

**COMPLETAMENTO E OTTIMIZZAZIONE DELLA
TORINO-MILANO CON LA VIABILITA' LOCALE MEDIANTE
INTERCONNESSIONE TRA S.S.32 E S.P.299
TANGENZIALE DI NOVARA
LOTTO "0" E LOTTO "1"**

PROGETTO ESECUTIVO

COD. TO166

CUP: F34E06000030001

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

IMPRESA: A.T.I.

Mandataria:



Mandante:



Direttore Tecnico A.T.I.
Ing. A. Ridella

A.T.I. DI PROGETTAZIONE

Mandataria:

S.T.E. s.r.l.

Structure and Transport Engineering

Direttore Tecnico
Ing. E. Moroni

Mandante:

Dott. Arch. Elisa Lucia ZANETTA

Ordine Architetti P.P.C. Provincia di Novara e
Verbano-Curso-Ossola n.1400

Mandante:

Dott. Ing. Matteo POLETTI

Ordine degli Ingegneri Provincia di Novara n.2310/A

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Francesco M. La Camera

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Maria Bruno

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Francesco M. La Camera

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Marcello Buonamico

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica generale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO		000_T00_GEO1_GEO_RE01_B			
DPTO02	E 1801	000	T00	GE01	GEORE01
				B	-
D					
C					
B	EMISSIONE PER ISTRUTTORIA	OTTOBRE 2018	BRUNO	LA CAMERA	RIDELLA
A	PRIMA EMISSIONE	APRILE 2018	BRUNO	LA CAMERA	RIDELLA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA E TIPOLOGIA DELL'OPERA IN PROGETTO	5
3.1	Inquadramento territoriale	5
3.2	Inquadramento progettuale	6
4	GEOLOGIA	7
4.1	Inquadramento geologico	7
4.2	Inquadramento strutturale	8
4.3	Successione stratigrafica dell'area di studio	8
5	GEOMORFOLOGIA	10
5.1	Compatibilità geomorfologica dell'opera in progetto. Verifica del PAI	10
5.2	Morfologia dell'area in studio	11
6	IDROGEOLOGIA	12
6.1	Vulnerabilità dell'acquifero superficiale	14
6.2	Monitoraggio piezometrico	15
7	SISMICITA'	17
7.1	Pericolosità sismica	17
7.2	Sismicità storica	19
7.3	Definizione dell'azione sismica di progetto	22
8	INDAGINI GEOGNOSTICHE	28
8.1	Indagini bibliografiche	28
8.2	Indagini di progetto	28
8.2.1	INDAGINI DEL PROGETTO PRELIMINARE	28
8.2.2	INDAGINI DEL PROGETTO DEFINITIVO	29
8.2.3	INDAGINI DEL PROGETTO ESECUTIVO	30
9	PRINCIPALI PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN ASSE AL TRACCIATO	32

9.1 Bonifica piano di posa dei rilevati	32
10 DESCRIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO IN ASSE AL TRACCIATO	38
10.1 Modello geologico Viadotto su SS32 e Canale Regina Elena	40
10.2 Modello geologico Viadotto Torrente Terdoppio	41
10.3 Modello geologico Viadotto su FS Alessandria – Arona	43
10.4 Modello geologico Viadotto su FS Novara – Domodossola e SS229	44
1.1 Modello geologico Viadotto su Roggia Mora – T. Agogna e linea FS Vignale -Varrallo	45
ALLEGATI Stratigrafie dati di profondità: Pozzi Idrici	47
Documentazione fotografica	51
BIBLIOGRAFIA	53

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale dell'area interessata dal progetto esecutivo dei "lotti 0 e 1 della Tangenziale di Novara" ("Completamento ed ottimizzazione della Torino Milano con la viabilità locale mediante l'interconnessione tra la S.S. 32 e la S.P. 299"), il cui tracciato si articola per una lunghezza di circa 5.0 km nell'ambito dei territori comunali di Novara, Cameri e S. Pietro Mosezzo.

