



**PROVINCIA DI MANTOVA**  
Settore Progettazione della Viabilità e delle Infrastrutture

**VARIANTE ALLE EX. S.S.343 "ASOLANA"  
E EX S.S.358 "DI CASTELNUOVO"**

**2° LOTTO**  
TRA LA S.P. N°10 DELLA PROV. DI CREMONA  
E LA S.P. N° 59 "VIADANESE"

**1° STRALCIO: collegamento tra loc. Quattrocasse e loc. Fenilrosso**

**PROGETTO ESECUTIVO**

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA PROVINCIA DI MANTOVA. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.

<b>OGGETTO:</b>  <b>RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA</b>		<b>ALLEGATO:</b>  <b>1.6</b>	
		<b>SCALA:</b>  ---	<b>DATA CONSEGNA:</b>
<b>IL PROGETTISTA:</b> ING. MARCO GUAITA		<b>IL REDATTORE DELLA RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA</b> ING. GEOL. GIULIANO ROSSI	
		<b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b> ING. GIULIANO ROSSI	
		<b>VISTO: IL DIRIGENTE DEL SETTORE</b> ARCH. GIULIO BIROLI	
<b>PROGETTO N°</b> VIOPE01		<b>CAD:</b>	
<b>REV. N°</b>	<b>DATA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	
I CONF. SERVIZI	FEBBRAIO 2010		
		<b>APPROVAZIONE</b>	
		PROGETTO PRELIMINARE: D.G.P. N. 573/04	
		PROGETTO DEFINITIVO: D.G.P. N. 125/2010	

INDICE:

*0.0 - PREMESSA*

**1.0 GEOLOGIA**

*1.1-INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO*

*1.2-CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE*

*1.3-LITOLOGIA DI SUPERFICIE*

*1-4-LITOLOGIA PROFONDA E IDROGEOLOGIA*

*1-5-CENNI SULLA SISMICITA'DELL'AREA*

**2.0 GEOTECNICA**

*2.1-ATTIVITA' DI INDAGINE*

*2.2-METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE*

*2.3-CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA*

*2.4-LIVELLO FREATICO*

*2.5-CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA*

**3.0 ASPETTI PROGETTUALI**

*3.1- VERIFICA DIMENSIONALE DELLA PAVIMENTAZIONE*

*3.2-STABILIZZAZIONE DEL TERRENO CON CALCE*

**4.0-CONCLUSIONI**

*ALLEGATI*

## **0.0-PREMESSA**

La Provincia di Mantova , Settore Viabilità dei LL.PP., in ottemperanza a quanto disposto dall'art.25 del D.P.R. 21.12.1999 n. 554, sta predisponendo il progetto definitivo relativo alla costruzione dell'asse di connessione tra la S.P. n. 10 e la S.P. n. 59 – 1° lotto nei comuni di Viadana e Casalmaggiore.

Tra i documenti componenti il progetto , indicati non solo nel citato regolamento ma anche nelle “Istruzioni per la redazione dei progetti di strade “ pubblicate dal C.N.R il 05.05.1980, vi è pure la relazione sull'esito delle indagini di carattere geologico , geotecnico ed idrogeologico .

La pianificazione delle indagini, la relazione geotecnica e quella geologica, che in questo caso sono state unificate, sono state redatte seguendo le istruzioni di cui alle norme tecniche del D.M. 11.03.1988 e successiva circolare del Ministero dei LL.PP. n. 30483.

La presente relazione è finalizzata all'esposizione delle caratteristiche geologiche , geomorfologiche ed idrogeologiche, desunte dalla letteratura tecnica specifica disponibile e delle caratteristiche geotecniche dei primi strati del sottosuolo lungo il tracciato della strada in progetto determinate mediante l'utilizzo dei risultati delle prove specifiche in situ (sondaggi,prove penetrometriche statiche ) .

Attraverso l'esame dei parametri fisico meccanici degli strati di fondazione è stata verificata la stabilità delle fondazioni e dei piccoli rilevati stradali.

## 1.0- GEOLOGIA

### 1.1- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'indagine ha interessato tutta la porzione di territorio compresa tra i comuni di Casalmaggiore e Viadana per una striscia di lunghezza pari a circa Km 5,00 ed una larghezza di circa 1000 mt che risulta cartografata nella Sezione "D8e3" , " D8e4" e "E8a4" della Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 e nelle tavolette I.G.M. IV N.O. e III S.E. E del foglio 74 e I NE del foglio 73 della Carta d'Italia ( **allegato n. 1**).

Sotto l'aspetto geologico l'area in esame si trova nella parte assiale della Pianura Padana che rappresenta la parte colmata ed emersa di un bacino sedimentario subsidente delimitato da una parte dalla catena alpina , dall'altra dal margine esterno della catena appenninica.

Il riempimento del bacino è caratterizzato da una successione di depositi marini, deltizi, lagunari ed alluvionali plio-quadernari costituiti da alternanze di sabbie, limi, argille e torbe, la cui potenza e distribuzione è stata condizionata sia dalle strutture geologiche profonde , che dalle vicende geologiche locali.

Le conoscenze geologiche generali provengono soprattutto dal rilevamento della carta geologica d'Italia al 1: 100.000 con i fogli " Mantova" ( Cozzaglio , 1934) e "Reggio Emilia" ( Papani, Petrucci, Venzo, 1965) nonché dalle ricerche da prospezioni geofisiche e perforazioni profonde eseguite in anni passati dall'AGIP, dall'ENEL e dalla SPI.

Le conoscenze di carattere geomorfologico ed idrogeologico sono state desunte dalle ricerche condotte per la stesura della Carta Geomorfologica della Pianura Padana e dagli studi commissionati da Comune di Viadana per la stesura del P.R.G. e per la costruzione di un campo pozzi per la rete di acquedotto.

In dettaglio l'area è caratterizzata da terreni continentali di granulometria fine ( sabbie limi ed argille) che , dal punto di vista stratigrafico, sono riferibili al Postglaciale . Trattasi infatti di un'area di pianura alluvionale di tracimazione delle piene dei fiumi Po e Oglio che scorrono o incassati o pensili rispetto ai territori limitrofi.

Le eteropie laterali sono molto frequenti , quasi la regola, dato l'ambiente deposizionale continentale o sub continentale soggetto a piene ed a magre , ad alternanze stagionali , a relativamente lunghi periodi di isolamento dalle correnti con rigoglioso sviluppo di specie vegetali , a giochi delle correnti , a variazioni degli alvei dei corsi d'acqua e dell'entità e qualità dei loro apporti terrigeni.

Ne risultano stratificazioni con spessori di ordine da metrico a pluridecimetrico che , come riscontrato in analoghe situazioni e come riportato dalla letteratura, hanno generalmente una conformazione lenticolare , con estensioni orizzontali dell'ordine

da pochi metri fino a qualche centinaio di metri , passanti lateralmente in modo più o meno rapido e più o meno marcato in terreni di altra composizione.

In complesso però , anche se con terreni diversificati, si mantengono in orizzontale certe somiglianze , con passaggi da sabbia a limi sabbiosi , limi argillosi, argille limose ad argille con tutti i termini intermedi e tutte le sfumature composizionali .Tali caratteristiche sono il prodotto di ambienti deposizionali molto vicini tra loro , anche se alimentati in modo differente per il differente gioco delle correnti, profondità,apporti terrigeni ecc.

Il rapporto tra materiali grossolani ( sabbie ghiaie) e fini (limi ed argille) risulta alto : il tratto di pianura con la successione sedimentaria descritta è comunemente definito “Piana di meandreggiamento del Fiume Po”.

I terreni affioranti dell’area studiata a Nord degli abitati di Casalbello, Cogozzo, Cicognara e Viadana sono definiti, dal punto di vista geomorfologico, come depositi di argine naturale o di dosso fluviale caratterizzati da un rilievo a dossi debolmente sopraelevati rispetto al piano campagna circostante che fiancheggiano l’alveo inciso e arginato.

I rilevati arginali costituiscono, infatti, un limite fisico alle esondazioni e separano le aree golenali, soggette a continue evoluzioni geomorfologiche, e le aree perfluviali dove invece si registra un effettivo congelamento degli eventi stessi.

Queste ultime zone riflettono un panorama litologico relativo ai processi deposizionali manifestatisi antecedentemente ai massicci interventi di regimazione. La successione stratigrafica tipica di questa area di argine naturale è costituita da una alternanza di sabbia fine e limo strutturati con argilla ( **allegato n. 2**)

Nel complesso le aree perfluviali sono caratterizzate da una dinamica evolutiva molto ridotta , riconducibile esclusivamente all’attività umana , dai secolari interventi di bonifica agraria , infrastrutturazione, insediamento e regimazione idraulica.

## 1.2- CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'attuale assetto geomorfologico del territorio del Comune di Viadana e del Comune di Casalmaggiore è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno interagito sulla rete idrografica. Il tracciato del F. Po, che è l'elemento geomorfologico di maggiore importanza dell'area, è strettamente correlabile con l'assetto strutturale tettonico del bacino Padano che risulta interessato da sovrascorrimenti, duplicazioni, ondulazioni e pieghe, generate da spinte orogenetiche che hanno determinato la formazione delle Alpi e degli Appennini (**allegato n. 3**).

Nel tratto relativo al Comune di Viadana e di Casalmaggiore il F. Po presenta un tracciato alquanto sinuoso con una larghezza media di circa 250-300 mt.

Le caratteristiche del tronco, la pendenza del fondo, la granulometria del materiale solido trasportato dalla corrente fluviale ed il regime idrologico delle portate, collocano il corso d'acqua nella zona di transizione tra la tipologia pluricursale e quella monocursale.

