



Anas SpA

DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

S.S. N. 9 "Via Emilia" Variante di Casalpusterlengo ed eliminazione passaggio a livello sulla SP ex S.S. N. 234

PROGETTO DEFINITIVO

CONSULENZE SPECIALISTICHE

TECNOSTUDIO BIEFFE S.R.L.
VIA MAZZETTI 7
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE STRADALE
E STRUTTURALE;
SICUREZZA,
COORDINAMENTO,
FASAGGI DI CANTIERE,
MOVIMENTAZIONE DI
CAVA; RILIEVI E
COMPUTAZIONE

**CONSORZIO MUZZA
BASSA LODIGIANA**
VIA NINO DALL'ORO, 4 -
LODI

COMPONENTE
IDRAULICA

**ARCH. MADDALENA
GIOIA GIBELLI**
VIA SENATO, 45
MILANO

COMPONENTE
PAESAGGISTICA
ED AMBIENTALE

P I GIOVANNI PERRI
VIA PRIORATO, 16
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE
IMPIANTISTICA,
TECNOLOGICA ED
ILLUMINOTECNICA

CI.TRA S.R.L.
PLE PIOLA 1, MILANO
L.C.E. SRL
VIA DEI PLATANI, 7
OPERA

COMPONENTE
TRASPORTISTICA
ED ACUSTICA

I PROGETTISTI

Arch. Savino GARILLI PROVINCIA DI LODI
Iscritto all'Ordine degli Architetti della Provincia di Piacenza al n° 280

Ing. Antonio SIMONE COMUNE DI CASALPUSTERLENGO
Iscritto all'ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia al n° 1270

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Gianluca CANTARELLI
Iscritto all'Ordine dei Geologi dell' Emilia Romagna al n° 359
via Malpeli, 2
FIDENZA (PR)

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom: Fiorenzo BERGAMASCHI
Iscritto al Collegio dei Geometri della Provincia di Parma al n° 1606
via Mazzetti, 7
FONTANELLATO (PR)

**VISTO:IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO**
Ing Massimo SIMONINI

DATA

PROTOCOLLO

RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA

CODICE PROGETTO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

D	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI ISTRUTTORIA ANAS				
C	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONFERENZA DEI SERVIZI	FEBBRAIO 2011			
B	VERIFICA DI OTTEMPERANZA AL DECRETO VIA	APRILE 2010			
A	PRIMA CONSEGNA PROGETTO	MARZO 2009			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO RESP. TECNICO	CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO	APPROVATO RESP. DI SETTORE
Codice Elaborato	0002 0210	Data Revisione: FEBBRAIO 2011	REV. C	FOGLIO 01 DI 01	Scala: ELABORATO DI TESTO
NOME FILE	0002 0210.DOC				

INDICE

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
1.1. Inquadramento geologico a scala regionale.....	4
1.2. La cartografia Geologica, Geomorfologica e Litologica.....	10
2. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	15
2.1. Generalità.....	15
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
3.1. Generalità.....	18
3.2 La Carta idrogeologica	20
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE	23
4.1. Descrizione e ubicazione	23
4.2. Descrizione riassuntiva singole prove	24
5. PROFILO LONGITUDINALE	35
5.1. Geologia.....	35
5.2. Geotecnica	38
5.3. Idrogeologia.....	41
6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE ED IDROGEOLOGICHE DEL TRACCIATO E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI SUPPLEMENTARI DI BONIFICA, DRENAGGIO E CONSOLIDAMENTO.	45
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	57
7.1 Premessa	57
7.2. Normativa di riferimento	57
7.3 Indagine sismica di superficie.....	64
7.4 Analisi di secondo livello	83
8. GESTIONE DELLE RISORSE – DISPONIBILITÀ DEI MATERIALI	92

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

8.1 – Gestione dei materiali di risulta.....	92
8.2 Approvvigionamento materiali.....	92

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

1.1. Inquadramento geologico a scala regionale

La provincia di Lodi si estende su una superficie di circa 783,25 km² ed occupa la parte centrale del settore meridionale della regione Lombardia.

Il confine provinciale è per lo più delimitato da corsi d'acqua di primaria importanza e più in particolare dal fiume Po , a Sud, dal fiume Adda, ad Est, e dal fiume Lambro a Ovest; solo limitate porzioni del territorio si estendono in sinistra idrografica dell'Adda ed in destra idrografica del Lambro.

Dal punto di vista geologico, il territorio della Provincia di Lodi si inserisce nel quadro stratigrafico ed evolutivo del bacino sedimentario Padano (Pieri e Groppi, 1981; Castiglioni et al., 1997; Marchetti, 2001; Regione Lombardia – Eni Divisione Agip, 2002) che deriva dal progressivo colmamento, da parte di un prisma sedimentario, del bacino compreso tra le falde sudvergenti delle Alpi Meridionali e le strutture a thrust nordvergenti dell'Appennino Settentrionale.

Tale riempimento è avvenuto secondo tre direzioni prevalenti: di cui una lungo l'asse del bacino, connessa alla progradazione verso Est del sistema deltizio del Po, una trasversale (SE-vergente) connessa all'avanzamento dei sistemi deltizi ad alimentazione alpina (Regione Lombardia – Eni Divisione Agip, 2002) ed una analoga, ma NE vergente, collegata alla progradazione dei corsi d'acqua di origine appenninica.

Il riempimento del bacino marino e la transizione alla sedimentazione continentale sono il risultato dell'interazione di una serie di eventi tettonici (avanzamento verso NE delle strutture compressive appenniniche), fenomeni di subsidenza (in particolare nella parte meridionale del bacino) e variazioni climatiche che hanno interessato il bacino padano sin dalla sua origine (Miocene inferiore-medio).

A partire da questo periodo infatti, la catena appenninica si salda con quella alpina delinendo i bordi di quello che diverrà l'attuale bacino padano.

Nel corso dell'Oligo-Miocene la sedimentazione nel bacino padano era prevalentemente marina, e le sue caratteristiche erano differenti sui versanti settentrionale (alpino) e meridionale (appenninico); infatti, mentre nel versante alpino il substrato degradava in modo più regolare verso il bacino, sul versante appenninico si risentivano gli effetti di una marcata attività tettonica. Quest'ultima è ben documentata dalla segmentazione dei fronti delle falde di ricoprimento, dalla deformazione dei sedimenti, da un maggior tasso di subsidenza, da un graduale spostamento verso Nord del depocentro bacinale, dall'incremento dei processi erosivi sui rilievi e dal conseguente accumulo di una potente successione sedimentaria, il cui spessore massimo approssima gli 8000 metri in corrispondenza del margine esterno delle strutture appenniniche (Pieri e Groppi, 1981).

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

Nel corso del Messiniano, importanti eventi geodinamici e variazioni climatiche su vasta scala determinarono in tutto il bacino Mediterraneo una serie di fasi di “low stand” (mare basso), che indussero il ritiro del mare dall’attuale area padana ed il conseguente abbassamento del livello di base dell’erosione (anche al di sotto dell’attuale livello del mare). In queste condizioni, intensi fenomeni di erosione fluviale determinarono l’incisione delle valli principali e dei maggiori laghi prealpini che, interessati più tardi e in diverse fasi da fenomeni di erosione e deposizione glaciali, hanno dato origine al pattern di drenaggio superficiale tuttora riconoscibile nel bacino padano.

Nel corso del Pliocene e di parte del Pleistocene perdurò la sedimentazione in ambiente marino, mentre l’attività tettonica dei sovrascorrimenti appenninici determinava la formazione di alti strutturali (es. pieghe ferraresi). Circa 800.000 anni fa (limite Pleistocene Inferiore – Medio), una nuova fase tettonica parossistica determinò una sensibile traslazione verso Nord delle falde appenniniche ed il sollevamento della "Dorsale Ferrarese", con conseguente riduzione della subsidenza nel retrostante bacino di Bologna-Ravenna. I delta-conoidi alpini a Nord e quelli appenninici a Sud, diminuendo lo spazio disponibile per la sedimentazione, entrarono in coalescenza con il sistema fluviodeltizio centro-padano, incrementandone la progradazione verso Est ed attuando progressivo ritiro del mare dall’area padana.

A partire dal Pleistocene medio-superiore l’assetto geomorfologico e deposizionale della neo-formata Pianura Padana furono prevalentemente condizionati dalle variazioni climatiche che, con l’alternarsi di periodi glaciali ed interglaciali determinarono la formazione di estese piane di origine fluvioglaciale o fluviale note come “terrazzi fluviali”.

Nel corso del Pleistocene medio e superiore infatti, il susseguirsi di fasi glaciali ed interglaciali ha determinato la formazione di altre vaste superfici planiziali di origine fluviale, che sono state successivamente “terrazzate” dall’azione erosiva operata dai corsi d’acqua.

Nella zona di transizione tra l’alta pianura ed i rilievi si sono così formati i “terrazzi antichi”, talora strutturalmente più elevati (“pianalti”) rispetto alla quota media della pianura “interna” (Marchetti, 2001), su cui affiorano limi sabbiosi (“loess”), la cui alterazione pedogenetica ha dato origine a suoli argillosi rubefatti spessi alcuni metri, caratterizzati da illuviazione di argilla e deposizione di ossidi di Fe-Mn (suoli a “ferretto”). L’elevato spessore e il carattere policiclico di tali suoli fa ritenere che i suoli dei terrazzi antichi siano stati interessati da processi pedogenetici a partire almeno dal Pleistocene medio (Cremaschi, 1979).

E’ interessante notare come le superfici terrazzate antiche si ritrovino per lo più indisturbate lungo il margine alpino della pianura, dove esse assumono il carattere di “terrazzi convergenti” (superfici più inclinate rispetto a quelle dei terrazzi più recenti), mentre si ritrovano spesso piegate, sollevate e basculate in corrispondenza del margine appenninico e in corrispondenza dei rilievi isolati originati da processi

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

tettonici recenti legati alle strutture appenniniche sepolte. Un esempio è dato della Collina di San Colombano, in corrispondenza della quale si osserva l'affioramento di argille marine del Pliocene, sulle quali poggiano due ordini di terrazzi antichi (riferiti ai periodi glaciali "Mindel" e "Riss" Auct.) rialzati e basculati ad opera degli eventi geodinamici Pleistocenici.

Esternamente alle superfici terrazzate antiche si è avuta, nel corso dell'ultimo massimo glaciale (LGM, "Wurm" Auct.), un'ulteriore fase di deposizione fluviale e fluvioglaciale, realizzatasi per aggradazione verticale della piana nel settore assiale e progradazione di conoidi lungo il bordo dei rilievi alpini ed appenninici. Nel corso della deglaciazione che ha preceduto l'inizio dell'Olocene, la vasta superficie pianeggiante così formata, nota come "Livello Fondamentale della Pianura", è stata anch'essa progressivamente abbandonata ed incisa dal Po e dai suoi affluenti alpini tanto che, non essendo più soggetta a sensibili fenomeni di erosione e sedimentazione, ha sviluppato suoli con orizzonte argillico (alfisols).

A tutt'oggi su tale superficie è possibile individuare frequenti tracce di paleoalvei o di altre morfologie fluviali (lanche, paleoalvei, dossi fluviali) abbandonate riferibili ad antichi processi di erosione/sedimentazione operati dai corsi d'acqua. L'attuale conformazione dell'assetto idrografico del territorio deriva dunque dai processi di erosione e sedimentazione che hanno avuto origine con l'inizio del postglaciale (Tardo Pleistocene superiore - Olocene).

Di seguito sono elencati i "domini fisiografici" (aree omogenee individuate per mezzo di elementi geologici riconoscibili su base morfologica) in cui è stato suddiviso il territorio provinciale:

- Valle Attuale del Po;
- Valle Attuale dell'Adda;
- Valle Attuale del Lambro;
- Terrazzi Antichi.
- Livello Fondamentale della Pianura (LFP) Auct.;

Nel dettaglio vengono descritte le caratteristiche litologiche e geomorfologiche del Livello Fondamentale della Pianura (LFP Auct.), e dei Terrazzi antichi, ambiti in cui si sviluppa la strada in progetto.

LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (LFP AUCT.)

Definizione geografica

Il Livello Fondamentale della Pianura occupa la maggior parte del territorio provinciale, e comprende l'intero settore centrale tra le Valli Attuali del Po, dell'Adda e del Lambro, nonché un'ampia area situata in destra idrografica del Fiume Lambro. Una porzione relitta del Livello Fondamentale della Pianura si

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

trova in comune di Castelnuovo Bocca d'Adda, e costituisce un rilievo pianeggiante isolato all'interno della Valle Attuale del Po.

La transizione dal Livello Fondamentale della Pianura alle Valli Attuali, più depresse, è marcata dalla scarpata di terrazzo che borda le aree più rilevate. In provincia di Lodi il territorio pertinente al Livello Fondamentale della Pianura è compreso tra i 47 m s.l.m. (Castelnuovo Bocca d'Adda) ed i 108 m s.l.m. (zona Nord).

Litologia

Il Livello Fondamentale della Pianura costituisce l'espressione morfologica ("fisiografica") dei depositi fluvioglaciali e fluviali che hanno colmato il bacino padano tra il Pleistocene superiore e l'Olocene iniziale, durante l'ultimo massimo glaciale ("Wurm" Auct.).

I sedimenti che formano il Livello Fondamentale includono litotipi diversi e distribuiti in modo piuttosto irregolare. In generale, i depositi si presentano poco selezionati e piuttosto ricchi di matrice. Inoltre, si può osservare una graduale diminuzione della granulometria dei sedimenti da Nord a Sud. Le unità litologiche sono state distinte sulla base della frazione granulometrica prevalente (sabbia, ghiaia o limo).

Nel territorio lodigiano, situato nella "bassa pianura", prevalgono i termini sabbiosi e sabbioso-limosi. Nella parte settentrionale del territorio provinciale, si può riconoscere un'estesa fascia costituita da sedimenti fluviali prevalentemente ghiaiosi, mentre sedimenti prevalentemente limosi, limoso-sabbiosi e limoso-argillosi, depositati in ambienti fluviali a scarsa energia, sono presenti in tre vaste aree situate a Ovest della Valle del Lambro (1), nel settore settentrionale (2) e, più a Sud, in un'ampia fascia compresa tra i comuni di Ossago, Secugnago, Turano Lodigiano, Bertonico, Castiglione d'Adda e Brembio (3).

Secondo i dati disponibili in letteratura, la componente sabbiosa è formata quasi completamente da granuli di natura quarzosa, con feldspati, miche, minerali pesanti ed elementi calcarei subordinati. Per quanto riguarda i livelli ghiaiosi, prevalgono i ciottoli costituiti da rocce intrusive e metamorfiche rispetto a quelli calcarei e dolomitici.

Geomorfologia

Il Livello Fondamentale della Pianura è una superficie subpianeggiante inclinata verso SSE e caratterizzata da pendenze inferiori a 0,2 %, nella parte settentrionale, e a 0,15 % nel settore meridionale. Il Livello Fondamentale è limitato a Ovest, a Sud e a Est dai terrazzi fluviali principali che marcano la transizione alle Valli Attuali del Po, dell'Adda e del Lambro che, nel corso dell'Olocene, hanno inciso il Livello Fondamentale determinando la formazione delle "valli incassate" entro le quali sono confinati gli alvei e le piane alluvionali dei tre grandi fiumi. Una peculiarità è costituita dal lembo di Livello Fondamentale isolato all'interno della Valle Attuale del Po, che si configura come un ripiano isolato sul

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

quale sorge l'abitato di Castelnuovo Bocca d'Adda. Il ripiano costituisce un relitto del Livello Fondamentale risparmiato dall'azione erosiva esercitata dalle divagazioni di età olocenica del Po e dall'Adda.

La porzione del Livello Fondamentale della Pianura che ricade nel territorio provinciale appartiene alla cosiddetta "bassa pianura", cioè alla parte dei depositi fluvioglaciali wurmiani che si trova a valle della linea delle risorgive. Solo una piccola parte del territorio, posta in comune di Comazzo a Nord del Canale Muzza, è assegnabile alla "media pianura".

L'attuale morfologia del Livello Fondamentale risente sicuramente dell'azione antropica, attraverso opere di livellamento, bonifica e canalizzazione dei corsi d'acqua naturali tese ad ottimizzare lo sfruttamento agricolo del territorio. La morfologia originale del Livello Fondamentale della Pianura doveva essere più ondulata e diversificata, poiché erano presenti diversi corsi d'acqua naturali alimentati da bacini imbriferi di limitata entità. Questi furono soggetti a fenomeni di cattura e abbandono dall'inizio dell'Olocene quando il Livello Fondamentale fu inciso dai fiumi Po, Adda e Lambro e progressivamente abbandonato dalla rete di drenaggio pre-esistente.

La fascia centrale del Livello Fondamentale della Pianura nel tratto lodigiano è caratterizzata dalla presenza di un importante paleoalveo meandriforme, il Cavo Sillaro, depresso rispetto al Livello Fondamentale di circa 1.5-2 m. Il paleoalveo presenta un carattere sovradimensionato rispetto alle portate attuali, e confluisce nel Lambro a Borghetto Lodigiano.

Altro elemento importante presente sul Livello Fondamentale della Pianura è il Canale Muzza, realizzato a partire dal 1220. Il canale, che deriva a Cassano d'Adda una buona parte della portata media del Fiume Adda, segue nel primo tratto il tracciato di un corso d'acqua naturale preesistente e si sviluppa per 39 km. A Cornegliano Laudese il Canale Muzza assume una differente funzione idraulica, cambiando la denominazione in "Colatore" Muzza (lungo 19 km), che sbocca nell'Adda.

La realizzazione della fitta rete irrigua ha comportato notevoli modifiche dell'assetto morfologico del Livello Fondamentale. Nonostante ciò, alcuni corsi d'acqua completamente o parzialmente naturali possono essere riconosciuti, come il Cavo Sillaro, il Colatore Lisone, il Colatore Venere e il Colatore Brembiolo, che attraversa l'abitato di Casalpusterlengo, dove è individuabile una depressione valliforme molto evidente che interessa anche il tracciato della strada in progetto.

In corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura, è possibile riconoscere una fitta rete di paleoalvei sovrapposti, spesso meandriformi, e di dossi fluviali risalenti al Pleistocene medio-superiore e probabilmente abbandonati definitivamente a partire dall'Olocene.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

TERRAZZI ANTICHI

Definizione geografica

Nel territorio della Provincia di Lodi, esistono alcuni rilievi isolati all'interno del Livello Fondamentale della Pianura, identificabili come "Terrazzi Antichi".

I terrazzi di estensione più rilevante sono situati al margine settentrionale del complesso collinare di San Colombano, solo in piccola parte ricompreso nel territorio della Provincia di Lodi, ed occupano una fascia di circa 2 km lungo il confine provinciale compreso nei territori comunali di S. Angelo Lodigiano e Graffignana. La porzione della Collina di San Colombano di pertinenza lodigiana comprende il solo margine dei rilievi collinari, in corrispondenza dei terrazzi antichi che ne costituiscono la fascia di transizione al Livello Fondamentale della Pianura. I terrazzi antichi della Collina di San Colombano sono caratterizzati da quote comprese tra 110 m e 72 m s.l.m..

Altri due rilievi isolati riferibili ad altrettanti "terrazzi antichi" emergono dalla porzione centro-meridionale del Livello Fondamentale della Pianura di competenza lodigiana ed interessano più direttamente il tracciato della variante in progetto, in particolare nel tratto immediatamente a Sud dell'abitato di Zorlesco:

- il rilievo più settentrionale, è ubicato in comune di Casalpusterlengo (Zorlesco) ed è costituito da una superficie subpianeggiante sopraelevata di circa un metro rispetto al Livello Fondamentale della Pianura.
- il rilievo più meridionale è ubicato tra i comuni di Casalpusterlengo e Somaglia, circa 2 km a Sud del precedente, ed è caratterizzato da una morfologia più articolata e da quote comprese tra 62 m e 73 m s.l.m.

Litologia

I rilievi terrazzati antichi, ancora riconoscibili nei Comuni di Casalpusterlengo e Somaglia dove si elevano leggermente dal Livello Fondamentale della Pianura, tra Casalpusterlengo e Somaglia, con quote comprese tra 65 e 70 m s.l.m., sono attribuibili al fluvioglaciale del Mindel e caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi al di sopra dei quali si possono riconoscere orizzonti ferrettizzati spessi alcuni metri.

