamenti differenziali. Si ricorda che il fenomeno della liquefazione si verifica in presenza di terreni a granulometria medio-fine non coesivi (sabbie limose e sabbie fini monogranulari) con grado di addensamento scarso e/o molto scarso, saturi.

Questa tipologia sottosuolo corrisponde ad uno scenario di potenziale pericolosità sismica individuati come "**Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (Z2)**"; queste aree devono essere sottoposte automaticamente al 3° livello di approfondimento sismico.

La distribuzione areale e la tipologia di questi terreni non è stata definita, a causa dell'estrema variabilità litologica laterale dei depositi fluvio-glaciali che caratterizzano il territorio di Martinengo e del fatto che al momento non sono note le tipologie e gli spessori dei materiali di riporto che sono stati depositati nelle discariche e nelle ex cave.

Pertanto in fase di progettazione degli interventi, in occasione delle indagini che dovranno essere eseguite obbligatoriamente su tutto il territorio comunale per verificare puntualmente le caratteristiche geotecniche del sottosuolo, come indicato nelle "Norme geologiche di Piano", il progettista dovrà anche valutare caso per caso se i terreni di fondazione presenti nell'area dell'intervento rientrano in quelli individuati come "terreni di fondazione particolarmente scadenti (Z2)" ed in tal caso procedere con l'applicazione del 3° livello di approfondimento sismico.

### 10.3 Approfondimento di 2° livello

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) individuati con l'approfondimento di 1° livello.

Nel caso in esame si applica quindi a tutto il territorio comunale in quanto definito come "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi (Z4a)".

La procedura permette la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Esso fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa) e qualora l'Fa calcolato dovesse risultare maggiore dell'Fa di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano, in queste aree si dovrà procedere con 3° livello di approfondimento.

Il 3° livello di approfondimento, da eseguirsi a livello progettuale, permette una definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini ed analisi approfondite, anche se in alternativa ad esso può

essere anche sufficiente utilizzare semplicemente lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Si è quindi proceduto, come previsto dalla normativa, nelle aree interferenti con l'urbanizzato e nelle aree ove il PGT prevede nuovi ambiti di trasformazione, all'approfondimento sismico di 2° livello.

In particolare sono state eseguite n. 10 indagini mediante la tecnica della sismica passiva HVSR, che hanno consentito di verificare le condizioni richieste dalla normativa e di ricostruire un adeguato modello stratigrafico e geofisico del sottosuolo, che è stato poi utilizzato per l'impiego degli abachi previsti dalla normativa vigente.

Le indagini sono state eseguite nei siti ritenuti significativi dal punto di vista urbanistico, ovvero nelle aree ove il presente PGT prevede nuovi ambiti di trasformazione ed in quelle ove è presente un tessuto urbano consolidato.

I risultati delle indagini e le relative elaborazioni sono contenute nell'**Appendice C** "Caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica".

Nella Tavola 1 allegata alla relazione di cui all'**Appendice C**, è illustrata l'ubicazione dei siti di indagine e l'indicazione delle indagini nelle quali l' $F_a$  calcolato è risultato maggiore del valore di soglia comunale e quindi ove a livello progettuale si dovrà procedere con 3° livello di approfondimento (o in alternativa utilizzare semplicemente lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore).

## **11 Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata**

### 11.1 Previsioni del P.A.I.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Po, approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001 e successive varianti e integrazioni, ha delimitato, all'interno del territorio comunale, delle fasce di pertinenza fluviale del fiume Serio che individuano aree soggette a diversi gradi pericolosità idraulica e ad esse ha associato un insieme di norme che disciplinano l'utilizzo del territorio.

In particolare sono state definite le seguenti fasce di esondazione fluviale:

- Fascia A : fascia di deflusso della piena. Essa è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena.
- Fascia B : fascia di esondazione (calcolata con una portata con un tempo di ritorno di 200 anni)
- Fascia C : fascia di inondazione per piena catastrofica (calcolata con una portata pari alla massima piena storicamente registrata, se corrispondente ad un tempo di ritorno superiore ai 200 anni, o in assenza di essa, la piena con un tempo di ritorno di 500 anni).

Si sottolinea che ai sensi di quanto prescritto dalla d.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374, la Carta di fattibilità delle azioni di piano, al Carta dei vincoli e le Norme geologiche di Piano del presente studio, recepiscono le suddette fasce fluviali e la relativa normativa d'uso.

### 11.2 Previsioni del P.T.C.P.

Il piano territoriale di coordinamento provinciale della Provincia di Bergamo, approvato dal Consiglio Provinciale con delibera n.40 del 22.04.2004, attribuisce al territorio comunale di Martinengo condizioni di dissesto idraulico ed idrogeologico in ambito di pianura (indicati nella Tav. E1) ed in particolare le seguenti criticità di cui all'art.44:

*- Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica (art. 44 colla 1).*

Si tratta di ambiti sui quali si rileva la presenza di valori bassi di profondità della falda rispetto al piano campagna e la mancanza, o il limitato spessore, dello strato di impermeabilità superficiale.

Ogni intervento che possa alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque sotterranee dovrà essere sottoposto ad approfondito studio di compatibilità idrogeologica ed idraulica che ne attesti l'idoneità.

*- Aree interessate dai fontanili (limite superiore dell'ambito dei fontanili) per i quali si dovrà verificare e garantire l'equilibrio idraulico e naturalistico (art 44 comma 4).*

Per l'elevato grado di vulnerabilità della falda oltre che l'elevato grado di naturalità, è tassativamente vietato lo scarico dei materiali di qualsiasi natura anche quando non venisse rilevata la presenza di acqua.

Dovranno essere favoriti ed adottati gli interventi finalizzati alla salvaguardia delle falde più profonde.

