

## **1. CARATTERISTICHE GENERALI DELLO STUDIO**

Gli elaborati geologici allegati al P.R.G.C. costituiscono la raccolta delle indagini di natura geologica, geomorfologica, idrologica, idrogeologica e geotecnica eseguite dal sottoscritto, nell'ambito della redazione del progetto preliminare del Piano del Governo del Territorio di Bernate Ticino come disposto dalla l.r. n. 12/05 e dalla d.g.r. n. 8/1566 del 22-12-2005.

Le indagini eseguite sono state le seguenti:

- raccolta ed esame di tutti i dati di natura geologica disponibili sul territorio comunale;
- esecuzione di un rilievo geologico e geomorfologico, a scala 1:2.000/5.000, su tutta l'area del territorio comunale.

Sulla base della documentazione precedentemente elaborata, di tutti i dati raccolti mediante i rilevamenti diretti sul terreno e delle analisi eseguite, è stato possibile stendere una serie di elaborati riassuntivi e in particolare:

- a) Relazione geologica (elaborato Geo 1);
- b) Carta geologica e geomorfologica - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 2);
- c) Carta degli effetti dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000 - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 3);
- d) Carta della pericolosità sismica locale - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 4);
- e) Carta idrogeologica - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 5);
- f) Carta dei vincoli - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 6);
- g) Carta di sintesi - Scala 1:5.000 (elaborato Geo 7);
- h) Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano sull'intero territorio comunale - Scala 1:5.000 - Legenda (elaborati Geo 8a-8b);
- i) Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano sul territorio comunale urbanizzato - Scala 1:2.000 - Legenda (elaborati Geo 9a-9b-9c).

Alla presente relazione (elaborato Geo 1), che costituisce il commento delle analisi e degli elaborati cartografici eseguiti nell'ambito del programma sopra esposto, vengono allegate le Norme Tecniche a carattere geologico, così come suggerito dalla d.g.r. n. 8/1566 del 22-12-2005.

## **2. CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

### **2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

L'area sulla quale si sviluppa il territorio comunale di Bernate Ticino, appare prevalentemente pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di vari ordini di terrazzi con un generale andamento NNO - SSE, raccordati fra loro da scarpate più o meno evidenti.

La situazione geologico-geomorfologica osservata è il risultato di una serie di eventi avvenuti in

un lasso di tempo geologicamente contenuto; al termine della fase trasgressiva marina pliocenica, (durante la quale si è assistito al parziale riempimento da parte delle sedimentazioni di ambiente marino delle principali valli alpine già modellate prima del Pliocene), al passaggio tra Pliocene superiore e Pleistocene inferiore (Villafranchiano), si è assistito alla formazione di notevoli quantitativi di depositi grossolani di natura fluviale. Tali depositi sono stati erosi a partire dalla fine del Pleistocene inferiore a causa delle mutate condizioni climatiche e geodinamiche (fase di sollevamento della catena alpina che cominciava ad interessare anche il settore pedemontano). Attualmente nella valle del Ticino sublacuale, i sedimenti di età villafranchiana sono sporadicamente affioranti nel tratto tra Castelnovate e Turbigo, una decina di chilometri a N di Bernate Ticino.

Nel Pleistocene medio hanno avuto il loro acme le fasi di espansione glaciale, che hanno contribuito ulteriormente alla trasformazione dell'areale in esame; il modellamento del territorio avviene grazie all'azione combinata di due meccanismi, entrambi legati ai processi deposizionali di natura glaciale: da un lato l'azione d'accumulo esercitata dal ghiacciaio che, mettendo a disposizione enormi quantità di materiale proveniente dal proprio bacino d'alimentazione, è responsabile della formazione di cordoni morenici, ben evidenti poche decine di km a nord del territorio in esame; dall'altro, l'azione erosiva e deposizionale dei torrenti proglaciali che, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, ha dato luogo a morfologie depresse dalla forma tipica a fondo debolmente concavo o piatto e allo sviluppo di notevoli quantità di depositi fluvio-glaciali di spessore valutabile in alcune decine di metri. Connessa a queste dinamiche erosive, è la genesi dei numerosi terrazzi che caratterizzano l'aspetto del territorio di origine glaciale.

Successivamente alle fasi di ritiro dei ghiacciai, al passaggio tra Pleistocene ed Olocene, si assiste alla notevole diminuzione delle portate dei corsi d'acqua di origine proglaciale e conseguentemente all'attenuazione della loro dinamica erosiva e deposizionale; la pianura quindi incomincia ad assumere un aspetto morfologico simile all'attuale: si consolida un sistema fisiografico e idraulico che comporta la formazione di un tracciato fluviale di tipo meandriforme o debolmente braided e dei relativi depositi alluvionali, all'interno di un'ampia valle terrazzata ma con un'asta fluviale libera di migrare entro i limiti morfologici imposti dalle scarpate dei terrazzi pleistocenici, a loro volta impostati, con ogni probabilità, sulle preesistenti valli plioceniche.

## **2.2. DEPOSITI SUPERFICIALI**

Il territorio in esame è rappresentato da depositi che, in base alla loro caratterizzazione litostratigrafica, geomorfologica e pedologica, sono riassumibili nelle seguenti unità:

- depositi fluviali e fluvio-glaciali (Pleistocene superiore);
- depositi fluviali e fluvio-glaciali (Olocene);
- depositi alluvionali fluviali recenti ed attuali;

- coltre eluviale.

### **2.2.1. DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-GLACIALI (PLEISTOCENE SUPERIORE)**

Sono i depositi che rappresentano l'ultimo interglaciale e l'ultima glaciazione accertata; essi sono costituiti da ghiaie ciottolose a supporto clastico, in genere scarsamente selezionate e poco gradate con clasti a discreto grado di arrotondamento. I ciottoli hanno dimensioni medie intorno ai 10 cm e non sono alterati. La matrice è generalmente sabbiosa grossolana di colore grigio o grigio-marrone nelle porzioni più ossidate. I clasti sono prevalentemente di natura granitoidale e gneissica con subordinata presenza di clasti di origine basica e ultrabasica.

### **2.2.2. DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-GLACIALI (OLOCENE)**

Si tratta di sedimenti che, per quanto riguarda i terreni che costituiscono il terrazzo a valle dell'orlo delimitante i sedimenti pleistocenici, sono geneticamente attribuibili a fasi deposizionali in ambiente fluvio-glaciale in periodo tardo glaciale; circa i depositi che comprendono il terrazzo a monte della piana alluvionale attuale del Ticino, si osservano caratteristiche assimilabili a facies più francamente fluviali, in quanto costituiti da ghiaie dalle evidenze sedimentologiche riferibili a corsi d'acqua sinuosi o a meandri. In particolare si tratta di sedimenti ghiaiosi, per lo più a supporto clastico, poco gradati, privi di evidenti strutture sedimentarie, con clasti ben arrotondati, caratterizzati da discontinuità granulometrica verticale; si osservano per esempio passaggi a ghiaie molto ciottolose (ad ovest di Cascina Cattabrega) o più raramente a sabbie limose con ghiaia (zona compresa tra Molino Annoni e l'A4). Tali discontinuità hanno origine dalla eterogeneità granulometrica locale tipica di depositi fluviali, piuttosto che da vere e proprie alternanze di livelli a diversa granulometria legate ad eventi deposizionali con differenti caratteristiche dinamiche. A valle delle incisioni che modellano l'orlo di scarpata che separa i depositi pleistocenici da quelli olocenici, sono presenti sedimenti di ambiente di conoide alluvionale derivati dall'azione dei torrenti tardo glaciali affluenti del paleo Ticino.

### **2.2.3. DEPOSITI ALLUVIONALI FLUVIALI RECENTI ED ATTUALI**

Comprendono le isole fluviali vegetate e stabilizzate, le barre di meandro mobili del Fiume Ticino e i sedimenti presenti nella piana alluvionale ancora esondabile durante le piene fluviali; i depositi delle isole fluviali stabili e mobili, sono composte da ghiaie ciottolose inalterate nelle barre mobili e debolmente alterate per quanto riguarda le isole vegetate, selezionate e ben lavate (con frazione sabbiosa molto ridotta), talora con ciottoli embricati e porzioni date da sabbie ghiaiose medie poco gradate. I depositi presenti lungo la piana alluvionale sono costituiti da alternanze di livelli di forme ed estensione molto variabile di ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose, sabbie e sabbie fini.

#### **2.2.4. COLTRE ELUVIALE**

Essa ricopre quasi ovunque i depositi Pleistocenici e Olocenici mentre è molto scarsa (entisuoli) e spesso assente sui depositi recenti e attuali; rappresenta il risultato del disfacimento fisico e chimico dei depositi superficiali, ed è costituita da frammenti detritici di dimensioni varie, profondamente alterate dall'azione chimica degli agenti atmosferici e dall'azione biologica della vegetazione. In generale si può osservare come tale coltre presenti spessore maggiore (circa 1 metro) al di sopra dei depositi pliocenici, mentre tende a diminuire sensibilmente (attestandosi su valori medi non superiori ai 50 cm) al di sopra dei sedimenti fluviali olocenici. Vista l'esiguità e l'irregolarità dello spessore di tali depositi in relazione agli obiettivi dell'analisi svolta, la coltre eluviale non è stata cartografata come copertura.

#### **2.3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO**

Come riferito nel capitolo precedente, gli agenti geomorfologici dominanti sul territorio di Bernate Ticino sono stati i torrenti proglaciali e in fasi successive il fiume Ticino. Le forme legate alla loro azione sono ben riconoscibili sul terreno, molto meno sulla cartografia a disposizione, di scala inadeguata e non sufficientemente dettagliata.

##### *1. Orli di scarpata di terrazzo fluviale*

Essi delimitano una serie di scarpate in genere di blanda inclinazione che conferiscono al territorio esaminato un aspetto terrazzato che interrompe nella sua monotona continuità la morfologia pianeggiante.

Si osservano almeno tre ordini di terrazzi delimitati da altrettanti orli con andamento subparallelo all'asse vallivo del Ticino e con caratteristiche morfologiche leggermente diverse fra loro. Il terrazzo principale, con scarpata pronunciata e maggiormente acclive (circa 30°) ed altezza media di circa 10 m, è chiaramente rilevabile per buona parte del corso del Ticino lungo la pianura; nel tratto esaminato, esso è caratterizzato da frequenti ed irregolari insenature ed è l'elemento morfologico che separa i depositi fluvio-glaciali e fluviali di età pleistocenica da quelli francamente fluviali di età olocenica. Le irregolarità riscontrate lungo l'orlo di terrazzo, sono probabilmente dovute a relitti di incisioni di antichi corsi d'acqua che affluivano nel paleo Ticino, a loro volta in parte modificate come geometria e come altezza da antiche attività di estrazione di sabbia e ghiaia.