In particolare il tratto in esame è rappresentato da un singolo canale attivo che ramifica localmente in due tronchi, sottesi da estese barre fluviali che costituiscono vere e proprie isole fluviali.

Come già detto, tutto il tratto del F. Po è regimato e protetto da imponenti arginature che hanno ormai stabilizzato l'evoluzione del tracciato planimetrico. Pure l'abbassamento dei fondali indotto dalle attività estrattive pregresse appare in netta attenuazione e in alcuni casi sono manifesti fenomeni di parziale innalzamento. Gli autori della Carta geomorfologica della Pianura Padana classificano l'area comunale di Viadana all'interno della unità geomorfologica cosiddetta "Fascia a meandri del Po".

Si tratta di aree di divagazione delle anse del Po rispetto all'attuale tracciato che rappresentano antiche persistenze fluviali, molte delle quali, risalgono al periodo dell'età del bronzo ed in alcune zone anche all'età romana come risulta dallo studio geologico condotto per il Comune di Viadana per la stesura del P.R.G. (**allegato n.4**)

### 1.3- LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Le caratteristiche generale della litologia di superficie della zona studiata sono rappresentate nella figura allegata e sono riferibili al sistema deposizionale di influenza del F.Po e del F. Oglio . Hanno giocato un ruolo determinante le variazioni idrografiche dei suddetti fiumi che hanno lasciato tracce significative rilevabili , dal punto di vista litologico, per la presenza di depositi sabbiosi in corrispondenza dei dossi fluviali.

I depositi superficiali dell'area indagata sono comunque riferibile alle classi granulometriche dei limi e e delle argille ( **allegato n. 5**)

Le analisi granulometriche disponibili , eseguite per conto della Provincia dalla T.S.A. per la redazione del Piano di risanamento acque, mostrano che:

- a) i depositi prevalentemente sabbiosi presentano una frazione sabbiosa variabile dal 44 al 47% ( sabbie fini o molto fini) accompagnata da una percentuale di limo variabile dal 43 al 44% e da una coda argillosa dal 10-12%,
- b) i depositi prevalentemente limosi presentano una frazione limosa variabile dal 49 al 81% frammista sia sabbie sia ad argilla ;
- c) i depositi prevalentemente argillosi presentano una frazione argillosa variabile dal 36 al 59% accompagnata in prevalenza da limi ed in subordine da sabbie fini.

Non sono state rilevate aree paludose o torbose di interesse ai fini del presente studio.

#### 1.4- LITOLOGIA PROFONDA E IDROGEOLOGIA

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame sono quelle generali dell'unità idrogeologica denominata "Sistema del Po" a cui appartiene .

Questa unità idrogeologica è caratterizzata dai depositi fluviali profondi di provenienza "Alpina" dei fiumi Po ed Oglio ed "Appenninica" degli affluenti di destra idrografica.

Il regime idrico sotterraneo è tipicamente caratterizzato da falde freatiche e semi-confinatae negli acquiferi superficiali e falde confinate in quelli profondi . In particolare nell'orizzonte acquifero superficiale le falde presenti sono di tipo "freatico" o "a pelo libero" in tutte quelle aree in cui risultano affioranti e/o subaffioranti i depositi sabbiosi , ma diventano di tipo "semiconfinato" , dove si trovano in superficie suoli a bassa permeabilità e cospicuo spessore.

Il regime piezometrico dell'acquifero più superficiale presenta due fasi di magra ( in marzo e a settembre, di cui la prima è più accentuata) e due fasi di piena ( in giugno, più accentuata , e in dicembre). Regime pluviometrico e regime idrologico presentano due fasi di magra ( estate ed inverno) e due fasi di piena ( primavera e autunno) . Il regime piezometrico dell'acquifero più superficiale presenta uno sfasamento di circa 1-2 mesi rispetto agli apporti atmosferici e del Fiume Po.

Il flusso sotterraneo è diretto prevalentemente da Ovest verso Est , congruente con le modalità di alimentazione dell'acquifero più superficiale da parte del F.Po.

I gradienti idraulici sono molto bassi , dell'ordine dello 0,5 per mille ; anche gli acquiferi più profondi presentano gradienti molto "piatti" , dell'ordine di 0,2-0,3 per mille.

La trasmissività varia da  $9 \cdot 10^{-3}$  a  $2,7 \cdot 10^{-2}$  mq/sec. La conducibilità idraulica varia da  $3,5 \cdot 10^{-4}$  a  $1 \cdot 10^{-3}$  m/sec.

Il F. Po , nel tratto da Cicognara a Banzuolo risulta in apparente equilibrio con gli acquiferi superficiali. I dati reperibili nella letteratura specializzata le oscillazioni della falda idrica sono dell'ordine di 1,0-2,0 mt .

Nello studio geologico del P.R.G. di Viadana la soggiacenza è stata rilevata variabile da -1,00 a -4,00 mt. (**Allegato n.6**).

Le caratteristiche di vulnerabilità delle falde acquifere all'inquinamento sono state studiate dalla Provincia di Mantova su tutto il territorio provinciale nel contesto della redazione del Piano di Risanamento Acque . In tale rapporto sono state definite n. 6 classi di vulnerabilità naturale sulla base dei seguenti fattori geo-naturali:

- litologia di superficie
- tipo e spessore di copertura fine a bassa permeabilità
- soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero

-condizioni geomorfologiche del territorio.

Il territorio è stato suddiviso in zone omogenee possedenti un determinato grado di vulnerabilità, che è direttamente correlabile al grado di rischio. I diversi gradi di vulnerabilità esprimono una minore o maggiore suscettività all'inquinamento o una minore o maggiore possibilità che l'inquinamento delle falde acquifere possa verificarsi.

L'opera pubblica in questione, essendo esterna alle aree golenali del F.Po, ricade all'interno di un'area definita da media a bassa vulnerabilità a seconda del tipo di copertura più o meno permeabile a protezione dell'acquifero (**Allegato n.6**)

## 1.5- CENNI SULLA SISMICITA'DELL'AREA

La caratterizzazione sismica del territorio mantovano è stata ben illustrata nel "Programma provinciale di previsione e prevenzione di protezione civile"(febbraio 2002) che elabora i dati degli eventi sismici di origine storica e di quelli rilevati strumentalmente.

Le stime di pericolosità sismica sono state realizzate secondo una metodologia probabilistica ampiamente consolidata ed impiegata a livello internazionale a seguito della quale risulta che il comune di Viadana ricade nell'area corrispondente ad un valore di intensità sismica pari al VII MCS calcolata secondo il metodo di Cornell.

L'ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 e successivamente la D.G. della Regione Lombardia del 07.novembre 2003 n.7/14964 individua il comune di Viadana in fascia 3 "zona a bassa sismicità" ed il comune di Casalmaggiore in fascia 4 "zona a bassa sismicità"; in ragione di ciò non sono applicabili le procedure autorizzative ex lege 64/'74, di controllo di cui alla l.r. 46/'85 e regolamento attuativo fermo restando l'obbligo dell'applicazione, in fase di progettazione, delle norme tecniche allegate all'Ordinanza n. 3274, secondo le modalità dell'ordinanza stessa.

Per i comuni che ricadono in terza classe (Viadana) è stato determinato un valore di accelerazione sismica orizzontale pari a 0,15  $a_g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Per i Comuni che ricadono in quarta fascia (Casalmaggiore) è stato determinato un valore di accelerazione sismica orizzontale pari a 0,05  $a_g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

## 2.0- GEOTECNICA

### 2.1- ATTIVITA' DI INDAGINE

Il piano delle indagini in sito e delle prove di laboratorio è stato studiato in relazione alle caratteristiche dell'opera e della situazione geomorfologica del territorio indagato.

Il profilo della strada in progetto si sviluppa prevalentemente in rilevato con altezze variabili da mt 1,00 a mt 7,50 .

Con il progettista della strada è stato concordato di eseguire n. 9 pozzetti esplorativi (circa uno ogni 400 mt) con escavatore meccanico fino ad una profondità di mt 3,00 al fine di rilevare le caratteristiche litostratigrafiche dei primi strati del sottosuolo e procedere alla classificazione dei terreni dal punto di vista geotecnico grazie al prelievo ed alla analisi di laboratorio dei campioni.

Oltre ai saggi sono state eseguite n. 16 prove penetrometriche statiche (CPT) e n. 4 sondaggi a carotaggio continuo con sonda a rotazione spinti fino alla profondità di 40 mt e prelievo di campioni indisturbati per le prove di laboratorio.

I sondaggi sono stati ubicati in corrispondenza delle rampe dei rilevati di accesso ai due viadotti di sovrappasso della strada .

Le 9 prove di piastra sono state eseguite nei punti dove la sezione stradale presenta il minimo di rilevato , nel tratto cioè dove la fondazione appoggia direttamente sul terreno.

Le prove sono state eseguite in corrispondenza dei punti indicati nella planimetria allegata nel documento di cui all'**allegato n. 1**.

I risultati ottenuti ed i valori misurati sono descritti nella presente Relazione Tecnica.

Di seguito vengono elencate le prove eseguite:

#### Prove in situ

esecuzione di n° 16 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);

esecuzione di n°9 prove di carico su piastra;

esecuzione di n°9 pozzetti esplorativi con escavatore meccanico.

Esecuzione di n. 4 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati.

### Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio geotecnico sui campioni prelevati nei sondaggi e nei pozzetti sono le seguenti :

#### *Prove di laboratorio per ogni campione indisturbato prelevato dal sondaggio:*

determinazione umidità naturale  
determinazione densità naturale  
Determinazione LL,LP,IP  
Caratteristiche granulometriche con curva completa  
classificazione  
Prova di carico edometrico con curva di consolidazione a gradini definiti,  
 $\sigma_{vmax} < 6$  MPa ;mantenimento di ogni gradino per un tempo  $\leq 24$  h;  
per complessivi 12 gradini e determinazione dei coefficienti  $\sigma_{vc}$   
( pressione di consolidazione), Cc, Cv, K, Eed,compresa la preparazione dei  
diagrammi cedimento/log t; Cv/log  $\sigma_{vmax}$ ; Eed / log $\sigma_{vmax}$  .  
Prova triassiale UU sat. ( 3 provini )

#### *Prove di laboratorio per ogni campione prelevato dal pozzetto esplorativo*

estrazione campione dal sacchetto: scheda apertura campione  
determinazione umidità naturale  
determinazione densità naturale  
Determinazione LL,LP,IP  
Caratteristiche granulometriche con curva completa  
classificazione  
Contenuto sostanze organiche  
Determinazione dell'indice di portanza CBR su provino costipato ad umidità  
e densità predeterminate compresa la preparazione ed il confezionamento del provino  
Determinazione dell'indice di portanza CBR per imbibizione "standard"  
del provino ( 4 giorni ) , con misura del rigonfiamento.

## 2)METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE

### Prove in situ

#### 1) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA (CPT)

Si sono impiegati due penetrometri, uno zavorrato montato su autocarro Magirus tipo PAGANI TG 73-200 per le prove più profonde e l'altro montato su semovente cingolato tipo PAGANI TG 63-200 a funzionamento idraulico con le seguenti caratteristiche tecniche:

- PAGANI TG 73-200:

- spinta 20 ton,
- zavorra autocarro 12 ton e ancoraggio mediante eliche,
- corsa sistema di spinta 1,20 m per aste da 1,0 m,
- velocità di discesa sistema di spinta in fase di lettura 2 cm/sec,
- motore diesel Lombardini da 36 hp.

- PAGANI TG 63-200:

- spinta 20 ton,
- ancoraggio mediante eliche,
- corsa sistema di spinta 1,20 m per aste da 1,0 m,
- velocità di discesa sistema di spinta in fase di lettura 2 cm/sec,
- motore diesel Lombardini da 20 hp.

Si è utilizzata una punta meccanica tipo Begemann dotata di manicotto cilindrico superiore per la misura dell'attrito laterale, con le seguenti dimensioni standardizzate:

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| - diametro di base del cono   | $d = 35.7 \text{ mm}$    |
| - area della punta conica     | $A_p = 10 \text{ cm}^2$  |
| - angolo di apertura del cono | $b = 60^\circ$           |
| - superf. laterale manicotto  | $A_m = 150 \text{ cm}^2$ |

Lungo la batteria di aste sono stati posizionati anelli allargatori per ridurre l'attrito laterale del terreno.

## 2) *SONDAGGI GEOGNOSTICI*

Il carotaggio dei litotipi è stato eseguito a rotazione verticale, impiegando una sonda idraulica di perforazione PUNTEL PX 800 montata su autocarro.

L'impianto di perforazione idraulico è caratterizzato dai seguenti requisiti:

- velocità di rotazione da 52 a 329 rpm,
- coppia torcente di 800 Kgm,
- corsa continua per 330 cm per aste da 3 metri,
- spinta 8.400 kg
- tiro 10.000 kg
- argano idraulico con tiro da 4000 kg,
- pompa da fango con portata massima di 600 l/min a 20 bar,
- pompa a pistoncini con portata massima di 15 l/min a 150 bar,
- motore VM turbo diesel da 90 hp.

I fori perforati a carotaggio continuo sono stati eseguiti impiegando un carotiere semplice avente diametro esterno di 101 mm con l'ausilio di rivestimento metallico avente diametro esterno di 127 mm. le cui caratteristiche sono riportate in dettaglio nelle schede stratigrafiche allegate.

Il sistema e le modalità di perforazione sono state tali da rendere minimo il disturbo provocato nei materiali attraversati, consentendo inoltre il prelievo di campioni indisturbati rappresentativi dei terreni investigati.

La percentuale di recupero e rappresentativo dei litotipi attraversati è stata di circa il 90-100%.

Le carote estratte sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in plastica a 5 scomparti a rappresentare la stratigrafia dei terreni attraversati. Le cassette catalogatrici, complete delle relative indicazioni grafiche di identificazione sono state successivamente fotografate a colori e trasportate al deposito della provincia di Mantova.

Sulle carote di terreno si sono svolte le seguenti caratterizzazioni di campagna:

- classificazione granulometrica rapida dei litotipi con l'ausilio di archetto a filo armonico utilizzando, per la descrizione, la terminologia della *Classificazione Unificata "USCS"* e quella delle *"Norme AGI 1977"*;

- misure ogni 20 cm circa, ove possibile, di resistenza a compressione semplice con penetrometro portatile tipo *Control* e misure di resistenza al taglio con Torvane portatile.

Durante le perforazioni sono stati prelevati complessivamente n° 10 campioni indisturbati di tipo Shelby, distribuiti prevalentemente negli strati più superficiali in quanto per le caratteristiche dei terreni più profondi (sabbie) non ne permettevano il prelievo.

La descrizione litostratigrafica dei terreni attraversati e dei materiali è stata restituita graficamente sulle schede stratigrafiche allegate, completate con gli elementi relativi al prelievo dei campioni, alle prove eseguite in foro, la strumentazione installata, le caratterizzazioni geotecniche di cantiere, alla località di esecuzione del sondaggio, al numero del sondaggio ed alla

### *3) PROVE SU PIASTRA E POZZETTI ESPLORATIVI*

Per l'esecuzione delle prove su piastra si è preparata dapprima la piazzola di prova scoticando il terreno agrario per una profondità di 20 ÷ 40 cm mettendo a giorno il sottostante terreno non rimaneggiato, utilizzando una terna gommata usata successivamente anche come contrasto.

La strumentazione per l'esecuzione delle prove di marca Tecnotest modello TB 637 è costituita da:

- martinetto idraulico a semplice effetto da 5 ton. di spinta con integrata lanterna porta comparatore;
- piastra di misura con diametro di 30 cm e spessore 2,5 cm;
- comparatore centesimale centrale;
- testa dello stelo del pistone snodata per adattarsi al contrasto in modo tale da rimanere in asse;
- pompa idraulica manuale con manometro di misura ;
- barra di fede da 2,5 m in alluminio e supporto comparatore.

Le prove si sono eseguite secondo le indicazioni tecniche della norma Svizzera tipo SNV 670317:

- inizialmente sulla superficie del terreno da testare si è steso un sottile strato di sabbia (1÷2 cm di spessore) per regolarizzare il piano di appoggio della piastra;
- posa della piastra di acciaio;
- esecuzione di un carico di assestamento preliminare per una pressione equivalente circa a 0,2 kg/cm<sup>2</sup> ;

- successivi incrementi di carico effettuati a 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,5 – 3,5 – 4,5 kg/cm<sup>2</sup> e scarico a 0,5 – 0 kg/cm<sup>2</sup>.

I valori ottenuti sono riportati nelle allegate tabelle e grafici che visualizzano il carico applicato e il cedimento ottenuto al comparatore centrale. Nei grafici in ordinata sono indicati gli abbassamenti in mm ed in ascissa i valori di carico in kg/cm<sup>2</sup>.

In base ai dati ottenuti si sono determinati i seguenti parametri:

- ◆ Modulo di deformazione:

$$Me = \delta p / \delta H \times D$$

dove:

Me = modulo di deformazione in kg/cm<sup>2</sup>,

$\delta p$  = intervallo di pressione di carico equivalente ad 1 kg/cm<sup>2</sup>, calcolato tra i gradini 0,5 ÷ 1,5 kg/cm<sup>2</sup> (B.U. n.146 del 14/2/92),

$\delta H$  = cedimento relativo all'intervallo considerato in cm,

D = diametro della piastra.

- ◆ Deformazioni:

- plastica in mm,
- elastica in mm,

che esprimono rispettivamente le deformazioni permanenti e temporanee restituite al termine delle prove.

Terminata la prova si è proceduto allo scavo del pozzetto esplorativo sino alla profondità di 2,0 m di cui stratigrafie e fotografie allegate.

### Prove e test eseguiti nel laboratorio geotecnico

Le prove sono state eseguite dal laboratorio geotecnico della ditta del Dr. Antonio Mucchi di Ferrara e le metodologie utilizzate sono quelle standard di riferimento.

I risultati delle singole analisi sono riportati sulle schede allegate.

*Tabella n. 1 : classificazione e caratterizzazione dei terreni alla profondità di mt 0,50-1,00 dal p.c. provenienti da pozzetti esplorativi*

POZZETTI	CBR	CBR post sat.	Sost. Organ %.	Conte nuto Acqua %	Classificazio ne UNI 10006	I.G.	L.L.	L.P.	I.P.
Pz1	35	7	4	12,2	A6	10,4	39	22	17
Pz2	46	14	3,8	10,5	A4	4,4	29	25	5
Pz3	42	8	3,8	20,5	A7-5	15,6	50	26	24
Pz4	33	8	5,4	13	A6	10,2	40	22	18
Pz5	41	6	6,6	21,1	A7-5	15	49	26	23

Pz6	40	6	4,1	20,1	A7-5	10,8	44	23	21
Pz7	37	5	5,5	20,8	A7-5	14,6	47	24	23
Pz8	32	5	5,2	17,9	A6	9,84	39	22	17
Pz9	39	8	5,8	19	A6	11,2	40	12	18

### 1) CARICO CON PIASTRA

Le prove di carico con piastra avente diametro di 300 mm sono state effettuate con le modalità precedentemente descritte, in corrispondenza del piano di appoggio della sottofondazione al di sotto della coltre di terreno agrario e vegetale che normalmente viene asportato.

I valori del modulo di deformazione Md ottenuti tramite le prove nell'intervallo di valori di carico 50-150 Kpa sono risultati compresi tra 12'179 Kpa (P5) e 72'000Kpa (P2).