Le ipotesi e le ricostruzioni proposte nella presente relazione e negli elaborati grafici emessi contestualmente ad essa, si basano su tutti i rilievi di sito e di laboratorio nonché sugli studi specialistici di dettaglio eseguiti e sui dati di letteratura scientifica reperiti per l'area. A seguito di ciò lo studio è quindi stato aggiornato coerentemente con il quadro precedentemente ricostruito nel progetto definitivo e mantenendone i suoi contenuti.

Le attività di studio sono state articolate secondo lo schema seguente:

- inquadramento e caratterizzazione geologica e geomorfologica, eseguita lungo una fascia di ampiezza 1 km a cavallo del tracciato di progetto. Tale attività è stata svolta sia attraverso un'attenta ricerca bibliografica e dati pregressi, sia mediante il rilevamento di campagna, le analisi delle risultanze delle indagini geognostiche e l'analisi stereoscopica delle foto aeree disponibili per l'area. Il tracciato stradale è stato quindi descritto per ambiti omogenei di inquadramento geologico e morfologico, con l'identificazione delle principali criticità in funzione delle interferenze con le opere in progetto;
- inquadramento idrogeologico generale dell'area di studio esteso ad una fascia larga circa 1.0 km, comprendente il censimento ed il monitoraggio dei punti d'acqua ispezionabili in sito, la definizione dei complessi idrogeologici sulla base delle proprietà idrauliche dei terreni, la ricostruzione delle isopiezometriche e delle direzioni di deflusso delle acque sotterranee, la definizione delle criticità degli acquiferi in relazione agli interventi previsti.

La restituzione grafica del lavoro è consistita in:

- elaborati planimetrici in scala 1:2.000: carta di ubicazione delle indagini geognostiche; carta geologica; carta geomorfologica e carta idrogeologica;
- elaborati planimetrici di dettaglio in scala 1:1.000: carta geologica;
- profilo longitudinale geologico in scala 1:1.000/100, realizzato per l'intera tratta di progetto in corrispondenza dell'asse di progetto;
- Profili geologici in corrispondenza delle opere d'arte maggiore in scala 1:1.000:
 - Viadotto su SS32 e canale Regina Elena
 - Viadotto T. Terdoppio
 - Viadotto su F.S. Alessandria – Arona
 - Viadotto su F.S. Novara – Domodossola e sulla SS229
 - Viadotto su Roggia Mora, T. Agogna e linea F.S. Vignale - Varrallo
- Sezioni geologiche in scala 1:500 in corrispondenza delle aree più significative.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata predisposta in conformità alle regole e norme tecniche stabilite dalla normativa vigente in materia di progettazione e realizzazione di opere pubbliche (NTC 2018), tenendo anche conto di quanto previsto dal DPR n. 207/2010.

- D.M. LL. PP. 11-03-1988 (G.U. 1-6-1988, n.127 suppl.) - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”. Coordinato con la Circ. Min. LL.PP. 24-09-1988 n.30483 (P.C.S. - Servizio Tecnico Centrale) - “Legge 2 febbraio 1974 n.64, art.1 - D.M. 11 marzo 1988 Istruzioni per l'applicazione”.
- Decreto Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n.42 - S.O. n.8, entrata in vigore il 15 marzo 2018) - “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- D.P.R. 05/10/2010 n.207 Regolamento di esecuzione e attuazione del D.Leg.vo 12/04/2006 n.163. “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”.
- O.P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274 (G.U. n.105 del 8-5-2003) - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.

3 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA E TIPOLOGIA DELL'OPERA IN PROGETTO

3.1 Inquadramento territoriale

Il progetto di completamento e ottimizzazione della Torino – Milano con la viabilità' locale mediante interconnessione tra la S.S. 32 Ticinese e la S.P. 299 tangenziale di Novara. Lotto 0 e Lotto 1, complessivamente pari a 5+025 km, si sviluppa interamente nella provincia di Novara ed interessa i comuni di Novara, Cameri e per un limitato tratto quello di S. Pietro Mosezzo.

Il tratto di strada in progetto costituisce la prosecuzione dell'esistente tangenziale di Novara, dall'attuale innesto alla S.S. 32 Ticinese sino alla S.P. 299 della Valsesia.