Geomorfologia

I "terrazzi antichi" costituiscono una testimonianza molto importante di antiche fasi di costruzione della pianura, legate a fasi glaciali (Mindel e Riss) più antiche rispetto all'ultimo massimo glaciale (Wurm Auct.), nell'ambito del quale si sono depositi i sedimenti fluvioglaciali che costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura. I "terrazzi antichi" sono relitti di antichi "Livelli Fondamentali"

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

completamente smantellati dall'erosione durante i diversi periodi interglaciali precedenti l'ultimo massimo glaciale. Le uniche testimonianze delle antiche pianure sono riconoscibili al bordo della pianura e in corrispondenza dei "terrazzi antichi" isolati nella pianura interna ("pianalti").

I terrazzi antichi sono meglio conservati in corrispondenza del complesso collinare di San Colombano, dove essi sono stati sollevati dai processi tettonici quaternari. In effetti, in questa zona si è conservato un terrazzo attribuibile al Riss (fase glaciale intermedia tra Mindel e Wurm), mentre tra Casalpusterlengo e Somaglia si sono conservati solo due lembi della piana fluvioglaciale mindeliana, più elevata.

I terrazzi antichi presenti nel settore centrale, invece, sono caratterizzati da scarso rilievo e morfologia subpianeggiante. Solamente il terrazzo meridionale, posto tra Casalpusterlengo e Somaglia, presenta una morfologia leggermente ondulata, con dislivelli metrici e resti di scarpate morfologiche in parte rimaneggiate dalle attività agricole e di escavazione.

Le caratteristiche mineralogiche dell'argilla che costituisce gli orizzonti pedogenetici dei terrazzi antichi la rendono adatta ad un utilizzo nell'industria dei laterizi. Per questo motivo, in corrispondenza dei terrazzi antichi, sono state storicamente attive le attività estrattive e di lavorazione (fornaci), che hanno in parte modificato la morfologia dei terrazzi.

1.2. La cartografia Geologica, Geomorfologica e Litologica

L'inquadramento delle caratteristiche litologiche e geomorfologiche del territorio provinciale costituisce la base di partenza per la caratterizzazione dei terreni interessati dalla realizzazione della Variante in progetto.

A tal fine, sono stati predisposti e allegati alla presente relazione i seguenti elaborati alla scala 1:10.000:

- Tav. 00.02.002 Carta Geologica,
- Tav. 00.02.003 Carta Geomorfologica
- Tav. 00.02.004 Carta Litologica
- Tav. 00.02.005 Carta Idrogeologica
- Tav. 00.02.006 Carta della capacità di protezione dei suoli
- Tav. 00.02.007 Sezione Geolitologica (scala 1:500/1:5.000)
- Tav. 00.02.008 Sezione geotecnica (scala 1:500/1:5.000)
- Tav. 00.02.009 Ubicazione cave di prestito (1:25.000)

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Tutte le carte sono state predisposte facendo riferimento ai documenti presenti in bibliografia integrati da specifici rilievi di controllo e dalle indagini geognostiche eseguite; in particolare sono stati esaminati i seguenti documenti:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, Foglio 45 "Milano"; Foglio 46 "Treviglio"; Foglio 59 "Pavia"; Foglio 60 "Piacenza";
- Carta Litologica a scala 1:50.000, redatta dal Consorzio del Lodigiano ed allegata al Piano Cave approvato nel 1991;
- Carta Pedologica a scala 1:25.000 dell'ERSAL, con particolare riferimento alle SSR 31 e 32, "I suoli del Lodigiano" e "I suoli del Codognese";
- Basi Informative Ambientali della Pianura tratta dal SIT Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia.
- Riserve Idriche Sotterranee della Regione Lombardia - Regione Lombardia – ENI
- Piano Regolatore Generale del comune di Casalpusterlengo – Relazione Geologica
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Lodi.

Le informazioni contenute nei citati documenti sono state integrate, oltre che da una serie di verifiche sul campo, da dati puntuali (stratigrafie di pozzi per acqua, trincee e pozzetti esplorativi, sondaggi geognostici) e areali (studi a carattere locale eseguiti per la pianificazione territoriale a scala comunale e a supporto di opere ingegneristiche) gentilmente forniti dalla Provincia di Lodi. Le Carte descritte sono quindi il frutto di una sintesi delle caratteristiche geologiche, fiosiografiche e litologiche descritte in bibliografia e di quanto riscontrato sul campo in occasione dei sopralluoghi eseguiti.

Nel seguito viene presentata una descrizione delle caratteristiche geologiche delle aree attraversate dal tracciato in progetto della SS9.

La Carta Geologica

Nell'area in esame sono state cartografate 3 Unità geologiche tutte riferibili a depositi alluvionali di età quaternaria, in ordine cronologico si tratta di :

- Alluvioni attuali e recenti: riferibili agli alvei dei corsi d'acqua principali, Roggia Brembiolo e Roggia Guardalobbia; si tratta di aree allungate in direzione NordOvest-SudEst leggermente depresse rispetto al "Livello Fondamentale della Pianura", (Pleistocene sup. – Olocene)

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

- Alluvioni fluviali e fluvioglaciali prevalentemente sabbiose riferibili all'interglaciale Wurm; costituiscono il Livello fondamentale della Pianura e caratterizzano la maggior parte dell'area in esame. All'interno di questi depositi, che sono il risultato di una mescolanza di litologie, in genere a granulometria fine ed eterogeneamente distribuite, con frequenti intercalazioni di orizzonti più definiti, non sussiste un carattere omogeneo. Il campo di variabilità delle litologie inglobate in questa unità è infatti estremamente vario e complesso.
- Alluvioni antiche fluvioglaciali e fluviali: si tratta di depositi riferibili all'interglaciale Mindel che caratterizzano i modesti rilievi residuali dei "Terrazzi antichi" e due aree di limitata estensione individuate ad Ovest dell'abitato di Zorlesco e a Sud Ovest dell'abitato di Casalpusterlengo. Questi depositi sono costituiti da *Argille, suoli residuali e depositi ferrettizzati dei pianalti fluvioglaciali sul "Livello Fondamentale della Pianura" Auct.* A questa unità sono riferiti quei depositi glaciali più antichi caratterizzati da un potente strato argilloso di alterazione superficiale, conosciuti con il termine di "ferretto", presenti nel territorio lodigiano sotto forma di modesti ripiani terrazzati, localizzati unicamente a nord-ovest e a sud-est dall'abitato di Casalpusterlengo, oppure come deposito di copertura sul rilievo di San Colombano, oppure ancora, come suolo eluvio-colluviale, lungo tutta la fascia pedecollinare. In corrispondenza del terrazzamento a nord-ovest di Casalpusterlengo sono state individuate 2 aree estrattive per argilla nel vecchio Piano Cave Provinciale. Una di queste era proprio individuata a Zorlesco, in corrispondenza di una vecchia attività estrattiva che sfruttava la risorsa per la produzione locale di laterizi. Del terrazzamento di Zorlesco permane un unico relitto ancora esistente in corrispondenza della C.na Nazzaro mentre l'area a sud ovest dell'abitato di Casalpusterlengo risulta soprelevata di 1.5 – 2 m circa rispetto alla pianura circostante e mostra ancora alcuni relitti della scarpata del terrazzo.

Vale la pena sottolineare come i corpi sedimentari di origine fluviale affioranti nella Provincia di Lodi siano caratterizzati da un'elevata variabilità spazio-temporale delle facies talora palesata da brusche variazioni a scala metrica o decametrica.

La Carta Geomorfologica

In riferimento alle caratteristiche geomorfologiche l'area in esame è stata suddivisa in tre "Domini fisiografici" sulla base delle suddivisioni individuate nella Carta Geomorfologica della Regione Lombardia presente nel Sistema Informativo Territoriale :

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

- Pianure alluvionali recenti e attuali,
- Bassa pianura a meandri,
- Terrazzi antichi.

Oltre a tali Domini, sulla Carta Geomorfologica si sono riportate le tracce dei principali paleoalvei adiacenti all'area d'intervento progettuale, riferibili ai corsi d'acqua che in passato divagavano in loco e per lo più abbandonati all'inizio dell'Olocene, le scarpate di terrazzo fluviale, i bordi delle scarpate "artificializzate" ed i limiti delle depressioni valliformi; nella stessa carta si sono riportate anche l'ubicazione delle indagini geognostiche svolte nel corso del 1997 e del 2007.

La Carta Litologica

Al fine di rendere confrontabili i dati riportati su questa carta con quelli presenti su alcuni strumenti di programmazione territoriale locali, si è ritenuto opportuno mantenere la nomenclatura delle associazioni litologiche proposte nel Piano Cave Provinciale e suddividere il territorio esaminato in aree omogenee, sulla base delle caratteristiche tessiturali prevalenti in superficie.

La nomenclatura utilizzata è stata la seguente:

- Depositi Prevalentemente Argilloso-sabbiosi
- Depositi Prevalentemente Limosi
- Depositi Prevalentemente Sabbioso-limosi
- Depositi Prevalentemente Sabbiosi

Sulla base della suddivisione indicata la zona di studio può essere suddivisa in 2 parti: la zona Nord e Nord Est caratterizzata da depositi prevalentemente limosi e la zona Sud Ovest dove predominano i depositi sabbioso limosi, in particolare sabbie fini debolmente limose; tra queste due zone si inserisce una fascia allungata in direzione Nord Sud, sulla sinistra della roggia Brembiolo, caratterizzata da depositi prevalentemente sabbiosi (sabbie medio fini).

Le aree dei terrazzi antichi, sono caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali prevalentemente argillosi, spesso ferrettizzati, che ricoprono il substrato alluvionale antico argilloso-sabbioso.

In passato, la coltivazione di questo litotipo era abbastanza diffusa in tutte le zone menzionate, come testimonia la presenza di vecchie fornaci ormai abbandonate. La coltivazione, secondo quanto emerge

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

dalle risultanze morfologiche, è sempre stata limitata ai primi metri di terreno superficiale, in modo da recuperare il territorio all'uso agricolo.

Partendo dall'analisi della distribuzione dei litotipi, associabili a sabbie ed a limi sabbiosi, non è possibile individuare una regola cui rifarsi per la identificazione di litologie predominanti nei vari settori del "Livello Fondamentale della Pianura" Auct. All'interno di questo complesso compaiono spesso lenti argillose che presentano una certa continuità laterale e rappresentano gli orizzonti maggiormente costipati o le variazioni in profondità del litotipo.

Ciononostante è possibile affermare che nell'area in esame, corrispondente alla fascia meridionale del territorio provinciale, si assiste comunque ad una maggior uniformità litologica verso le sabbie fini.

2. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

2.1. Generalità

La maggior parte dell'area di studio è compresa nell'unità fisiografica definita come "Livello Fondamentale della Pianura Auct.". Questa unità, come precedentemente accennato, comprende sedimenti di differente età e diversi domini fluviali ed è caratterizzata da una superficie sommitale che rappresenta l'arresto delle fasi di aggradazione fluviale, verificatosi con l'ultima deglaciazione, alla transizione Pleistocene-Olocene (Cremaschi & Marchetti, 1995).

La superficie del "Livello Fondamentale della Pianura", nel settore lombardo, è in continuità con i depositi morenici dell'ultimo massimo glaciale, presenti al bordo alpino della pianura. In realtà questa superficie non è unica, ma rappresenta la giustapposizione di più corpi di aggradazione fluvioglaciali e fluviali, ben differenziabili nelle loro aree prossimali e progressivamente indistinguibili nelle parti distali, dove la superficie sottende una piana fluviale vera e propria.

Nell'area di studio la superficie del "Livello Fondamentale della Pianura" appartiene al settore distale dello stesso ed è, infatti, caratterizzata da pendenze verso SSE molto basse, inferiori allo 0,2%.

Le forme fluviali che si possono rinvenire su questa superficie sono costituite da tracce di idrografia abbandonata, sia a livello della superficie sia in rilievo su di essa (dossi fluviali).

Queste tracce sono costituite o da antichi percorsi fluviali, con caratteristiche geometriche sovradimensionate rispetto a quelle attuali (Marchetti, 1992) o da idrografia secondaria di età più recente.

I sedimenti presenti al tetto di questa unità fisiografica, principalmente sabbiosi, nonché la lunga esposizione hanno condizionato lo sviluppo pedogenetico della maggior parte dell'area. Qui, infatti, si sono evoluti suoli con profondità prossima al metro e orizzonti ove si è verificato l'accumulo di argilla lisciviata da quelli soprastanti.

L'influsso antropico, principalmente il disboscamento completo e la messa a coltura, a partire dal popolamento Neolitico, ma attuato sistematicamente con l'Età Romana, ha prodotto l'intensa erosione ed il generalizzato rimaneggiamento delle originarie coperture pedogenetiche di tutto il "Livello Fondamentale della Pianura".

Riassumendo, al di sopra dei depositi sciolti che costituiscono il substrato, già descritti nel precedente capitolo, si rinviene un suolo ben sviluppato, la cui capacità d'uso risulta generalmente elevata, adatto allo spandimento di reflui zootecnici ed altri fertilizzanti.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Nell'area ad est di Casalpusterlengo, caratterizzata dalla presenza dei cosiddetti "Terrazzi antichi", presso la frazione Zorlesco e la località Coste Fagioli, è possibile individuare un settore di pianura caratterizzato dalla giustapposizione di unità fisiografiche con caratteristiche differenti, a seguito di eventi tettonici e climatici che hanno anche influenzato la morfologia fluviale. Durante il Pleistocene, infatti, l'emersione della culminazione del thrust appenninico ha prodotto delle anomalie nella morfologia dell'area, rappresentate dalle due strutture positive sopra indicate, che costituiscono un'unità fisiografica in cui la sedimentazione è stata fortemente influenzata sia dalla presenza di una struttura tettonica in sollevamento, sia dalla precoce emersione e dalla lunga esposizione. Queste condizioni hanno permesso la deposizione e la conservazione di coltri di depositi eolici (loess) durante le fasi glaciali pleistoceniche, che si sono successivamente intensamente pedogenizzati. In quest'area sono rinvenuti i suoli più profondi ed evoluti.

Gli aspetti mineralogici e chimici dei vari suoli, riconosciuti da ERSAL nell'ambito dell'area considerata, sono stati evidenziati attraverso analisi di laboratorio su campioni prelevati sia in profili pedologici che mediante trivella a mano, distribuiti secondo maglie regolari, per cui le indicazioni riportate assumono attendibilità per studi a carattere territoriale, e comunque validi per la scala del lavoro ERSAL.

Per quanto riguarda il complesso dei suoli interessanti il territorio comunale di Casalpusterlengo, essi si sono sviluppati sulla superficie modale stabile della pianura, pianeggiante o leggermente ondulata, e possono essere ascrivibili nella stragrande maggioranza all'ordine degli Alfisuoli, cioè con orizzonte illuviale argillico poco alterato e poco desaturato (Tasso di Saturazione basica TSB > 35%), ed in particolare a Ultic Haplustalfs, Acquic Haplustalfs e Aquultic Haplustalfs (Classificazione della Soil Taxonomy), in funzione del regime di umidità che le contraddistingue.

Si tratta in generale di suoli profondi o molto profondi a substrato sabbioso, a tessitura media o mediamente grossolana (variabile in genere con la profondità), con drenaggio da mediocre a buono, tessitura da medio-fine a moderatamente grossolana; il pH risulta nel complesso neutro, con Tasso di Saturazione Basica (TSB) da basso a medio.

Costituiscono infine un'unità a parte i suoli MBR1, corrispondenti alla depressione valliforme del Brembiolo, che sono classificati Typic Ustipsamments, cioè appartenenti all'ordine degli Entisuoli: si tratta cioè di suoli immaturi con sviluppo del profilo debolmente espresso (o che non presentano caratteri diagnostici), a regime di umidità ustico e tessitura sabbiosa.

Per quanto riguarda l'uso agricolo del suolo, le tipologie colturali più praticate risultano condizionate dall'orientamento produttivo prevalentemente zootecnico delle aziende agricole, per cui prevalgono gli

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

erbai, i prati da vicenda di leguminose foraggere (erba medica, trifoglio ladino) e quelle cerealicole (prevalentemente mais), e la soia. Rivestono particolare importanza anche le estese superfici a pioppeto concentrate nella fascia prossima al corso del Brembiolo.

Capacità protettiva nei confronti delle acque profonde

Per capacità protettiva si intende l'attitudine dei suoli a fungere da naturale barriera nei confronti di potenziali inquinanti idrosolubili. Essa è perciò una stima della capacità dei suoli di evitare o limitare l'inquinamento delle acque sotterranee grazie a proprietà chimiche, fisiche e biologiche che sono loro proprie.

I parametri utilizzati nella classificazione prodotta da ERSAL sono i seguenti: permeabilità, profondità della falda freatica, classe granulometrica, pH e C.S.C (capacità di scambio cationica).

Lungo il tracciato i terreni presentano generalmente una capacità protettiva media, ad eccezione del settore più meridionale, nella "valle" del Brembiolo, dove sono presenti terreni con bassa capacità protettiva.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

3.1. Generalità

Il lodigiano, come già illustrato, occupa un territorio pianeggiante, nel complesso debolmente degradante verso sud-est, interrotto dalle incisioni che costituiscono la "Valle Attuale dell'Adda" e la "Valle Attuale del Lambro", anch'esse con sviluppo lungo la stessa direttrice. Quale elemento peculiare si segnala il rilievo della collina di San Colombano, localizzato a sud-ovest, che costituisce l'ultima manifestazione superficiale verso nord dell'orogenesi appenninica.

Richiamando quanto già illustrato relativamente le unità che costituiscono il sottosuolo della pianura lodigiana, con riferimento all'assetto idrogeologico, sulla base dei dati stratigrafici a disposizione, è possibile individuare quale elemento di separazione tra la prima e la seconda falda un "orizzonte" con continuità orizzontale e spessore estremamente variabili, che consiste in un insieme di livelli e lenti caratterizzati da una bassa conducibilità idraulica.

L'assetto generale consente comunque di ritenere, con buona approssimazione, che i corpi acquiferi sottostanti questo "orizzonte" presentino una certa separazione idraulica dalla falda freatica ed un grado di protezione, rispetto agli eventuali elementi inquinanti presenti negli strati superficiali, tale da non comprometterne la qualità.

Si specifica che a scala locale tale approssimazione, utile per un inquadramento idrogeologico funzionale a studi a carattere generale, può risultare poco o per nulla significativa, in quanto anche lenti di materiali poco permeabili più superficiali e ridotte possono configurare condizioni di protezione sufficienti o addirittura condizioni di semiconfinamento della falda inferiore, oppure viceversa, livelli che sembrano avere continuità laterale sufficiente a scala locale in realtà non consentono adeguata protezione per l'acquifero sottostante.

La cartografia idrogeologica prodotta dalla Provincia nell'ambito della realizzazione del Piano Cave provinciale (2002), indica, come principale elemento che caratterizza la morfologia della superficie piezometrica, l'evidente funzione drenante esercitata dal fiume Adda ad est e dal fiume Lambro ad ovest, che scorrono incassati nelle loro valli fluviali attuali.

La direzione generale di deflusso, conforme al gradiente topografico, è rivolta verso sud-est, in direzione del fiume Po, che costituisce l'asse di drenaggio di tutta la Pianura Padana. Tale direzione risulta evidente nel settore centrale del territorio lodigiano, nella zona non influenzata dal drenaggio esercitato da Lambro

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

e Adda. Sul "Livello Fondamentale della Pianura" Auct. si osserva inoltre una leggera alterazione delle direzioni di deflusso in corrispondenza dei terrazzi antichi nella zona di Casalpusterlengo.

Per quanto attiene i valori del gradiente idraulico, nel settore centrale del lodigiano, non influenzato da Adda e Lambro, questo risulta pari a circa 0.1% partendo da nord fino all'altezza di Codogno, per poi aumentare fino a quasi 0.2% a sud, in corrispondenza del terrazzo morfologico che delimita la "Valle Attuale del Po".