### Tabella n.2 : risultati delle prove di piastra

#### DETERMINAZIONE MODULO DI DEFORMAZIONE

Intervallo di carico 50 – 150 Kpa 1° ciclo di carico		Intervallo di carico 50 – 150 Kpa 2° ciclo di carico		Md2/Md1	Wn %	Wot. %	Wn- Wott
	Kpa		Kpa				
Prova n. 1	Md1= <b>56250</b>	Md2=	85285	1,51	12,2	14	-1,8
Prova n. 2	Md1= <b>72000</b>	Md2=	452272	6,28	10,5	11	-0,5
Prova n. 3	Md1= 20179	Md2=	30366	1,50	20,5	14	+6,5
Prova n. 4	Md1= <b>33210</b>	Md2=	82916	2,49	13	13,5	-0,5
Prova n. 5	Md1= 12179	Md2=	37594	3,08	21,1	14	+7,1
Prova n. 6	Md1= 19355	Md2=	31856	1,64	20,1	12,5	+7,6
Prova n. 7	Md1= 37975	Md2=	532684	14,02	20,8	15,2	+5,6
Prova n. 8	Md1= 24862	Md2=	114807	4,61	17,9	13	+4,9
Prova n. 9	Md1= 20316	Md2=	45642	2,24	19	12,5	+6,5

Di norma, e salvo diverse prescrizioni stabilite nel Progetto, il modulo Md al primo ciclo di carico, nell'intervallo compreso tra 0,05÷0,15 N/mm<sup>2</sup>, deve risultare non inferiore a:

- 15 Mpa ( 15'000 Kpa) (valore minimo per consentire il corretto costipamento degli strati soprastanti), quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2,00 m;
- 20 Mpa ( 20'000 Kpa) quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 1,00 e 2,00 m;
- 30 Mpa ( 30'000 Kpa) quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 0.50 e 1,00 m;
- Per distanze inferiori a 0.50 m si applicano i requisiti richiesti ai sottofondi.

Dalla tabella n.2 si osserva che:

- tutti i valori, tranne quello della prova n.5, sono superiori a 15'000 kpa ;
- i valori maggiori di Md1 corrispondono a terreni con contenuto di umidità naturale inferiore all'umidità ottimale ( prova n. 1,2 ,4) e classificati come A4 ed A6 ;
- Il rapporto tra Md2 e Md1 assume valori molto variabili compresi tra il minimo di 1,51 e il massimo di 14,02 , a testimonianza di un comportamento alquanto disomogeneo, ma anche imprevedibile, che non sembra correlabile né con l'I.P. né con il W% naturale.

La portanza del sottofondo, oltre che dalle prove di piastra, è stata testata anche dalla misura del C.B.R. i cui valori , determinati in diverse condizioni di umidità, sono riportati in tabella n.1. Valori inferiori a 40 sono caratteristici di terreni classificati A6 , mentre quelli classificati A7-5 presentano valori attorno ai 40 , l'unico terreno classificato A4 corrisponde al CBR più alto , 46.

Essendo il numero dei campioni piuttosto ridotto non è possibile svolgere una elaborazione statistica dei dati, tuttavia si osserva che , anche in questo caso, non risulta evidente nessuna particolare correlazione tra i valori di CBR in condizioni di Wn e l'I.P. ; molto più significativa appare invece il legame tra i valori di CBR post saturazione ed I.P. : a valori di I.P. generalmente alti corrispondono ridotti valori di CBR e viceversa ( es. nel pozzetto n. 2).

La consistente differenza tra i valori di portanza del CBR di terreni in condizioni naturali e di quelli di terreni in condizioni post saturazione indica la grande sensibilità all'acqua che condiziona il giudizio di idoneità degli stessi per essere utilizzati tal quale come sottofondo.

In effetti tali terre possono essere ritenute idonee per il trattamento e la stabilizzazione a calce in quanto i campioni analizzati ricadono all'interno dei gruppi A6 e A7 della classificazione UNI-CNR 10006 e presentano un I.P. compreso tra 10 e 50.

Qualora si adottasse la soluzione della stabilizzazione a calce per migliorare le caratteristiche del sottofondo è necessario procedere ad ulteriore analisi per lo studio della miscela di progetto .



## 2.3-CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

La caratterizzazione geotecnica e litostratigrafica del sottosuolo in esame è stata desunta sulla scorta dei risultati della campagna di indagini sopra descritta ed in particolare sulla base delle osservazioni sui risultati delle prove CPT e dei sondaggi profondi.

Le indagini, per una significativa ed utile caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni ai fini della verifica della portanza delle fondazioni e della previsione dei cedimenti del rilevato, sono state eseguite lungo il tracciato di progetto.

Grazie al rilievo di dettaglio eseguito in occasione dello scavo dei pozzetti esplorativi è stato ricostruito il profilo geologico-stratigrafico lungo tutto l'asse stradale fino ad una profondità media di mt 3,50 dal p.c. ( **Allegato n..7**).

L'assetto stratigrafico restituisce uno schema di una certa complessità ed eterogeneità tra i dati litologici acquisiti e ciò è in linea con le considerazioni svolte circa le modalità di trasporto e deposizione dei clasti tipiche di un ambiente fluviale .

In linea di massima sono individuabili le seguenti formazioni:

**Formazione 1.** coltre superficiale di terreno agrario vegetale prevalentemente limoso argilloso fino alla profondità di 40-50 cm;

**Formazione 2.** tra la formazione 1 ed i depositi sabbiosi-limosi della *formazione 3* si interpone, in maniera continua, uno strato di materiale argilloso , talora limoso (classificato A7 e A6) di spessore variabile.

In particolare si osserva che:

-dalla sezione **86** ( fine lotto verso Viadana ) alla sezione **69**, lo strato coesivo è costituito da alternanze di argilla organica ed argilla inorganica talora consistente avente uno spessore variabile da mt 0,80 a mt 1,60;

-dalla sezione **69** alla sezione **50** gli strati coesivi nei primi 4 mt sono alternati con strati di sabbia e limo e sono costituiti da argilla limosa con straterelli di argilla organica ed inorganica di spessore variabile da cm 20 a cm 100;

-dalla sezione **50** alla sezione **0,00** (verso Casalmaggiore) lo strato coesivo aumenta progressivamente di spessore raggiungendo mt 6,80 : si tratta di argilla inorganica consistente in successione con strati di argilla organica ed argilla limosa.

**Formazione 3.** lo strato è costituito da materiale prevalentemente sabbioso, talora limoso, presente in modo costante lungo il profilo fino alla profondità di fine sondaggio o fine prova ; trattasi di un banco di sabbia addensata o cementata all'interno del quale non è rara la presenza di straterelli di argilla limosa di spessore decimetrico

## 2.4-LIVELLO FREATICO

Nella tabella sottostante vengono indicati i livelli misurati nelle varie indagini eseguite con indicato il tipo di prova e la tipologia di foro; le misure non sono riferite tutte alla stessa data, ma si ritiene che i dati possano essere confrontabili in quanto il periodo meteorologico in cui sono state fatte è stato abbastanza stabile con piovosità assente.

Tali valori, che rappresentano una piezometria della falda molto prossima alla minima soggiacenza, potranno subire solo leggere variazioni in aumento a causa della dispersione di subalveo dei canali consortili per la pratica irrigua stagionale .

Come accennato in precedenza la piezometria misurata in questa campagna di indagini conferma il carattere semiconfinato della falda superficiale.

Grazie alla copertura semimpermeabile della formazione n. 2 sopra descritta l'escursione libera della falda è impedita ; solo in occasione dello sfondamento dello strato di copertura argilloso-limoso il pelo libero dell'acquifero si riporta alla quota idrostatica che gli compete .

A conferma di ciò basta osservare che nei pozzetti eseguiti con lo scavatore fino a - 3,00 mt di profondità non è stata rilevata la presenza di falda mentre nei fori di sondaggio la quota misurata del pelo libero si attesta mediamente sui - 1,70 mt dal p.c.

Non si è ritenuto, in questa fase, installare dei piezometri in quanto, sulla scorta dei dati di bibliografia, il comportamento della falda nel tempo risulta essere ben documentato e sufficientemente conosciuto in relazione alle esigenze del presente lavoro.

*Tabella n.4 : livelli piezometrici*

<b>data</b>	<b>prova in sito</b>	<b>livello m da p.c.</b>	<b>note</b>
29/06/05	CPT 1	1,60	eseguita a fine prova
29/06/05	CPT 2	2,1	eseguita a fine prova
29/06/05	CPT 3	1,5	eseguita a fine prova
29/06/05	CPT 4	1,80	eseguita a fine prova
29/06/05	CPT 5	1,85	eseguita a fine prova
29/06/05	CPT 6	1,30	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 7	1,5	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 8	2,80	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 9	2,60	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 10	2,30	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 11	1,65	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 12	1,60	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 13	2,90	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 14	2,2	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 15	2,40	eseguita a fine prova
13/07/05	CPT 16	3,1	eseguita a fine prova
07/07/05	SONDAGGIO 1	1,80	eseguita a fine sondaggio
07/07/05	SONDAGGIO 2	1,70	eseguita a fine sondaggio

07/07/05	SONDAGGIO 3	1,70	eseguita a fine sondaggio
07/07/05	SONDAGGIO 4	1,60	eseguita a fine sondaggio

## 2.5- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il progetto prevede la costruzione del 1° lotto della nuova infrastruttura stradale di connessione tra la S.P. n. 10 e la S.P. n. 59 le cui caratteristiche si possono così riassumere:

- Corsia di marcia ( 1 per ogni senso) : da 3,75 mt ;
- Lunghezza tracciato : 4'300 mt ;
- Banchina bitumata : 1,50 mt;
- Banchina in terra: 1,00 mt;
- Scarpata : larghezza variabile;
- Fossato di raccolta acque ;
- Rilevati : altezza massima H= 7,50 mt circa, pendenza rampe : < 5%
- Luce impalcato : 21,00 mt circa.