A valle dell'orlo di terrazzo prima descritto, è possibile riconoscere almeno altri due ordini di orli di scarpata che interessano i depositi olocenici: il primo delimita una scarpata di circa 4-5 m di altezza massima e si estende a partire dalle Fonti del Rubone, delimita verso ovest l'abitato di Bernate Ticino e prosegue in direzione di Cascina Cattabrega e Cascina Bighiani; il secondo si origina in prossimità del canale fluviale che costeggia la "Lanca di Bernate" della quale, sino all'altezza di Molino Annoni, ne costituisce la sponda sinistra; la scarpata prosegue poi con continuità delimitando l'attuale area di laminazione del Ticino; poco a monte del pozzo Agip,

l'orlo tende a divenire meno regolare perdendo continuità. L'altezza massima della scarpata di circa 4-5 m, è raggiunta in corrispondenza della Lanca.

Tali forme sono causate dalla dinamica erosiva del fiume Ticino e si pongono come limite morfologico all'espansione delle acque esondate; in particolare il secondo orlo di terrazzo delimita un'area golenale in grado di contenere piene a tempo di ritorno secolare.

## *2. Orli di scarpata di erosione torrentizia*

Sono rilevabili lungo il terrazzo pleistocenico alcune incisioni con andamento NNE-SSO talora blande, talora molto evidenti, delimitate da orli di scarpata di altezza anche superiore ai due metri; tali forme sono interpretabili come la delimitazione di alvei e fasce spondali di antichi corsi d'acqua tributari di sinistra del paleo Ticino.

Il più rilevante tra questi canali è quello posto al confine con Boffalora, che presenta ampiezza di circa una trentina di metri. Alla base di tali incisioni potrebbero essere ancora presenti modesti accumuli di sedimenti fluvio-glaciali rimaneggiati depositati in seguito ai fenomeni di erosione e trasporto verosimilmente legati alla presenza dei solchi d'erosione; tuttavia tali accumuli non sono rilevabili anche a causa della forte trasformazione indotta dall'urbanizzazione.

## *3. Paleoalvei fluviali e torrentizi*

Per quanto riguarda i paleoalvei presenti nel tratto compreso tra l'orlo che delimita l'area golenale attiva e la successiva scarpata, si può osservare una minore diffusione e un minor grado di incisione, dovuto anche alle trasformazioni indotte dall'attività agricola; al momento tali avvallamenti sono utilizzati come percorsi per le rogge irrigue derivate dal Naviglio Grande. È stato riconosciuto un importante paleoalveo tuttora riattivabile che si estende a partire da quota 117 m s.l.m. nella zona a monte del rilevato autostradale fino alla confluenza nel Ticino in corrispondenza dell'Osteria del Piave (quota 113 m s.l.m.) che viene riattivato nella porzione a valle dell'A4 durante le piene del Ticino.

Antichi alvei originati da corsi d'acqua affluenti del paleo Ticino, sono ancora riconoscibili sul terrazzo costituito dai depositi pleistocenici; in particolare ben evidente è il paleoalveo che lambisce l'abitato di Casate e si raccorda con la marcata incisione riconoscibile al confine con Boffalora.

## *4. Canali di deflusso fluviali*

All'interno della zona golenale tuttora riattivabile, è possibile riconoscere numerosi avvallamenti naturali, debolmente incisi con andamento per lo più parallelo all'asse vallivo del Ticino che possono essere interpretati come antichi canali di deflusso o di retrobarra abbandonati dal Ticino che ora presenta un livello idrometrico più basso e riattivabili durante le piene più importanti; i canali attualmente riconoscibili sono stati tutti riattivati dal deflusso delle acque esondate del Ticino durante l'evento dell'ottobre 2000.

## 5. *Dossi fluviali*

Si tratta di rilievi allungati con distribuzione subparallela all'asse vallivo del F. Ticino, di forma subelissoidale e di altezza generalmente non superiore ai 3 m; sono presenti soprattutto lungo i terrazzi compresi tra la zona golenale del F. Ticino e la scarpata che separa i depositi olocenici da quelli pleistocenici e sono interpretabili come antiche isole fluviali all'interno dell'alveo attivo del Ticino.

### **2.3.1. FORME LEGATE ALLA DINAMICA DELL'ALVEO DEL FIUME TICINO**

Osservando a grande scala il corso del Fiume Ticino a valle del Lago Maggiore, si nota come esso si presenti ad andamento chiaramente meandriforme ad alveo unicursale, con meandri in alcuni casi (per esempio Castelnovate) molto accentuati; il corso d'acqua risulta racchiuso in un canale delimitato da scarpate di circa 40 m di altezza, con alveo che ha inciso anche i depositi Villafranchiani. A partire da Oleggio sino al ponte dell'A7, il corso d'acqua presenta alveo molto allargato (massimo 400 m) sponde basse e tendenza a diminuire il raggio di curvatura dei meandri con tipologia caratterizzata dalla presenza di barre ed isole fluviale e dalla formazione di canali di retrobarra; talora il fiume tende ad assumere tipologia debolmente braided ma sempre con canali discretamente incisi; nel tratto dal ponte dell'A7 e la confluenza col fiume Po', il Ticino riprende ad aver alveo unicursale. Tale evoluzione nella morfologia fluviale è legata essenzialmente alla diminuzione di pendenza (e quindi di velocità dell'acqua) dell'alveo.

Nel tratto del Fiume Ticino che interessa il territorio di Bernate Ticino e la sua zona limitrofa, comincia a manifestarsi in maniera sempre più evidente una tipologia di alveo caratterizzato da maggiore larghezza e dalla presenza di isole fluviali costituite da sedimenti ghiaiosi con percentuale variabile di ciottoli e sabbia. Si osserva la presenza di un canale principale di larghezza stimabile in circa 100 m che si sviluppa tra le barre e le isole fluviali stabilizzate. Queste ultime si estendono mediamente per circa 700-1000 m con larghezza di 200-300 m e in genere sono delimitate nella parte in prossimità della terraferma da un canale scarsamente inciso largo circa una decina di metri detto "canale di retrobarra", nel quale l'acqua scorre in occasione di piene ordinarie e straordinarie.

Il sistema canale principale – barra o isola fluviale – canale di retrobarra, è assimilabile a scala minore come evoluzione morfologica ad un corso d'acqua meandriforme. Si osserva infatti lungo la sponda esterna concava del canale centrale, una evidente azione erosiva bilanciata lungo la sponda interna convessa, da un'azione deposizionale; conseguentemente si verifica una migrazione del canale principale verso l'esterno, con la formazione di barre (point bar) ad elevazione maggiore rispetto al livello della corrente nella porzione interna. Ne risulta un profilo asimmetrico della zona di alveo, maggiormente inclinato verso la sponda esterna, ad inclinazione molto minore verso la sponda interna, con una zona concava in corrispondenza del canale di retrobarra.

Nel tratto osservato, le sponde soggette a tale dinamica appartengono alle isole fluviali o alle barre; tale sistema pertanto risulta in continua evoluzione morfologica soprattutto in seguito ad eventi alluvionali in grado di provocare l'erosione e talora la completa asportazione di alcune barre e conseguentemente la formazione di nuove. Il confronto con la cartografia C.T.R. del Piemonte (1991) con quella della Lombardia (1994) e con lo stato attuale dedotto dalle foto aeree a seguito dell'alluvione ottobre 2000, conferma la continua evoluzione della forma e disposizione delle barre e delle isole fluviali in questo tratto del Ticino (vedi paragrafo successivo).

Nel tratto intermedio tra il ponte dell'autostrada A4 e il ponte della ferrovia Milano – Novara, si osserva un ulteriore ampliamento della zona di alveo di piena ordinaria (circa 700 – 800 m di larghezza) con la formazione di numerose isole e barre di dimensioni più contenute rispetto a quelle presenti a monte; non si riconosce la presenza di un vero e proprio canale principale e di canali di retrobarra, ma si osserva la formazione di più canali di ampiezza contenuta ad andamento sinuoso. Le isole si presentano per lo più scarsamente vegetate a testimonianza di una spiccata tendenza del corso d'acqua a mutare la fisiografia dell'alveo anche durante piene ordinarie.

### ***2.3.2. TENDENZE EVOLUTIVE DEL FIUME TICINO***

Dal confronto tra strumenti cartografici pubblicati in anni e da enti diversi, è possibile ricostruire e definire le divagazioni del Fiume Ticino e le sue tendenze evolutive, evidenziando in quale tratti si ha prevalenza di processi erosivi piuttosto che deposizionali.

Sono state esaminate la carta I.G.M. scala 1:25.000 edita nel 1963, la C.T.R. del Piemonte scala 1:10.000, restituita sulla base di rilievo aerofotogrammetrico del 1991, C.T.R. della Lombardia scala 1:10.000, restituita sulla base di rilievo aerofotogrammetrico del 1994 e le foto aeree a seguito dell'alluvione dell'ottobre 2000. Infine, nell'ambito del rilievo geologico e geomorfologico eseguito sul territorio comunale di Bernate Ticino, è stato svolto un rilievo geologico – geomorfologico di dettaglio sulla sponda lombarda del Ticino.

In generale è possibile riscontrare a grande scala nel tratto esaminato, comprendente i comuni di Cuggiono, Bernate Ticino e Boffalora, una discreta corrispondenza con la situazione riportata sulla carta I.G.M. del 1963 soprattutto per quanto riguarda il profilo e l'andamento delle sponde benché soggette comunque a fenomeni erosivi; le variazioni di maggior entità si sono riscontrate nella forma, collocazione ed estensione delle isole fluviali e delle barre.

Nel tratto a monte del ponte autostradale in particolare, è stata rilevata una evidente tendenza all'erosione spondale in sinistra che ha provocato l'asportazione di una parte della sponda fluviale

naturale alta circa 6-7 m poco a N dell'Osteria Ticino, in territorio di Cuggiono, ed ha interessato anche una porzione dell'isola fluviale presente in corrispondenza della lanca di Bernate. Questo fatto è legato alla migrazione verso sinistra del canale principale che ha provocato la parziale asportazione di un'isola presente allo sbocco della lanca e conseguenti fenomeni erosivi che hanno coinvolto la sponda sinistra. La parte centrale dell'alveo si configura come zona in cui i processi deposizionali sono al momento prevalenti, sebbene all'interno di una evoluzione delle forme e delle dimensioni delle isole fluviali molto dinamico e variabile soprattutto in corrispondenza di eventi alluvionali. Nel tratto a valle del ponte si osserva invece la tendenza del canale ad allargarsi verso la sponda piemontese.