Specificatamente per i singoli fontanili deve essere inoltre incentivata ed effettuata la periodica manutenzione, volta ad assicurare la massima efficienza della erogazione delle polle e del deflusso delle acque, con spurgo delle masse vegetali e del detrito accumulatisi sia nella testa che nell'asta.

### 11.3 Previsioni del P.T.U.A.

Il programma di tutela e uso delle acque, ai sensi dell'art.44 del D.Lgs 152/99 e dell'art. 55 comma 19 della l.r. 26/2003, approvato dalla Giunta Regionale con d.g.r. 8/2244 del 29 marzo 2006, prevede un insieme di aree di tutela delle risorse idriche pregiate e di salvaguardia delle captazioni potabili a servizio di acquedotti pubblici.

Il territorio comunale di Martinengo viene così inquadrato all'interno del PTUA.

- *Tavola 1 – Corpi idrici superficiali significativi e aree idrografiche di riferimento.*

Il territorio comunale risulta compreso quasi interamente nell'area idrografica del fiume Serio, fatta eccezione per il margine orientale facente parte dell'area idrografica del fiume Po.

- *Tavola 3 – Corpi idrici sotterranei significativi e bacini idrogeologici di pianura.*

Martinengo appartiene al bacino compreso tra i Fiumi Adda ed Oglio il quale è caratterizzato da una buona disponibilità idrica, ma anche da un sostanzioso sfruttamento delle risorse. La parte settentrionale del bacino è infatti caratterizzata da un'ingente sfruttamento di tipo industriale, a causa della presenza di numerose industrie che necessitano per i loro cicli produttivi di sostanziose quantità d'acqua (acciaierie ed un buon numero di piccole-medie imprese). La parte centro-meridionale è d'altra parte caratterizzata da un tipico uso agricolo del suolo e delle risorse idriche. E' così possibile suddividere concettualmente il territorio considerato in due macro-aree, a seconda della tipologia di ricarica che interessa gli acquiferi: quella settentrionale, in cui si può considerare praticamente nullo il contributo alla ricarica della falda da parte delle irrigazioni agricole, che dipende quasi esclusivamente dalle precipitazioni, e quella centro-meridionale in cui la ricarica da irrigazioni influisce, da stime effettuate, per un 60% sul totale della ricarica degli acquiferi. Il restante 40% sarà invece dovuto alla ricarica meteorica. Il limite tra le due aree è sostanzialmente definito dalla linea dei fontanili e quindi coincidente con il territorio di Martinengo.

In questo settore esiste sostanzialmente un equilibrio tra disponibilità e consumi e le oscillazioni piezometriche sono limitate. L'uso della risorsa idrica è sostenibile e poco significativo per cui il PTUA suggerisce semplicemente di monitorare l'evoluzione del livello di falda mediante misure piezometriche.

Il bacino Adda-Oglio è caratterizzato da una particolare carenza di dati per cui nei prossimi anni dovranno essere oggetto di un monitoraggio.

- *Tav 4 – Classificazione dei corpi idrici sotterranei significativi.*

Il territorio di Martinengo risulta in "classe B" ovvero appartenete ad un'area ad impatto antropico ridotto con moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovra sfruttamento, consentendo un uso della risorsa idrica sostenibile sul lungo periodo.

Lo stato ambientale (quali-quantitativo) risulta scadente e la classificazione qualitativa delle acque risulta di Classe 4 ovvero caratterizzata da un impatto antropico rilevante e con caratteristiche idrochimiche scadenti.

- *Tav. 8 Individuazione delle zone vulnerabili ai sensi della direttiva 91/676/CEE.*

Il territorio di Martinengo è situato in una zona definita come "vulnerabile da nitrati di provenienza agro zootecnica". In tali zone le norme stabilite dalla l.r. 15.12.1993 n. 37 e dal suo regolamento attuativo, trovano applicazione sino all'entrata in vigore del nuovo regolamento regionale per l'utilizzazione agronomica di effluenti di allevamento, di cui all'art. 52 l.r. 26/2003.

- *Tav. 9 – Aree di riserva e di ricarica delle captazioni ad uso idropotabile.*

Il territorio di Martinengo si inserisce in buona parte in un'area di riserva ottimale, mentre l'estremità nord occidentale in un'area di riserva integrativa.

In generale nel bacino in oggetto vi sono condizioni favorevoli di bilancio. Questa situazione è dovuta principalmente alla diminuzione dei prelievi, che negli ultimi anni ha interessato un po' tutta la Regione.

## **Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

### *Relazione illustrativa*

---

I settori più indicati a svolgere la funzione di zone di riserva sono sicuramente quelli più vicini ai fiumi, dove il facile scambio di risorse fra fiumi e falde garantisce meglio che altrove la ricarica e contemporaneamente il rinnovo qualitativo delle acque sotterranee.

Le portate che possono essere estratte da questo bacino sono rilevanti, ma non possono essere considerate affidabili nel lungo termine, considerata la non elevata trasmissività di questi acquiferi.

Al di fuori dell'area di riserva ottimale, sostanzialmente rappresentata dalla pianura lombarda al di sotto della linea dei fontanili, l'estremità nord-occidentale del territorio comunale si inserisce in una zona che il pregio delle acque sotterranee e la loro abbondanza suggerisce di utilizzare come *aree di riserva integrative*.

**Parte III**  
**Fase di sintesi e valutazione**

**12 Le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni**

Il territorio comunale di Martinengo è stato oggetto di una valutazione di natura geotecnica che ha consentito, in ultima analisi, l'elaborazione dell'**Allegato 6** – Carta geologico-tecnica.

I dati riguardanti la composizione e le caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti il primo sottosuolo dell'area in esame sono stati ricavati dalle stratigrafie dei pozzi per acqua e da prove sia in situ.