Sulla base delle caratteristiche geolitologiche e geotecniche dei terreni di fondazione stradale il tracciato viene di seguito esaminato distinto in tre tratti , rispettivamente:

-**TRATTO 1**: dalla sezione n. 86 ( fine lotto, strada di collegamento con il P.L. Fenilrosso) alla sezione n. 69 (via Pilastro , Cogozzo , manufatto di scavalcamento) per una lunghezza di mt 850 all'interno del quale è prevista una rotatoria ed un rilevato di scavalcamento di via Pilastro;

-**TRATTO 2** : dalla sezione 69 alla sezione n. 50 per una lunghezza di mt 950;

-**TRATTO 3** : dalla sezione n. 50 alla sezione n. 0 ( inizio lotto , collegamento con la rotatoria della S.P. n. 10), per una lunghezza di mt 2500 all'interno del quale è previsto un rilevato di scavalcamento di via Pallavicini di Casalbello ed alcuni scollari di scavalcamento di canali irrigui.

### TRATTO 1 – DA FINE LOTTO ALLA INTERSEZIONE A ROTATORIA CON LA S.C. VIA PILASTRO

Il profilo longitudinale e le sezioni longitudinali di progetto indicano come lo sviluppo del tracciato sia sopraelevato dal p.c. di poche decine di cm ( circa 50 cm). Le indagini lungo il tracciato interessato comprendono le CPT da n.1 a 4 ed il sondaggio n.1 ; quest' ultimo è stato eseguito in corrispondenza della intersezione a rotatoria e spinti fino alla profondità di mt 40,00

L'interpretazione dei dati per la determinazione dei parametri geotecnici delle formazioni presenti nel sottosuolo, ha portato alla schematizzazione geotecnica mostrata nella tabella che segue dove vengono definiti i valori medi dei parametri di resistenza e di deformabilità da impiegare nei modelli di calcolo che descrivono quantitativamente le formazioni presenti nel sottosuolo in esame.

Tabella n.5: parametri di resistenza e di deformabilità da prove in sito del terreno sottostante il tratto della rotatoria sulla s.c. Pilastro .

<b>Profondità dello strato</b>	<b>Parametri geotecnici desunti da prove CPT4 e da prove su campioni S1C1 e S1C2 ed S1C3</b>
Da 1,00 m a -2,80 m	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Sabbia fine con livelli limosi</p> <p><i>Angolo di attrito :</i> <math>\varphi' = 32^\circ</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 1,92 \text{ t/mc}</math></p> <p><i>Densità relativa:</i> <math>D_r = 47\%</math></p> <p><i>Resistenza alla punta</i> <math>R_p = 16 \text{ Kg/cmq}</math></p>
Da -2,80 a -30,00 m	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Sabbia e limo mediamente addensate</p> <p><i>Angolo di attrito naturale:</i> <math>\varphi' = 37^\circ</math></p> <p><i>Peso di volume saturo:</i> <math>\gamma = 2,01 \text{ t/m}^3</math></p> <p><i>Densità relativa:</i> <math>D_r = 45 \%</math></p> <p><i>Resistenza alla punta</i> <math>R_p = 65 \text{ Kg/cmq}</math></p>

Fino a circa - 2,80 mt di profondità si è in presenza di materiale prevalentemente incoerente con intercalazione di livelli limosi che rendono compressibile questo strato. Per questa ragione durante il sondaggio S1 è stato possibile prelevare dei campioni indisturbati e sottoporli a prove edometriche ed a prove di taglio.

Da tali prove risulta valori di  $\varphi' = 40 \div 43^\circ$  , decisamente superiori a quelli determinati indirettamente interpretando le prove penetrometriche.

I valori di coesione non drenata sono bassi ed il coefficiente di sovraconsolidazione minore di 1 ( strato sottoconsolidato). Il primo metro di profondità, viceversa, presenta valori di OCR >1 che indica la presenza di strati consolidati probabilmente dovuta alla escursione annuale della falda freatica.

Come risulta dalla tabella le caratteristiche di resistenza ( densità relativa e angolo di attrito) dei terreni sabbiosi della formazione sottostante migliorano, anche se non in maniera lineare, con l'aumento della profondità.

La falda è stata rilevata ad una profondità media di - 1,50 dal p.c.

TRATTO 2 – DA ROTATORIA SULLA S.C. VIA PILASTRO ALLA SEZIONE N. 50

Le indagini comprendono le CPT n. 5,6,7 ed il sondaggio n.2 , anch'esso spinto fino alla profondità di mt 40,00.

Dall'esame dei risultati si può schematizzare la situazione geotecnica descritta nella seguente tabella.

*Tabella n.6: parametri di resistenza e di deformabilità da prove in sito del terreno sottostante oltre il tratto della rotatoria sulla s.c. Pilastro .*

<b>Profondità dello strato</b>	<b>Parametri geotecnici desunti da prove CPT</b>
Da 0,50 m a -2,80 m	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Argilla limosa</p> <p><i>Coesione non drenata:</i> <math>C_u = 0,73 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 1,96 \text{ t/mc}</math></p> <p><i>Modulo edometrico:</i> <math>M_o = 66 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>Resistenza alla punta:</i> <math>R_p = 20 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>OCR</i> = 0,44</p>
Da -2,80 a -30,00 m	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Sabbia e limo mediamente addensate</p> <p><i>Angolo di attrito efficace:</i> <math>\phi' = 35 \div 41^\circ</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 2,10 \text{ t/m}^3</math></p> <p><i>Densità relativa:</i> <math>D_r = 57 \div 80 \%</math></p> <p><i>Resistenza alla punta:</i> <math>R_p = 50 \div 120 \text{ Kg/cmq}</math></p>

Fino a circa - 2,80 mt di profondità si è in presenza di materiale prevalentemente coerente con valori di coesione non drenata bassi e coefficiente di sovraconsolidazione minore di 1 ( strato sottoconsolidato). Il primo metro di profondità, viceversa, presenta valori di OCR >1 che indica la presenza di strati consolidati probabilmente dovuta alla escursione annuale della falda freatica.

Come risulta dalla tabella le caratteristiche di resistenza ( densità relativa e angolo di attrito) dei terreni sabbiosi della formazione n.2 migliorano, anche se non in maniera lineare, con l'aumento della profondità.

La falda è stata rilevata ad una profondità media di - 1,85 dal p.c.

I campioni di terreno prelevati dal sondaggio n.1, oltre la profondità di mt 3,00 dal p.c., ed analizzati in laboratorio ( prova di Taglio diretto), mostrano valori di  $\phi' = 34 \div 39^\circ$  , leggermente inferiori a quelli determinati indirettamente interpretando le prove penetrometriche.

TRATTO 3 – DALLA SEZIONE N. 50 AL COLLEGAMENTO CON LA ROTATORIA DELLA S.P. N. 10 (INIZIO LOTTO).

Questo tratto si sviluppa a piano campagna . Le indagini comprendono le CPT da n.8 a n.16 ed i sondaggi n.3 e 4 , spinti fino alla profondità di mt 40,00. Dall'esame dei risultati si può schematizzare la situazione geotecnica descritta nella seguente tabella.

*Tabella n.7: parametri di resistenza e di deformabilità da prove in sito del terreno sottostante il tratto in corrispondenza della intersezione a rotatoria con la s.c. Vallazza Prati.*

<b>Profondità dello strato</b>	<b>Parametri geotecnici desunti da prova CPT11 e da prove su campioni S3C1 e S3C2</b>
Da 0,50 m a -4,20 m	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Argilla limosa</p> <p><i>Coesione non drenata</i> <math>C_u = 0,50 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 2,02 \text{ t/mc}</math></p> <p><i>Modulo edometrico:</i> <math>M_o = 40 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>Resistenza alla punta</i> <math>R_p = 9 \text{ Kg/cmq}</math></p> <p><i>OCR</i> <math>= 0,26</math></p>
Da -4,20 a - m 7,00 mt	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Sabbia fine con livelli limosi</p> <p><i>Angolo di attrito efficace:</i> <math>\phi' = 32^\circ</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 2,10 \text{ t/m}^3</math></p> <p><i>Densità relativa:</i> <math>D_r = 47 \%</math></p> <p><i>Resistenza alla punta</i> <math>R_p = 30 \text{ Kg/cmq}</math></p>
Da -7,00 a - m 30,00 mt	<p><i>Classificazione granulometrica:</i> Sabbia media e fine con livelli limosi</p> <p><i>Angolo di attrito efficace:</i> <math>\phi' = 37^\circ</math></p> <p><i>Peso di volume naturale:</i> <math>\gamma = 2,10 \text{ t/m}^3</math></p> <p><i>Densità relativa:</i> <math>D_r = 63 \%</math></p> <p><i>Resistenza alla punta</i> <math>R_p = 85 \text{ Kg/cmq}</math></p>

Fino a circa – 4,20 mt circa di profondità si è in presenza di materiale prevalentemente coerente con valori di coesione non drenata bassi e coefficiente di sovraconsolidazione minore di 1 (strato sottoconsolidato). Il primo metro di profondità, viceversa, presenta valori di OCR >1 che indica la presenza di strati consolidati probabilmente dovuta alla escursione annuale della falda freatica.

Le caratteristiche di resistenza (densità relativa e angolo di attrito) dei terreni sabbiosi della formazione n.2 e n.3 migliorano, anche se non in maniera lineare e costante, con l'aumento della profondità.