L'evoluzione della sponda sinistra del F. Ticino nonché della dinamica dei flussi esondati nel territorio di Bernate Ticino, è sicuramente fortemente influenzata dalla presenza di numerose opere di arginatura. Nella porzione settentrionale del territorio esaminato si può osservare come le acque del Ticino fuoriescano all'altezza della lanca di Bernate esattamente al termine dell'arginatura presente in comune di Cuggiono; in questo tratto l'energia dell'acqua è considerevole come si può dedurre dai depositi di barra ghiaioso-ciottolosi, dai depositi sabbioso ghiaiosi e dai solchi d'erosione presenti anche nell'isola fluviale.

L'arginatura presente a partire dallo sbocco della lanca nell'alveo principale sino al rilevato dell'A4, ha subito durante l'evento dell'ottobre 2000 e ancor più durante la piena decennale del novembre 2002 evidenti fenomeni erosivi che ne hanno gravemente compromesso la stabilità; al momento la tendenza evolutiva sembra mostrare un ampliamento ed approfondimento del canale formato durante l'evento dell'ottobre 2000, caratterizzato da passaggio dell'acqua in corrente veloce, facendo così prevedere un aumento dei fenomeni erosivi lungo l'argine.

Nel tratto a valle del ponte dell'autostrada A4 si osserva come il Ticino tenda in sinistra a depositare consistenti barre costituite da sedimenti ghiaioso ciottolosi molto grossolani (la deposizione appare considerevole, tanto che la barra ha quasi raggiunto la quota della testa dell'argine); i punti di fuoriuscita delle acque di piena sono localizzati in corrispondenza di due tratti non arginati: il primo lungo circa 290 m è compreso tra l'argine che parte dal ponte autostradale e l'argine che prosegue verso sud sino all'osteria del Piave; il secondo molto più breve è localizzato a quota 114 m s.l.m. in corrispondenza del raccordo tra un argine esterno che delimita un laghetto artificiale e l'argine principale che si estende sino al ponte di Boffalora. Più precisamente quest'ultimo punto di fuoriuscita, posto all'altezza di una vistosa isola fluviale che riduce notevolmente la sezione di deflusso del canale secondario che corre al limite della sponda sinistra, tende in particolare a riattivare un canale di deflusso fluviale che a sua volta conduce le acque esondate verso la roggia, impostata su un paleoalveo del Ticino, che sfocia in corrispondenza dell'osteria del Piave.

L'arginatura presente subito a sud della zona di fuoriuscita, è in grado di contenere anche piene

con tempo di ritorno pluridecennale; essa nel tratto iniziale non presenta evidenze di erosione al piede anche a causa della ridotta velocità della corrente testimoniata dalla presenza di isole date da materiale sabbioso ghiaioso. In questo tratto l'alveo presenta pendenza leggermente minore con conseguente tendenza alla deposizione dei sedimenti in carico e alla formazione di isole e barre fluviali effimere ed estremamente mobili; i fenomeni erosivi lungo le sponde appaiono limitati e controllabili dalle opere di difesa spondale.

### 3. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per quanto riguarda i terreni è possibile ottenere una loro prima caratterizzazione geotecnica sulla base dei principali parametri, quali granulometria, peso di volume ( $\gamma$ ), angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), coesione totale ( $c$ ).

I parametri sopra indicati possono essere valutati approssimativamente anche sul terreno attraverso osservazioni empiriche o semplici prove.

Premesso tutto questo è stato possibile eseguire una caratterizzazione geotecnica dei terreni riconosciuti durante il rilievo geologico ai fini della progettazione delle opere. Si tratta per lo più di terreni a prevalente granulometria ghiaiosa con percentuale variabile di sabbia e ciottoli; la frazione limosa è generalmente molto scarsa; nei depositi pleistocenici è di solito dovuta al maggior grado di alterazione superficiale dei clasti. Nei sedimenti depositi in ambiente fluvio-glaciale in epoca tardo glaciale possono essere presenti livelli di forma ed estensione variabile costituiti da limi sabbiosi o sabbie limose.

Una stima dei parametri prima esposti è rappresentata nella seguente tabella:

Depositi	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Depositi alluvionali fluviali di barre e isole stabili (ghiaie con ciottoli)</b>	1.8 - 2.1	38 - 45	0.0
<b>Depositi alluvionali fluviali olocenici (ghiaie grossolane)</b>	1.8 - 2.1	35 - 40	0.0
<b>Depositi fluviali e fluvio-glaciali pleistocenici (ghiaie grossolane)</b>	1.8 - 2.1	35 - 40	0.0
<b>Lenti sabbiose in depositi fluviali</b>	1.7 - 1.9	30 - 33	0.0
<b>Lenti limoso-sabbiose in depositi fluvio-glaciali</b>	1.6 - 1.8	25 - 28	0.1 - 0.5

Circa la coltre eluviale, essa rappresenta la parte più superficiale dei terreni, in cui l'azione della vegetazione e degli agenti atmosferici ha prodotto fenomeni di trasformazione tali da escludere la possibilità di una univoca caratterizzazione geotecnica, che comunque appare da scadente a mediocre. Tali terreni non sono mai utilizzabili come terreni di fondazione.

#### 4. CARTA DEGLI EFFETTI DELL'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 2000

Durante i giorni 13, 14, 15, e 16 ottobre 2000 la Val d'Aosta e il Piemonte nord - occidentale sono stati colpiti da eccezionali di precipitazioni piovose intense e prolungate. In particolare per quanto riguarda il bacino del Lago Maggiore, le piogge hanno interessato con particolare intensità il settore occidentale della Val d'Ossola, soprattutto valle Antrona e val Bognanco dove si sono registrati i valori massimi di altezza di precipitazione cumulata (rispettivamente 632 mm e 740 mm); nei bacini del Ticino immissario, del Maggia e del Tresa, le altezze massime di pioggia cumulata si sono riscontrate rispettivamente a Bedretto (425 mm), a Robiei (569 mm) e a Stabio (249 mm). Nella notte del 17 ottobre si è avuto il massimo livello idrometrico del Lago Maggiore, misurato in +4,62 m all'idrometro di Sesto (Cattaneo et al., 2000), valore massimo assoluto registrato nel secolo. La piena del Lago Maggiore e conseguentemente del Ticino emissario è stata notevolmente influenzata dagli afflussi provenienti dal F. Toce, che ha registrato una portata al colmo di oltre 2400 m<sup>3</sup>/s mentre apporti molto meno consistenti e non eccezionali sono giunti da altri immissari (1100 m<sup>3</sup>/s il Maggia e 800 m<sup>3</sup>/s il Ticino sopralacuale) (Cattaneo et al., 2000).

In totale si è avuto un valore massimo di circa 5300 m<sup>3</sup>/s (notte del 15 ottobre) per quanto riguarda le portate affluite al Lago Maggiore a fronte di una portata massima in uscita di 2844 m<sup>3</sup>/s (Cattaneo et al., 2000) che sottolinea l'importante azione di laminazione svolta dal lago. Successivamente l'onda di piena ha coinvolto il Ticino a valle di Sesto Calende, provocando erosioni spondali e di fondo nel tratto fino al ponte di Oleggio e a valle di quest'ultimo, erosioni spondali e allagamenti lungo entrambe le sponde, in modo particolare quella occidentale.

Nella zona di Bernate Ticino in particolare, si sono osservati questi effetti riportati cartograficamente nell'elaborato Geo 3 "Carta degli effetti dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000":

- erosioni laterali che hanno interessato sia le sponde dell'alveo di piena ordinaria (in particolare la sponda sinistra a monte dell'Osteria del Ticino, dell'isola che delimita la lanca di Bernate, dell'arginatura allo sbocco della lanca di Bernate e a monte del ponte autostradale con danneggiamento della scogliera alla rinfusa);
- erosioni di porzioni di isole fluviali stabilizzate, formazione di nuove e deposizione di barre mobili; tali fenomeni hanno provocato evidenti modifiche della geografia delle isole fluviali e delle barre mobili in particolar modo in prossimità dello sbocco della lanca di Bernate dove ora è presente un largo canale, a valle del ponte autostradale dell'A4 e in corrispondenza dell'osteria del Piave;
- allagamenti a bassa energia nelle aree golenali a monte del rilevato dell'A4 dovuti ad innalzamento del livello di falda e al superamento dell'arginatura; le acque sono state fermate dalla presenza dell'imponente rilevato e solo una parte è riuscita a defluire attraverso il sottopasso che conduce al parcheggio; allagamenti a bassa energia a valle del rilevato nella zona maggiormente distale della area golenale limitrofa all'orlo di terrazzo;
- allagamenti ad energia media e medio-elevata con battenti d'acqua maggiori di un metro e

diffusa deposizione di materiale sabbioso e sabbioso-limoso, in una fascia a valle dell'A4 in corrispondenza ai punti di fuoriuscita delle acque localizzati immediatamente a valle del ponte autostradale, nel tratto compreso tra i due argini e a quota 114 m s.l.m. all'altezza del laghetto artificiale; tale fuoriuscita ha provocato la riattivazione di un canale di deflusso e conseguentemente del tratto terminale del paleoalveo che lambisce l'area del pozzo petrolifero fino all'Osteria del Piave e che è responsabile degli allagamenti di tali zone, con caratteristiche di elevato battente idrico (2 m) e consistente velocità di deflusso. Verso sud, all'altezza del Ponte di Boffalora, le superfici allagate diminuiscono nettamente a causa della morfologia dell'area.

## **5. CENNI SUGLI ASPETTI METEO-CLIMATICI**

A causa della mancanza di stazioni di misura termometrica nel territorio di Bernate Ticino, si è preso in esame i dati compresi tra il 1966 e il 1983 misurati nella stazione di Milano Malpensa; è possibile ricavare che nell'areale si ha un massimo medio di temperatura nel mese di luglio (circa 22°), con un minimo medio nel periodo dicembre gennaio (circa 1.5°).

I valori pluviometrici sono stati ricavati dai dati delle stazioni di Magenta, Turbigo e Marcallo con Casone pubblicati sul n. 10 della rivista Professione Geologo; si deduce che i valori minimi annuali sono pari a circa 640 mm e quelli massimi a circa 1438 mm. Si ricava inoltre che la precipitazione media a Magenta su serie di 25 anni è di 928 mm, a Turbigo su serie di 20 anni è di 983 mm e a Marcallo su serie di 49 anni è di 1002 mm.