La distribuzione areale e i risultati delle indagini sono illustrati rispettivamente nell'**Allegato 6** e nell'**Appendice A**.

I terreni del territorio comunale sono stati oggetto delle seguenti indagini geognostiche:

- sondaggi meccanici a rotazione, a carotaggio continuo, finalizzati a definire le caratteristiche litostratigrafiche dei siti;
- prove penetrometriche;
- prove di permeabilità in situ, effettuate all'interno dei fori di sondaggio utilizzando il metodo Lefranc a carico variabile;
- prove geotecniche di laboratorio.

Dalle indagini geognostiche ed analisi geotecniche di laboratorio, opportunamente estrapolati, si è potuti pervenire ad una prima caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti il territorio.

Se ne deduce una certa uniformità nella natura e nelle proprietà geotecniche delle varie tipologie di terreno che possono interessare le fondazioni, ma un'estrema variabilità litologica dei terreni stessi dovuta, soprattutto negli strati più superficiali, ad un'interdigitazione, a volte molto sottile, di strati a composizione granulometrica molto differente.

Per quanto riguarda la composizione litologica dei terreni superficiali si possono individuare approssimativamente tre aree:

- un'area che comprende il settore adiacente il corso del fiume Serio caratterizzata, almeno fino a 15 – 20m di profondità da ghiaie e sabbie al di sotto delle quali si trovano alternate con strati argillosi;
- un'area ubicata nell'estremità sud-orientale del territorio comunale nella quale fino a circa -30m si trovano ghiaie più o meno sabbiose passanti anche a sabbie ghiaiose, al di sotto delle quali si trovano alternanze di conglomerati e argille;
- un'area, che costituisce buona parte del territorio comunale, costituita da ghiaie sabbiose con interdigitazioni frequenti di materiale scadente dal punto di vista geotecnico ovvero argille e/o sabbie limose le quali possono interessare anche la superficie (vedi sondaggio n.7); la ghiaia può presentarsi molto compatta in transizione con i conglomerati.

Per quanto riguarda le proprietà geotecniche è possibile fornire dei parametri indicativi e medi dello strato portante sulla base delle indagini eseguite e riportate in dettaglio nell'Appendice A.

Per l'Unità Postglaciale e i depositi alluvionali:

- peso di volume naturale  $\gamma_n \approx 1.7-2$  t/mc;
- coesione tra i grani  $c \approx 0$  kg/cmq;
- angolo d'attrito interno  $\phi \approx 27^\circ - 40^\circ$ .

Per l'Unità di Cologno e di Palosco:

- peso di volume naturale  $\gamma_n \approx 1.85-2$  t/mc;

- coesione tra i grani  $c \approx 0$  t/mq;
- angolo d'attrito interno  $\varphi \approx 27^\circ - 38^\circ$
- coesione non drenata  $c_u \approx 0.5 - 1.0$  kg/cmq

Si sottolinea che tale caratterizzazione, vista l'estrema variabilità dei terreni superficiali, non può assolutamente ritenersi esaustiva e che, come specificato nelle norme geologiche di piano e dal D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", preliminarmente alla realizzazione di qualsiasi intervento, devono essere eseguite indagini specifiche finalizzate alla definizione della successione stratigrafica e alla parametrizzazione dei materiali di fondazione.

Particolare attenzione sulla caratterizzazione geotecnica meritano quelle aree che a vario titolo sono state rimaneggiate dall'intervento antropico e che quindi non possono essere caratterizzate attraverso l'attribuzione dei parametri dei terreni naturali.

Si tratta di terreni a volte naturali semplicemente rimaneggiati e a volte invece provenienti dall'esterno e di natura non ben specificata la cui distribuzione nel sottosuolo e le cui caratteristiche geotecniche sono ignote.

Esse sono concentrate nel settore nord-occidentale del territorio comunale in fregio alla sponda sinistra del fiume Serio.

Le attività di manomissione del territorio cominciano parecchi anni fa in genere con l'estrazione di materiale ghiaioso-sabbioso di origine fluviale e si protraggono successivamente con attività di vario tipo.

Da rilevare la presenza in loc. C.na Roccolo Poloni di una discarica abusiva, risalente agli anni '70, di rifiuti speciali (fanghi di vario tipo), R.S.U., macerie e materiali inerti.

Immediatamente a sud troviamo un'area interessata dallo scarico delle acque di lavaggio di un impianto di inerti posto a nord della discarica.

In corrispondenza dell'estremità nord occidentale del territorio Comunale in loc. C.na Bottazzoli, è invece presente un'area oggetto di recente bonifica agricola, ove il rimaneggiamento è consistito nell'asportazione del suolo agricolo e nella sua sostituzione con un tipo di suolo più adeguato alle coltivazioni in atto.

Sono inoltre identificabili nel territorio aree oggetto di escavazione per l'estrazione di materiali litoidi la cui attività risulta ormai cessata da molti anni. Non essendo ricostruibile il tipo di attività svolta vi è la concreta possibilità che vi sia stato depositato materiale proveniente dall'esterno di natura ignota o che quello in posto abbia subito un rimaneggiamento.

Le cave dismesse risultano concentrate in particolar modo nell'estremità nord occidentale del territorio comunale, in corrispondenza della loc "Cava al Tiro" e del laghetto di pesca sportiva adiacente (relictto della passata attività estrattiva).

In loc. C.na Roccolo Poloni nel 1976 l'alveo del Serio descriveva un'ansa meandrica (già allora, probabilmente, non più attiva) largamente occupata da fosse di cava, di cui una intercettante la falda. A partire dal 1982 l'intera zona appare quasi completamente livellata con poche locali fosse residue, ed in data successiva al 1982 l'area fu oggetto di nuovi scavi successivamente colmati con la discarica.