La falda è stata rilevata ad una profondità media di – 1,70 dal p.c.

I campioni di terreno prelevati dal sondaggio n.3 e 4 oltre alla profondità di mt 1,50 dal p.c. e quindi nella formazione coesiva sono stati analizzati in laboratorio (prova di triassiale UU), mostrano valori di  $C_u = 0,52 \pm 0,46$  Kg/cmq, in linea con quelli determinati indirettamente interpretando le prove penetrometriche.

Più in profondità la  $C_u$  nel sondaggio n.3 aumenta a 1,3 Kg/cmq mentre nel sondaggio n. 4 diminuisce fino a raggiungere il valore di 0,3 Kg/cmq.

### 3.0- ASPETTI PROGETTUALI

#### 3.1- VERIFICA DIMENSIONALE DELLA PAVIMENTAZIONE

Il calcolo dello spessore della pavimentazione flessibile a più strati si esegue generalmente partendo dalla conoscenza del CBR del sottofondo utilizzando il metodo CBR, servendosi dell'abaco della Road Research Laboratory, che fornisce lo spessore totale della pavimentazione in funzione del volume di traffico della strada e del CBR del sottofondo .

Considerando i seguenti parametri :

- carico assiale pari a 8 ton, rapportabile a 12 ton;
- vita utile dell'ordine di 15 anni;
- indice di portanza C.B.R. del piano di posa : 9%;
- fattore climatico  $\alpha$ ;
- T.M.G. ( intensità di traffico ) 10'000 v/gg.

Lo spessore ottimale totale della sovrastruttura è ricavabile dalla seguente formula:

$$HZ=D*\alpha*C$$

dove :

HZ= spessore ottimale della sovrastruttura finale

D=fattore ricavato dall'abaco C.B.R. = 40 cm

C= coefficiente di trasformazione tra asse da 8 ton ad asse 12 ton = $0,5 \sqrt{P}$

dove P = 6 ton

$\alpha= 1$

quindi  $HZ= 40*1*0,5*\sqrt{6}$

$$HZ= 40*1*1,225= 49 \text{ cm}$$

Si potrebbe dunque scegliere una sovrastruttura stradale formata , come minimo da 30 cm di mistone 0÷70 mm e da un pacchetto in conglomerato bituminoso dello spessore di cm 17.

In tale ipotesi si ottiene:

$$HZ=M*(30\text{cm}*a_1)+B*(10 \text{ cm}*a_2)+b*(4 \text{ cm}*a_3)+u*(3 \text{ cm }*a_4)$$

$$HZ=(30*0,9)+(10*1,5)+(4*1,8)+(3*2)=55,2 \text{ cm} > 49 \text{ cm}$$

avendo indicato con M il materiale mistone 0÷70 mm, con B conglomerato bituminoso base 0÷40 mm tipo ANAS con bitume tradizionale 60/70 , con b conglomerato bituminoso binder 0÷25 mm tipo ANAS con bitume tradizionale 60/70 e con u conglomerato bituminoso usura 0÷15 mm tipo ANAS e con  $a_1,a_2,a_3,u$  i coefficienti di equivalenza normalmente assunti per il mistone ed i conglomerati bituminosi base,binder e usura.

### 3.2- STABILIZZAZIONE DEL TERRENO CON CALCE

La tecnica della stabilizzazione a calce si sta sempre più diffondendo sia per ragioni di carattere economico ed ambientale sia per irrigidire la sovrastruttura stradale in modo da migliorare il comportamento a fatica dei materiali.

La risposta al trattamento dipende dalla quantità e natura dei minerali argillosi e della silice amorfa presente nel materiale nonché dalla quantità di calce aggiunta e dalle modalità di lavorazione della miscela.

Le terre che saranno di appoggio alla sovrastruttura stradale in progetto sono state esaminate e studiate anche ai fini di un loro impegno per il trattamento a calce.

Dalle analisi granulometriche ed in base alle classificazioni si tratta di terreni che ricadono all'interno dei gruppi A6 e A7 della classificazione UNI-CNR 10006 e presentano un I.P. compreso tra 10 e 50 ( vedi tabella n.1).

Inoltre la consistente differenza tra i valori di portanza del CBR di terreni in condizioni naturali e di quelli di terreni in condizioni post saturazione indica la grande sensibilità all'acqua che pregiudica l'utilizzo tal quale degli stessi come sottofondo.

Il contenuto di sostanza organica, determinato utilizzando la norma ASTM D2974, varia dal 3,8% al 6,6% in massa.

Tutte queste caratteristiche inducono a ritenere che i terreni di sedime del sottofondo della strada in progetto sono idonei per un trattamento generalizzato a calce.

Per determinare la miscela ottimale di calce e di acqua sono necessarie altri tipi di prove di laboratorio che devono essere effettuate su almeno tre provini con differenti contenuti di calce e che sono:

- prova Proctor modificata;
- determinazione del grado di rigonfiamento R e dell'indice CBR ;
- resistenza a compressione e resistenza a trazione.

#### 4.0- CONCLUSIONI

Le indagini eseguite ed i risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati lungo il tracciato della futura strada hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e del comportamento meccanico il sottofondo su cui dovrà essere appoggiata la fondazione stradale.

Il progetto prevede la costruzione di una strada a due corsie di marcia di 3,75 mt di larghezza cadauna e di banchine bitumate da entrambi i lati di mt 2 di larghezza.

La quota finita di progetto risulta in rilevato e sopraelevata rispetto al p.c. fino ad a mt 1,00 circa.

Per tutto il tratto di strada in progetto i dati in possesso relativamente al terreno di sottofondo ( Md, classificazione terre ecc.), inducono a valutare seriamente la possibilità di stabilizzare con calce il piano di appoggio, appena sotto al piano campagna, in modo da raggiungere i valori di CBR sufficienti a garantire la portanza di almeno 15 N/mm<sup>2</sup> ma anche per assicurare un comportamento del terreno insensibile alle variazioni igrometriche .

I cedimenti teorici calcolati , per lo più a lungo termine, relativi alla costruzione del lieve rilevato stradale si esauriranno prevalentemente nel corso della costruzione dell' opera in progetto.

Per quanto riguarda il dimensionamento della fondazione e della pavimentazione stradale , è stato eseguito un primo dimensionamento utilizzando il metodo C.B.R. e considerando valori di portanza tipici di un sottofondo trattato a calce.

Il progettista potrà comunque verificare la dimensione dello spessore della pavimentazione flessibile con uno dei tanti metodi che si basano tutti sulle prove di resistenza effettuate sul sottofondo ( C.B.R. ed Me ) .

Mantova dicembre 2005

Il tecnico incaricato  
Dr. ing. Giuliano Rossi

***ALLEGATI :***

Allegato n. 1- corografia scala 1:10'000

Allegato n.2- successione stratigrafica tipica

Allegato n.3- assetto tettonico del bacino Padano

Allegato n.4- carta geomorfologica con legenda

Allegato n.5- litologia di superficie con legenda

Allegato n.6 - carta della vulnerabilità con legenda

Allegato n.7 – profilo geologico

Allegato n.8 – ubicazione prove in sito.