Le aree influenzate dall'azione drenante del Lambro si estendono per circa 7-8km (3.5-4km per ciascuna sponda), ed in queste zone si osservano valori del gradiente idraulico notevolmente superiori, soprattutto in prossimità del terrazzo morfologico, dove in taluni settori risultano anche maggiori del 2%.

Lungo le aree influenzate dall'azione drenante dell'Adda, si osserva una situazione leggermente differente a causa dell'ampiezza della Valle Attuale. La distanza dal terrazzo morfologico al fiume infatti può raggiungere anche i 4km (Bertonico, Castiglione d'Adda e Cavacurta) e comunque generalmente risulta superiore ai 2 km. L'area influenzata dal drenaggio dell'Adda in sponda destra risulta ampia dai 2km (Lodi) ai 5km (Mairago, Terranova dei Passerini). I valori del gradiente idraulico aumentano procedendo dal "Livello Fondamentale della Pianura" al fiume Adda e si attestano attorno allo 0.5% in prossimità del terrazzo, per poi abbattersi all'interno della "Valle Attuale dell'Adda", dove i depositi alluvionali risultano prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi e pertanto la perdita di carico idraulico risulta inferiore rispetto a quella osservata sul "Livello Fondamentale della Pianura".

Inoltre, all'interno della "Valle Attuale dell'Adda", le numerose divagazioni del fiume hanno lasciato numerosi paleomeandri che per via della granulometria più grossolana costituiscono direzioni preferenziali di deflusso delle acque sotterranee e rendono particolarmente complessa la situazione idrogeologica, soprattutto in presenza delle lanche e delle morte del fiume.

Lungo la "Valle Attuale del Po" la falda freatica che defluisce in direzione del fiume presenta valori del gradiente idraulico generalmente molto ridotti, inferiori allo 0.1%, che aumentano progressivamente in direzione del fiume. In questa zona, come descritto nel capitolo relativo all'assetto idraulico ed irriguo, sono risultati fondamentali gli interventi antropici per la bonifica del territorio, che hanno condizionato di conseguenza anche l'assetto idrogeologico fino alla situazione attualmente osservata.

Quale ultimo elemento idrografico naturale che risulta importante ai fini dell'assetto idrogeologico della falda freatica si segnala il Colatore Brembiolo, che presenta un decorso subparallelo ai fiumi Adda e Lambro ed è localizzato nel settore centro-meridionale del territorio lodigiano. Questo corso d'acqua sembra esercitare una funzione debolmente drenante nei confronti della falda freatica, che risulta particolarmente evidente nella cartografia di piano da Ossago Lodigiano fino a Casalpusterlengo.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Infine un elemento esogeno rispetto all'assetto naturale del territorio che influenza in modo significativo le condizioni idrogeologiche della falda freatica è costituito dal Canale Muzza, che esercita una funzione irrigua fino all'altezza di Mairago e successivamente costituisce un colatore primario, di raccolta delle acque in esubero dai terreni agricoli. Nel primo tratto lungo il settore settentrionale del territorio lodigiano il Canale, il cui fondo non è impermeabilizzato, presenta delle perdite notevoli che alimentano la falda freatica sottostante determinando una alterazione alla direzione di deflusso.

Per quanto attiene il valore della "soggiacenza" della falda freatica, e cioè della profondità rispetto al piano di campagna alla quale si ritrova la tavola d'acqua, sempre con riferimento alla cartografia prodotta dalla Provincia nell'ambito della realizzazione del Piano Cave provinciale (2002), è stata effettuata una suddivisione per classi, sulla base di quanto già prodotto negli elaborati tecnici degli atti di pianificazione provinciale, individuando 3 classi di soggiacenza: inferiore a 2.5m, compresa tra 2.5 e 5m, e superiore a 5m; la stessa suddivisione è stata utilizzata per la redazione della carta idrogeologica allegata al progetto. Dal documento è possibile individuare, quali zone a maggiore soggiacenza, le aree lungo il "Livello Fondamentale della Pianura" prossime ai terrazzi che delimitano le valli fluviali attuali.

Le aree a minore soggiacenza sono invece localizzate all'interno della "Valle Attuale dell'Adda", lungo il settore immediatamente a valle del terrazzo nella "Valle Attuale del Po" (infatti approssimandosi al fiume l'effetto drenante del Po risulta più evidente e determina valori maggiori nel gradiente idraulico rispetto al gradiente topografico, con conseguente aumento del valore della soggiacenza), ed in corrispondenza del settore centrale del "Livello Fondamentale della Pianura", in asse ai fiumi Adda e Lambro.

Nella "Valle Attuale del Lambro" non sono evidenti zone di soggiacenza minima in quanto la valle risulta estremamente stretta ed incassata e l'alveo attivo risulta ancor più inciso. Pertanto il fiume, esercitando l'intenso effetto drenante precedentemente descritto, non consente l'individuazione di aree a soggiacenza ridotta alla scala della cartografia di piano.

Si evidenzia comunque che in parecchie aree a valle del terrazzo morfologico che delimita le valli attuali di Adda e Lambro si osservano, in particolari condizioni morfologiche (per esempio in presenza di terrazzi particolarmente elevati in concomitanza con distanze notevoli dall'alveo fluviale), localizzate emergenze idriche, di piccola entità ma significative da un punto di vista ambientale, legate all'intercettazione della superficie freatica da parte dell'incisione valliva.

3.2 La Carta idrogeologica

Lungo il tracciato della strada in progetto, come si evince dalla cartografia riportata in allegato, la direzione di deflusso della falda freatica presenta una certa omogeneità.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

In generale la morfologia della superficie topografica consente di osservare l'influenza del colatore Brembiolo sull'andamento del deflusso sotterraneo. Il colatore, infatti, sviluppa un'azione drenante nei confronti delle acque della falda freatica, che si traduce in un'inflessione delle curve isopiezometriche. Tale inflessione risulta più evidente in corrispondenza del centro abitato di Casalpusterlengo, mentre sia all'altezza della frazione Zorlesco sia a sud di Casalpusterlengo si osserva solo una debole curvatura delle linee isofreatiche.

La direzione del deflusso della falda lungo la direttrice della strada in progetto è sostanzialmente costante e rivolta verso sud-est.

Per quanto attiene il gradiente idrogeologico, si osserva una tendenza all'aumento dell'inclinazione della superficie freatica procedendo verso sud. Il valore massimo e minimo del gradiente, che si riscontrano lungo il tracciato, sono rispettivamente pari a 0,3% (nel settore compreso tra la zona della discarica di Coste Fagioli e l'abitato di Casalpusterlengo) e 0,08% (nel settore più settentrionale, a nord della frazione di Zorlesco).

Per quanto concerne la soggiacenza della tavola d'acqua, secondo le indicazioni della cartografia tematica del Piano Cave provinciale, lungo tutto il settore nord del tracciato in progetto, fino all'incirca all'altezza dell'intersezione con la S.P. 234, la falda freatica si attesta ad una profondità compresa tra 2,5 e 5m dal piano di campagna, ad eccezione del tratto più a nord (fino al sovrappasso ferroviario) ed in corrispondenza del terrazzo antico di Zorlesco), dove la soggiacenza può superare i 5m dal piano di campagna.

Nel settore meridionale, invece, si osserva un graduale aumento della soggiacenza, aumento che si interrompe laddove il tracciato interseca la "valle" del Brembiolo.

In questa zona la piezometria del Piano Cave differisce in modo sostanziale dai dati misurati nelle varie campagne di indagine registrando valori anche di 4 m inferiori a quelli misurati.

Durante i lavori relativi alla presente revisione dello studio, si è cercato di misurare direttamente il livello della falda freatica attraverso i punti di sondaggio delle campagne precedenti, purtroppo non è stato possibile ritrovare i piezometri indicati dallo studio, mentre per quanto riguarda i pozzi idrici esistenti in prossimità del tracciato, la mancanza di dati attendibili circa le falde captate e le profondità renderebbe le eventuali misure poco significative e scarsamente attendibili.

Pertanto, al fine di mantenersi in condizioni cautelative, a livello cartografico si è mantenuta la suddivisione di riferimento e la piezometria derivante dagli struenti di pianificazione consultati, mentre per quanto riguarda la descrizione del tracciato e degli interventi si è fatto riferimento alle misure riscontrate nelle varie campagne di indagine laddove maggiormente cautelativi.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Per il tratto più a Sud del tracciato, in corrispondenza dello svincolo con la S.P. 142, a seguito delle sostanziali modificazioni apportate al progetto, si è proceduto ad installare 2 nuovi piezometri al fine di verificare le quote di falda; le misure effettuate hanno comunque confermato i dati progettuali ricavati dalle campagne precedenti.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1. Descrizione e ubicazione

Al fine di definire il sottosuolo lungo il tracciato della variante in progetto sono stati presi in esame i risultati di campagne di indagini geognostiche eseguiti per conto di ANAS e dell'Amministrazione Provinciale di Lodi dallo Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti s.r.l. di Milano.

La prima campagna è stata eseguita nel 1997 e consiste nell'esecuzione di n° 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro e installazione di piezometri e n° 5 prove penetrometriche dinamiche tipo SCPT (nella documentazione fornita dalla Provincia di Lodi sono riportati altri 2 sondaggi relativi a tale campagna, 1 bis e 2 bis, dei quali non è tuttavia presente alcuna documentazione grafica e che sono comunque stati considerati nella ricostruzione litostratigrafica proposta).

La seconda campagna, svolta nell'estate 2007, ha contemplato l'esecuzione di n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati S1, S3, S4 e S5) spinti fino alla profondità di 20 m dal p.c. con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni.

La campagna è stata completata con l'esecuzione di n° 6 prove statiche CPT con punta meccanica.

L'ubicazione delle indagini è riportata sulla cartografia allegata.

I risultati sono riportati nei diagrammi ufficiali allegati.

Una sintesi degli studi è riportata di seguito e nello schema stratigrafico e geotecnico di Tavv. 0002 - 0204 e 0002. - 0206.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

4.2. Descrizione riassuntiva singole prove

Nel seguito vengono descritti, procedendo lungo lo sviluppo del tracciato da nord verso sud, in modo riassuntivo e schematico, i risultati delle indagini geognostiche condotte. Il dettaglio delle prove viene riportato in allegato.

CAMPAGNA DI INDAGINI 1997

Sondaggio n°1

Posizione: nord, lungo la strada poderale che porta da Zorlesco verso Cascina del lago;

Quota: 64 m slm (ca.);

Geologia: fluvioglaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 62.5m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -2,6m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 61,4m s.l.m.);

Soggiacenza: tra 2,5 e 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 0.20	terreno vegetale
0.20 – 5.00	sabbia media e fine con rari orizzonti limosi
5.50 – 9.00	sabbia media debolmente limosa
9.00 – 10.00	sabbia con limo debolmente argillosa
10.00 – 20.00	sabbia media debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.0 – 5.00	Nspt 8
5.00 – 8.00	Nspt 14
8.00– 20.00	Nspt 7.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sondaggio n°2

Posizione: sud di Zorlesco, in corrispondenza della S.P. 141;

Geologia: fluvioglaciale Mindel;

Piezometria piano cave: 61.5m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -4.6m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 60.8m s.l.m.);

Soggiacenza: circa 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 1.00	terreno vegetale
1.00 – 3.00	sabbia debolmente limosa
3.00 – 4.00	sabbia con limo
4.00 – 11.5	sabbia media debolmente limosa;
11.5 – 13.0	sabbia con limo;
13.0 – 20.0	sabbia media e grossolana debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 5.00	Nspt 8
5.00 – 12.0	Nspt 14
12.0 – 15.0	Nspt 8
15.0 – 20.0	Nspt 14

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sondaggio n°6

Posizione: in prossimità di Cascina Nuova;

Quota: 65.2m slm (ca.);

Geologia: fluvioglaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 61m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -3.7m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 61.5m s.l.m.);

Soggiacenza: compresa tra 2,5 e 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 0.50 terreno vegetale
0.50 – 2.00 sabbia fine debolmente limosa
2.00 – 3.50 limo argilloso debolmente sabbioso
3.50 – 6.50 sabbia con limo;
6.50 – 16.0 sabbia media debolmente ghiaiosa debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 7.50 Nspt 14
7.50 – 12.0 Nspt 16.
12.0 - 15.5 Nspt 25

Sondaggio n°3

Posizione: lungo il tracciato, in corrispondenza della linea ferroviaria Codogno-Pavia;

Quota: 62.4m slm (ca.);

Geologia: fluvioglaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 60m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -3.1m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 59.3m s.l.m.);

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Soggiacenza: tra 2,5 e 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 1.00	terreno vegetale
1.00 – 2.50	sabbia con limo debolmente argillosa
2.50 – 3.50	limo sabbioso debolmente argilloso
3.50 – 10.0	sabbia con limo
10.0 – 11.5	sabbia con limo debolmente argillosa
11.5 – 13.0	limo con sabbia debolmente argilloso
13.0 – 15.0	sabbia con limo
15.0 – 20.0	sabbia debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 5.50	Nspt 10
5.50 – 11.5	Nspt 13
11.5 – 13.0	Nspt 3
13.0 – 17.0	Nspt 14
17.0 – 20.0	Nspt 27;

Sondaggio n°7

Posizione: lungo il tracciato, circa 400m a sud della ferrovia;

Quota: 63m slm (ca.);

Geologia: fluvio-glaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 59.5m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -2.8m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 60.2m s.l.m.);

Soggiacenza: tra 2,5 e 5m;

Stratigrafia (m):

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

0.00 – 1.50	terreno vegetale
1.50 – 3.00	sabbia debolmente limosa
3.00 – 4.50	sabbia con limo
4.50 – 9.00	sabbia debolmente limosa
9.00 – 10.0	limo debolmente sabbioso debolmente argilloso
10.0 – 12.5	sabbia con limo
12.5 – 16.0	sabbia debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 2.50	Nspt 7
2.50 – 11.0	Nspt 13
11.0 – 14.0	Nspt 8
14.0 – 16.0	Nspt 10

Sondaggio n°4

Posizione: lungo il tracciato, in corrispondenza dell'intersezione con la S.P.234;

Quota: 63.3m slm (ca.);

Geologia: fluvio-glaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 60m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -4m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 59.3m s.l.m.);

Soggiacenza: compresa tra 2,5 e 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 2.00	terreno vegetale sabbioso
2.00 – 8.00	sabbia limosa
8.00 – 9.50	sabbia debolmente limosa
9.50 – 12.0	limo debolmente sabbioso debolmente argilloso
12.0 – 14.0	sabbia debolmente limosa
14.0 – 16.0	sabbia limosa debolmente ghiaiosa

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

16.0 – 17.5	limo sabbioso debolmente argilloso
17.5 – 19.5	sabbia con limo
19.5 – 20.5	sabbia debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 5.00	Nspt 9
5.00 – 14.0	Nspt 15
14.0 – 17.0	Nspt 13
17.0 – 20.5	Nspt 19

Sondaggio n°5

Posizione: lungo il tracciato, in corrispondenza dell'intersezione con il Brembiolo, sulla sponda sinistra dello stesso;

Quota: 57.5m slm (ca.);

Geologia: fluvioglaciale Wurm;

Piezometria piano cave: 53m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -4.4m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 53.1m s.l.m.);

Soggiacenza: circa 5m;

Stratigrafia (m):

0.00 – 1.00	terreno vegetale sabbioso
1.00 – 4.00	sabbia limosa ghiaiosa
4.00 – 8.50	sabbia limosa
8.50 – 9.50	sabbia con limo debolmente argillosa
9.50 – 14.5	sabbia limosa
14.5 –20.0	sabbia debolmente limosa

Sezione litotecnica (m):

0.00 – 8.00	Nspt 15
8.00 – 11.00	Nspt 4

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

11.00 – 14.00	Nspt 10
14.00 – 17.00	Nspt 12
17.00 – 20.00	Nspt 14.

Sondaggio n°1bis

Posizione: lungo il tracciato, in corrispondenza dell'intersezione con la strada vicinale delle Coste;

Latitudine (coord. chilometriche): 5002364

Longitudine (coord. chilometriche): 1550272

Quota: 62.7m slm (ca.);

Geologia: fluvio-glaciale wurm;

Piezometria piano cave: 56.7m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -4m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 58.7m s.l.m.);

Soggiacenza: circa 5m;

Stratigrafia (m):

0 – 1.5	terreno vegetale sabbioso
1.5 – 3	limo sabbioso
3 – 5.5	sabbia debolmente limosa
5.5 – 9	sabbia limosa;
9 – 11.5	limo

Sezione litotecnica (m):

0 – 2.5	Nspt 4
2.5 – 5.5	Nspt 10
5.5 – 11.5	Nspt 7.

Sondaggio n°2bis

Posizione: lungo il tracciato, in corrispondenza dell'intersezione con la S.P.142;

Latitudine (coord. chilometriche): 5001930

Longitudine (coord. chilometriche): 1551159

Quota: 62.1m slm (ca.);

Geologia: fluvio-glaciale wurm;

Piezometria piano cave: 54m s.l.m. (profondità dell'acqua durante sondaggio: -4.1m circa, corrispondente ad un livello piezometrico di circa 58m s.l.m.);

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Soggiacenza: circa 5m;

Stratigrafia (m):

0 – 2.5 terreno vegetale sabbioso
2.5 – 4 limo sabbioso
4 – 6 sabbia limosa
6 – 11.5 sabbia debolmente limosa;

Sezione litotecnica (m):

0 – 2.5 Nspt 3
2.5 – 4 Nspt 9
4 – 5.5 Nspt 15
5.5 – 11.5 Nspt 7.

CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE 2007

Sondaggio S1_2007

Posizione: Zorlesco Sovrappasso FFSS.

Progr 0+350. Quota 65.27 m s.l.m.

Soggiacenza falda : compresa tra 2.50 e 5.00 m.

Stratigrafia:

0.00 – 1.50 Sabbia fine limosa
1.50 – 4.00 Limo sabbioso e sabbia
4.00 – 13.00 Sabbia fine – Limo Sabbioso
13.00 – 15.00 Sabbia limosa
15.00 – 20.00 Sabbia limosa con ghiaia

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sezione litotecnica (m)

0.00 – 4.00	Nspt=12	$\Phi = 30^\circ$	Dr = 40%	Es = 4800 KPa
4.00 – 13.00	Nspt=15	$\Phi = 36 - 38^\circ$	Dr = 50%	Es = 15000 Kpa
13.00 – 15.00	Nspt = 20	Cu = 2.00 Kg/cm ²	$\Phi = 35^\circ$	Es = 15000 Kpa
15.00 – 17.00	Nspt = 28	$\Phi = 38^\circ$	Dr = 60%	Es = 8500 Kpa

Sondaggio S3_2007

Posizione: Ovest di C.Borasca – Svincolo Casalpusterlengo Nord

Posizione: Zorlesco Sovrappasso FFSS.

Progr 3+300. Quota 63.16 m s.l.m.

Soggiacenza falda : compresa tra 2.50 e 5.00 m.

Stratigrafia

0.00 – 2.50	Sabbia fine limosa mediamente addensata
2.50 – 4.20	Argilla limosa mediamente compatta
4.20 – 6.00	Sabbia fine limosa mediamente addensata
6.00 – 8.00	Limo con sabbia fine
8.00 – 16.50	Sabbia fine limosa densa
16.50 – 20.00	Limo sabbioso e sabbia mediamente addensata

Sezione Litotecnica (m)

0.00 – 8.00	Nspt = 12	$\Phi=32 - 35^\circ$	Dr=40%	Es=9000 – 12000 Kpa
8.00 – 16.50	Nspt = 30	$\Phi=38-40^\circ$	Dr=70%	Es= 22.500 Kpa
17.00 – 20.00	Nspt = 23	$\Phi=36^\circ$	Dr=50%	Es=12000 KPa

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sondaggio S4_2007 / CPT 04_07

Posizione : Sovrappasso FFSS Codogno – Pavia

Quota : 63.5 m s.l.m.