Nella porzione nord orientale del territorio comunale il Piano Cave della Provincia di Bergamo ha individuato parte di un ambito estrattivo identificato con la sigla ATE g7 (la restante parte dell'ambito ricade nel Comune di Mornico al Serio).

## **Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

### *Relazione illustrativa*

---

Il territorio, all'interno del perimetro di cava, subisce profonde e continue modifiche che riguardano sia la creazione di nuovi fronti di cava, che riporti temporanei e definitivi di materiale inerte (il Piano Cave Provinciale prevede per quest'ambito un recupero ambientale definitivo mediante ritombamento a piano campagna).

L'attività di cava è normata dalla L.r. n.14/98 e dall'autorizzazione provinciale alla coltivazione attualmente in vigore.

Le profonde trasformazioni subite dal territorio dovranno pertanto essere adeguatamente valutate qualora al termine dell'attività di cava si prevedano modificazioni di uso del suolo e trasformazioni urbanistiche

### **13 La vulnerabilità della falda freatica**

Per vulnerabilità delle acque sotterranee si intende la facilità con cui le stesse possono essere interessate da fenomeni di inquinamento causati da interventi antropici, mediante infiltrazione o percolazione di inquinanti.

Bisogna innanzitutto distinguere tra la vulnerabilità intrinseca del sistema idrogeologico dalla vulnerabilità integrata.

La prima è funzione esclusivamente dei parametri naturali che caratterizzano il suolo ed il sottosuolo, tra i quali prevalgono la litologia, la struttura e la geometria del sistema idrologico, la natura del suolo, la geometria della copertura, il processo di ricarica-dscarica del sistema ed i processi di interazione fisica ed idrogeochimica che determinano la qualità naturale dell'acqua sotterranea e la mitigazione di eventuali inquinanti che penetrano il sistema.

La seconda integra le caratteristiche naturali del sottosuolo con le potenzialità inquinanti derivanti dalle attività umane (industrie, scarichi, cisterne interrato etc...) che costituiscono i cosiddetti centri di pericolo.

Nel presente lavoro è stata affrontata la valutazione della **vulnerabilità intrinseca** nei confronti della falda superficiale, in quanto caratteristica specifica del territorio non dipendente dalle attività umane svolte le quali risultano variabili nel tempo e di difficile valutazione.

Il metodo che è stato utilizzato per la valutazione della vulnerabilità intrinseca della falda al di sotto dell'area di studio è definito S.I.N.T.A.C.S. (proposto da Civita nel 1994 per conto del C.N.R.-G.N.D.C.I). Secondo tale metodologia si giunge ad una quantificazione della vulnerabilità del sistema naturale mediante un complesso insieme di giudizi e valutazioni applicate a sette parametri:

- Soggiacenza
- Infiltrazione efficace
- Non-saturo (effetto di autodepurazione del)
- Tipologia della copertura
- Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del)
- Conducibilità idraulica dell'acquifero
- Superficie topografica (acclività della)

Per ciascun parametro, attraverso l'uso di appositi diagrammi di confronto, viene assegnato un punteggio (variabile fra 1 e 10), crescente con la vulnerabilità.

Ai punteggi (P) relativi a ciascun parametro viene assegnato un peso (W) in funzione del diverso ruolo nella determinazione della vulnerabilità.

Dal prodotto peso per valore si ottiene infine un indice di vulnerabilità per ciascuno dei parametri, la cui sommatoria fornisce poi un indice di vulnerabilità finale (I SINTACS).

L'area per la quale è stata effettuata la valutazione di vulnerabilità è quella compresa nei limiti comunali, ed i dati relativi al suolo ed al sottosuolo sono stati ricavati direttamente dai sondaggi, dalle misure piezometriche, dalla ricostruzione mediante le sezioni idrogeologiche dell' **Allegato 4A** e dal materiale bibliografico.

- *Soggiacenza (S)*

La soggiacenza (profondità della superficie piezometrica della falda superficiale misurata rispetto al piano campagna), ha una notevole influenza sulla vulnerabilità in quanto dal suo valore assoluto e

dalle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo dipende, in buona misura, il tempo di transito di un qualsiasi inquinante idroportato e la durata delle azioni autodepurative dell'insaturo.

È pertanto necessario selezionare dai dati disponibili il valore minimo di soggiacenza registrato corrispondente alla massima escursione del livello piezometrico. Ciò al fine di porsi nella condizione più cautelativa possibile.

Dalla carta piezometrica di cui dell'**Allegato 4**, la quale, come descritto in precedenza fotografa un minimo storico della soggiacenza, i valori variano dai -2m della porzione sud occidentale del territorio comunale, fino ai -8m della porzione nord orientale.

Per ciascuna di esse il digramma utilizzato Punteggio/Soggiacenza fornisce un punteggio che varia rispettivamente da 9 a 6.

▪ *Infiltrazione (I)*

L'infiltrazione efficace assume notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità poiché essa determina il trascinarsi in profondità degli inquinanti, ma anche la loro diluizione, dapprima nell'insaturo e quindi nella zona di saturazione.

Il parametro si calcola dalla piovosità efficace e dalle condizioni idrogeologiche superficiali che vengono rappresentate dal coefficiente di infiltrazione potenziale ( $\chi$ ).

Nel caso in questione, siamo in presenza di suoli spessi (maggiori di 50 cm) per cui si dovrà adottare la seguente formula:

$$I = P \times \chi \text{ (mm/a)}$$

dove P è il valore delle precipitazioni medie annue e  $\chi$  è il coefficiente di infiltrazione potenziale che è funzione del tipo di tessitura del suolo.