**Allegato n. 1- corografia scala 1:20'000**



## **Allegato n.2- successione stratigrafica tipica**

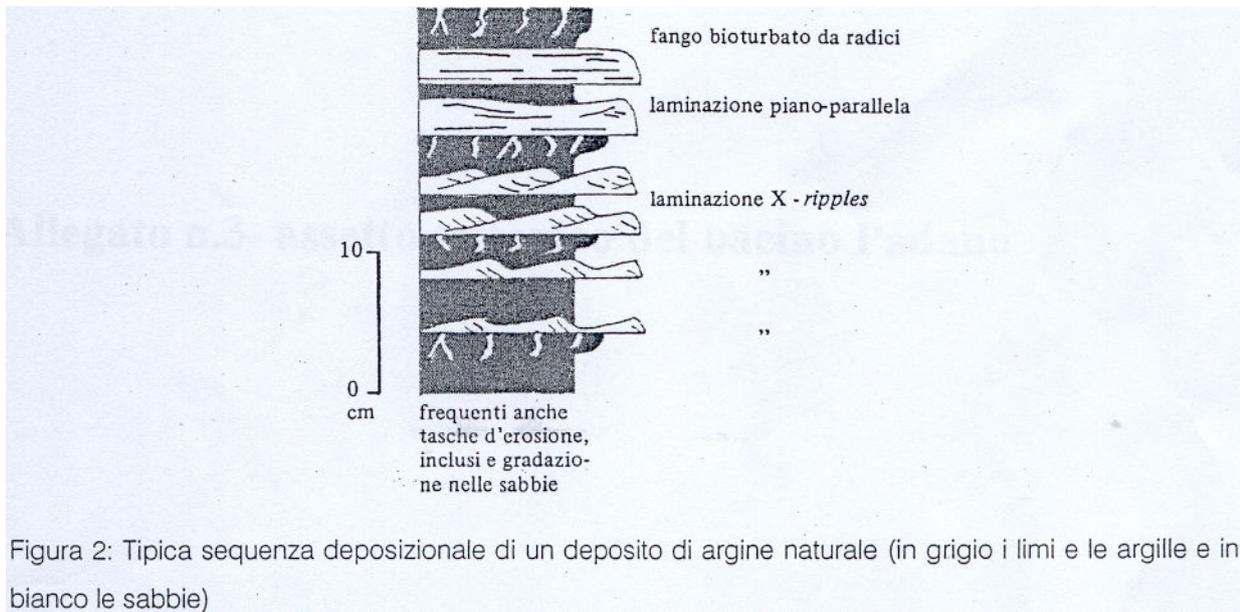
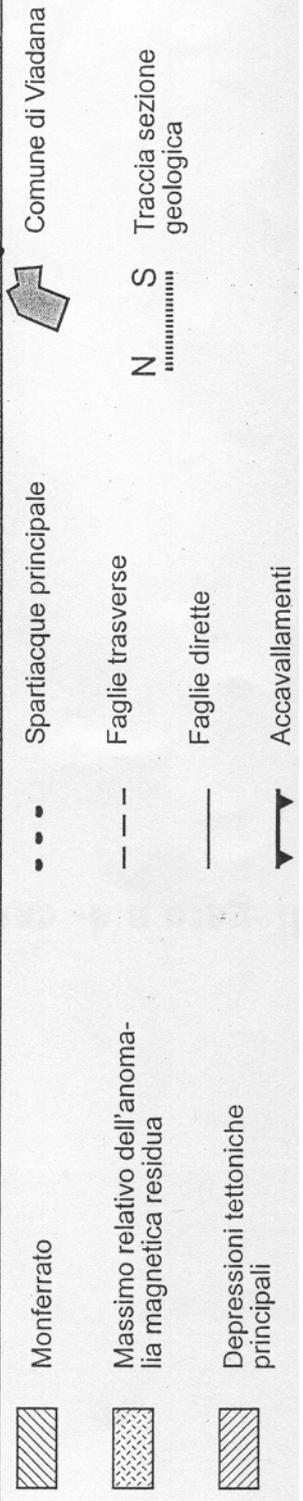
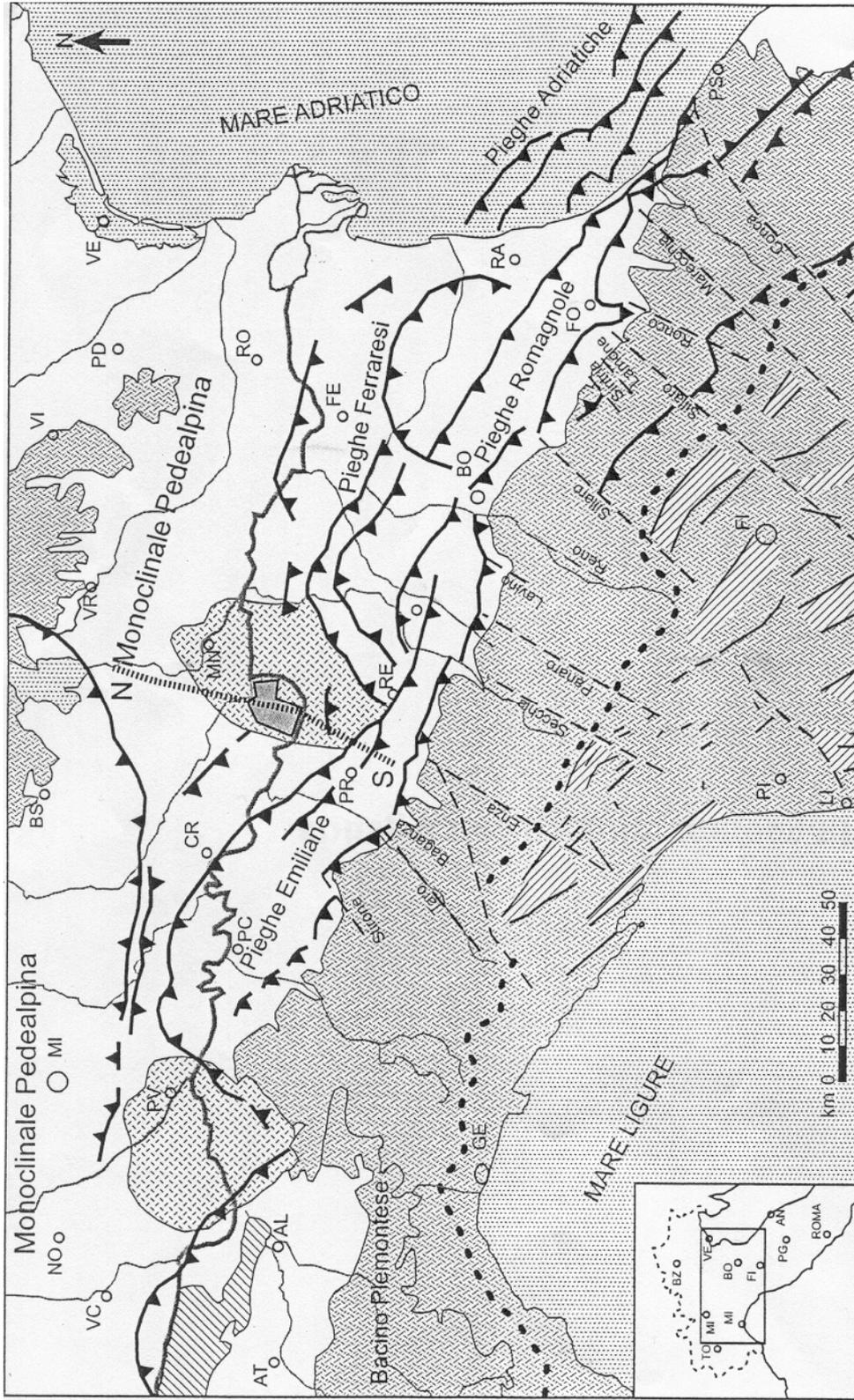


Figura 2: Tipica sequenza deposizionale di un deposito di argine naturale (in grigio i limi e le argille e in bianco le sabbie)

## **Allegato n.3- assetto tettonico del bacino Padano**



**Allegato n.4- carta geomorfologica con legenda**

# LEGENDA

## IDROGRAFIA

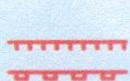
 CORSO D'ACQUA PRINCIPALE

 SPECCHIO D'ACQUA

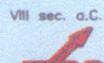
 AREA PALUSTRE

 AREA GOLENALE

## FORME FLUVIALI E FLUVIOLACUSTRI

 SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE  
dislivello < 5 m  
dislivello > 5 metri

 PALEOALVEO

 VIII sec. a.C.  
SITO DI IMPORTANTE DEVIAZIONE FLUVIALE  
CONOSCIUTA (CON INDICAZIONE DELL'ETA')

 DOSSO FLUVIALE

 VENTAGLIO DI ROTTA

 AREA DEPRESSA

 VALLECOLA BEN INCISA

## FORME LEGATE AD INTERVENTI ANTROPICI

 AREA PALUSTRE BONIFICATA

 CAVA CON FONDO ASCIUTTO  
(localmente restituito all'uso agricolo)

 CAVA CON FONDO ALLAGATO

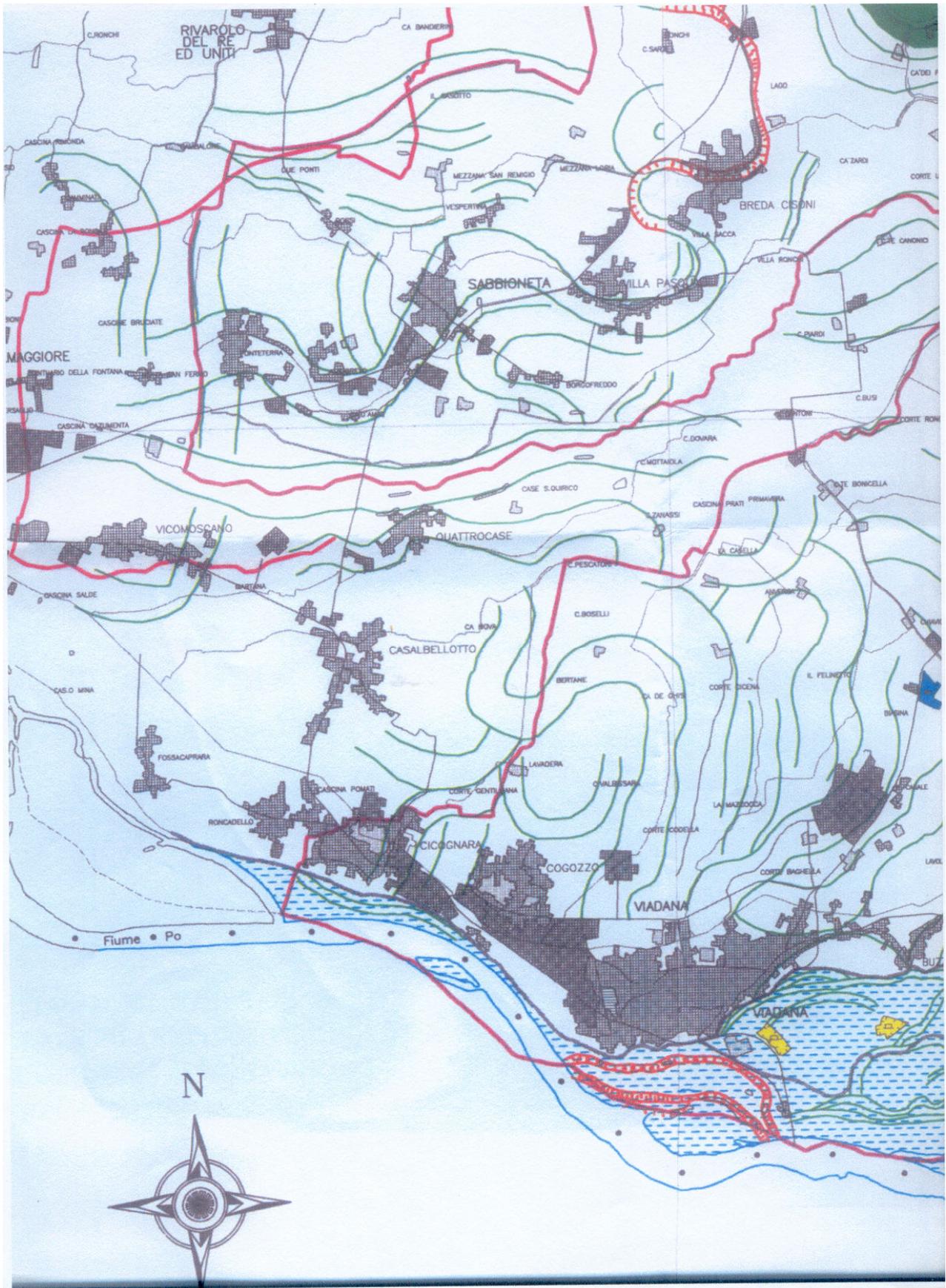
 SCARPATA ARTIFICIALE

 ARGINE

 CORSO D'ACQUA PENSILE IN ARGINI ARTIFICIALI

 AREE URBANIZZATE  
a - Residenziali  
b - Produttive  
c - Miste  
d - Servizi ed Infrastrutture