## **6. CARTA IDROGEOLOGICA**

### **6.1. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO**

Sotto il profilo idrogeologico il territorio comunale di Bernate Ticino è collocabile in uno scenario riconducibile a quello più generale della pianura milanese, il quale a sua volta non si discosta da quello dell'intero settore lombardo-piemontese del bacino padano.

Schematicamente, il sottosuolo della pianura padana, è costituito da una successione di depositi plio-pleistocenici, costituiti essenzialmente da limi ed argille di origine marina e alternanze di ghiaie, sabbie e limi d'origine continentale e di natura per lo più fluvio-glaciale e alluvionale.

La serie padana è caratterizzata da una variazione litologica verso una progressiva prevalenza di terreni limoso argillosi, che si manifesta sia con l'aumento della profondità (legato alle modifiche dell'ambiente di sedimentazione) sia procedendo da N verso S (per la diminuzione dell'energia trattiva delle fiumare interglaciali).

Dal punto di vista litostratigrafico è possibile schematizzare il sottosuolo della pianura milanese come di seguito, procedendo dalla base verso la superficie:

- depositi pliocenici inferiori, trasgressivi sul substrato del Miocene medio, rappresentati da argille sabbiose grigie con presenza di fauna (soprattutto lamellibranchi) legati ad ambiente di deposizione marina profonda;
- depositi villafranchiani (Pliocene sup. – Pleistocene inf.) che manifestano caratteri di facies transizionali regressive, caratterizzati da alternanze di orizzonti argillosi e limosi di colore azzurro, talora con intercalazioni torbose, con orizzonti lentiformi ghiaiosi o meno frequentemente sabbiosi; sono legati ad ambienti deposizionali lacustre-palustre e di mare basso;
- depositi fluvioglaciali (Pleistocene medio - Pleistocene superiore) dati da alluvioni ghiaioso-sabbiose talora alterate con rara presenza di livelli limosi o limoso-argillosi interpretabili come paleosuoli molto evoluti;
- depositi alluvionali (Olocene), molto grossolani dati da ghiaie ciottolose con matrice sabbiosa.

## **6.2. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI**

Sotto il profilo più strettamente idrogeologico alcuni autori sintetizzano tali suddivisioni secondo criteri più legati alle modalità di circolazione idrica.

Da questo punto di vista appare condivisibile la distinzione all'interno della successione continentale e procedendo dall'alto verso il basso, di due complessi omogenei per caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche il cui livello di separazione viene generalmente collocato in corrispondenza del primo orizzonte limoso-argilloso impermeabile di significato regionale in termini di estensione e continuità spaziale.

1. La prima litozona è di ambiente eminentemente alluvionale ed è costituita da termini principalmente ghiaiosi e sabbiosi ben permeabili, con locali e irregolari intercalazioni di lenti e livelli argilloso-limosi o a grado di cementazione variabile, di origine fluviale e fluvioglaciale legati alla attività deposizionale di corsi d'acqua principali in epoca compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene.
2. La sottostante litozona manifesta invece i caratteri della facies transizionale cosiddetta "Villafranchiana" riferibile come età al Pleistocene inferiore - Pliocene superiore ed è rappresentato da una alternanza di orizzonti argillosi e limosi, talora con intercalazioni torbose, di ambiente lacustre-palustre, praticamente impermeabili, con orizzonti sabbioso-ghiaiosi più permeabili. Il passaggio dalla prima alla seconda litozona, viene identificato nel cambiamento di facies da francamente fluviale e fluvioglaciale a transizionale di ambiente da deltizio a lacustre palustre e marino (Villafranchiano) per cui il termine di passaggio è identificato preferibilmente nella presenza di limi argillosi posti a profondità generalmente di oltre 70 m dal p.c..
3. La successione su cui si appoggia la coltre continentale costituito dall'insieme delle due litozone sopra descritte, è rappresentato invece dalla serie di origine marina di età pliocenica ed è caratterizzata dalla presenza di prevalenti litologie argillose ricche di reperti fossili con intercalazioni di livelli sabbiosi.

Dal punto di vista idrogeologico, la circolazione idrica attraverso i depositi sin qui descritti avviene per porosità mentre l'alimentazione degli acquiferi avviene fondamentalmente per infiltrazione degli apporti meteorici.

Inoltre, se sotto il profilo stratigrafico il passaggio da un complesso ad un altro è oggi sufficientemente evidente, dal punto di vista idraulico, invece, le caratteristiche litologiche non sono sempre tali da determinare una netta differenziazione idrogeologica tra i vari complessi e, anche all'interno di ciascun complesso, occorre evidenziare alcuni elementi importanti.

Con riferimento al modello descritto precedentemente, si può affermare, innanzitutto, che come già detto e contrariamente a quanto ipotizzato un tempo, la prima litozona contiene verosimilmente anche i depositi sabbioso-ghiaiosi del Pleistocene medio in ambiente fluviale e fluvioglaciale, che gli orizzonti limosi presenti al suo interno non hanno nell'area in esame alcune continuità laterale e non determinano particolari condizioni di pressurizzazione e che, pertanto, il complesso deve essere considerato dal punto di vista idrogeologico come un'unica unità produttiva di tipo superficiale.

Per quanto concerne la seconda litozona e con particolare riferimento all'area in esame, la presenza al tetto di un orizzonte limoso argilloso anche di rilevante potenza, determina una buona protezione degli acquiferi presenti negli orizzonti sabbioso-ghiaiosi situati all'interno dello stesso complesso.

La sottostante serie marina pliocenica, invece, in ragione sia della presenza al tetto di numerosi e potenti orizzonti limoso-argillosi facenti parte dell'insieme della seconda litozona, sia delle condizioni di discreta conducibilità idraulica degli orizzonti granulometricamente più grossolani presenti all'interno del complesso, è invece generalmente sede di un sistema multifalde in pressione.

Circa l'andamento regionale dell'acquifero superficiale si è fatto riferimento alla Cartografia Tematica regionale alla scala 1:50.000 datata novembre 1989. Si osserva che le linee di flusso sotterraneo convergono pressoché ovunque verso il corso del fiume Ticino che esercita pertanto azione drenante. Si tratta ovviamente di una condizione media che presenta variazioni locali nel tempo e lungo l'asta del corso d'acqua drenante in funzione delle precipitazioni, delle irrigazioni e dei prelievi, ma si deve ritenere che lo schema generale sia complessivamente costante e consenta di definire con buona approssimazione l'andamento regionale del deflusso idrico sotterraneo. La direzione regionale del deflusso sotterraneo della falda freatica è orientata da NNE a SSO con gradiente idraulico medio dell'ordine del 4 ‰. Tali valori naturalmente subiscono variazioni a livello locale in relazione alle diverse caratteristiche idrogeologiche ma talvolta anche morfologiche (per esempio in corrispondenza dei versanti di raccordo tra i terrazzi).

### **6.3. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI LOCALI**

Attraverso l'analisi delle stratigrafie dei pozzi di Bernate Ticino e di Boffalora Ticino e di quanto esposto nella pubblicazione "Indagine preliminare sull'uso sostenibile delle falde profonde nella Provincia di Milano" (CAP, 1995) è stato possibile ricavare una sezione litostratigrafica allegata alla Carta idrologica ed idrogeologica a scala 1:5.000 nonché una definizione sufficientemente precisa dei rapporti esistenti a scala locale tra gli acquiferi.

È quindi possibile schematizzare come segue l'assetto idrogeologico locale:

1. acquifero tradizionale costituito da un complesso superficiale a granulometria prevalentemente ghiaiosa con ciottoli, matrice sabbiosa e talora limoso-sabbiosa con permeabilità dell'intero complesso stimabile in circa  $6.5 - 7 \cdot 10^{-4}$  m/s. Il livello di base di questo acquifero non raggiunto dal solo pozzo 1 di Casate, varia in direzione N-S da quota 74 m s.l.m. a quota 50 m s.l.m.;
2. acquifero profondo costituito da un complesso prevalentemente argilloso-sabbioso, ascrivibile a sedimenti di età Villafranchiana formata da predominanti depositi fini con basso grado di conducibilità idraulica entro i quali sono presenti livelli permeabili ghiaiosi o più raramente semipermeabili (sabbie fini, sabbie limose); tali orizzonti permeabili danno origine ad acquiferi altamente confinati, permeabili unicamente per porosità intergranulare. Secondo alcuni autori (ad esempio Francani, 1995) è possibile distinguere tre sottogruppi di acquiferi: il primo presente nel territorio in esame a profondità compresa tra 60-40 m s.l.m. variabile in direzione N-S fino a 35-15 m s.l.m. con spessori di 3-6 m e granulometria sabbiosa prevalente; il secondo con profondità variabile tra 15 e -30 m s.l.m. (raggiunto tra i pozzi esaminati solo dal pozzo multicolonna di Casate) è costituito da sabbie fini o sabbie limose con spessore dei livelli di circa 6-7 m; il terzo con profondità da quota -60 m s.l.m. con granulometria sabbiosa prevalente e spessori di circa 10 m;
3. acquifero profondo con falde in pressione nella litozona argilloso-sabbiosa con livelli intercalati di granulometria sabbiosa o sabbioso-ghiaiosa. Esso nella zona è stato raggiunto dal pozzo di Marcallo con Casone a quota -90 m s.l.m.

#### **6.3.1. PRIMA FALDA**

La falda superficiale freatica è localizzata all'interno dei sedimenti alluvionali costituenti la prima litozona. Essa è caratterizzata da una elevata produttività sfruttata soprattutto per scopi irrigui ed industriali. Non sono state realizzate campagne di rilevamento piezometrico per la falda freatica né per quelle profonde. Tuttavia è possibile fare alcune considerazioni basandosi sulle misure piezometriche relative all'acquifero tradizionale eseguite negli ultimi vent'anni dal CAP e ai dati resi noti dalla Provincia di Milano che rappresentano stime della piezometria basate su misure in periodo primaverile e tardo estivo. La superficie piezometrica è situata a profondità relativamente modesta nella piana alluvionale del Ticino e nelle aree a valle dell'orlo di terrazzo che separa i sedimenti olocenici da quelli pleistocenici; le misure effettuate sul pozzo Bernate 2 posto a quota 136 m s.l.m., mostrano valori massimi di soggiacenza compresi tra 8 e 9 m dal p.c. e minimi compresi tra 5.5 e 6 m dal p.c., con un range di oscillazione riferito all'anno

idrologico di circa 2-3 m. Tanto più ci si avvicina al F. Ticino, tanto più la superficie freatica tende ad avvicinarsi al p.c. (soggiacenza di circa 3 m misurata personalmente in uno scavo a quota 122 m s.l.m. nel dicembre 2001).