Considerando P uguale a 1145 mm/a (ricavato dalle analisi dei capitoli precedenti)

Per i suoli presenti sul territorio comunale così come da classificazione riportata sulla Carta Pedologica dell'Ersal (vedi **Allegato 2**) di tipo:

- 43-49-17-15 si stima pari a 0.2       $I = 229 \text{ mm/a}$
- 16-12-31-38 si stima  $\chi$  pari a 0.1       $I = 114 \text{ mm/a}$
- 51 si stima  $\chi$  pari a 0.4       $I = 458 \text{ mm/a}$

Si rilevano altresì rocce "poco coperte" (suoli minori di 50cm) per i quali si dovrà adottare invece la seguente formula:

$$I = Q \times \chi \text{ (mm/a)}$$

Dove Q è il valore delle precipitazioni efficaci medie annue ovvero:

$$Q = P - E_r$$

Dove P è il valore delle precipitazioni medie annue e  $E_r$  è l'evapotraspirazione media annua., pari rispettivamente a 1145 mm e a 739 mm.

Nel caso di suoli poco spessi ovvero per i suoli classificati come N4-50-35, Q sarà pertanto uguale a 406mm e I uguale a 324 (considerando un  $\chi$  pari a 0.8).

Si sottolinea come nella scelta del valore di  $\chi$  all'interno di un intervallo, si sia optato sempre, cautelativamente, per il valore maggiore.

Per tali valori di infiltrazione il digramma utilizzato Punteggio/Infiltrazione fornisce per ogni tipologia di suolo i seguenti punteggi:

43-49-17-15

Punteggio = 8.9

N4-50-35	Punteggio = 8.9
16-12-31-38	Punteggio = 5.5
51	Punteggio = 4.9

▪ *Effetto di autodepurazione del non saturo (N)*

La zona insatura, intesa come parte di sottosuolo compresa tra la base del suolo e superficie piezometrica dell'acquifero libero, rappresenta la seconda linea di difesa (la prima è il suolo) del sistema acquifero nei confronti degli inquinanti liquidi e/o idroveicolati.

All'interno di esso vari fattori sia fisici che chimici favoriscono i processi di attenuazione; essi sono la filtrazione, la dispersione, le reazioni chimiche con il mezzo, la biodegradazione e la volatilizzazione. Tali fattori sono da ricondursi essenzialmente alle caratteristiche granulometriche, allo spessore e alla reattività chimica del mezzo.

Nel caso in questione il materiale insaturo ha una tessitura grossolana costituita da ghiaie sabbiose con presenza di ciottoli e una percentuale variabile di limo.

Si è quindi in presenza di alluvioni grossolane alle quali il grafico, che attribuisce ai vari complessi idrogeologici un punteggio, assegna un range che varia fra gli 8 e i 9 punti a seconda della quantità di materiale a tessitura fine. Considerata la presenza pressoché costante di limo, anche se distribuita arealmente in percentuali differenti, si attribuisce un punteggio pari a 8.

▪ *Tipologia della copertura (T)*

Il suolo riveste un ruolo della massima importanza nella mitigazione dell'impatto degli inquinanti e nella valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero costituendo la prima linea di difesa del sistema. Il suo potenziale di attenuazione dipende da una serie di parametri quali: la granulometria, la tessitura, lo spessore effettivo, la massa volumica apparente (densità volumetrica), la porosità totale, la quantità d'acqua disponibile per la vegetazione e la conducibilità idraulica.

Le caratteristiche di tessitura dei suoli ed i parametri sopra elencati, quantificati in intervalli di punteggio SINTACS sono illustrati in un apposito grafico, dal quale si è ricavato il punteggio per i suoli che interessano il territorio comunale illustrati nell'**Allegato 2**.

N4-50-35 (suolo sottile o assente)	Punteggio = 10
51 (suolo a sandy skeletal)	Punteggio = 8
43-49-17-15 ( coarse loamy)	Punteggio = 5.5
38-16-12 (fine loamy)	Punteggio = 3
31 (fine silty)	Punteggio = 4

▪ *Acquifero (A)*

La tipologia di acquifero descrive i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica quando un inquinante idroveicolato giunge a mescolarsi con l'acqua sotterranea dopo aver superato le due linee di difesa costituite dalla copertura e dall'insaturo, con l'abbattimento di una parte più o meno rilevante della sua concentrazione iniziale. Tali processi sono: la dispersione, la diluizione, l'assorbimento e la reattività chimica nel mezzo.

Le caratteristiche litologiche e tessiturali degli acquiferi più frequentemente riscontrabili nella realtà geologica italiana sono quantificati in intervalli di punteggio SINTACS illustrati in un apposito grafico.

Da tale grafico, considerando che il primo acquifero è costituito da complessi alluvionali ghiaioso sabbiosi più cementati nella parte bassa con alternate sottili lenti argillose, si desume un punteggio di 8.

▪ *Conducibilità idraulica (C)*

La conducibilità idraulica è la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo, e dunque di un inquinante idrportato o con le stesse caratteristiche di densità dell'acqua sotterranea.

Si tratta però di un parametro di difficile valutazione, in particolare se non si hanno a disposizione prove di pompaggio. Per questa ragione SINTACS offre, oltre all'approccio diretto basato sui valori di K anche un metodo di stima indiretta che si basa su un grafico nel quale vengono riportati i principali tipi litologici di acquifero per intervalli di valori assoluti della conducibilità idraulica, unitamente con i caratteri discriminanti che permettono di effettuare una scelta più accurata spostandosi all'interno dell'intervallo indicato.

Il valore di K relativo all'acquifero in questione, costituito da complessi alluvionali ghiaioso sabbiosi più cementati nella parte bassa, con alternate sottili lenti argillose, si ricava assimilando il litotipo alla classe ghiaie sabbiose e ricavando quindi un valore di  $k = 10^{-3}$  m/s.