Soggiacenza falda : compresa tra 2.50 e 5.00 m

Stratigrafia:

0.00 – 2.50 Sabbia limosa fine mediamente addensata
2.50 – 4.00 Argilla limosa mediamente compatta
4.00 – 9.00 Sabbia fine limosa con intercalazioni limose sciolte
9.00 – 11.00 Argilla limosa mediamente compatta
11.00 – 13.00 Sabbia fine limosa mediamente addensata
13.50 – 17.50 Limo sabbioso con sabbia
17.50 – 20.00 Sabbia fine densa mediamente cementata

Sezione litotecnica (m)

0.00 – 2.50	Nspt=10				
2.50 – 7.50	Nspt=6	$\Phi=32^\circ$	Dr=30%	Es=12000 Kpa	Cu=0.8 – 1.0 Kg/cm ²
7.50 – 10.00	Nspt=10				
10.00 – 13.00	Nspt=33	$\Phi=38^\circ$	Dr=55%	Es=12000 KPa	
13.00 – 20.00	Nspt=14	$\Phi=38 – 40^\circ$	Dr=60%	Es=15000 KPa	

Campioni Indisturbati:

C1 3.00 – 3.60 m
C2 9.00 – 9.60 m
C3 13.80 – 14.40 m

Sondaggio S5_07

Posizione: Svincolo SP234" Codognese"

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Progr 4+500. Quota 61.57 m s.l.m.

Soggiacenza falda: compresa tra 2.50 e 5.00m.

Stratigrafia:

0.00 – 2.50	Sabbia fine limosa con ghiaia
2.50 – 10.00	Sabbia fine limosa mediamente addensata
10.00 – 10.80	Torba
10.80 – 15.50	Sabbia fine limosa – limo
15.50 – 20.00	Sabbia fine limosa mediamente addensata

Sezione litotecnica (m) :

0.00 – 2.50	Nspt=20	Es=17600 KPa		
2.50 – 10.00	Nspt=10 – 12	Rp=70÷100	$\Phi=30^\circ - 32^\circ$	Dr=45 – 50 %
	Es=7000 KPa			
10.00 – 10.80				
10.80 – 15.50	Nspt=20	Rp=70÷100 Kg/cm ²	$\Phi=36^\circ$	Dr=55%
	Es=15. 000 ÷ 17.000 KPa	Cu=1. 8 – 2.5 Kg/cm ²		
15.50 – 20.00	Nspt>25	Rp=80÷110 Kg/cm ²	$\Phi=36^\circ$	
	Dr=70 – 80%	Es=20. 000 KPa	Cu=2. 0÷2.5 Kg/cm ²	

Campioni Indisturbati:

C1 13.20 – 13.80 m

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

5. PROFILO LONGITUDINALE

5.1. Geologia

Basandosi su quanto evidenziato dai sondaggi eseguiti, è stato possibile ricostruire una sezione litologica lungo il tracciato della strada di progetto. Una sezione schematica viene riportata nella Tav. 0002-0206, mentre una descrizione sommaria viene riportata nel seguito, procedendo da nord verso sud.

Il primo tratto, fino alla progressiva 1+ 820 ca., è collocato all'interno dell'ambito fisiografico appartenente al Livello Fondamentale della Pianura Auct.. Il sottosuolo risulta caratterizzato dalla presenza di depositi prevalentemente sabbiosi fino alla profondità investigata (20m di profondità da piano di campagna). Nei primi 10m di profondità sono state individuate alcune lenti o orizzonti di materiale più limoso con una certa percentuale (comunque inferiore al 10%) di argilla, dello spessore massimo di circa 1m. Non è possibile escludere una certa variabilità, comunque non sostanziale, dei litotipi più superficiali all'interno della "valle" del Brembiolo.

Il secondo tratto, della lunghezza di circa 850m, fino alla progressiva 2+ 500 ca., si trova in corrispondenza dell'ambito fisiografico dei cosiddetti "terrazzi antichi", ed è caratterizzato in superficie dalla presenza, per i primi 1-2m, di limi con percentuali variabili, fino a circa il 25-30%, di frazioni argillose e/o sabbiose. Più in profondità sono presenti sabbie debolmente limose intervallate da orizzonti più francamente limosi della potenza massima di circa 2m.

Il terzo tratto, che interessa la maggior parte del tracciato, fino alla progressiva 5+300 ca., è anch'esso collocato all'interno dell'ambito fisiografico appartenente al Livello Fondamentale della Pianura Auct.

In questo tratto sono presenti depositi organizzati in strutture lenticolari complesse, con associazioni litologiche variabili da sabbie a limi argillosi debolmente sabbiosi. In particolare si è osservata con buona continuità laterale la presenza di litotipi più fini in un intervallo di profondità variabile tra -8,5 e -13m dal piano di campagna. Nel settore più a nord, tra i sondaggi S6 ed S3, si è osservata la presenza di tali associazioni litologiche anche a profondità comprese tra il piano campagna e -3,5m.

In questo tratto è possibile riconoscere un livello sabbioso medio fine, a luoghi anche debolmente cementato, molto addensato a partire da profondità variabili tra 13.00 e 16.00 m circa.

Il tratto centrale, tra le progressive 5+ 300 e 6+ 800 circa anch'esso all'interno dell'ambito fisiografico del livello fondamentale della pianura, è costituito da sabbie fini debolmente limose prevalenti con intercalazioni limose lenticolari nettamente subordinate.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Il livello di fondo, a partire da – 13 .00 Φ -15.00 m circa, risulta maggiormente omogeneo e caratterizzato da sabbie medio –fini compatte.

Infine, il settore terminale del tracciato verso sud, a partire dalla progressiva 6+ 800 occupa l'area fisiografica di competenza della valle del Brembiolo. In tale contesto si osserva la presenza di sabbia limosa ghiaiosa fino a circa –4m dal piano di campagna, quindi è presente un livello dello spessore di circa 10m di sabbia limosa con intercalata una lente di materiale più francamente limoso dello spessore di circa 1m. quindi, fino a –20m dal piano di campagna, sono presenti sabbie e sabbie debolmente limose.

Dott. Gianluca Cantarelli

Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

5.2. Geotecnica

Analogamente a quanto fatto per i caratteri litologici, sempre basandosi sulle prove geognostiche, nello specifico sui risultati delle SPT condotte in foro e dalle CPT eseguite nella campagna di indagini del 2007, è stato possibile ricostruire una sezione litotecnica lungo il tracciato della strada di progetto. Una sezione schematica viene riportata nella Tav. 0002-0204.

Al fine di definire con maggiore chiarezza l'assetto litotecnico del sottosuolo, i terreni investigati sono stati accorpati in 5 tipologie sulla base delle caratteristiche geotecniche più significative, risultanti dall'elaborazione delle prove geotecniche condotte in sito, secondo lo schema elaborato, proposto nella seguente tabella.

Nspt	Rp Kg/cm²	Φ(°)	Es (KPa)	Dr (%)	Tipo di terreno
Da 1 a 3		22 - 24	2500 - 3000	<30	Terreno molto sciolto- sabbia fine limosa – argilla molle e torba
Da 4 a 6	15 - 25	25	4500 - 5500	30	Terreno sciolto – sabbia fine con limo – limo sabbioso – argilla molle
Da 7 a 10		30	9000 - 12000	40 - 45	Terreno debolmente addensato
Da 11 a 25	> 40	35 – 38	9000 – 12000	50 - 55	Terreno mediamente addensato
>25		38 – 42	25000	65 – 70	Terreno molto addensato – sabbia fine con ghiaia – sabbia debolmente cementata – sabbia media

I valori più bassi sono riconducibili alle prove SCPT e limitati ai livelli più superficiali, mentre per quanto riguarda le prove SPT, valori particolarmente bassi ,(NsptP4) sono limitati alla presenza di livelli torbosi discontinui di modesto spessore (0.40 – 0.60 m) tra i 9.00 e gli 11.00 m .

In generale, con l'eccezione dei sondaggi S1 ed S3bis, è possibile affermare che con il procedere della profondità il grado di addensamento dei depositi granulari tende ad aumentare.

La distribuzione delle caratteristiche geotecniche, per i primi 4 m di profondità dal piano di campagna, risulta comunque abbastanza regolare, caratterizzata da terreni con scarse caratteristiche geotecniche ad eccezione del tratto centrale tra i sondaggi S4_07 e (prog. 3+750) e S5_07 (prog. 4+500) dove il livello

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

superficiale risulta costituito da sabbie limose e limi argillosi poco compatti fino alle profondità di 4.00 – 4.50 m.

Durante la campagna del 2007 sono stati prelevati n° 5 campioni indisturbati dai sondaggi S4 ed S5; su tali campioni si suggerisce l'esecuzione delle seguenti prove di laboratorio:

- Prove classificative (peso di volume)
- Limiti/proprietà indici
- Prove edometriche, se possibile.

Nella tabella seguente è riportato il significato delle sigle e abbreviazioni utilizzate:

C	Coesione
C'	Coesione effettiva (Kg/cm ²)
Cu	Coesione senza drenaggio (Kg/cm ²)
Φ	Angolo di attrito interno
Φ'	Angolo di attrito interno in termini di tensione effettiva
Es	Modulo di elasticità (Kg/cm ²)
Dr	Densità relativa %
N _{SPT}	Numero di colpi delle prove SPT
Rp	Resistenza alla punta al penetrometro statico (Kg/cm ²)

Dott. Gianluca Cantarelli

Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

5.3. Idrogeologia

Caratteristiche idrogeologiche e opere di mitigazione

I dati ottenuti dal monitoraggio dei fori di sondaggio realizzati lungo il tracciato della strada in progetto forniscono solamente delle indicazioni di massima circa la soggiacenza della falda freatica, essendosi protratto solo da fine luglio ad inizio ottobre 1997. In ogni caso, si riporta nel seguito, a puro titolo indicativo, la tabella delle misurazioni comprensive anche dei valori misurati nella campagna indagini del 2007 (Luglio)

QUOTA FALDA DA PIANO CAMPAGNA (m)							
	Piezometri da nord (sinistra) a sud(destra)						
Data	S1	S2	S6	S3	S7	S4	S5
Realizzazione sondaggio	-2.6	-4.6	-3.7	-3.1	-2.8	-4.0	-4.4
23/7/97				-4.4			
28/7/97		-4.2					
31/7/97	-3						
5/8/97							-4.3
6/8/97	-2	-4.3		-4.2			-4.3
8/8/97						-4.2	
3/9/97	-2.1	-4.4		-3		-3.9	-4.3
8/10/97	-2.6	-4.6	-3.75	-3.1	-2.8	-4.05	-4.45

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Campagna indagini 2007

Sondaggio	Data	Quota (m slm)	Prof. Falda (m)	Quota Falda (m slm)
S1	05/07/2007	65.27	3.00	62.27
S3	09/07/2007	63.16	2.80	60.36
S4	13/07/2007	63.08	3.10	60.10
S5	11/07/2007	61.57	2.90	58.67
P1	30/07/2007	66.27	2.80	63.47
P2	30/07/2007	63.51	2.00	61.51
P3	27/07/2007	63.16		
P4	26/07/2007	63,08		
P5	26/07/2007	63.57		
P6	27/07/2007	61.86	2.50	59.36

Le considerazioni sull'idrogeologia di dettaglio delle zone di intervento, sono basate sull'esame della documentazione fornita dall'Amministrazione Provinciale ed in particolare sulla misurazione di livelli piezometrici entro i fori di sondaggio eseguiti durante la campagna del '97 e sui rilievi della quota di falda durante la campagna di indagini del 2007.

Trattandosi di misurazioni poco significative in quanto effettuate in un arco temporale troppo breve, si è ritenuto opportuno riferirsi anche alla Carta Piezometrica Provinciale prodotta in fase di redazione dal Piano Cave Provinciale (2003); le indicazioni di detta cartografia sono in buon accordo con i dati delle indagini per la parte Nord del tracciato, all'incirca fino alla progr. 4t600, mentre si discostano decisamente nella zona Sud.

In questo tratto si è pertanto assunta come quota di riferimento quella ricavata dai sondaggi specifici, più cautelativa.

Relativamente all'aspetto idrogeologico, sono riportati nel seguito anche alcuni dati contenuti nello studio geologico prodotto per la redazione del PRG di Casalpusterlengo. Il confronto fra i dati riportati nello Studio Geologico allegato al progetto del Comune di Casalpusterlengo e la cartografia del Piano Cave Provinciale mostra come i dati del Piano Cave presentino quote piezometriche in ogni punto superiori, probabilmente legate alle fasi irrigue.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

In considerazione delle litologie presenti e delle quote piezometriche, si ritiene importante considerare anche il fenomeno della risalita capillare. Al fine di individuare le zone in cui l'interferenza potrebbe comportare sostanziali modifiche progettuali e/o operative di cantiere, si rende necessario individuare un livello massimo di risalita capillare dell'acqua di falda. Per far ciò è opportuno ricordare che le caratteristiche di saturazione del terreno sopra la falda sono fondamentali per poter procedere ad un computo il più possibile attendibile.

Se il terreno al disopra della falda è inizialmente asciutto, è possibile individuare un'altezza massima di risalita capillare "hcr" e un'altezza corrispondente al massimo grado di saturazione "hcsm". Se invece si ha inizialmente un terreno saturo e si vogliono conoscere le altezze che si hanno in seguito a un abbassamento di falda (drenaggio), si possono individuare un'altezza massima "hcm" cui corrispondono ancora filetti continui di acqua, e un'altezza di saturazione "hcs1".

Valori tipici *hcr* e *hcs1* sono riportati di seguito:

	hcr (m)	hcs1 (m)
Ghiaia	0,05-0,30	0,2
Sabbia grossa	0,03-0,8	0,6
Sabbia media	0,12-2,40	1,2
Sabbia fine	0,3-3,5	1,2
Limo	1,5-12	1,8
Argilla	≥10	-

Dal momento che nelle elaborazioni vengono sempre prese come riferimento le massime altezze piezometriche, è possibile considerare asciutto il terreno al di sopra della linea di falda.

Il fenomeno di risalita capillare e la determinazione di hc nei terreni comporta comunque un certo grado di indeterminatezza legato alla dimensione dei pori, assunta generalmente pari a $0.2 \cdot D_{10}$ (con D_{10} = diametro delle particelle corrispondenti al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa). A causa delle possibili differenze di struttura del materiale, possono però corrispondere a uno stesso valore di D_{10} , differenti distribuzioni di pori. Per questo motivo si è ritenuto più corretto fare riferimento ad un intervallo entro il quale si ritiene probabile riscontrare i fenomeni di capillarità.

In corso d'opera sarà comunque possibile verificare la presenza di tale fenomeno, specie durante le opere di scavo, ove l'aumento dell'umidità nel terreno, causata dall'acqua di risalita capillare, causa un aumento

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

della coesione apparente dei materiali determinando una maggiore stabilità (seppure aleatoria) delle pareti dello scavo stesso.

Più in profondità, nella zona di saturazione prossima alla falda, si assiste ad un decadimento delle caratteristiche geotecniche; in queste zone dovrà essere posta particolare attenzione durante l'esecuzione dei lavori, nonostante non sia stato raggiunto il livello della falda.

Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta in caso di realizzazione di fondazioni superficiali delle opere d'arte che interessano l'attuale piano di campagna.

Per quanto attiene invece il corpo stradale, proprio in considerazione della sua geometria, che prevede quasi tutto il tracciato realizzato in rilevato rispetto al piano di campagna, è possibile affermare che il fenomeno di risalita capillare non interagisce con il sottofondo stradale.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE ED IDROGEOLOGICHE DEL TRACCIATO E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI SUPPLEMENTARI DI BONIFICA, DRENAGGIO E CONSOLIDAMENTO.

Al fine di definire le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche che possono interferire con la realizzazione della struttura in progetto, e le soluzioni progettuali proposte e/o quelle operative da perseguire in corso d'opera, si ritiene utile descrivere la struttura standard prevista per il corpo stradale.

Per la realizzazione del corpo stradale standard è prevista l'asportazione dei primi 30 – 50 cm di terreno vegetale lungo tutto il tracciato della strada.

Il cassonetto standard è costituito da un primo strato di 6 - 7cm di sottofondo migliorato e quindi, dal basso verso l'alto, altri 4 strati (dello spessore complessivo di 37cm), così composti:

Strato di fondazione misto granulare;

Strato di base misto bitumato;

Strato di collegamento in conglomerato bituminoso;

Strato d'usura in conglomerato bituminoso.

Di seguito vengono descritte, procedendo da est verso ovest (secondo l'ordine progressivo delle prove e dei settori corrispondenti alle stesse), le caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo sul quale si sviluppa il tracciato stradale, gli snodi e le principali opere d'arte connesse, utilizzando come riferimento i parametri riportati nella tabella del capitolo 5.2.

Lo schema delle caratteristiche geotecniche dei singoli lotti rappresenta una valutazione media sull'intero tratto dei valori ricavati dai sondaggi di riferimento.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Settore S1

prog.: 0 + 000 – 0 + 650

Sottopasso ferrovia MI-BO

Sottopasso Cascina Olza

Sondaggio di riferimento : S1_07

CPT1_07

Schema geotecnico

0.00 – 4.00	Terreno mediamente addensato	Nspt = 12
4.00 – 13.00	Terreno mediamente addensato	Nspt = 15
13.00 – 15.00	Terreno mediamente addensato	Nspt = 20
15.00 – 20.00	Terreno molto addensato	Nspt = 28

Rilevato corpo stradale

Il terreno di imposta del rilevato è costituito prevalentemente da litotipi sabbiosi medio fini che presentano buone caratteristiche geomeccaniche.

La preparazione del terreno di imposta potrà essere limitata all'asportazione del terreno vegetale e ad una adeguata compattazione del terreno di sottofondo da eseguirsi con idonei mezzi meccanici; non si ritiene necessario prevedere ulteriori interventi di bonifica.

Il carico massimo ammissibile per il terreno di imposta, calcolato in prima approssimazione assimilando l'impronta del rilevato ad una fondazione superficiale (striscia indefinita), risulta dell'ordine di 220 kPa in termini di sforzi efficaci.

In riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M.14 Settembre 2005 si è eseguito anche il calcolo allo Stato limite ultimo utilizzando il metodo proposto da E.C. 8; in questo caso il carico massimo ammissibile risulta pari a 305 kPa

I cedimenti elastici rilevati, valutati in alcune situazioni tipo, risultano dell'ordine di 10 cm circa; visti i litotipi prevalentemente granulari presenti si ritiene che comunque i cedimenti calcolati siano valori massimi e destinati ad esaurirsi in tempi brevi, dell'ordine dei tempi esecutivi dei rilevati.

OPERA SC01 (Sottopasso Cascina Olza)

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

L'opera sarà realizzata in trincea entro il corpo del rilevato ad una quota superiore al p.c. circostante, in continuità con il sottopasso esistente.

Non vi sono pertanto problemi di interferenza con la falda freatica.

OPERA GA01 (Sottopasso FFSS Milano – Bologna)

L'opera consiste nell'ampliamento del rilevato esistente e nel rifacimento della galleria artificiale che ospiterà la linea ferroviaria.

Il piano rotabile della galleria ferroviaria è previsto al di sopra del piano campagna circostante, non si presentano pertanto problemi di carattere idrogeologico.

Per quanto riguarda gli aspetti geologico-tecnici, per i muri di sostegno laterali del manufatto, si ritiene opportuno ricorrere a fondazioni profonde mediante pali infissi gettati in opera che raggiungano il livello sabbioso più compatto.

SETTORE S2

prog.: 0 + 650 – 1 + 600

Sondaggi di riferimento

S1_97 – CPT2_07

Caratteristiche Geotecniche (m profondità piano campagna):

0.00 – 4.50	Terreno debolmente addensato	Nspt =9	Rp=20 - 25
4.50 – 8.00	Terreno mediamente addensato	Nspt =14	Rp=60 – 70
8.00 – 15.00	Terreno debolmente addensato	Nspt =7	Rp=15 – 20
15.00 – 20.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=15	Rp=70 - 100

Livello massimo falda freatica (profondità da piano campagna): -2.00 m

Il terreno di imposta dei rilevamenti è costituito da sabbie fini debolmente limose e limi sabbiosi che presentano discrete caratteristiche geomeccaniche; visto lo spessore dello strato mediamente addensato si ritiene sufficiente la rimozione del terreno vegetale e la compattazione del terreno di sottofondo senza particolari interventi di bonifica..

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Il carico massimo ammissibile per il terreno di imposta, calcolato in prima approssimazione assimilando l'impronta del rilevato ad una fondazione superficiale (striscia indefinita), risulta dell'ordine di 171 kPa in termini di sforzi efficaci.