 LIMITE AREA DI STUDIO



## **Allegato n.5- litologia di superficie con legenda**

# LEGENDA



DEPOSITI PREVALENTEMENTE GHIAIOSI



DEPOSITI PREVALENTEMENTE SABBIOSI



DEPOSITI PREVALENTEMENTE LIMOSI



DEPOSITI PREVALENTEMENTE ARGILLOSI



DEPOSITI PREVALENTEMENTE TORBOSI



CORSO D'ACQUA PRINCIPALE



SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE  
dislivello < 5 m  
dislivello > 5 metri



CAVA CON FONDO ASCIUTTO  
(generalmente restituito all'uso agricolo)



CAVA CON FONDO ALLAGATO



SPECCHIO D'ACQUA



ARGINE PRINCIPALE  
AREE URBANIZZATE



a - Residenziali  
b - Produttivo  
c - Mista  
d - Servizi ed Infrastrutture



LIMITE AREA DI STUDIO



**Allegato n.6 - carta della vulnerabilità con legenda**

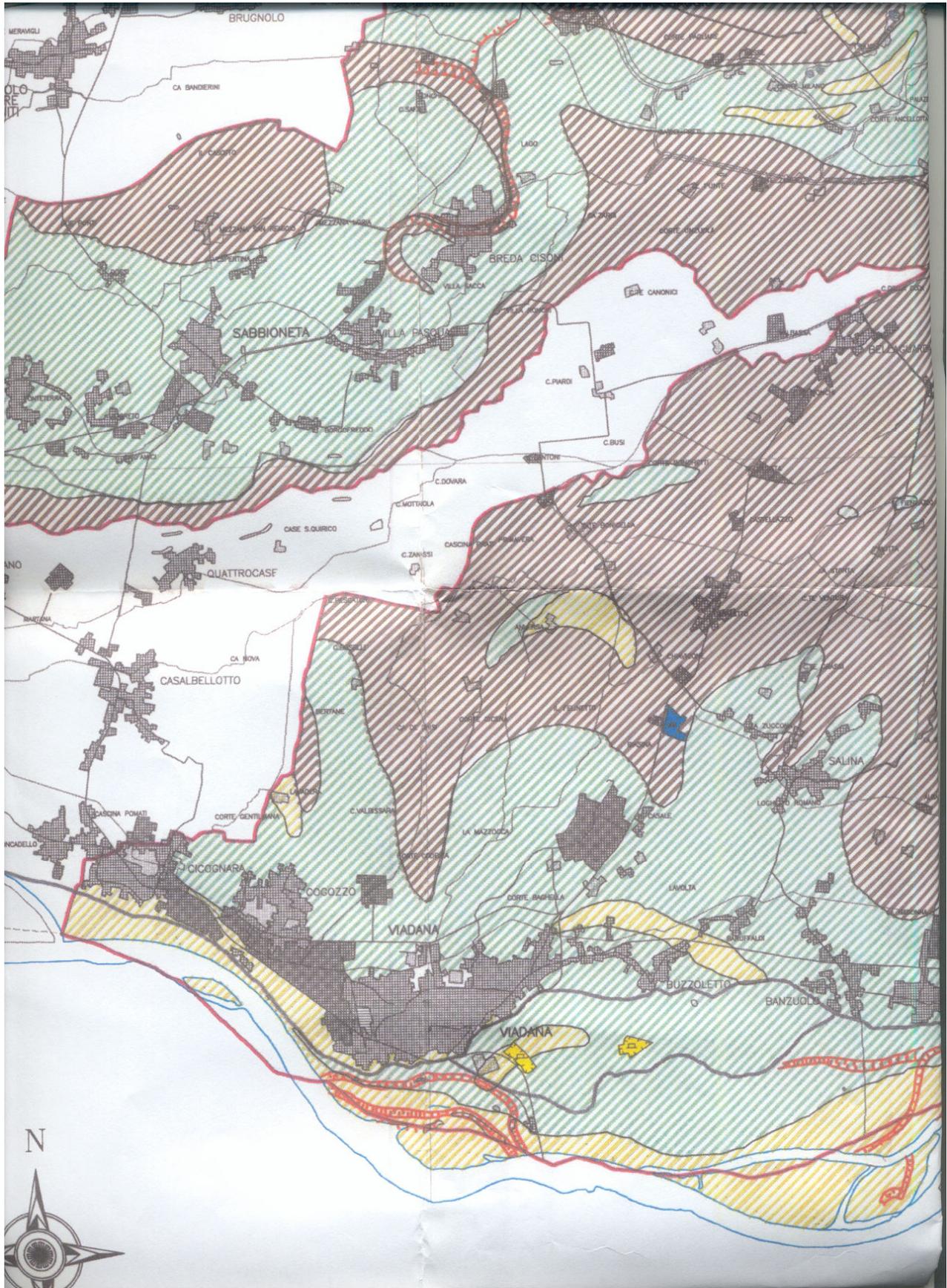
GRADO DI VULNERABILITA'						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITA' TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E <sub>E</sub>	E	A	M	B	B <sub>B</sub>			
						Argilla Limo-argilla Sabbia	< 10 m > 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda in pressione Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo Sabbia	< 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza 0 - 5 m
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali, bacini lacustri disperdenti, zone ghiaiose inframoreniche
E <sub>E</sub> =Estremamente Elevato    E=Elevato    A=Alto    M=Medio    B=Basso    B <sub>B</sub> =Bassissimo : CLASSE NON RILEVATA NELL'AREA IN STUDIO								



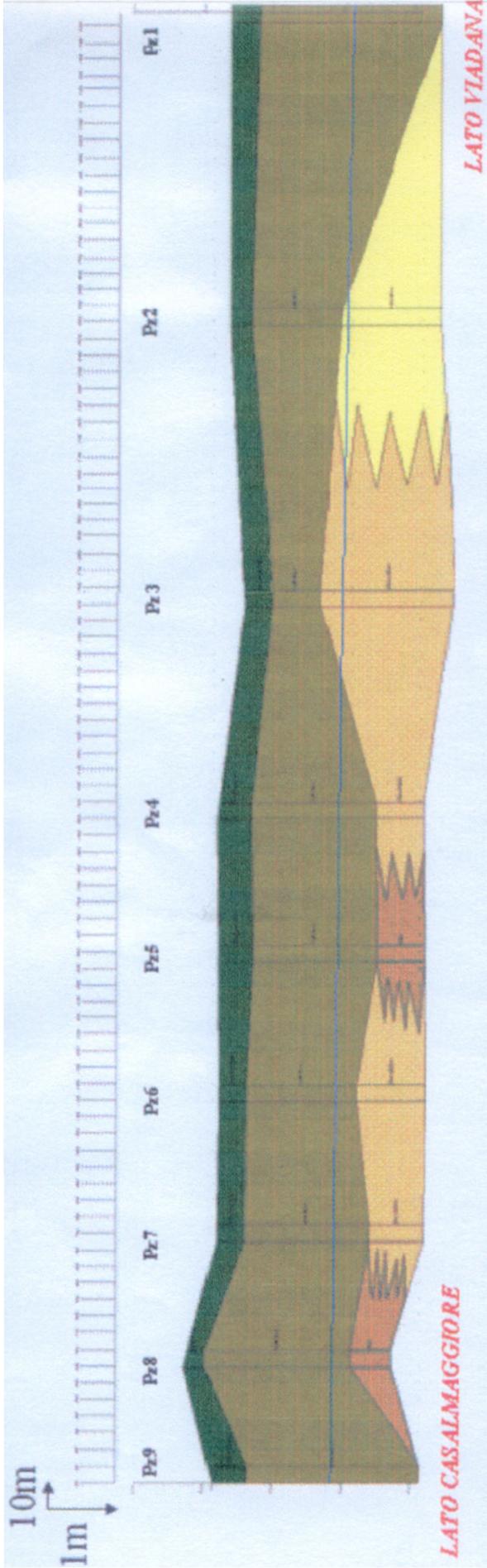
- a - Residenziali
- b - Produttive
- c - Miste
- d - Servizi ed Infrastrutture

AREE URBANIZZATE a vulnerabilità non definibile, comunque a rischio elevato

- 10 ISOPIEZE riferite al livello mare con equidistanza 5 metri (rilevamento giugno 1990)
- 8 ISOPIEZE riferite al livello mare con equidistanza 1 metro (rilevamento giugno 1990)
- CORSO D'ACQUA PRINCIPALE
- SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE  
dislivello < 5 m  
dislivello > 5 metri
- CAVA CON FONDO ASCIUTTO (generalmente restituita all'uso agricolo)
- CAVA CON FONDO ALLAGATO
- SPECCHIO D'ACQUA
- ARGINE PRINCIPALE
- LIMITE AREA DI STUDIO



## **Allegato n.7 – profilo geologico**



**Legenda:**

Terreno vegetale

Argilla limosa

Limo sabbioso

Sabbia limosa

Limo

Fango