Si sottolinea come tale valore sia confermato dall'unica prova di permeabilità (Lefranc) effettuata in corrispondenza del settore settentrionale del territorio comunale.

Il punteggio ricavato dal grafico che mette in relazione lo stesso con gli intervalli di valore di K, risulta equivalente a 9.

▪ *Acclività della superficie topografica (S)*

L'acclività della superficie topografica influisce sulla valutazione della vulnerabilità intrinseca soprattutto perché da essa dipende sia la quantità di ruscellamento che si produce a parità di precipitazione sia la velocità di spostamento dell'acqua e dunque di un inquinante, sulla superficie.

In pratica si attribuisce un punteggio elevato alle pendenze moto blande dove un inquinante si sposta poco sotto l'azione della gravità o addirittura ristagna favorendo l'infiltrazione dell'inquinante.

Il grafico utilizzato mette in relazione delle classi di acclività comprese fra 0 e 30% ed il punteggio. Ad un'acclività media del territorio comunale piuttosto uniforme e piuttosto bassa, pari a 0.66%, corrisponde un punteggio di 10.

*Situazioni idrogeologiche di impatto*

Un volta che si è assegnato per ciascun parametro un punteggio crescente con la vulnerabilità, si dovrà assegnare anche il peso (W) in funzione del suo diverso ruolo nella determinazione della vulnerabilità.

I pesi moltiplicatori sono elaborati in modo da esaltare più o meno i singoli parametri in funzione del tipo di situazione idrogeologica che caratterizza l'area di studio.

Il metodo SINTACS identifica cinque diverse stringhe di pesi moltiplicatori che si riferiscono a cinque diversi scenari che descrivono diverse situazione idrogeologiche.

Il caso in esame è caratterizzato da una situazione territoriale prettamente agricola ove vi è un continuo o comunque frequente drenaggio da corpi idrici superficiali a quelli sotterranei soggiacenti.

E' stata quindi scelta la stringa costruita per le "aree soggette a drenaggio" la quale descrive in maniera realistica lo scenario territoriale ed idrogeologico che caratterizza il sito. La stringa è infatti strutturata in modo da esaltare notevolmente la funzione dell'acquifero come mezzo di depurazione e come veicolo di trasporto per gli inquinanti, ma anche dalla barriera all'infiltrazione costituita dal suolo e dalla profondità della falda.

Nella tabella seguente sono indicati i valori della stringa utilizzata per la determinazione del peso moltiplicatore (W) relativa alle “Aree soggette a drenaggio”.

<b>Parametro</b>	<b>Peso (W) per aree soggette a drenaggio</b>
S	4
I	4
N	4
T	2
A	5
C	5
S	2

#### *L'indice di vulnerabilità*

Dal prodotto del valore (P) per il peso (W) si ottiene un indice di vulnerabilità per ciascuno dei sette parametri la cui sommatoria fornisce poi un indice di vulnerabilità finale (I SINTACS).

$$I \text{ SINTACS} = S * W_s + I * W_i + N * W_n + T * W_t + A * W_a + C * W_c + S * W_s$$

Sostituendo con i valori ottenuti e operando l'opportuna discriminazione in funzione dei diversi tipi di suoli che interessano il territorio comunale si ricava:

Per i suoli di tipo N4-50-35

$$I = 8 * 4 + 38.9 * 4 + 8 * 4 + 10 * 2 + 8 * 5 + 9 * 5 + 10 * 2 = \mathbf{224.6}$$

Per i suoli di tipo 51

$$I = 8 * 4 + 4.9 * 4 + 8 * 4 + 8 * 2 + 8 * 5 + 9 * 5 + 10 * 2 = \mathbf{204.6}$$

Per i suoli di tipo 43-49-17-15

$$I = 8 * 4 + 8.9 * 4 + 8 * 4 + 5.5 * 2 + 8 * 5 + 9 * 5 + 10 * 2 = \mathbf{215.6}$$

Per i suoli di tipo 38-16-12

$$I = 8 * 4 + 5.5 * 4 + 8 * 4 + 3 * 2 + 8 * 5 + 9 * 5 + 10 * 2 = \mathbf{197}$$

Per i suoli di tipo 31

$$I = 8 * 4 + 5.5 * 4 + 8 * 4 + 4 * 2 + 8 * 5 + 9 * 5 + 10 * 2 = \mathbf{199}$$

L'indice SINTACS è infine correlabile nella seguente tabella alle classi di vulnerabilità:

<b>Classe di vulnerabilità CNR</b>	<b>Indice SINTACS</b>
Bassissima	0-80
Bassa	81-105
Media	106-140
Alta	141-186
Elevata	187-210
Elevatissima	211-260

I valori calcolati si inseriscono quindi nelle due maggiori classi di vulnerabilità ovvero **ELEVATA ed ELEVATISSIMA**.

Si fa notare che nella determinazione del parametro della soggiacenza (S) si è assunto un punteggio uniforme pari a 8 per tutto il territorio comunale anche se in realtà i valori di soggiacenza variano dai -2m della porzione sud occidentale del territorio comunale, fino ai -8m della porzione nord orientale corrispondenti quindi ad un punteggio che varia rispettivamente da 9 a 6.

## **Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

### *Relazione illustrativa*

---

La correttezza di tale scelta è stata confermata da una verifica eseguita a posteriori sul punteggio complessivo che dimostra come l'assunzione di un punteggio pari a 9 o 6 provochi una variazione del punteggio complessivo di +4 o -8 punti e che ciò sia irrilevante dal punto di vista della classificazione della vulnerabilità.

Si può quindi concludere che la vulnerabilità intrinseca della prima falda al di sotto di tutto il territorio comunale varia soprattutto in funzione del tipo di suolo presente ed in maniera poco significativa in funzione della soggiacenza della falda in quanto essa risulta comunque molto bassa su tutto il territorio comunale.