Per quanto riguarda i valori presenti sul terrazzo pleistocenico, si può fare riferimento alle misure del CAP nel pozzo 1 di Casate localizzato a quota 150 m s.l.m.; si osservano valori medi di soggiacenza massima variabili tra 11 e 13 m dal p.c. e di soggiacenza minima da 6 a 8 m, con oscillazione riferita all'anno idrologico compresa in un range di 4-5 m.

Da notare un chiaro e costante aumento dei valori di soggiacenza a partire dal 1980 sino al 1990, valori che poi hanno subito un assestamento negli anni successivi con leggera tendenza alla diminuzione della soggiacenza negli anni 1996-97. Il profilo a denti di sega tipico del diagramma che mostra la variazione della soggiacenza negli ultimi vent'anni, indica una forte influenza da parte di sorgenti di alimentazione superficiale (in questo caso per esempio il Naviglio Grande, posto relativamente poco distante dal pozzo 1 di Casate e molto vicino al pozzo Bernate 2).

Da un'analisi della cartografia provinciale degli ultimi 5 anni si deduce che la superficie freatica nella piana del Ticino si attesta su quote tra 115 m s.l.m. (zona sud est) e 125 m s.l.m. (zona a ridosso del Naviglio Grande) mostrando una soggiacenza rispetto al p.c. tra 0 e 5 m con tratti, evidenziabili soprattutto nella zona di attuale esondazione fluviale, a falda subaffiorante; a NO del Naviglio, nel tratto corrispondente all'inizio del terrazzo fluvioglaciale, le quote variano tra 125 e 140 m s.l.m., con soggiacenza variabile tra 5 e 10 m nella fascia di raccordo tra la piana del Ticino e il terrazzo pleistocenico, e tra 10 e 20 m sul terrazzo vero e proprio. La variazione stagionale dell'andamento delle isopieze ricavabile dai dati provinciali (misurati a marzo e settembre) è in generale piuttosto contenuto nell'area in esame; si osserva comunque una tendenza ad una diminuzione della quota piezometrica da marzo a settembre, peraltro non sempre apprezzabile, funzione del regime pluviometrico estivo e ma anche dall'apporto dovuto alla fusione del manto nevoso invernale. L'escursione delle isopieze di anno in anno può essere anche rilevante (3-4 m) e in generale appare molto più marcata nella piana del Ticino; l'andamento delle isopieze e la soggiacenza della superficie freatica risultano invece più costanti lungo il terrazzo fluvioglaciale.

A titolo di esempio si allegano stralci della carta delle isopieze e della soggiacenza elaborate dalla Provincia di Milano.

### **6.3.2. FALDE PROFONDE**

Falde profonde sono, come accennato in precedenza, situate nell'acquifero profondo nel complesso dato da sedimenti villafranchiani.

Circa le falde profonde, non esistono misure piezometriche in un arco di tempo significativamente lungo in grado di permettere la valutazione degli andamenti di soggiacenza col tempo; tuttavia si possono considerare attendibili i valori di gradiente idraulico (2 ‰) e la direzione di deflusso (NNO-SSE) ricavati dal Dott. Geol. M. Gorla da misure effettuate nel giugno 1999 nell'ambito di un lavoro commissionato dal CAP.

### **6.4. CENNI SULLA VULNERABILITÀ**

In mancanza di valori sufficientemente precisi da alcune caratteristiche degli acquiferi quali conducibilità idraulica, trasmissività e porosità efficace, non è possibile fare una valutazione numerica della vulnerabilità.

È possibile tuttavia fare le seguenti considerazioni:

- la falda freatica presenta scarsa protezione naturale a causa dell'assenza di orizzonti impermeabili di sufficiente spessore e continuità areale in grado di permettere attraverso un'azione di adsorbimento la riduzione di episodi di inquinamento; pertanto essa mostra vulnerabilità elevata;
- gli acquiferi profondi confinati hanno migliore protezione dovuta alla presenza di orizzonti argillosi permeabili arealmente continui; la protezione tende ad aumentare per falde ancora più profonde confinate da livelli impermeabili di spessore maggiore; conseguentemente la vulnerabilità diminuisce per falde poste a profondità di circa un centinaio di metri e si attenua ulteriormente per acquiferi più profondi.

La Provincia di Milano ha recentemente pubblicato un lavoro riguardante i fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee, basato su numerose indagini e controlli dei pozzi pubblici e privati nel territorio provinciale milanese. Lo studio è incentrato soprattutto sulla ricerca di situazioni di contaminazioni che riguardavano aree di diffusione circoscrivibili e focolai individuabili, mentre non venivano prese in considerazione le contaminazioni di tipo diffuso (per esempio non è stato considerato l'inquinamento di nitrati originato dalle attività agricole-zootecniche).

La ricerca ha rilevato per uno dei tre pozzi di Casate un inquinamento da antiparassitari (atrazina, simazina), con tendenza evolutiva del fenomeno in crescita; l'area della zona di diffusione appare molto limitata (circa 0.02 km<sup>2</sup>), mentre non è stato individuato il focolaio di contaminazione. Questo tipo di contaminazione da antiparassitari risulta essere piuttosto frequente nell'areale magentino, come testimoniato dalla presenza di 5 pozzi inquinati compresi

in una area di diffusione di 1.22 km<sup>2</sup> nel comune di Cuggiono e di 4 pozzi compresi in due plumes di estensione di 1.1 e di 1.04 km<sup>2</sup> rilevati nel comune di Magenta.

La scarsa estensione dell'area di diffusione rilevata a Casate e il fatto che il pozzo limitrofo non presenti traccia di inquinamento da antiparassitari, potrebbe far pensare che la contaminazione possa derivare direttamente dal perforo stesso, per esempio a causa di una non corretta operazione di ripristino dei setti impermeabili, che possa aver consentito una contaminazione da parte dell'acquifero superficiale.

Per quanto riguarda il tenore in azoto nitrico, da analisi svolte nella prima metà degli anni novanta, sono stati registrati valori inversamente proporzionali alla profondità di rilievo, con un rapporto tra i valori dell'acquifero tradizionale e quelli degli acquiferi confinati di circa 15-20.

## **7. IDROLOGIA DEL FIUME TICINO**

Nel presente lavoro si è ritenuto di non effettuare un vero e proprio studio idrologico ed idraulico concernente il F. Ticino a causa dei seguenti motivi:

- anzitutto per la notevole estensione e peculiarità della porzione di bacino del Ticino responsabili degli eventi di piena del Ticino emissario, cioè quella sottesa al Lago Maggiore: uno studio idrologico di tale area richiede mezzi e risorse non disponibili nell'ambito di un PRG;
- uno studio idraulico di maggior dettaglio concernente il territorio di Bernate Ticino, richiederebbe per la costruzione di una scala di deflusso a livello locale, la conoscenza dei valori di portata nelle vicinanze di Bernate stesso (al momento le misure di portata note per il Ticino emissario sono quelle misurate alla Miorina) e soprattutto l'esistenza di una base topografica di scala, precisione e accuratezza sufficiente nonché di una serie di sezioni di dettaglio dell'alveo e delle aree golenali comprendenti anche la sponda piemontese finalizzate alla definizione dei livelli idrometrici raggiungibili da un'eventuale piena di progetto; anche in questo caso tali risorse non sono disponibili.

Sono state quindi fatte alcune considerazioni di carattere idrologico ed idraulico sulla base della serie storica delle portate del Ticino sublacuale alla Miorina, sugli effetti osservati durante la piena dell'ottobre 2000 osservati nell'areale di Bernate Ticino e sull'analisi e sulle elaborazioni statistiche realizzate a seguito dell'evento dal Consorzio del Ticino e disponibili in letteratura.

### **7.1. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE ED IDROLOGICHE GENERALI**

Il bacino imbrifero del F. Ticino emissario e quindi del Lago Maggiore, misura 6598 km<sup>2</sup> ed è caratterizzato dalla presenza di quattro importanti tributari che costituiscono quasi l'80% della superficie di drenaggio: il Ticino sopralacuale (1616 km<sup>2</sup>), il Toce (1774 km<sup>2</sup>), il Maggia (926

km<sup>2</sup>) e il Tresa (754 km<sup>2</sup>); la superficie dello specchio del Lago Maggiore si estende per circa 210 km<sup>2</sup>.

Altri specchi lacustri naturali con superficie superiore a 0.5 km<sup>2</sup> sono presenti nel bacino in esame (Lugano, Orta, Varese, Mergozzo, Comabbio, Monate, Biandronno, Ritom, Piano), ma di gran lunga più importanti sono gli invasi artificiali per lo più a scopo idroelettrico con capacità di invaso nel complesso superiore a 600.000.000 di m<sup>3</sup> (che secondo i calcoli del Consorzio del Ticino, corrispondono a circa 2.5 m di innalzamento del livello lacustre immaginando chiuso il Ticino emissario).

Il regime pluviometrico del bacino imbrifero, a carattere sub-litoraneo alpino, con minimo assoluto invernale e massimo autunnale, è caratterizzato da elevata piovosità, con massimi di oltre 2000 mm/anno nella porzione che va dall'Ossola sino al San Gottardo (massima altezza media annua di pioggia del bacino del Po).

A partire dal 1943 il deflusso del Lago Maggiore nel Ticino emissario è regolato all'incile naturale del lago stesso (soglia della Miorina) da una traversa mobile larga 200 m e costituita da 120 porticine metalliche completamente abbattibili.

Il Ticino emissario nel tratto di circa 40 km che va dalla Miorina sino al territorio comunale di Bernate Ticino, non accoglie importanti tributari, mentre cede una parte delle sue acque a grandi canali artificiali quali Villorosi e Naviglio Grande; per questo motivo è ragionevole considerare che i valori di portata misurati alla Miorina non varino di molto all'altezza di Bernate Ticino.

## 7.2. PORTATE DI PIENA

Stante quanto affermato in precedenza, sono disponibili grazie al Consorzio Idraulico del Ticino, i valori di portata massima annuale alla Miorina, registrati nel periodo 1943-2000 e riportati nella seguente tabella:

<b>Anno</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Anno</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Anno</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>
1943	780	1963	1805	1983	1802
1944	968	1964	882	1984	905
1945	1020	1965	1571	1985	955
1946	994	1966	1191	1986	1683
1947	746	1967	923	1987	1473
1948	1288	1968	1875	1988	1467
1949	814	1969	1013	1989	850
1950	829	1970	719	1990	611
1951	1997	1971	728	1991	1620
1952	859	1972	1007	1992	960
1953	1360	1973	1257	1993	2560
1954	1313	1974	594	1994	1212
1955	1082	1975	1339	1995	706
1956	1113	1976	1535	1996	1509
1957	1348	1977	1898	1997	1156
1958	981	1978	1178	1998	845
1959	868	1979	1991	1999	1080
1960	1558	1980	733	2000	2844
1961	758	1981	2139		
1962	635	1982	1055		

Tabella 1 – Portate massime annuali del F. Ticino alla traversa della Miorina

Dalla tabella precedente si può osservare come i massimi valori di portata registrati a partire dal 1943 siano concentrati negli ultimi vent'anni e come i due massimi valori secolari, corrispondenti ai massimi livelli raggiunti dal lago Maggiore a partire dal 1868, si siano verificati con un intervallo di soli sette anni (1993, 2000).