Il carico massimo ammissibile allo Stato limite ultimo calcolato utilizzando il metodo proposto da E.C. 8 risulta pari a 235.6 kPa.

I cedimenti elastici rilevati, valutati in alcune situazioni tipo, risultano dell'ordine di 12 cm circa; visti i litotipi prevalentemente granulari presenti si ritiene che comunque i cedimenti calcolati siano valori massimi e destinati ad esaurirsi in tempi brevi, dell'ordine dei tempi esecutivi dei rilevati.

Opera SC02 – SC03 (Svincolo Casalpusterlengo nord – Zorlesco)

L'opera consiste nella realizzazione di 2 gallerie artificiali entro il corpo del rilevato .

La sede stradale del sottopasso è prevista ad una quota superiore all'attuale piano campagna; non si prevedono pertanto problematiche di carattere idrogeologico.

Vista la presenza del rilevato, la cui altezza supera i 3.50 m circa, si ritiene opportuno ricorrere a fondazioni indirette su pali infissi per i muri di sponda delle gallerie artificiali.

Opera SC04 (Sottopasso Via Vistarina), settore S1

L'opera consiste nella realizzazione di una galleria artificiale all'interno del rilevato stradale che ospiterà la sede della nuova tangenziale.

Verrà mantenuta l'attuale sede stradale di Via Vistarina e pertanto non si presentano problematiche di carattere idrogeologico e, limitatamente alla sede stradale, di carattere geotecnico.

Per quanto concerne invece le fondazioni dei muri di sostegno laterale della galleria artificiale, si rende necessario l'utilizzo di fondazioni indirette suggerendo la realizzazione di pali infissi.

Opera VI 01 e VI05 (Ponte sul Brembiolo), settore S1

L'opera consiste nella realizzazione di un manufatto all'interno del rilevato stradale, che consenta il regolare deflusso delle acque del Brembiolo.

In considerazione della tipologia di terreni interessati dall'imposizione del carico derivato dalle spalle del ponte, si ritiene necessario l'utilizzo di fondazioni indirette suggerendo la realizzazione di pali infissi.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

(ponte sul Brembiolo – pista di raccordo)

OPERA SC15 (Sottopasso strada comunale “Zorlesco”)

Il sottopasso è costituito da una galleria artificiale al di sotto del piano stradale della tangenziale, la quota della strada è prevista a -3.88 m dal p.c. (q. 61.05) e pertanto interferirà con la falda freatica la cui quota è stimata a 61.50.

Si dovrà prevedere pertanto l'impermeabilizzazione dei manufatti e delle reti tecnologiche.

Le strutture di fondazione del manufatto andranno ad interessare un livello limoso sabbioso debolmente addensato, si ritiene pertanto opportuno prevedere l'impiego di fondazioni profonde che raggiungano i livelli sabbiosi più addensati.

Settore 3 **Prog. 1+ 600 – 3+ 000**

Sondaggi di riferimento S2_97 – S6_97

Caratteristiche Geotecniche

0.00 – 5.00	Terreno debolmente addensato	Nspt=8
5.00 – 12.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=14
12.00 – 15.00	Terreno debolmente addensato	Nspt= 8
15.00 – 20.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=15 – 25

In questo tratto il terreno di imposta del rilevato stradale è costituito prevalentemente da litotipi sabbiosi da fini a medi che presentano buone caratteristiche geotecniche; inoltre in questo settore non sono previste opere di particolare rilevanza e il rilevato ha altezza ridotta, non superiore a 2 m circa.

Non si ritiene pertanto necessaria alcuna opera di bonifica dei terreni di importo oltre alla normale rimozione del terreno vegetale e al compattamento dei terreni di importo del rilevato.

OPERA SC05 (Sottopasso Strada Vicinale Borasca)

Il sottopasso è costituito da una galleria artificiale al di sotto del piano stradale della tangenziale, la quota della strada è prevista a -3.30 m dal p.c. (q. 61.40) e pertanto interferirà con la falda freatica la cui quota è stimata a 61.50.

Si dovrà prevedere pertanto l'impermeabilizzazione dei manufatti e delle reti tecnologiche.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

Le strutture di fondazione del manufatto andranno ad interessare un livello limoso sabbioso debolmente addensato, si ritiene pertanto opportuno prevedere l'impiego di fondazioni profonde che raggiungano i livelli sabbiosi più addensati.

Settore 4 **Prog.: 3+800 – 4+ 200**

Sondaggio di riferimento S3_07 – S4_07 – S5_07 – S3/97 – S7/97

Schema Geotecnico

0.00 – 2.00	Terreno debolmente addensato	Nspt=7	Rp 20-30 Kg/cm ²
2.00 – 10.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=13 – 15	Rp>60 Kg/cm ²
10.00 – 13.00	Terreno addensato o molto addensato	Nspt=25	
13.00 – 17.50	Terreno mediamente addensato	Nspt=10	
17.50 – 20.00	Terreno addensato o molto addensato	Nspt>25	

Quota falda freatica: - 3.50 m dal p.c.

Il settore è caratterizzato da litotipi prevalentemente sabbiosi con intercalazioni lenticolari di limi e limi sabbiosi; nel complesso presenta buone caratteristiche geomeccaniche.

Fra i 9.50 e gli 11.00 m circa sono presenti lenti sottili e irregolari di torbe e argille molli di spessore inferiore al metro.

Il livello più profondo, a partire da -15.00 ÷ -17.00 m, è costituito da sabbie medio-grossolane con ghiaietto molto addensate.

Non si ritiene necessaria alcuna bonifica aggiuntiva dei terreni di importo oltre alla normale rimozione del terreno vegetale e alla compattazione dei terreni di sedime prima della realizzazione dei rilevati.

Il carico massimo ammissibile per il terreno di imposta, calcolato in prima approssimazione assimilando l'impronta del rilevato ad una fondazione superficiale (striscia indefinita), risulta dell'ordine di 186 kPa in termini di sforzi efficaci.

Il carico massimo ammissibile allo Stato limite ultimo calcolato utilizzando il metodo proposto da E.C. 8 risulta pari a 307 kPa.

I cedimenti elastici rilevati, valutati in alcune situazioni tipo, risultano dell'ordine di 15 cm circa; visti i litotipi prevalentemente granulari presenti si ritiene che comunque i cedimenti calcolati siano valori massimi e destinati ad esaurirsi in tempi brevi, dell'ordine dei tempi esecutivi dei rilevati.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

OPERA SC06 – SC07 (Svincolo RO.02 Raccordo S.S.9)

L'opera consiste nella realizzazione di due gallerie artificiali all'interno del rilevato stradale; la sede stradale dei sottopassi presenta una quota finale superiore all'attuale piano campagna, pertanto non si prevedono problematiche di carattere idrogeologico.

Vista l'entità dei rilevati e la presenza di sottili livelli torbosi in profondità, si ritiene opportuno prevedere, per la realizzazione delle gallerie artificiali, l'impiego di fondazioni profonde con pali infissi gettati in opera che raggiungano il livello sabbioso grossolano.

OPERA VI02 (Viadotto FF.SS. Casalpusterlengo – Pavia)

L'opera consiste in un viadotto a tre campate all'interno del rilevato stradale che ospiterà la sede della nuova tangenziale; il piano viabile della ferrovia corrisponde alla quota del binario esistente, ed è superiore al p.c. circostante, non sussistono pertanto interferenze tra l'opera in progetto e la falda freatica. Sulla base del modello geologico e geotecnico ricostruito nelle sezioni di Tavv. 0002.0204 e 0002.0206 si ritiene opportuno ricorrere a fondazioni profonde con pali infissi gettati in opera o similari.

OPERA SC08 – SC09 (Svincolo S.S.234 “Codognese”)

L'opera consiste in due gallerie artificiali realizzate all'interno del rilevato, che ospiteranno i rami di svincolo della S.S.234.

Le quote del progetto del piano viabile (m 63.34) risultano superiori al piano di campagna circostante, non si prevedono pertanto interferenze tra l'opera e la falda freatica.

Dal punto di vista geotecnico, l'opera insiste in un area caratterizzata dalla presenza di sabbie fini addensate e mediamente addensate, con $N_{spt} > 15$; a cui segue un livello sabbioso molto addensato a partire dalla profondità di -11.00 m circa; per quanto riguarda le fondazioni delle gallerie artificiali si potrà ricorrere a fondazioni profonde con pali infissi che raggiungeranno il livello sabbioso più profondo.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

Sondaggio di riferimento : S1b – S2b (descritti nella documentazione tecnica della Provincia di Lodi – manca documentazione) S4 – S5_07

Schema Geotecnico

0.00 – 2.50	Terreno sciolto	Nspt= 4	
2.50 – 5.50	Terreno mediamente addensato	Nspt=11	Rp>60 Kg/cm ²
5.50 – 11.00	Terreno debolmente addensato	Nspt=7	

Soggiacenza Falda freatica 2.50 - 5.00 m

Si tratta di un settore che presenta una buona uniformità litologica con terreni prevalentemente sabbiosi, caratterizzata da sabbie fini e medie debolmente limose mediamente addensate; il rilevato stradale avrà un'altezza media non superiore a 1.50m; a partire dalla Prog. 4+951,00.e fino alla Prog. 6+005 il nuovo tracciato sarà abbassato e coinciderà pressoché con il p.c. mentre da quest'ultimo punto alla Prog. 6+400 la livelletta della strada andrà abbassandosi con un tratto in trincea fino alla profondità massima di 1.80 m dal p.c.; anche in quest'ultimo tratto non si prevedono comunque problematiche di carattere idrogeologico.

La limitata altezza del rilevato in questo tratto e le buone caratteristiche geomeccaniche dei terreni di sedime, fanno sì che non si prevedano problematiche in ordine alla capacità portante dei terreni di sottofondo e ad eventuali cedimenti.

Non si ritiene necessaria alcuna bonifica dei terreni di sottofondo ad eccezione della rimozione del suolo vegetale e dell'adeguata compattazione dei terreni di imposta.

OPERA VI06 (Sovrappasso Strada vicinale delle Coste)

L'opera consiste nella realizzazione di un rilevato per l'attraversamento della sede stradale della nuova tangenziale; non si prevedono problematiche di carattere idrogeologico

Per la realizzazione delle rampe di accesso del sovrappasso sarà sufficiente prevedere gli interventi di bonifica già individuati per la sede della tangenziale.

Per le fondazioni dei muri di sostegno del sovrappasso sarà opportuno prevedere l'impiego di fondazioni indirette suggerendo l'impiego di pali infissi.

Settore 6 **Prog. 6+400 – 7+400**

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sondaggio di riferimento: CPT06_07 S5_97

Schema Geotecnico

0.00 – 6.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=15	Rp=20 – 30 Kg/cm ²
6.00 – 9.00	Terreno sciolto	Nspt=4	Rp=14 – 20 Kg/cm ²
9.00 – 20.00	Terreno mediamente addensato	Nspt=11 – 15	

Il tratto è caratterizzato da litotipi prevalentemente sabbiosi costituiti da sabbie fini limose mediamente addensate, tra i -5.00 m e i -9.00 m circa sono presenti intercalazioni irregolari di limi argillosi da molli a poco compatti con caratteristiche geotecniche scadenti.

Le quote di riferimento della falda freatica sono comprese tra 3.50 e 5.00 m circa ad eccezione dell'area della "valle" del Brembiolo dove la soggiacenza si riduce a valori dell'ordine di 2.50 m circa.

Per quanto riguarda il rilevato del corpo stradale non si ritiene necessaria la bonifica del terreno di importo oltre all'asportazione del terreno vegetale e ad una adeguata compattazione del terreno di sottofondo.

Il carico massimo ammissibile per il terreno di imposta, calcolato in prima approssimazione assimilando l'impronta del rilevato ad una fondazione superficiale (striscia indefinita), risulta dell'ordine di 133 kPa in termini di sforzi efficaci.

Il carico massimo ammissibile allo Stato limite ultimo calcolato utilizzando il metodo proposto da E.C. 8 risulta pari a 253 kPa

I cedimenti elastici rilevati ,valutati in alcune sezioni tipo, risultano dell'ordine di 15 cm circa; visti i litotipi prevalentemente granulari presenti si ritiene che comunque i cedimenti calcolati siano valori massimi e destinati ad esaurirsi in tempi brevi, dell'ordine dei tempi esecutivi dei rilevati.

A partire dalla prog. 6+400 e fino ad intersecare la scarpate del terrazzo del Brembiolo (Prog. 6+900) il nuovo tracciato rimane in trincea ad una profondità massima di 2.50 m circa; in tal modo la quota di imposta della strada si approssima ai massimi livelli di falda rilevati (58 m) con un franco che si riduce fino a 1.40 m circa rispetto alle quote di riferimento (Carta idrogeologica con piezometria da Piano Cave 2003).

In corrispondenza dello svincolo con la SP 142 (Opera SC10), le misure rilevate durante l'esecuzione delle prove CPT 2007 (prova 6) hanno peraltro rilevato un livello freatico di -2.50 m pari ad una quota stimata di 59.50 m.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Si tratta comunque di una misura “anomala” in quanto è l’unica che presenta uno scarto rilevante con le misure riportate negli studi precedenti che potrebbe risentire di disturbi dovuti alle modalità di esecuzione della prova.

Allo scopo di chiarire le ambiguità emerse dall’analisi dei dati disponibili, durante la revisione dello studio si è provveduto ad installare 2 piezometri nel tratto interessato dallo svincolo della SP142 (Svincolo Ospedale), denominati Pz1-11 e Pz2-11 la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Le soggiacenze misurate sono state rispettivamente (Gennaio 2011):

P1= - 5.25 q. 61.20

P2= - 4.60 q.61.8

I dati sono stati incrociati con misure fornite dal Comune di Casalpusterlengo e relative ad alcune lottizzazioni adiacenti al tracciato della Variante.

Le misure del Comune di Casalpusterlengo e riportate nel P.R.G, estese su di 1 anno (2002), evidenziano una oscillazione massima di circa 1 m con i massimi proprio in luglio e agosto, in coincidenza della stagione irrigua e quote massime tra 57.40 e 57.90 (p.c. 61.80)

Alla luce delle verifiche eseguite si ritiene di poter confermare la quota di 58.00 m quale massima escursione della falda in questo tratto.

OPERA SC10 (Sovrappasso svincolo SP142)

L’opera consiste nella realizzazione di una galleria artificiale all’interno del rilevato stradale della SP142 ; la sede stradale della nuova Variante è prevista a q. 59.30 m circa, tale da assicurare un franco di circa 1.50 m anche in condizioni di massimo carico della falda potrebbe interferire con quest’ultima.

Sarà comunque opportuno prevedere adeguate opere di raccolta e drenaggio delle acque su tutto il tratto in trincea verso la sponda del Cavo Brembiolo

Per quanto riguarda le fondazioni dei muri di sostegno laterale del sovrappasso si suggerisce l’impiego di fondazioni indirette mediante la realizzazione di pali infissi.

In alternativa si potrà valutare la possibilità di impiegare fondazioni superficiali continue alla profondità di almeno 2.50 m dal p.c. attuale.

In questo tratto si consiglia di prevedere adeguati interventi di impermeabilizzazione di tutti i manufatti e gli impianti tecnologici previsti oltre la profondità di 2.00 m circa dal p.c.

OPERA VI04 (Ponte sul Cavo Brembiolo)

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

L'opera prevede un ponte in due campate per lo scavalcamento del colatore Brembiolo .

Vista la presenza di alternanze limoso-argillose poco compatte evidenziate nel sondaggio S5_97 fino alla profondità di -9.00 m circa, si ritiene opportuno prevedere fondazioni indirette su pali per le spalle e la pila del ponte; si suggerisce pertanto l'impiego di pali infissi che possono raggiungere il livello sabbioso maggiormente addensato e più omogeneo individuato a partire da -10.00 m circa dal p.c..

OPERA SC11 (Svincolo SS9 Casalpusterlengo Sud)

L'opera ,ubicata immediatamente a sud del ponte sul Brembiolo,prevede la realizzazione di un sottopasso in opera entro e al di sotto del rilevato della nuova tangenziale.

La quota di progetto del piano viabile è prevista a 51.20m, circa 3.80 m al disotto del p.c. attuale; lo scavo andrà pertanto a interferire con il livello freatico che nella zona è indicato a q.53.00 m circa.

Sarà pertanto necessario prevedere un'adeguata impermeabilizzazione del manufatto per tutta la sua estensione al fine di garantirne la funzionalità.

Dal punto di vista geotecnico, la base del sottopasso potrebbe interferire con le intercalazioni limoso argillose poco compatte che caratterizzano la zona; pertanto l'utilizzo di fondazioni dirette dovrà essere subordinato alla verifica della effettiva estensione di tali litotipi.

In alternativa si propone il ricorso a fondazioni indirette con pali infissi che raggiungano il livello sabbioso continuo più profondo.

Settore 7 Prog.: 7+400 – 8+ 200

Sondaggio di riferimento: SCPT5_97

Il tratto finale della nuova variante non presenta problematiche geologiche o geotecniche particolari.

La ricostruzione litostratigrafica, basata sui dati della prova SCPT5_97, ha individuato la presenza di depositi prevalentemente sabbiosi mediamente addensati, solamente il livello più superficiale, fino a -2.00 -2.50 m circa, risulterebbe costituito da sabbie limose poco addensate.

In questo tratto i rilevati hanno un'altezza minima, non superiore al metro, non si prevedono pertanto problematiche particolari inerenti i cedimenti del terreno di sottofondo.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Sarà sufficiente bonificare il piano di imposta mediante asportazione del terreno vegetale e adeguata compattazione del terreno di sottofondo.

In questo tratto non sono previste problematiche di tipo idrogeologico, il tracciato rimane al di sopra del piano campagna attuale e pertanto non vi saranno interferenze con la falda freatica.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

7.1 Premessa

Nell'ambito della progettazione definitiva della variante alla S.S. n° 9 "Via Emilia" intorno all'abitato di Casalpusterlengo, vengono di seguito riportate le caratteristiche di sismicità del territorio in oggetto, alla luce della vigente normativa antisismica.

Il territorio comunale di Casalpusterlengo è stato inserito dall' Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo del 2003, nella zona 4 della nuova classificazione sismica del territorio nazionale.

Precedentemente l'area era classificata "non sismica" dall'Atlante della Classificazione Sismica Nazionale (D.M.LL.PP.3 – 03 – 75)

Storicamente, nel periodo di riferimento 1000-1987, la massima scuotibilità rilevata nell'area più ampia compresa tra Milano, Pavia e Cremona è stata pari a 8° MCS, cui corrisponde una bassa accelerazione orizzontale a Milano e Cremona e 9° MCS a Pavia (numero totale eventi di tale intensità = 1).

7.2. Normativa di riferimento

La legge 2 febbraio 1974, n. 64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche" ha innovato fortemente il quadro normativo che attiene alla sicurezza delle costruzioni, sia in generale che per le zone sismiche.

La legge n. 64, a differenza delle precedenti, non contiene più precise prescrizioni da seguire per le costruzioni in zone sismiche, ma rinvia alla disciplina di specifiche norme tecniche da emanarsi da parte del Ministero dei lavori pubblici, di concerto con il Ministero dell'Interno, e da aggiornarsi, ogni qualvolta sia necessario, in relazione al progredire delle conoscenze dei fenomeni sismici.

Nel 1975, con decreto del 3 marzo, è stata emanata la prima normativa sismica, successivamente aggiornata con decreti 19 giugno 1984, 29 gennaio 1985, 24 gennaio 1986 e 16 gennaio 1996 che ha portato alla stesura dell'Atlante sismico del territorio nazionale con la classificazione del territorio nazionale, su base comunale, in 4 categorie (1a, 2a 3a e N.C.).

Nel 1997 La Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione Grandi Rischi ha dato mandato al Servizio Sismico nazionale di costituire un gruppo di Lavoro (G.d.L.) per la formulazione di una proposta

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

di riclassificazione sismica del territorio italiano, che ha prodotto una nuova zonizzazione del rischio sismico, con un generale incremento delle aree dichiarate sismiche (Fig. 7.2.1).

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, entrata in vigore l’8 maggio 2003 con la pubblicazione sulla G.U. n° 105, vengono definiti i “Criteri per l’individuazione delle zone sismiche - individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone”.