La classificazione del territorio comunale in termini di vulnerabilità intrinseca della falda freatica è illustrata nell'**Allegato 7**.

#### **14 La carta di sintesi**

Una volta individuati tutti gli elementi a carattere geologico, idrogeologico ed idraulico che caratterizzano il territorio comunale, si è proceduto ad individuare quelli che fra di essi costituiscono un fattore di vulnerabilità e pericolosità e quindi si possono configurare come presupposti per una limitazione dell'uso e della modifica del suolo.

Si è quindi proceduto alla redazione dell'**Allegato 8** nel quali sono stati riportati tutti gli elementi di criticità e dalla cui sovrapposizione grafica sono scaturite delle zone nelle quali sono presenti una o più criticità di diversa tipologia.

Tale carta è risultata essenziale per dare una caratterizzazione sia qualitativa che quantitativa delle vulnerabilità del territorio sulla cui base son state successivamente valutate le compatibilità di eventuali proposte di modifica del territorio e le proposte di tutela e miglioramento.

In essa sono state evidenziate le seguenti criticità:

- Vincoli di polizia idraulica
- Fasce di rispetto dei fontanili
- Sponde fluviali in erosione
- Fasce di esondazione fluviale
- Aree di salvaguardia delle captazioni per uso idropotabile
- Classi elevate di vulnerabilità della falda freatica
- Bassa soggiacenza della falda freatica
- Aree rimaneggiate di origine antropica

## **15 Il regime vincolistico**

Come previsto dalla normativa relativa alla definizione della componente geologica del PGT ovvero dalla d.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374, sono state individuate le limitazioni di uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto prettamente geologico. In particolare sono stati individuati i seguenti vincoli illustrati nell' **Allegato 9**.

### **15.1 Il vincolo di polizia idraulica**

Per quanto concerne la regolamentazione delle attività all'interno delle fasce di rispetto dei corsi d'acqua ovvero le attività vietate e quelle che richiedono il rilascio di autorizzazione o concessione si rimanda all'apposito Regolamento contenuto nella determinazione del reticolo idrico minore redatta ai sensi della D.g.r. n. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e integralmente riportata nelle Norme Geologiche di Piano.

### **15.2 Le fasce di rispetto dai pozzi ad uso idropotabile**

Ai fini di prevenire l'inquinamento delle risorse idriche destinate al consumo di potabile la normativa vigente ha introdotto aree di salvaguardia delle risorse idriche atte a garantire la difesa delle risorse stesse e delle captazioni, nonché delle acque in afflusso ad esse.

Una specifica normativa riguarda la definizione delle fasce di rispetto ed in particolare l'art. 94 comma 3-4 del D.lgs 3 aprile 2006 n. 152 e la D.g.r. 10 aprile 2003 n.7/12693.

La D.g.r. 10 aprile 2003 n.7/12693 fornisce invece precise indicazioni, prescrizioni e un elenco delle attività vietate e concesse, finalizzate a tutelare la falda all'interno delle fasce di rispetto definite.

In particolare nel territorio comunale si trova una sola captazione pubblica per uso potabile ubicata in Via Zambianchi e attualmente gestita da UniAcque S.p.A..

Attorno ad essa sono state definite rispettivamente:

- una zona di tutela assoluta avente un'estensione di 10 m di raggio che deve essere adeguatamente protetta ed adibita esclusivamente alle opere di captazione e ad infrastrutture di servizio;
- una zona di rispetto di 200 m di raggio, per le quali la normativa disciplina gli interventi ammissibili e le attività vietate.

### **15.3 Le fasce fluviali del P.A.I.**

Il fiume Serio in corrispondenza del territorio comunale, è interessato dalle Fasce A, B e C definite nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Po (PAI).

Si riscontrano in particolare le seguenti fasce fluviali:

- Fascia A : fascia di deflusso della piena. Essa è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena. All'interno di essa si devono applicare le norme di cui agli artt. 29 e 39 delle N.d.A. del PAI .
- Fascia B : fascia di esondazione (calcolata con una portata con un tempo di ritorno di 200 anni). All'interno di essa si devono applicare le norme di cui agli artt. 30, 38, 38 bis, 38 ter, 39 e 41 delle N.d.A. del PAI .
- Fascia C : fascia di inondazione per piena catastrofica (calcolata con una portata pari alla massima piena storicamente registrata, se corrispondente ad un tempo di ritorno superiore ai 200 anni, o in assenza di essa, la piena con un tempo di ritorno di 500 anni).

**Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

*Relazione illustrativa*

---

In essa valgono le norme di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI. In particolare al comma 4 si stabilisce che “competete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in fascia C”.

**Parte IV**  
**Fase Propositiva**

**16 La carta di fattibilità geologica per le azioni di piano**

Sulla base dell'analisi delle criticità emerse nelle fasi di studio precedenti ed illustrate nella Carta di sintesi (**Allegato 8**), è stata valutata la propensione del territorio a subire modifiche d'uso e la compatibilità dell'utilizzo attuale e futuro, in relazione alle caratteristiche di pericolosità e vulnerabilità individuate.

Tutto ciò è stato esplicitato nella carta della fattibilità geologica delle azioni di piano (**Allegato 11**) e nelle Norme geologiche di piano le quali contengono la normativa d'uso della carta di fattibilità ed il richiamo alla normativa derivante dalla carta dei vincoli.

Nella carta di fattibilità geologica per le azioni di piano, redatta sia a scala 1:10.000 che a 1:2.000 il territorio comunale è stato suddiviso in aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità geologica ad ognuna delle quali è stata associata una normativa di riferimento che ne regola il mutamento di uso.