Al fine di valutare i valori di portata a diversi tempi di ritorno, è stata analizzata statisticamente la serie storica dei valori massimi annuali riportata nella precedente tabella; in particolare a tali campioni di osservazione è stata adattata una delle funzioni di probabilità maggiormente utilizzate nelle valutazioni idrologiche, cioè la distribuzione di Gumbel.

I risultati dell'analisi statistica sono riportati nella tabella seguente:

<b>T ritorno (anni)</b>	<b>2.33</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>
<b>Portate (m<sup>3</sup>/s)</b>	1224	1857	2130	2482	2747	3010	3357

Tabella 2 – Portate massime del F. Ticino a diversi tempi di ritorno estrapolati dalla distribuzione di Gumbel

Dai risultati forniti dalla distribuzione di Gumbel si può dedurre come il tempo di ritorno fornito per l'evento del 1993 (2560 m<sup>3</sup>/s) sia di poco superiore ai 50 anni, mentre per quanto riguarda l'evento del 2000 (2844 m<sup>3</sup>/s) il tempo di ritorno sia di circa 150 anni.

Nel lavoro di Cattaneo et al. (2000) pubblicato a seguito della piena dell'ottobre 2000, l'analisi statistica delle portate al colmo di piena misurate alla Miorina dal 1943 al 2000, ha considerato oltre alla distribuzione di Gumbel, anche la distribuzione lognormale e GEV. I risultati ottenuti dalle precedenti analisi si mostrano sostanzialmente coincidenti per quanto riguarda le distribuzioni Gumbel e lognormale che assegnano per l'evento esaminato tempo di ritorno di circa 150 anni, mentre la distribuzione GEV presenta apprezzabili scostamenti dalle due precedenti fornendo un tempo di ritorno pari a 70 anni. Gli autori, sulla base dei buoni risultati ottenuti dal test di significatività sul parametro di forma della GEV, considerano maggiormente affidabili i risultati della distribuzione GEV, anche a causa di un miglior grado di adattamento ai dati rispetto alle altre due distribuzioni.

È possibile estrapolare dal grafico presente nel lavoro citato che esprime le linee di tendenza delle diverse distribuzioni, le portate al colmo del F. Ticino fornite dalla distribuzione GEV (si noti come i risultati differiscano sostanzialmente per tempi di ritorno superiori ai 20 anni):

<b><i>T ritorno (anni)</i></b>	<b><i>2,33</i></b>	<b><i>10</i></b>	<b><i>20</i></b>	<b><i>50</i></b>	<b><i>100</i></b>	<b><i>200</i></b>
<b><i>Portate (m3/s)</i></b>	<b><i>1230</i></b>	<b><i>1860</i></b>	<b><i>2130</i></b>	<b><i>2650</i></b>	<b><i>3070</i></b>	<b><i>3600</i></b>

Tabella 3 – Portate massime del F. Ticino a diversi tempi di ritorno estrapolati dalla distribuzione GEV

La scelta operata dai citati autori di adottare per l'evento dell'ottobre 2000 i risultati forniti dalla distribuzione GEV, che fornisce per la piena analizzata un tempo di ritorno sensibilmente più basso rispetto a quanto ricavato dalle distribuzioni Gumbel e lognormale, risulta condivisibile oltre che per ragioni di carattere puramente statistico, anche perché tiene implicitamente conto dei cambiamenti climatici che hanno interessato il bacino del Mediterraneo negli ultimi due decenni.

La media delle portate al colmo misurate alla traversa della Miorina nel periodo che va dal 1943 al 1980 è di poco inferiore ai 1150 m<sup>3</sup>/s mentre nel periodo dal 1981 al 2000 è di poco superiore ai 1370 m<sup>3</sup>/s. Tale incremento potrebbe essere la risposta ad un mutamento climatico (nello specifico l'aumento delle temperature nel bacino del Mediterraneo con conseguente formazioni di perturbazioni maggiormente cariche di umidità spesso associate, per quanto riguarda l'Italia settentrionale, a correnti meridionali nei bassi strati in grado di causare la permanenza della quota dello zero termico su valori elevati anche nel periodo invernale); questo fatto dovrà sicuramente comportare una riflessione anche di carattere statistico soprattutto per quanto riguarda le piogge, le piene di progetto e i loro tempi di ritorno.

Molto più complessa è la valutazione dei livelli idrometrici associati alle piene con diverso tempo di ritorno. L'unica scala di deflusso disponibile riguarda il Ticino a Sesto Calende (quota zero idrometrico 193,016 m s.l.m.) che indica per la piena dell'ottobre 2000 il livello di circa 197.62 m s.l.m. e per portate di 3000 m<sup>3</sup>/s un livello di circa 197.75 m s.l.m.. Tale scala è stata ricavata mediante modellazione numerica (Maione e Mignosa, 1995) del tratto tra il lago e la traversa ENEL di Porto della Torre e si è dimostrata in ottimo accordo con le misure effettuate dal Consorzio del Ticino durante l'evento dell'ottobre 2000.

Naturalmente tale strumento non è utilizzabile all'altezza di Bernate Ticino.

## **8. CARTA DI SINTESI**

### **8.1. ANALISI DI PERICOLOSITÀ DEL F. TICINO**

Le posizioni scientifiche più accreditate definiscono pressoché univocamente la pericolosità come la probabilità di occorrenza in un certo intervallo di tempo e in un determinato luogo, di un fenomeno con una determinata intensità. Ognuno di tali fattori presenta complesse modalità di determinazione e misura. La determinazione della probabilità di occorrenza prevede la conoscenza delle serie storiche degli eventi passati o di un modello di previsione; la determinazione dell'intensità prevede la misura del fenomeno in termini di energia, ma anche dell'energia nell'intervallo di tempo e per unità di superficie, calcolo che può essere eseguito su un singolo fenomeno, in un singolo punto e in un determinato arco di tempo, ma che diventa proibitivo se sviluppato su un intero territorio in un ambito di pianificazione urbanistica.

L'analisi e la valutazione della pericolosità presente nelle aree di pertinenza del F. Ticino nel territorio comunale di Bernate Ticino, si basano sui risultati di carattere idrologico espressi nei capitoli precedenti e su considerazioni a carattere geomorfologico circa le aree di alveo attivo e le zone golenali di laminazione anche a seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000.

#### **8.1.1. RILIEVO GEOMORFOLOGICO E DEGLI EFFETTI DELL'EVENTO ALLUVIONALE**

Sulle aree interessate dall'evento alluvionale dell'ottobre 2000 è stata eseguita una analisi degli effetti dissestivi osservati, confrontata con gli aspetti geomorfologici dell'area. Gli elementi rilevati sono stati i seguenti:

- suddivisione dell'area in relazione alle varie zone geomorfologicamente omogenee (alvei, fasce spondali, aree golenali, aree a tergo di argini naturali e artificiali, antichi percorsi di deflusso);
- analisi della dinamica prevalente nelle varie aree e al momento dei colmi di piena fluviale, in relazione ai fenomeni di deposizione o erosione osservabili sul terreno, in relazione alle velocità e ai battenti d'acqua ricavabili sulla base dell'osservazione di foto aeree e

- dell'individuazione di marce di piena;
- individuazione dei livelli di energia suddivisi con criteri descrittivi e qualitativi.

In particolare per questi ultimi è stato ritenuto unicamente possibile il criterio della descrizione locale del fenomeno secondo il seguente schema:

- flussi di piena in alveo e nelle fasce spondali immediatamente adiacenti con velocità medie superiori a 2-3 m/s, battenti idrici superiori a 2-3 metri, significativi fenomeni di erosione e trasporto solido: energia da elevata a molto elevata;
- flussi di piena sulle fasce spondali e nelle aree golenali, con velocità comprese fra 1 e 2 m/s, battenti idrici non superiori a 2 m, con trasporto e deposizione di materiale sabbioso e sabbioso fine: energia da media a medio-elevata;
- zone inondate con battenti idrici inferiori a 1 m, assenza di evidenze di deposizione; allagamenti derivati anche da innalzamento del livello della falda freatica: energia bassa o nulla;
- zone marginali potenzialmente inondabili con battenti idrici modestissimi per eventi a tempo di ritorno maggiore di 100 anni e per innalzamento del livello della falda freatica: energia nulla o bassa.

Va precisato, per chiarezza e correttezza scientifica, che ai vari livelli di energia non è associato alcun dato quantitativo.

Nella valutazione della pericolosità rientrano alcune situazioni locali determinate dalla presenza di opere (argini, rilevati autostradali) in grado di condizionare notevolmente l'energia, i battenti e le modalità di propagazione del flusso delle acque esondate.

Nel territorio esaminato risulta di particolare importanza l'argine in terra che si estende da Molino Annoni sino al ponte sull'A4, realizzato a difesa degli edifici presenti nelle aree golenali di laminazione delle piene. Tale argine dovrebbe essere in grado di contenere le acque provenienti dall'area della "Lanca di Bernate" anche per piene con portate massime dell'ordine di circa 2300 m<sup>3</sup>/s. Durante l'evento dell'ottobre 2000 si sono verificati i seguenti fenomeni che hanno interessato il suddetto argine:

1. superamento dell'argine da parte delle acque provenienti dalla "Lanca di Bernate" con allagamento a bassa energia delle zone a tergo delle difese con battenti d'acqua pluridecimetrici;
2. erosione parziale dell'isola fluviale vegetata che separava la lanca dall'alveo principale e dell'isola presente di fronte allo sbocco della Lanca, con formazione di un ampio canale caratterizzato da flusso a corrente veloce (velocità stimabile in oltre 3 m/s);
3. il flusso in corrente veloce ha quindi interessato direttamente l'argine in terra, provocando una parziale erosione dello stesso.