La nuova classificazione è articolata in 4 zone, le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla legge 64/74, alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), mentre la zona 4 è di nuova introduzione ed in essa è data facoltà alle Regioni di imporre l’obbligo della progettazione antisismica (Fig. 7.2.2).

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003
S = 12	PRIMA CATEGORIA	ZONA 1
S = 9	SECONDA CATEGORIA	ZONA 2
S = 6	TERZA CATEGORIA	ZONA 3
NON CLASSIFICATO	N.C.	ZONA 4

Tab. 7.2.1.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

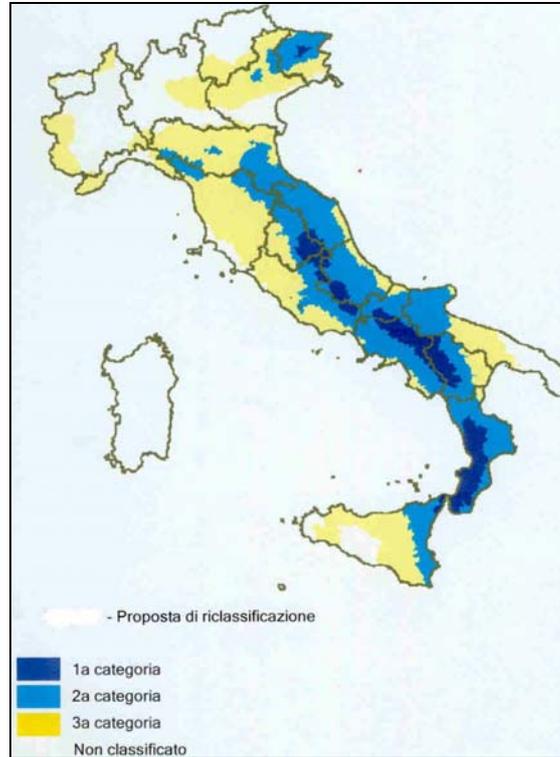
Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Italia

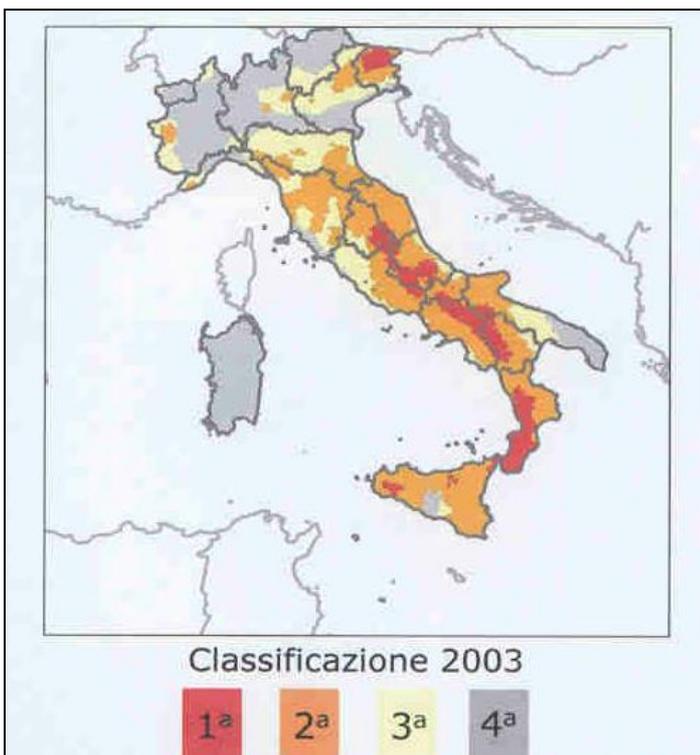
elaborazione Servizio sismico nazionale



(Fig. 7.2.1) Classificazione 1975



(Fig. 7.2.2) Classificazione 1997



Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

(Fig. 7.2.3) Classificazione 2003

I suddetti Criteri prevedono che in prima applicazione, sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche siano individuate sulla base del documento " Proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano" elaborato dal G.d.L. sopraccitato, con alcune precisazioni che sostanzialmente fanno sì che i comuni già classificati prima dell'ordinanza non possano essere assegnati ad una zona di pericolosità inferiore.

La lista dei comuni con l'indicazione della zona sismica corrispondente alla prima applicazione dei criteri generali allegato A dell'ordinanza è immediatamente operativa.

Le "Norme Tecniche", allegate all'ordinanza n. 3274, indicano 4 valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; ciascuna zona viene individuata secondo valori di accelerazioni di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche) (a_g)
1	>0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Tab. 2.2.2.

L'ordinanza citata prevede una graduale applicazione della nuova classificazione sismica e delle nuove norme tecniche, in modo da limitare le difficoltà connesse all'innovazione apportata e così riassumibili:

1. Le norme tecniche e la classificazione sismica previgenti possono essere applicate per tutti i lavori già iniziati e per le opere pubbliche già appaltate o i cui progetti siano stati già approvati;
2. Le norme tecniche e la classificazione sismica previgenti continuano ad essere applicabili per il completamento di interventi di ricostruzione effettuati a seguito di eventi sismici già disciplinati prima dell'entrata in vigore dell'ordinanza stessa.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

3. Le nuove norme tecniche e la nuova classificazione sono immediatamente operative per le opere esistenti strategiche e il cui collasso possa causare conseguenze rilevanti, sia per quelle esistenti, sia per quelle di nuova costruzione.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

A seguito delle osservazioni formulate in sede di C.d.S. e alla entrata in vigore successivamente alla presentazione della presente Relazione, del D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, si è proceduto ad una integrazione dello studio in conformità a quanto previsto dalla Normativa citata e alla Normativa regionale in materia.

In particolare si è fatto riferimento alle seguenti norme della Regione Lombardia:

- o D.d.u.o. 21-11-2003 n°19904
- o D.G.R. n°8/7374 del 28-05/2008

La procedura di cui all’Allegato 5 della D.G.R. 8/7374/2008 prevede tre livelli di approfondimento come grado di dettaglio in ordine crescente.

Il primo e il secondo livello sono obbligatori in fase di pianificazione mentre il terzo livello di approfondimento è demandato alla fase di progettazione esecutiva.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione (PSL = pericolosità sismica locale)		
	1° Livello Fase pianificatoria	2° Livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
<i>Zona sismica 2-3</i>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
<i>Zona sismica 4</i>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Tabella 7.2.3. – Livelli di approfondimento

Come già detto, il territorio Comunale di Casalpusterlengo è inserito in zona sismica 4, mentre le opere oggetto di intervento sono comprese tra quelle indicate dal d.d.u.o. n°19904/03; ne consegue pertanto che la caratterizzazione sismica dei terreni di sedime della Variante alla SS9 in progetto deve essere spinta almeno al 2°livello di approfondimento.

Non essendo disponibile negli strumenti pianificatori vigenti l’analisi di 1° livello, si è proceduto ad una specifica definizione dello Scenario di pericolosità sismica locale relativo al tracciato della variante, secondo quanto previsto dall’Allegato 5 della D.G.R. n°8/7374 – 2008 pur senza arrivare ad una perimetrazione areale dell’intero territorio; nella tabella 4 sono riportati gli scenari in grado di determinare effetti sismici locali come definiti dalla D.G.R. citata:.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 7.2.4 – Scenario di pericolosità sismica locale

Sulla base delle caratteristiche geologiche e morfologiche l'intero tracciato della Variante ricade in area **Z4a** ovvero “**zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio glaciali granulari e/o coesivi**” in grado di generare potenziali effetti di amplificazione sismica di tipo litologico.

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni di fondazione secondo le modalità previste dal D.M. 14/01/2008 si è proceduto all'esecuzione di un'indagine sismica di superficie per la determinazione del valore di Vs30 mediante misura diretta della velocità delle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love).

Lo studio ha previsto l'esecuzione di n°4 linee sismiche con metodologia MASW e l'esecuzione di misure HSVR per la determinazione della frequenza propria di sito (H/V).

L'ubicazione delle indagini è riportata nelle tavole allegate.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

7.3 – Indagine sismica di superficie

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della V_S (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S).

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della V_{S30} (il valore *medio ponderato* della V_S nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}} \quad \text{eq. (1)}$$

in cui V_{S_i} e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'*i*-esimo strato

Oltre all'esecuzione delle sezioni *MASW* si è provveduto ad eseguire misure delle onde di taglio *S* mediante metodologia sismica passiva con misura di Rumore Sismico Passivo (Microtremori) per la stima della velocità media delle onde sismiche di taglio V_S e la frequenza di risonanza dei terreni.

La sismica passiva si basa sulla misura dei microtremori che sono sempre presenti sulla superficie terrestre e sono generati da fenomeni naturali (vento, onde marine) e artificiali (attività antropiche).

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è il tromografo "Tromino", si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), un ampio range frequenziale (0.1 – 256 Hz) e il sistema GPS integrato.

Il metodo di indagine utilizzato è quello a stazione singola dei rapporti spettrali (HVSr).

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale). Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza di risonanza è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1}/4h$$

V_{s1} = velocità delle onde S del primo strato

H = spessore del primo strato

Le misure non hanno evidenziato la presenza di picchi di frequenza significativi, in accordo con le stratigrafie disponibili nella zona che evidenziano delle successioni argilloso sabbiose piuttosto omogenee, il rilievo sismico è utilizzato, nell'integrazione delle misure MASW, unicamente per la determinazione della velocità delle onde di taglio e la determinazione della frequenza di risonanza del terreno.

Acquisizione ed elaborazione dati

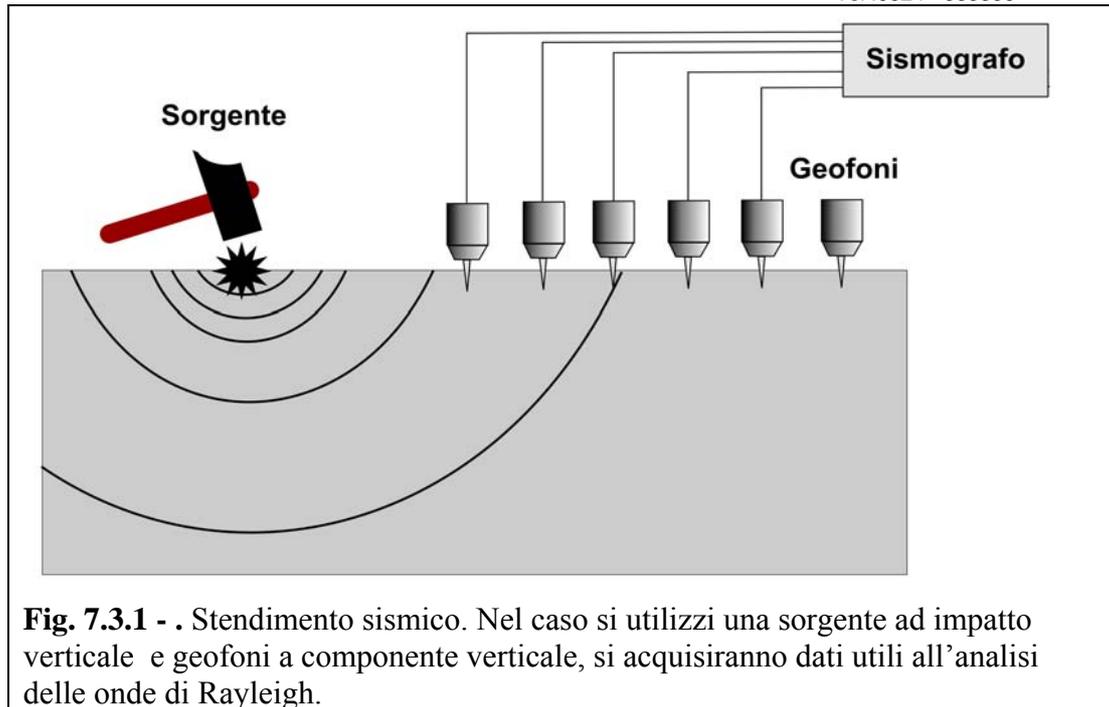
Strumentazione impiegata:

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (mod. Ambrogeo Echo 12/24) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (onde di Rayleigh).

La misura della velocità delle onde di Love (onde di taglio) è stata ottenuta impiegando geofoni orizzontali a frequenza prova di 10 Hz.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356



Elaborazione

I dati MASW sono stati elaborati con software WinMASW PRO 4.01 mediante determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

Sulla base dei risultati delle indagini, i terreni di fondazione dell'opera in progetto possono essere classificati nella categoria **C**:

“Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori variabili di diverse decine di metri fino a centinaia di metri ($180\text{m/s} < V_s < 360\text{ m/s}$ oppure $N_{spt}=15 - 50$ $C_u=70 - 250$ Kpa.)”.

Solamente nel tratto centrale, i risultati delle indagini geotecniche evidenziano la presenza di presenti terreni con caratteristiche geomeccaniche più scadenti che possono essere classificati in Categoria **D** *“Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti” ($V_{s30} < 180$ oppure $N_{spt} < 15$ $C_u < 70\text{Kpa}$)* come per altro confermato dai risultati della Sezione sismica 3

Di seguito si riportano nel dettaglio i risultati delle indagini

Per quanto riguarda la liquefacibilità dei terreni di fondazione si è proceduto ad una analisi preliminare della suscettibilità dei terreni di fondazione a fenomeni di fondazione utilizzando il metodo proposto da

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

C.N.R. – GNDT tratto da Seed e Idriss .; sulla base dei risultati delle prove SPT i terreni sono risultati non liquefacibili ciò anche in relazione alla bassa sismicità attesa nell'area ($a_g < 0.1 - M < 5$).

Sezione n°1 -Ponte Brembiolo
prog. Km 6.900 Settore 6

La sezione è stata eseguita all'estremità Nord del tracciato, in prossimità dell'attraversamento della Roggia Brembiolo, al margine del terrazzo che delimita la "valle del Brembiolo".

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati delle indagini:

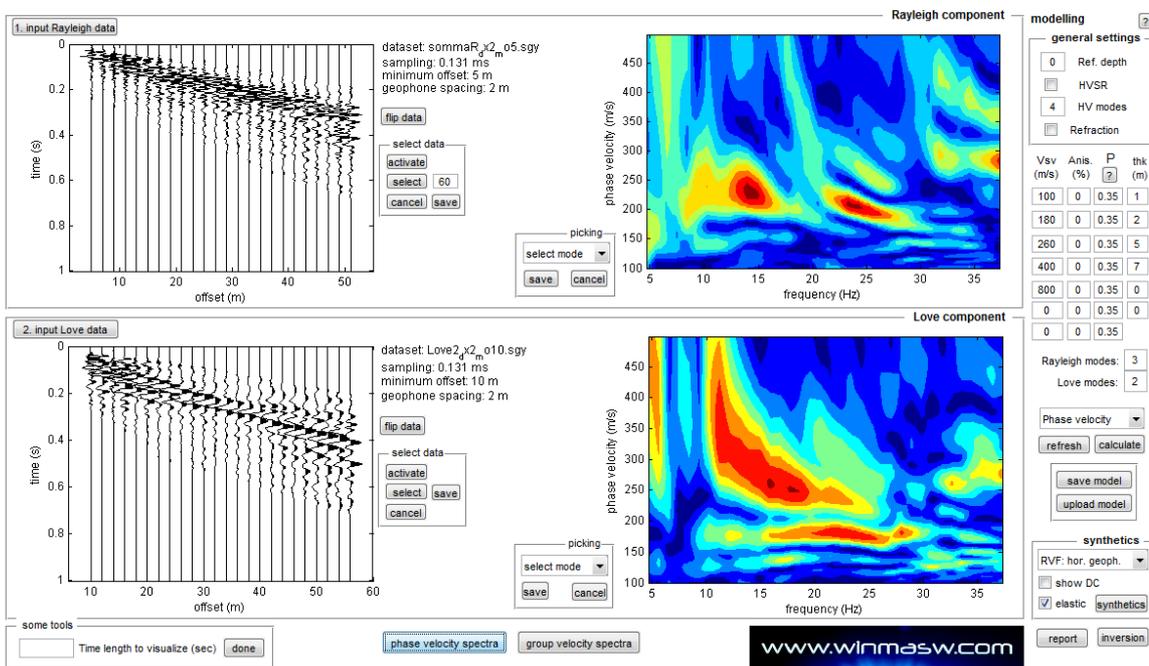


Fig. 7.3.2. Sismogrammi di campagna e spettro velocità

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

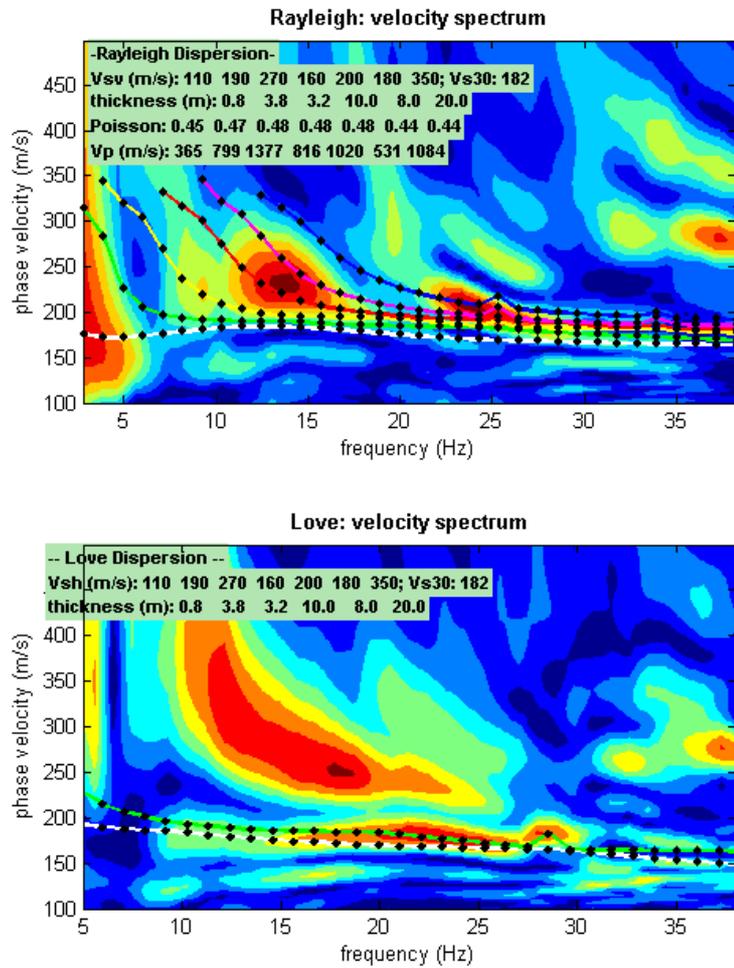


Fig. 7.3.3 – Curve di dispersione con elaborazione

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

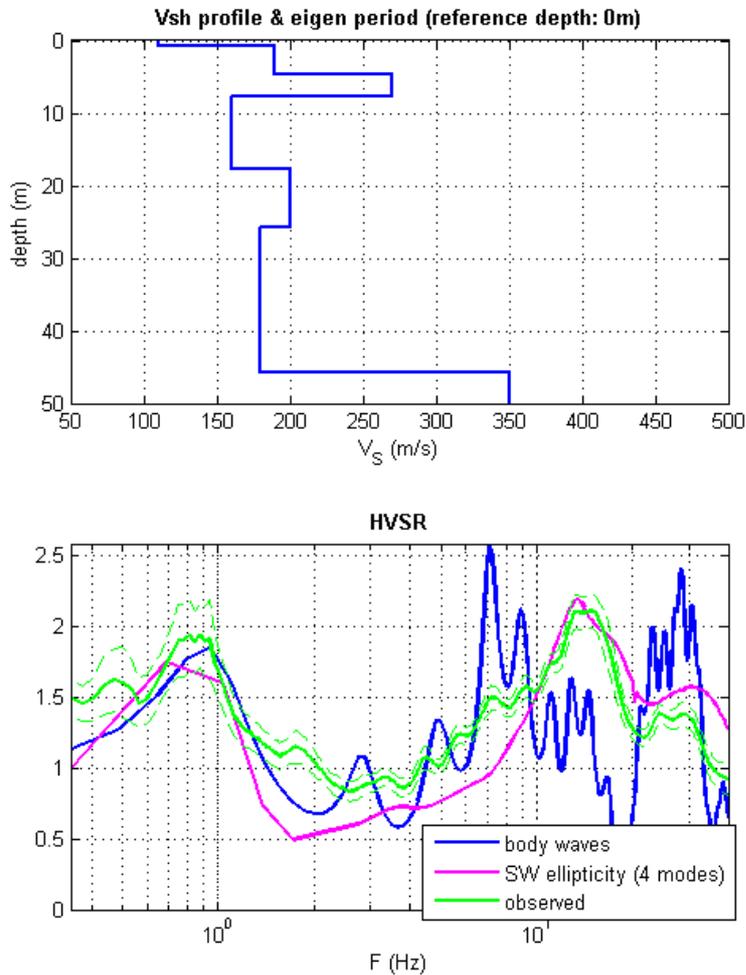


Fig 7.3.4. Profilo velocità e risultati HVSr

La velocità V_{s30} misurata è risultata pari a 190 m/s

Il sito può essere attribuito alla categoria **C depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine di media consistenza, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra i 180 ed i 360 m/s.**

L'analisi H/V ha evidenziato la presenza di 2 picchi significativi rispettivamente a 0.9 Hz circa e a 10.5 Hz.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
 Tel. 0524-571012
 Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
 Tel .0524 - 533356

Geostru PS Parametri sismici

Geostru-PS è un software GEOSTRU per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Scrivi l'indirizzo e/o sposta l'icona sul sito di interesse, otterrai tutti i parametri di pericolosità sismica.