In particolare all'interno del territorio comunale, sono state identificate 3 classi di fattibilità geologica così come definite dalla D.g.r. n.8/7374 del 28 maggio 2008, con limitazioni crescenti dalla 2 alla 4, che qui di seguito elenchiamo:

- *Classe 2 – fattibilità con modeste limitazioni.*

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state osservate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione di uso, le quali possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

- *Classe 3 – fattibilità con consistenti limitazioni.*

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state osservate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione di uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

- *Classe 4 – fattibilità con gravi limitazioni.*

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

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

Data la peculiarità geologica ed idrogeologica del territorio, contraddistinto da caratteristiche geotecniche del sottosuolo estremamente variabili e dalla presenza generalizzata di una falda freatica a bassa e bassissima profondità, non è stato possibile individuare aree che non possiedano alcuna controindicazione di carattere geologico alla modifica di destinazione d'uso; pertanto non sono state individuate aree ricadenti nella classe 1 (fattibilità senza particolari limitazioni).

Per l'attribuzione delle classi di fattibilità, illustrate nell'**Allegato 11**, ci si è riferiti a quanto indicato nella Tabella 1 contenuta nella D.g.r. n.8/7374 del 28 maggio 2008, nella quale viene attribuita la classe di ingresso in funzione della tipologia e della pericolosità degli specifici ambiti.

Ciascuna di esse è stata suddivisa in sottoclassi in relazione alle problematiche geologiche riscontrate sul territorio. In particolare:

sottoclasse A → **PROBLEMATICHE GEOTECNICHE**

sottoclasse B → **PROBLEMATICHE IDRAULICHE**

sottoclasse C → **PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE**

In ragione delle condizioni geologiche locali sono state individuate aree interessate dalla sovrapposizione di più fattori limitanti con relativa normativa.

## **17 Principali fonti bibliografiche**

- AA.VV., 2000, «Carta Geologica della Provincia di Bergamo»;
- Basta s. e Minchio F., 2008, «Geotermia e pompe di calore», Associazione geotermia Org, Verona;
- Bendotti P., Burlini L., Francani V., Saibene L., Zappone A., 1988, «Studio idrogeologico delle esondazioni dei fiumi Adda, Brembo e Serio. Studi idrogeologici sulla Pianura Padana» vol. 4;
- Beretta G.P., Galli A., Pezzerà G., 1989, «Influenza della struttura idrogeologica della pianura bergamasca sull'inquinamento da atrazina delle acque sotterranee»;
- Bersezio R., Fornaciari M., 1988, «Tectonic framework of the Lombardy foothills (Southern Alps) between Brianza and Iseo lake». Dip. Scienze della Terra dell'Univ. di Milano. Rendiconti della Soc. Geol. It.;
- Bersezio R., Fornaciari M., Gelarti R., 1990, «Geologic map of the Southalpine Foothills between Brianza and Iseo lake». Mem. Soc. Geol. It., vol. 45, Dip. Scienze della Terra dell'Univ. di Milano – sez. di Geologia e Paleontologia;
- Celico P., 1986, «Prospezioni idrogeologiche»;
- Cestari F., 1990, «Prove geotecniche in sito»;
- Chiesa G., 1991, «Pozzi per acqua»;
- C.N.R., 1978, «Metodi di cartografia geo-ambientale»;
- Comune di Bergamo, assessorato alla cultura, 1992 – Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali “Enrico Caffi”, volume n° 15;
- Comune di Martinengo e Nisoli A., 2010, «Riqualificazione dei fontanili Ciurlina, Campo Rosso, Cornella».
- Consorzio regionale del Parco del Serio e Carelli A., 2010, «Dal Parco del Serio alla rete dei fontanili – progetto esecutivo».
- Colombetti A. et A.A., 1975 «Metodologia geologica di base per la formazione dei piani comprensoriali in Emilia-Romagna: un esempio di una zona di pianura». Mem. Soc. Geol. It. 14 (1975), 267-282;
- Colombo P., 1976 «Elementi di geotecnica»;
- Denti E., Francani V., Fumagalli L., Pezzerà G. e Sala P., 1988 «Studio idrogeologico del foglio Vimercate»;
- Desio A., Venzo S., 1954 «Carta Geologica d'Italia – foglio 33 (Bergamo)». Serv. Geol. It.;
- E.R.S.A.L. e Provincia di Bergamo, 1998, «Progetto Carta Pedologica - i suoli della pianura bergamasca sinistra Serio».
- Francani V., 1988) «Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee»;
- Lancellotta R., 1987 «Geotecnica»;
- Pezzerà G., Confalonieri C., Passera G. e Chiesa S., «Monitoraggio delle acque sotterranee della Provincia di Bergamo»;
- Pozzi R., 1992, «Manuale di Geologia Applicata»;
- Previtali F., 1984 «Introduzione allo studio dei suoli»;
- Provincia di Bergamo, 1990, «Qualità delle acque superficiali in provincia di Bergamo»;
- Provincia di Bergamo, 2004, «Piano territoriale di coordinamento provinciale»;
- Regione Lombardia, Banche dati del S.I.T.
- Regione Lombardia e C.N.R., 1996 «Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia»;
- Regione Lombardia, 2006, «Programma di tutela e uso delle acque»;

## **Comune di Martinengo**

*La componente geologica idrogeologica e sismica del P.G.T. ai sensi della L.R. n.12/2005 e s.m.i*

### *Relazione illustrativa*

---

- Regione Piemonte, 1978, «Atti del convegno: “Pianificazione Territoriale e geologia»;
- Regione Piemonte, 1978, «Contributi dell’analisi geologica all’organizzazione del territorio»;
- Sanesi G., 1976, «Guida alla descrizione del suolo». C.N.R.;
- Unità Socio Sanitaria Locale di Bergamo, 1991 «Monitoraggio biologico della qualità delle acque superficiali della provincia di Bergamo».