Nel novembre 2002, a seguito della piena con tempo di ritorno di circa 10 anni (portata al colmo alla Miorina di circa 1850 m s.l.m.), si è assistito ad un progressivo aumento della dinamica

erosiva con conseguente asportazione di oltre metà dello spessore dell'argine stesso per un tratto di circa 10 m ed immediato intervento di somma urgenza per evitare la rottura completa dell'opera e l'invasione delle aree a tergo da parte di acque con elevata energia.

Il livello di pericolosità delle aree difese dall'argine in questione è sostanzialmente bassa poiché l'arginatura è in grado di contenere piene con tempo di ritorno di circa 50 anni e nel caso di superamento dell'argine, le acque esondate defluiscono a bassa energia con battenti d'acqua pluridecimetrici; per quanto riguarda le aree più distali a ridosso del rilevato autostradale, l'allagamento è determinato essenzialmente dall'innalzamento del livello di falda freatica. Nel caso di rotta arginale nel tratto dove si sono avuti i recenti fenomeni erosivi, la pericolosità delle suddette aree diventerebbe molto elevata per le aree immediatamente a tergo dell'opera ed elevata le aree distali, dato che la fuoriuscita avverrebbe con deflusso ad elevata energia a causa della sostenuta velocità della corrente fluviale.

## **8.2. ANALISI DI PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ CONNESSA ALLA PRESENZA DI FALDA FREATICA CON BASSA SOGGIACENZA E DI ZONE DI RISTAGNO DELLE ACQUE SUPERFICIALI**

I terrazzi costituiti da sedimenti olocenici nonché l'area golenale del F. Ticino, sono caratterizzati da terreni a buona conducibilità idraulica con presenza di superficie di falda freatica generalmente a bassa soggiacenza e periodicamente (connesso alle piene del F. Ticino) molto superficiale. Altro fattore che influenza localmente il livello della superficie freatica sono le perdite di subalveo del Naviglio Grande (aree di ristagno e di emersione della falda freatica sono localizzate per lo più proprio sul lato di valle del Naviglio Grande). La pericolosità naturale di queste aree è sicuramente molto modesta ed è connessa al peggioramento geotecnico che la presenza di acqua sotterranea induce nei terreni, mentre elevata è la vulnerabilità della falda freatica, comunque non è utilizzata a scopo idropotabile.

## **8.3. ANALISI DI PERICOLOSITÀ CONNESSA ALLA DINAMICA DEI VERSANTI**

Il territorio comunale di Bernate Ticino si presenta sostanzialmente pianeggiante, con terrazzi di origine fluviale o fluvio-glaciale interrotti da scarpate di modesta estensione con bassa energia del rilievo ed acclività per lo più inferiore a 30°. I terreni rilevati sono sostanzialmente ghiaiosi con variabili percentuali di ciottoli e sabbia; livelli di forma, estensione e spessori molto variabili costituiti da terreni limoso-sabbiosi o sabbioso fini, possono essere presenti sia nei depositi pleistocenici sia in quelli olocenici.

Nel complesso comunque, i versanti naturali rilevati non presentano evidenze di instabilità e, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e le caratteristiche geotecniche elencate in precedenza, sono da considerarsi naturalmente stabili.

I fronti di cava dismessi sono costituiti da terreni essenzialmente ghiaioso-sabbiosi con basse percentuali di sabbie fini e possiedono acclività molto elevata; anch'essi non presentano evidenze di instabilità, di arretramento dei cigli e di erosione lineare lungo la superficie della scarpata, e sono da considerarsi nel complesso stabili, ma visto le loro caratteristiche geomorfologiche, presentano una maggior propensione al dissesto e quindi un livello di pericolosità superiore rispetto ai versanti naturali.

#### **8.4. ANALISI DI PERICOLOSITÀ CONNESSA ALLA PRESENZA DEL RETICOLO IDRICO MINORE**

Il reticolo idrico minore presente nel territorio comunale di Bernate Ticino è costituito da derivazioni regolate dal Naviglio Grande (Roggia Cornice e Rio Caomerlo) per scopo irriguo, da derivazioni regolate dal Canale Villoresi (canali diramatori localizzati a NE del Naviglio Grande) aventi anch'esse finalità irrigue e da canali che raccolgono emergenze di acque sotterranee (modificati nel loro corso per scopi irrigui e dai quali si diparte una fitta rete di canali adacquatori regolati). Nell'area di pertinenza delle acque del F. Ticino sono rilevabili canali di svariata forma e lunghezza da ritenersi antichi percorsi del F. Ticino al momento attivabili in caso di piena con esondazione del fiume stesso.

Detto che i canali presenti nelle aree di esondazione del F. Ticino hanno pericolosità in funzione dell'attività del Ticino, cioè delle caratteristiche della corrente delle acque esondate durante le piene del fiume, si deve sottolineare come i restanti canali costituenti il reticolo minore, essendo di natura irrigua (e quindi regolati) o alimentati da emergenze della superficie freatica e trasformati in canali irrigui, presentano pericolosità molto moderata, in quanto la loro dinamica è caratterizzata da scarsa energia (velocità e portata) e da nullo trasporto solido. Si ritiene inoltre che i canali derivati da Naviglio Grande e Canale Villoresi, in quanto regolati, non siano soggetti a piene; analogo ragionamento va fatto per i canali naturali alimentati dalle emergenze sotterranee, in quanto aventi bacino non direttamente alimentato dalle acque di precipitazione meteorica e quindi non particolarmente soggetti a repentini incrementi di portata in concomitanza ad eventi piovosi particolarmente intensi o prolungati. Eventuali fuoriuscite, da ritenersi a bassa o nulla energia e modesto battente, possono verificarsi esclusivamente per cause antropiche in grado di provocare puntuali criticità lungo il canale (ad esempio accumuli di materiale in alveo).

Infine va ricordato come i canali di origine naturale (cioè non derivati da Naviglio Grande) e derivati dal Canale Villoresi siano soggetti a vincoli da R.D. n. 523/04 e n. 368/04, così come recepiti nelle norme della "Determinazione del reticolo idrico minore" di recente approvazione.

## 9. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

L'intero territorio comunale di Bernate Ticino è inserito in zona 4 nella classificazione sismica dei comuni italiani presente nell'O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". Le diverse zone sono state individuate secondo l'analisi dei valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Nella d.g.r. n. 8/1566 del 22-12-2005 sono indicate le metodologie per la valutazione dello scenario e del rischio sismico locale. Vengono previsti tre livelli di analisi della situazione esistente:

1. il primo livello prevede uno studio di carattere qualitativo finalizzato alla perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (geologiche e geomorfologiche) in grado di determinare gli effetti sismici locali. Dalla tabella 1, allegata alla citata d.g.r., è possibile individuare nel territorio di Bernate Ticino situazioni del tipo Z4a (*Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi* che corrisponde a tutto il territorio comunale) e Z3a (*Zona di ciglio  $H > 10$  m scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica* individuabile in corrispondenza dei fronti di cava), che possono determinare amplificazione degli effetti di tipo litologico e geometrico e di tipo topografico. La tabella 2, presente nella citata d.g.r., determina la classe di pericolosità sismica, che per le zone Z4a e Z3a, risulta essere H2, classe che prevede il 2° livello di approfondimento;
2. il secondo livello permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi nell'ambito delle situazioni individuate nel primo livello attraverso una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ), riferito agli intervalli di periodo ( $T$ ) tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. I due intervalli di periodo sono stati scelti in funzione delle tipologie edilizie presenti sul territorio lombardo: il primo intervallo si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, il secondo a strutture più alte e flessibili. Ai sensi delle disposizioni di legge, per comuni ricadenti in zona sismica 4 occorre entrare nel merito dell'analisi di secondo livello solo per le aree del territorio comunale la cui destinazione d'uso preveda l'edificazione di nuove costruzioni di carattere strategico e rilevante (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

Per le aree Z4a (cioè per l'intero territorio di Bernate Ticino) la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente;
- stratigrafia del sito;
- ricostruzione dell'andamento delle Vs in funzione della profondità;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche per la creazione di un modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi;

Sulla base delle conoscenze stratigrafiche, geognostiche e geotecniche dei terreni presenti si individua la litologia prevalente e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento riportata nella d.g.r. di riferimento. Per il territorio in esame la litologia

prevalente per profondità pluridecametriche è data da ghiaie sabbiose e ciottolose (categoria B secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. n. 3274). I valori di  $F_a$  per i due intervalli di  $T$  calcolati attraverso i grafici e le tabelle contenenti i valori di riferimento per la litologia ghiaiosa elaborati dal Politecnico di Milano e presenti nella d.g.r. citata, vengono confrontati con i valori di soglia previsti per il tipo litologico B calcolati per i comuni della Lombardia; per il comune di Bernate Ticino essi sono:

0.1 s $\leq$ T $\leq$ 0.5 s		
Valori soglia		
Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
1.3	1.7	1.8

0.5 s $\leq$ T $\leq$ 1.5 s		
Valori soglia		
Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
2.0	3.1	5.1

Da tale confronto risulta pertanto che:

- a) per l'intervallo di  $T$  compreso tra 0.1 s e 0.5 s, non è possibile effettuare una valutazione del valore di  $F_a$  in quanto non è noto l'andamento delle  $V_s$ . Conseguentemente per le aree destinate ad ospitare strutture strategiche e rilevanti (ai sensi del d.d.u.o. n. 19904/03) si prescrive l'esecuzione di adeguate indagini geofisiche specifiche finalizzate al calcolo di  $F_a$ ;
- b) per l'intervallo di  $T$  compreso tra 0.5 s e 1.5 s, si osserva dai grafici che il valore massimo di  $F_a$  (circa 1.25) è sempre inferiore al valore di soglia (3.1). Pertanto la normativa nazionale vigente (D.M. 14-1-2008 ) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

Per le aree Z3a (cioè per i cigli e le scarpate dei fronti di cava) la procedura semplificata prevede l'identificazione delle caratteristiche morfologiche della scarpata e la valutazione di  $F_a$  in funzione dell'altezza ( $H$ ) e dell'inclinazione ( $\alpha$ ). Nei casi in esame si osservano scarpate di altezza inferiore o di poco superiore ai 10 m (che ricadono pertanto nella classe altimetrica  $10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$ ) e di inclinazione subverticale (classe di inclinazione  $10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ). Dalle tabelle si ricava che il valore di  $F_a$  (nel periodo  $0.1 \text{ s} \leq T \leq 0.5 \text{ s}$ ) è pari a 1., inferiore al valore di soglia; conseguentemente la normativa nazionale vigente (D.M. 14-1-2008 ) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione.

Circa la stima di  $F_a$  per periodo  $0.5 \text{ s} \leq T \leq 1.5 \text{ s}$ , non è presente nessuna procedura semplificata. Pertanto è richiesta l'analisi di terzo livello.