Cerca Posizione

Via _____ n° _____

Comune Casalpusterleno Cap _____

Provincia lodi

Coordinate WGS84

Latitudine _____ °

Longitudine _____ °

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84

Lat. 45,164913 ° Long. 9,657583 °

(1)* Coordinate ED50

Lat. 45,165851 ° Long. 9,658626 °

Classe dell'edificio
 IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti... Cu = 2

Vita nominale 100

(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

45.164913, 9.657583

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Parametri sismici

Stato Limite	Tr [anni]	a ₀ [g]	F ₀	T _c [s]
Operatività (SLO)	120	0,051	2,552	0,260
Danno (SLD)	201	0,060	2,581	0,275
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,131	2,524	0,304
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,143	2,520	0,307

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 200

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti:

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,48
Cc* Coeff. funz categoria	1,64	1,61	1,56	1,55
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,047	0,051
kv	0,008	0,009	0,024	0,025
Amax [m/s ²]	0,743	0,887	1,928	2,078
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Fig. 7.3.5 – Parametri sismici Sezione MASW 1

Sezione n°2 Intersezione con S.P. 234

prog. 4.400 Settore 4

Nella sezione è stata rilevata solamente la velocità delle onde di Rayleigh (compressione) con geofoni da 4.5 Hz.

La velocità Vs30 riferita al piano campagna è risultata pari a 190 m/s mentre l'analisi HVSR ha evidenziato un picco alla frequenza di 0.85 Hz.

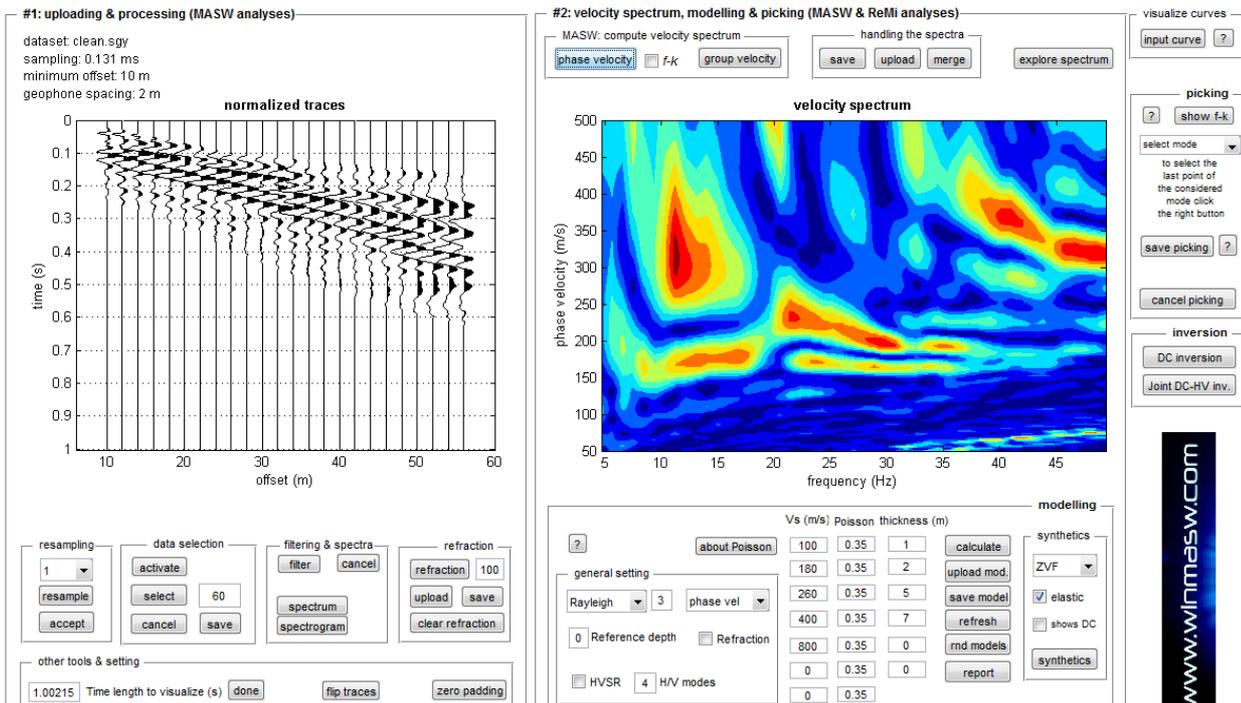


Fig. 7.3.6. Sismogrammi di campagna e spettro velocità

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

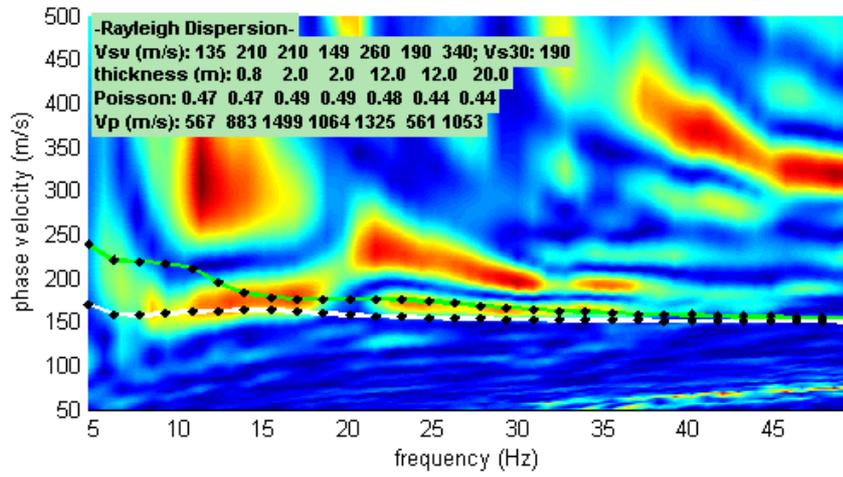
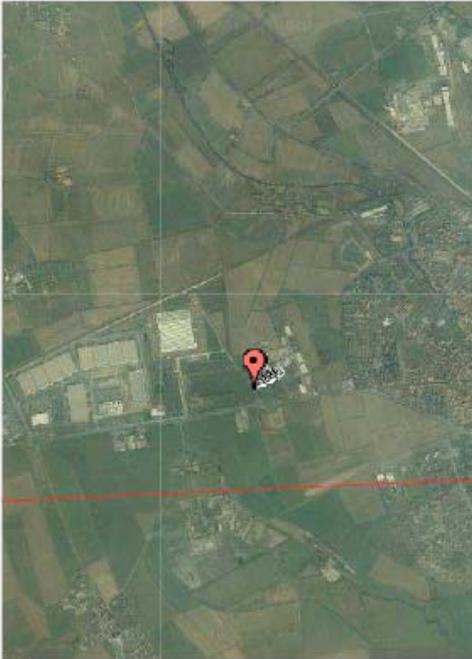


Fig. 7.3.7 – Curve di dispersione con elaborazione

Geostru PS Parametri sismici

Geostru-PS è un software GEOSTRU per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Scrivi l'indirizzo e/o sposta l'icona sul sito di interesse, otterrai tutti i parametri di pericolosità sismica.

Cerca Posizione		Determinazione dei parametri sismici	
Via	n°	(1)* Coordinate WGS84	
Comune	Casalpusterleno	Cap	Lat. 45,177136 ° Long. 9,630804
Provincia	lodi		(1)* Coordinate ED50
	<input type="button" value="Cerca"/>		Lat. 45,178074 ° Long. 9,631848
Coordinate WGS84		Classe dell'edificio	
Latitudine	°	IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti... <input type="checkbox"/> Cu = 2	
Longitudine	° <input type="button" value="Cerca"/>	Vita nominale	
		(Opere provvisorie <=>10, Opere ordinarie >=>50, Grandi opere >=>100) <input type="checkbox"/> 100	
		<input type="button" value="Calcola"/>	



45.177136, 9.630804

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Parametri sismici

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	120	0,050	2,552	0,259
Danno (SLD)	201	0,059	2,584	0,274
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,127	2,538	0,305
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,138	2,534	0,308
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo c

Categoria topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
Cc* Coeff. funz categoria	1,64	1,61	1,55	1,55
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]				0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,046	0,049
kv	0,007	0,009	0,023	0,025
Amax [m/s ²]	0,729	0,869	1,863	2,018
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

te addensati
zati da un
30 compresi

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Fig. 7.3.9 – Parametri sismici Sezione MASW 2

Sezione n°3 – Svincolo viadotto FF.SS. Casalpusterlengo – Pavia
 prog. 3.+ 600 Settore 4

Nella sezione è stata rilevata solamente la velocità delle onde di Rayleigh (compressione) con geofoni da 4.5 Hz.

La velocità Vs30 riferita al piano campagna è risultata pari a 178 m/s.

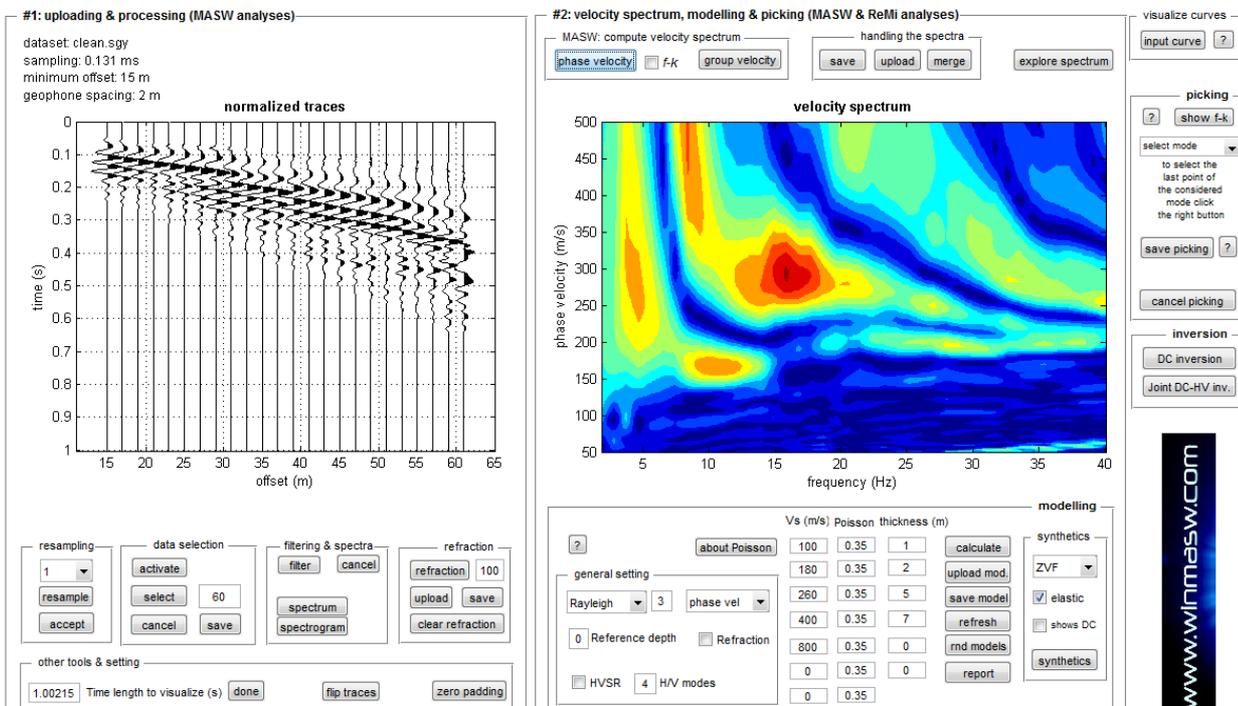


Fig. 7.3.10. Sismogrammi di campagna e spettro velocità

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
 Tel. 0524-571012
 Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
 Tel .0524 - 533356

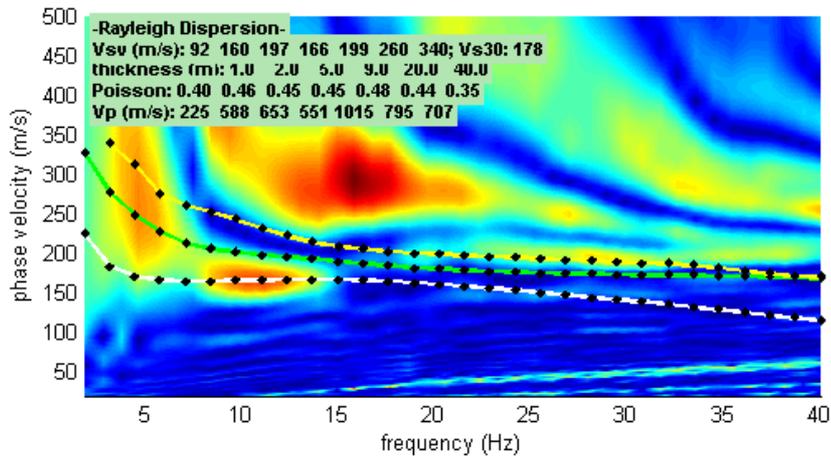


Fig. 7.3.11 – Curve di dispersione con elaborazione

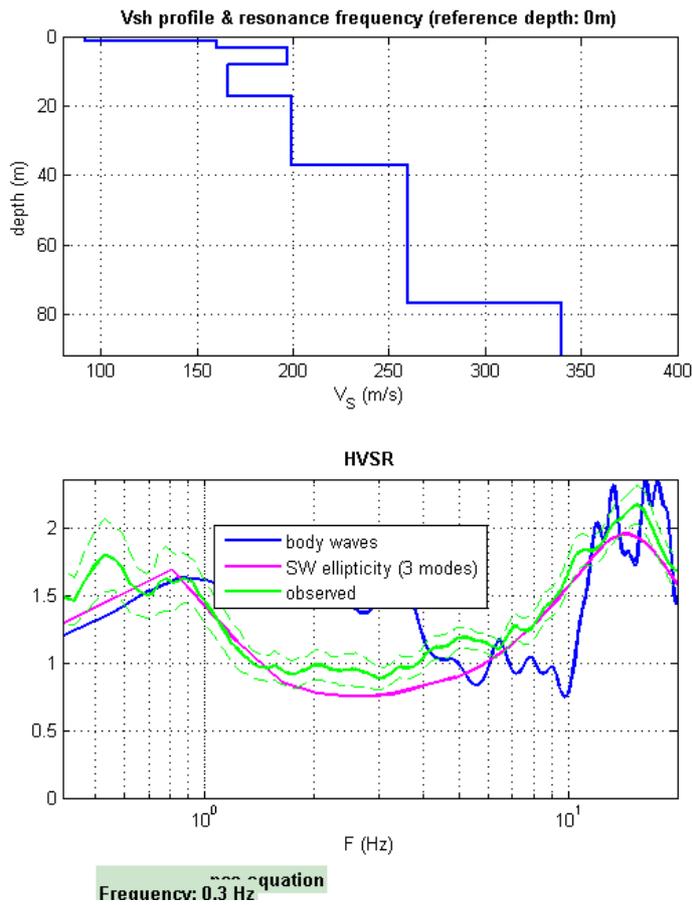


Fig 7.3.12. Profilo velocità e risultati HVSr

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.

Tel. 0524-571012

Studio: Via Malpeli 2, Fidenza

Tel .0524 - 533356

Il sito risulta classificabile entro la categoria **D “depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s “** anche se la Vs30 risulta molto prossima al limite superiore (180 m/s) e quindi il suolo può essere classificato come intermedio tra la categoria D e la categoria C.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
 Tel. 0524-571012
 Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
 Tel .0524 - 533356

Geostru PS Parametri sismici

Geostru-PS è un software GEOSTRU per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Scrivi l'indirizzo e/o sposta l'icona sul sito di interesse, otterrai tutti i parametri di pericolosità sismica.

Cerca Posizione

Via n°

Comune Casalpusterfengo Cap

Provincia lodi

Coordinate WGS84

Latitudine °

Longitudine °

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. 45,183549 ° Long. 9,6260833 °

(1)* Coordinate ED50
 Lat. 45,184488 ° Long. 9,627128 °

Classe dell'edificio
 IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti... Cu = 2

Vita nominale
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100) 100

45.183549, 9.626083

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Parametri sismici

Stato Limite	Tr [anni]	a _s [g]	F _o	T _c ' [s]
Operatività (SLO)	120	0,049	2,551	0,259
Danno (SLD)	201	0,059	2,584	0,274
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,126	2,539	0,305
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,138	2,535	0,308

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 200

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1

us (m) 0.1

Categoria sottosuolo D

Categoria topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _s * Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,80
C _o * Coeff. funz categoria	2,46	2,39	2,26	2,25
S _t * Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,019	0,055	0,060
kv	0,008	0,010	0,027	0,030
Am _{ax} [m/s ²]	0,873	1,042	2,231	2,433
Beta	0,180	0,180	0,240	0,240

* I valori di S_s, C_o ed S_t possono essere variati

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Fig. 7.3.13 – Parametri sismici Sezione MASW 2

Sezione 4 - Sottopasso FF.SS. MI-BO

prog. 0.+400 Settore 1

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

In questo sito sono state registrate sia onde di Rayleigh che onde di Love.

La misura HVSR ha evidenziato un primo picco alla frequenza di 0.80 Hz (1.25 sec).

La velocità Vs30 calcolata è risultata pari a 197 m/s.

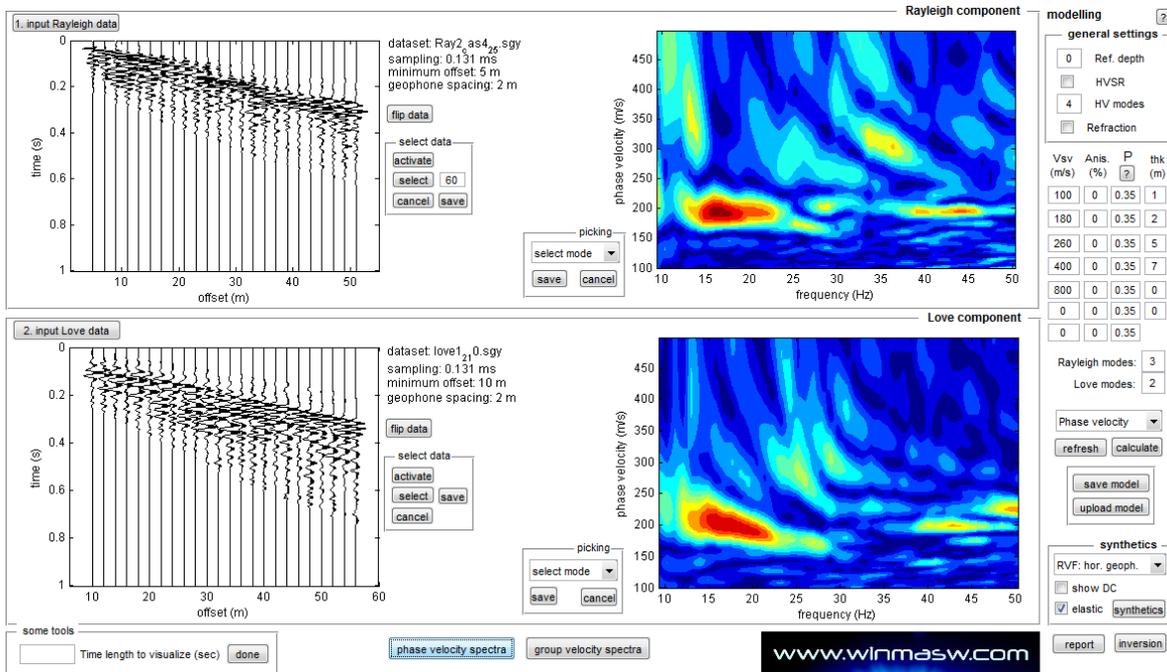


Fig. 7.3.14. Sismogrammi di campagna e spettro velocità

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

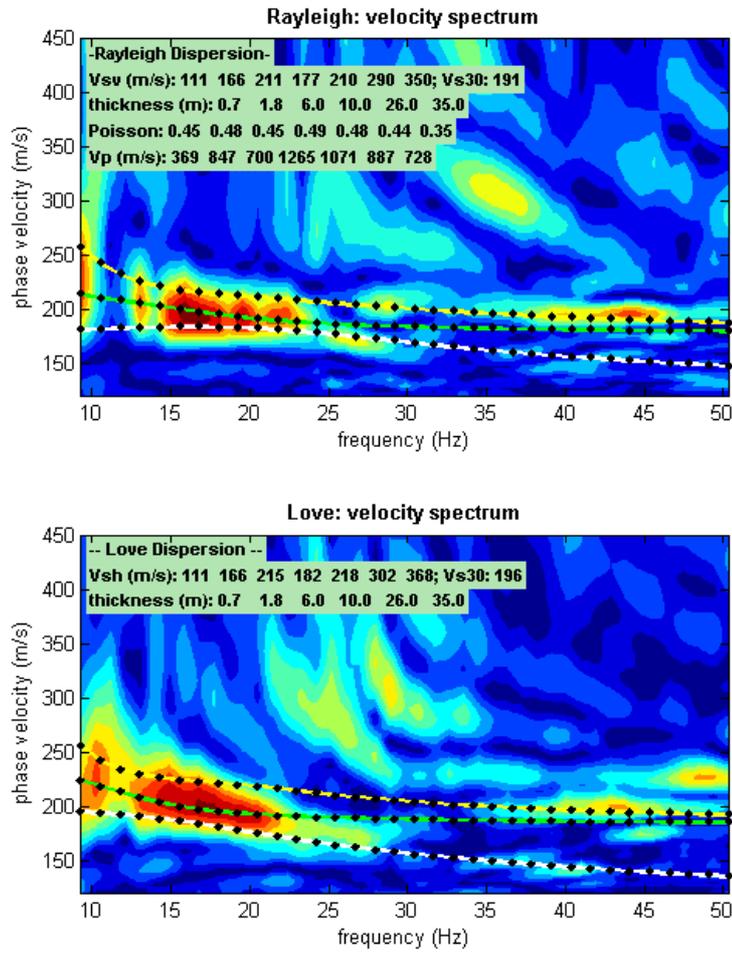
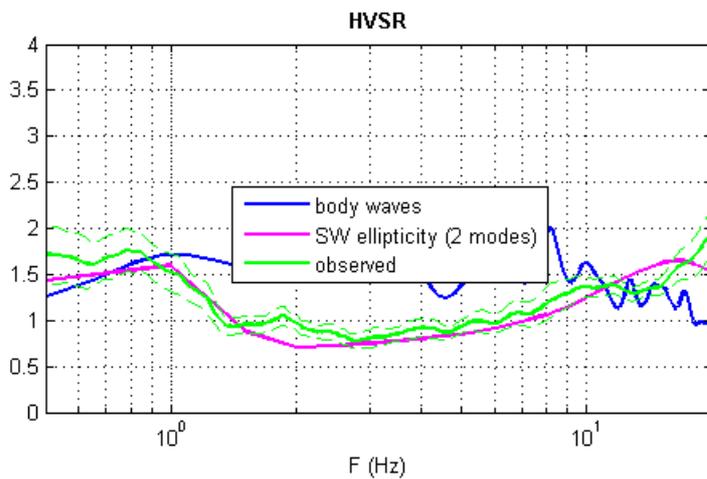
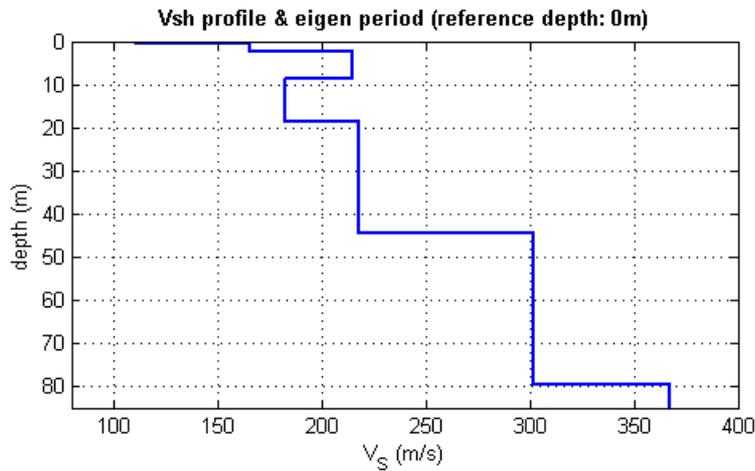


Fig. 7.3.15 – Curve di dispersione con elaborazione



--- nca equation

Fig 7.3.16. Profilo velocità e risultati HVSr

Il sito può essere classificato entro la categoria **C** “depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine di media consistenza, con spessori superiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra i 180 ed i 360 m/s”.

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
 Tel. 0524-571012
 Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
 Tel .0524 - 533356

Geostru PS Parametri sismici

Geostru-PS è un software GEOSTRU per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica. Scrivi l'indirizzo e/o sposta l'icona sul sito di interesse, otterrai tutti i parametri di pericolosità sismica.

Cerca Posizione

Via _____ n° _____
 Comune **Casalpusterengo** Cap _____
 Provincia **lodi**

Coordinate WGS84
 Latitudine _____ °
 Longitudine _____ °

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. 45,208166 ° Long. 9,6114063 °
 (1)* Coordinate ED50
 Lat. 45,209103 ° Long. 9,612451 °

Classe dell'edificio
 (V. Funzioni pubbliche o strategiche importanti... Cu = 2
 Vita nominale _____ 100
 (Opere provvisorie <=>10, Opere ordinarie >=>50,
 Grandi opere >=>100)

45.208166, 9.611406

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Parametri sismici

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F ₀	T _c [s]
Operatività (SLO)	120	0,049	2,552	0,259
Danno (SLD)	201	0,059	2,585	0,273
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,124	2,547	0,308
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,135	2,544	0,309
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) _____ 1
 us (m) _____ 0,1
 Categoria sottosuolo _____ c
 Categoria topografica _____ T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _s * Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
C _c * Coeff. funz categoria	1,64	1,61	1,55	1,55
S _t * Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]				0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,045	0,048
kv	0,007	0,009	0,022	0,024
A _{max} [m/s ²]	0,721	0,861	1,828	1,979
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

* I valori di S_s, C_c ed S_t possono essere variati

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Fig. 7.3.17 – Parametri sismici Sezione MASW 4

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

7.4 Analisi di secondo livello

L'analisi di secondo livello consiste nella caratterizzazione semi-qualitativa degli effetti di amplificazione attesi per l'area in oggetto e si concretizza con la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di amplificazione (Fa).

La valutazione del fattore Fa, tenuto conto delle caratteristiche dell'area in esame (zona subpianeggiante), viene condotta per uno scenario suscettibile di amplificazione di tipo litologico o stratigrafico: in pratica viene "quantificato" l'effetto delle condizioni litostratigrafiche locali in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate da un terremoto.

La procedura prevede il confronto del valore di Fa caratteristico dell'area rispetto al valore caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: tale valore, detto "di soglia", è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Nei capitoli successivi e nella determinazione dei valori di Fa si è fatto riferimento a quanto contenuto ed indicato nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 8/7374.

Per il comune di Casalpusterlengo i valori di soglia riferiti all'intervallo 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s per le diverse categorie di suolo soggette ed amplificazioni litologiche (B, C, D e E) sono i seguenti:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 – 0.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Casalpusterlengo	1.4	1.8	2.2	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 – 1.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Casalpusterlengo	1.7	2.4	4.1	3.0

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

La stima degli effetti litologici propri dell'area in esame è stata effettuata sulla base dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità misurata con metodologia MASW in 4 siti di riferimento .

Sulla base dell'andamento delle Vs con la profondità calcolato si è individuata la scheda litologica di riferimento tra quelle proposte nell'Allegato 5 del D.G.R. n°8/2008, scheda che per tutte le aree esaminate è risultata essere quella relativa alla "litologia sabbiosa" di seguito riportata.

Successivamente, all'interno della scheda di valutazione prescelta si individua, in funzione della profondità e della velocità delle onde S nello strato superficiale, la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa.

Di seguito sono riportati i calcoli per la determinazione di Fa per i singoli siti

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Scheda litologica: Sabbiosa

Curva di riferimento: 2

Caratterizzata dalla seguente equazione:

Intervallo 0.1 – 0.5 s

Curva	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
2	$Fa = -8.65T^2 + 5.44T + 0.84$	$Fa = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa = 1$

Intervallo 0.5 – 1.5 s

Curva	$0.08 \leq T \leq 0.80$	$0.80 < T \leq 1.80$
2	$Fa = -6.11T^2 + 5.794T + 0.44T + 0.93$	$Fa = 1.73 - 0.61 \ln T$

Dove T è il periodo proprio del sito calcolato a partire dalla seguente equazione:

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

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello fino al Bedrock sismico (Strato con $V_s > 800$ m/s).

La profondità del Bedrock sismico, non essendo rilevato direttamente, è stata ipotizzata assegnando un gradiente alla velocità di tipo logaritmico desunto dai dati della prova.

Con queste condizioni si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Periodo T	Fa (0.1 – 0.5)	Fa (0.5 – 1.5)
1	Sabbiosa	0.89	1	1.8

Categoria Sismica : C

Fa Soglia (0.1 – 0.5) = 1.8

Fa Soglia (0.5 – 1.5) = 2.4

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

L'accelerazione Fa di sito risulta inferiore a Fa Soglia sia per l'intervallo 0.1 – 0.5 s che per l'intervallo 0.5 – 1.5 s.

Sezione MASW n°2

Scheda litologica: Sabbiosa

Curva di riferimento: 2

Caratterizzata dalla seguente equazione:

Intervallo 0.1 – 0.5 s

Curva	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
2	$Fa = -8.65T^2 + 5.44T + 0.84$	$Fa = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa = 1$

Intervallo 0.5 – 1.5 s

Curva	$0.08 \leq T \leq 0.80$	$0.80 < T \leq 1.80$
2	$Fa = -6.11T^2 + 5.794T + 0.44T + 0.93$	$Fa = 1.73 - 0.61 \ln T$

Dove T è il periodo proprio del sito calcolato a partire dalla seguente equazione:

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

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al Bedrock sismico (Strato con $V_s > 800$ m/s).

La profondità del Bedrock sismico, non essendo rilevato direttamente, è stata ipotizzata assegnando un gradiente alla velocità di tipo logaritmico desunto dai dati della prova.

Con queste condizioni si ottengono i seguenti risultati:

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel. 0524 - 533356

Area	Scheda	Periodo T	Fa (0.1 – 0.5)	Fa (0.5 – 1.5)
1	Sabbiosa	0.89	1	1.8

Categoria Sismica : C
Fa Soglia (0.1 – 0.5)= 1.8
Fa Soglia (0.5 – 1.5)= 2.4

L'accelerazione Fa di sito risulta inferiore a Fa Soglia sia per l'intervallo 0.1 – 0.5 s che per l'intervallo 0.5 – 1.5 s.

Sezione MASW n°3

Scheda litologica: Sabbiosa
Curva di riferimento: 2

Caratterizzata dalla seguente equazione:

Intervallo 0.1 – 0.5 s

Curva	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
2	$Fa = -8.65T^2 + 5.44T + 0.84$	$Fa = 0.83 - 0.88 \ln T$	Fa=1

Intervallo 0.5 – 1.5 s

Curva	$0.08 \leq T \leq 0.80$	$0.80 < T \leq 1.80$
2	$Fa = -6.11T^2 + 5.794T + 0.44T + 0.93$	$Fa = 1.73 - 0.61 \ln T$

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Dove T è il periodo proprio del sito calcolato a partire dalla seguente equazione:

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

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello fino al Bedrock sismico (Strato con $V_s > 800$ m/s).

La profondità del Bedrock sismico, non essendo rilevato direttamente, è stata ipotizzata assegnando un gradiente alla velocità di tipo logaritmico desunto dai dati della prova.

Con queste condizioni si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Periodo T	Fa (0.1 – 0.5)	Fa (0.5 – 1.5)
1	Sabbiosa	0.52	2.20	4.1

Categoria Sismica : D
Fa Soglia (0.1 – 0.5)= 1.8
Fa Soglia (0.5 – 1.5)= 2.4

L'accelerazione Fa di sito risulta inferiore a Fa Soglia sia per l'intervallo 0.1 – 0.5 s che per l'intervallo 0.5 – 1.5 s.

Sezione MASW n°4

Scheda litologica: Sabbiosa
Curva di riferimento: 2

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Caratterizzata dalla seguente equazione:

intervallo 0.1 – 0.5 s

Curva	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
2	$Fa = -8.65T^2 + 5.44T + 0.84$	$Fa = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa = 1$

Intervallo 0.5 – 1.5 s

Curva	$0.08 \leq T \leq 0.80$	$0.80 < T \leq 1.80$
2	$Fa = -6.11T^2 + 5.794T + 0.44T + 0.93$	$Fa = 1.73 - 0.61 \ln T$

Dove T è il periodo proprio del sito calcolato a partire dalla seguente equazione:

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

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al Bedrock sismico (Strato con $V_s > 800$ m/s).

La profondità del Bedrock sismico, non essendo rilevato direttamente, è stata ipotizzata assegnando un gradiente alla velocità di tipo logaritmico desunto dai dati della prova.

Con queste condizioni si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Periodo T	Fa (0.1 – 0.5)	Fa (0.5 – 1.5)
1	Sabbiosa	0.89	1	1.80

Categoria Sismica : C

Fa Soglia (0.1 – 0.5) = 1.8

Fa Soglia (0.5 – 1.5) = 2.4

In tutti i casi esaminati il fattore di accelerazione Fa risulta:

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

$$F_{a\text{Sito}} < F_{a\text{Soglia}}$$

sia per l'intervallo 0.1 – 0.5 s che per l'intervallo 0.5 – 1.5 s.

Pertanto, essendo il territorio comunale di Casalpusterlengo classificato come Zona Sismica 4, non risulta obbligatorio il terzo livello di approfondimento.

8. GESTIONE DELLE RISORSE – DISPONIBILITÀ DEI MATERIALI

8.1 – Gestione dei materiali di risulta

Il progetto della Variante prevede la realizzazione dell'intero tracciato in rilevato, al di sopra del p.c. attuale, ad eccezione di 2 sottopassi alla Prog. 2+ 318,38 e alla Prog. 7+ 264.67.

Pertanto i materiali di risulta degli scavi saranno quantitativamente ridotti; i volumi previsti sono pari a 280.00 m³ di cui 180.00 m³ di terreno vegetale proveniente dagli scotichi e 100.00 circa dagli scavi per sottopassi, fondazioni, opere d'arte ecc..

Per quanto riguarda il terreno vegetale è previsto il reimpiego di tali materiali nell'ambito del cantiere per il rivestimento finale delle scarpate al fine di favorire il rinverdimento delle stesse; i volumi necessari stimati per l'asse principale sono stimati in 53.000 m³ per uno spessore di 0.30 m circa . Il materiale rimanente potrà essere utilizzato per opere accessorie e/o barriere fonoassorbenti.

Il materiale proveniente dagli scavi potrà trovare collocazione dell'opera stessa previa una valutazione delle caratteristiche granulometriche e geomeccaniche.

Non è prevista la produzione di ulteriori materiali di risulta in quanto si prevede che le fondazioni siano realizzate mediante pali infissi senza asportazione di terreno; nel caso in cui , in sede di progettazione esecutiva, si optasse per la realizzazione di pali trivellati, i materiali di risulta potranno essere reimpiegati nell'ambito del cantiere eventualmente escludendo le frazioni limoso-argillose più fini.

Si tratta comunque di volumi limitati che potranno essere eventualmente smaltiti come terre di scavo.

8.2 Approvvigionamento materiali

La provincia di Lodi è dotata di un Piano Cave approvato con Delibera dal Consiglio Regionale della Lombardia n° VII/1131 del 15 – 12 – 2004.

Il piano individua i giacimenti sfruttabili, identifica gli ambiti territoriali estrattivi e pianifica i fabbisogni di materiali inerti oggetto dell'attività estrattiva.

Per quanto riguarda il settore della ghiaia e della sabbia il Piano individua 12 Ambiti Territoriali Estrattivi (ATE) e 4 aree di riserva (Pg) per opere pubbliche oltre ai cosiddetti Giacimenti sfruttabili: *“Parti del territorio provinciale interessate dalla presenza di risorse minerali di cava prive di vincoli non eliminabili e ostacoli che ne impediscono lo sfruttamento”* .

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Le aree più prossime alla zona di interesse sono quelle indicate nella planimetria di Tav. 00.02.009 ed in particolare si tratta di:

Ambito	Comune	volumi Mc	per opere pubbliche Mc
ATE g7	Orio Litta	835.000	
ATE g11	Orio Litta	400.000	500.000
Pg1	Senna Lodigiana		1.100.000
Pg2	Senna lodigiana		700.000

In prossimità dell'area sono stati individuati anche i seguenti Giacimenti sfruttabili:

G16 Senna Lodigiana ampliamento del polo Pg1

G17 Senna Lodigiana, ampliamento del polo Pg2,

G20 Orio Litta ampliamento del polo Pg3/ATE11

La disponibilità complessiva di tali ambiti è pari ad ulteriori 7.800.000 m³.

I fabbisogni previsti sono stati valutati sulla base del computo metrico preliminare allegato al progetto del 1999.

Per la realizzazione dell'intero corpo stradale è previsto l'impiego di 1.036.000m³ di materiale ai quali si devono aggiungere altri 60.000 m³ circa, di materiale idoneo alla formazione delle pavimentazioni bituminose.

Come accennato in precedenza, sarà possibile utilizzare il materiale proveniente dagli scavi per la realizzazione dei sottopassi costituito prevalentemente da sabbia limosa sciolta, purché il materiale sia messo in opera per strati sovrapposti di circa 30 cm, con compattazione o stabilizzazione di ogni singolo strato e previa verifica della sua idoneità.

I fabbisogni previsti per la realizzazione dell'opera, suddivisi per tipologie d'impiego, sono i seguenti:

tipologia	materiali	quantità mc
Rilevati	ghiaia e sabbia	1.036.000
Pavimentazioni	ghiaia e conglomerati	60.000
Rivestimenti e inerbimenti	Argilla e terreno vegetale	53.000

Dott. Gianluca Cantarelli
Geologo

Via Monte Grappa, 4 -43039 Salsomaggiore T.
Tel. 0524-571012
Studio: Via Malpeli 2, Fidenza
Tel .0524 - 533356

Sulla base dell'analisi di cui sopra si ritiene pertanto che i fabbisogni di inerti necessari alla realizzazione dell'opera in progetto possano essere soddisfatti senza particolari difficoltà nell'ambito delle risorse disponibili indicati nella pianificazione di settore della Provincia di Lodi (Piano cave provinciale) che, negl'ambiti estrattivi considerati prevede riserve per la realizzazione di opere pubbliche pari a 2.300.000 m³

Il Geologo

Dott. Gianluca Cantarelli