3. Il terzo livello di approfondimento si applica in fase progettuale agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità, cedimenti e liquefazioni del terreno e nonchè di amplificazioni sismiche caratterizzate da valore di  $F_a$  calcolato superiore a quello di soglia. Per il Comune di Bernate Ticino sono presenti, come precedentemente riportato, situazioni di amplificazione morfologica (Zone Z3a) e litologica (Zone Z4a); l'analisi di terzo livello, a carattere quantitativo, deve essere effettuato ricorrendo alle metodologie (strumentali o numeriche) illustrate nell'Allegato n. 5 alla d.g.r. n. 8/1566 del 22-12-2005. Il 3° livello è inoltre obbligatorio per costruzioni che prevedono affollamenti significativi, industrie con

attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali ed essenziali.

## **10. FATTIBILITÀ GEOLOGICA**

L'analisi geologica, geomorfologica, idrologica e idrogeologica svolta ha condotto alla elaborazione di una "Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano" che rappresenta la sintesi tra valutazioni sulla pericolosità del territorio esaminato e l'idoneità all'urbanizzazione dello stesso. La "Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano" si configura quindi come elaborato di piano, ai sensi della l.r. 12/05 e della d.g.r. n. 8/1566 del 22-12-2008. Lo stesso elaborato tiene conto anche delle indicazioni del P.T.C.P. di recente approvazione.

Di seguito viene brevemente analizzata la fattibilità geologica a seconda dei fattori di pericolosità individuati; una descrizione più dettagliata della classi e sottoclassi di fattibilità individuate è stata riportata nelle Norme Tecniche allegate al presente elaborato.

### **10.1 FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALL'ATTIVITÀ DEL F. TICINO**

La pericolosità idraulica nel territorio in esame è connessa naturalmente alla presenza del Fiume Ticino. Le aree interessate dalla esondazione dell'ottobre 2000 e le zone potenzialmente allagabili per eventi a tempo di ritorno inferiore a 50 anni sono state inserite in classe 4; la suddivisione in sottoclassi di fattibilità rispecchia i criteri utilizzati nell'analisi della pericolosità.

L'inserimento in classe 4 anche di porzioni di aree comprese in fascia B del PAI, trova ragione nella energia e nel battente idraulico consistente delle acque esondate (aree in classe 4d), nella elevata pericolosità naturale delle aree individuate nella classe 4c difese da un arginatura in materiale sciolto frequentemente soggetta a fenomeni erosivi in grado di minarne la stabilità e quindi l'efficacia, nonché nella necessità di salvaguardare attraverso l'inedificabilità, anche le aree di laminazione fondamentali per il parziale abbattimento dei colmi di piena.

Sia le aree interessate da allagamenti a bassa o nulla energia, sia le zone distali dell'area golenale o subito a monte della stessa e potenzialmente allagabili a nulla energia per risalita del livello freatico, solo a seguito di piene a tempo di ritorno maggiore di 50 anni, sono state inserite in classe 3.

## **10.2. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA PRESENZA DI FALDA FREATICA CON BASSA SOGGIACENZA E DI ZONE DI RISTAGNO DELLE ACQUE SUPERFICIALI**

Le zone caratterizzate da falda freatica con bassa soggiacenza, periodicamente molto superficiale, indicativamente inferiore a 3 m, sono state inserite in classe 3; le aree dove talora si osservano fenomeni di ristagno, anch'esse con falda freatica periodicamente superficiale, ma su valori di soggiacenza minori rispetto a quanto individuato per le aree in classe 3, sono state inserite in classe 2. In entrambi i casi la moderata pericolosità può essere superata attraverso accorgimenti tecnici e modesti interventi nell'ambito del singolo lotto o dell'immediato intorno.

Le limitazioni di carattere geotecnico alla fattibilità geologica sono, per le caratteristiche dei terreni presenti nel territorio di Bernate Ticino, molto modeste. I depositi rilevati sono essenzialmente ghiaiosi con variabile percentuale di sabbia e ciottoli e infrequente possibilità di ritrovare al loro interno lenti sabbiose fini. Per tali motivi le aree localizzate sul terrazzo pleistocenico sono state inserite in classe 1, mentre le zone a valle di tale terrazzo sono state inserite in classe 2 a causa del lieve peggioramento geotecnico indotto dalla presenza di falda a bassa soggiacenza.

## **10.3. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA DINAMICA DEI VERSANTI**

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio di Bernate Ticino sono tali da considerare molto modesta la pericolosità naturale per dissesti gravitativi; tuttavia si è ritenuto opportuno inserire in classe 2 le porzioni di territorio presenti lungo le scarpate di raccordo tra i terrazzi; nel caso di urbanizzazione di tali aree, la modesta pericolosità naturale e quella indotta da eventuali opere di trasformazione antropica (per esempio scavi, riporti, ecc.), può essere superata attraverso accorgimenti tecnici e modesti interventi nell'ambito del singolo lotto o dell'immediato intorno.

I versanti originati da antichi fronti di cava dismessi nonché una fascia a monte degli orli di scarpata e al piede del fronte, sono stati inseriti in classe 4 a causa della elevata acclività della scarpata, benché non siano state osservate evidenze di instabilità in atto o passate.

## **10.4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA PRESENZA DEL NAVIGLIO GRANDE**

Circa la presenza del Naviglio Grande nel territorio comunale di Bernate Ticino è opportuno fare le seguenti precisazioni:

- il Naviglio Grande è un corso d'acqua artificiale che deriva acque dal F. Ticino nei pressi di Turbigo, regolato da un sistema di traverse in grado di far defluire le piene del F. Ticino senza provocare aumenti di portata del canale tali da non risultare smaltibili dallo stesso;
- non sono riportati e documentati storicamente eventi di esondazione del Naviglio Grande nel territorio di Bernate Ticino; in effetti durante le piene del F. Ticino (ad esempio quella dell'ottobre 2000 che ha dato luogo alla portata più elevata del XX secolo) non si sono

- verificati nel territorio di Bernate Ticino fenomeni di piena del Naviglio Grande
- il Naviglio Grande presenta una dinamica idraulica molto modesta, soprattutto nella zona limitrofa all'abitato di Bernate Ticino, a causa della scarsa velocità della corrente; fenomeni molto localizzati di instabilità dei manufatti spondali sono talora rilevabili (in particolare per quanto riguarda il territorio preso in esame, lungo la sponda destra) e sono per lo più dovuti alla considerevole età di tali manufatti o alla mancata manutenzione degli stessi.

Nella sostanza si ritiene pertanto che la pericolosità indotta dall'attività idraulica del Naviglio sia da considerarsi moderata; l'inserimento di alveo e fasce spondali del Naviglio Grande in classe 4 (quindi con inibizione alle nuove edificazioni) è pertanto dovuta ad un adeguamento alla restrittiva normativa approvata nell'ambito della "Determinazione del reticolo idrico minore" (ispirata al R.D. n, 523/04) e alla necessità di una salvaguardia di carattere ambientale latu senso delle fasce spondali di tale corso d'acqua.

Verbania, marzo 2009

Dott. Geol. Stefano Fardelli

## INDICE

<b>1. CARATTERISTICHE GENERALI DELLO STUDIO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA.....</b>	<b>1</b>
<b>2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.2. DEPOSITI SUPERFICIALI.....</b>	<b>2</b>
2.2.1. DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-GLACIALI (PLEISTOCENE SUPERIORE) .....	3
2.2.2. DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIO-GLACIALI (OLOCENE).....	3
2.2.3. DEPOSITI ALLUVIONALI FLUVIALI RECENTI ED ATTUALI.....	3
2.2.4. COLTRE ELUVIALE.....	4
<b>2.3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO .....</b>	<b>4</b>
2.3.1. FORME LEGATE ALLA DINAMICA DELL'ALVEO DEL FIUME TICINO .....	6
2.3.2. TENDENZE EVOLUTIVE DEL FIUME TICINO .....	7
<b>3. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI .....</b>	<b>9</b>
<b>4. CARTA DEGLI EFFETTI DELL'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 2000 .....</b>	<b>10</b>
<b>5. CENNI SUGLI ASPETTI METEO-CLIMATICI .....</b>	<b>11</b>
<b>6. CARTA IDROGEOLOGICA .....</b>	<b>11</b>
<b>6.1. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>11</b>
<b>6.2. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI.....</b>	<b>12</b>
<b>6.3. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI LOCALI.....</b>	<b>14</b>
6.3.1. PRIMA FALDA .....	14
6.3.2. FALDE PROFONDE .....	16
<b>6.4. CENNI SULLA VULNERABILITÀ .....</b>	<b>16</b>
<b>7. IDROLOGIA DEL FIUME TICINO.....</b>	<b>17</b>
<b>7.1. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE ED IDROLOGICHE GENERALI .....</b>	<b>17</b>
<b>7.2. PORTATE DI PIENA .....</b>	<b>19</b>
<b>8. CARTA DI SINTESI.....</b>	<b>21</b>
<b>8.1. ANALISI DI PERICOLOSITÀ DEL F. TICINO.....</b>	<b>21</b>
8.1.1. RILIEVO GEOMORFOLOGICO E DEGLI EFFETTI DELL'EVENTO ALLUVIONALE.....	21
<b>8.2. ANALISI DI PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ CONNESSA ALLA PRESENZA DI FALDA         FREATICA CON BASSA SOGGIACENZA E DI ZONE DI RISTAGNO DELLE ACQUE         SUPERFICIALI .....</b>	<b>23</b>
<b>8.3. ANALISI DI PERICOLOSITÀ CONNESSA ALLA DINAMICA DEI VERSANTI .....</b>	<b>23</b>
<b>8.4. ANALISI DI PERICOLOSITÀ CONNESSA ALLA PRESENZA DEL RETICOLO IDRICO MINORE         .....</b>	<b>24</b>
<b>9. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....</b>	<b>25</b>
<b>10. FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....</b>	<b>27</b>
<b>10.1 FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALL'ATTIVITÀ DEL F. TICINO .....</b>	<b>27</b>
<b>10.2. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA PRESENZA DI FALDA FREATICA CON BASSA         SOGGIACENZA E DI ZONE DI RISTAGNO DELLE ACQUE SUPERFICIALI.....</b>	<b>28</b>
<b>10.3. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA DINAMICA DEI VERSANTI .....</b>	<b>28</b>
<b>10.4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA PRESENZA DEL NAVIGLIO GRANDE .....</b>	<b>28</b>

Allegati:

- Scheda per il censimento delle esondazioni storiche
- Schede per il censimento dei pozzi
- Isopieze e soggiacenza falda freatica marzo e settembre 2008