Il tracciato, con direzione circa Est-Ovest, poco a nord del centro urbano di Novara, attraversa una fascia di territorio delimitata ad ovest dal Torrente Agogna, ad est dal Torrente Terdoppio, a nord e a sud rispettivamente dagli abitati di Caltignaga e Vignale in un contesto morfologico di pianura e ad una quota media di circa 160 - 170 metri s.l.m.

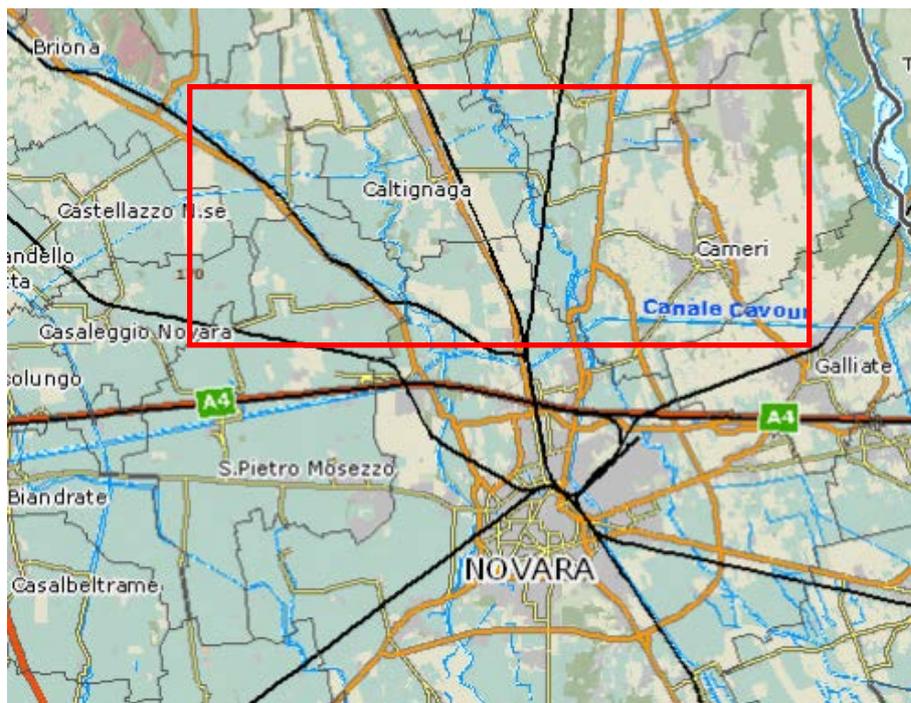


Fig.1 - Localizzazione dell'area oggetto di studio (in rosso) da Geoportale Piemonte

I corsi d'acqua con cui il tracciato interferisce sono i torrenti Terdoppio e Agogna, rispettivamente nel suo tratto iniziale e finale ed i canali Regina Elena e Roggia Mora la cui direzione di scorrimento è perpendicolare all'opera in progetto.

Il tracciato scorre in ambienti poco urbanizzati e in prevalenza rurali. Tale vocazione agricola è stata confermata anche per il passato a partire dal 1954, attraverso la visione delle foto aeree corrispondenti al volo (Base) IGMI del 1955 in scala 1:33.000 circa (strisciata 4a fotogrammi 3240, 3241 e 3242).

3.2 Inquadramento progettuale

L'intervento ha per oggetto il completamento e l'ottimizzazione della Torino Milano con la viabilità locale mediante interconnessione tra la S.S. 32 e la S.P. 299. Nel progetto sono stati seguiti i dettami del D.M. 5/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" che classificano l'arteria stradale in esame come una Categoria B - strada extraurbana principale.

Il tracciato in progetto si connette al tronco esistente della Tangenziale di Novara che attualmente svincola sulla S.S. 32 "Ticinese" in corrispondenza della Sezione distaccata dell'Anas ubicata a Nord dell'abitato di Cameri.

Lungo il suo sviluppo si riscontrano molteplici infrastrutture viarie presenti sia stradali che ferroviarie:

- la S.S. 32 "Ticinese", posta al termine dell'esistente lotto;
- la linea ferroviaria Alessandria - Arona;
- la linea ferroviaria Novara – Domodossola;
- la S.P. 229;
- la linea ferroviaria Vignale – Varallo;
- la S.P. 299 "della Valsesia".

Il tracciato stradale in progetto attraversa inoltre i seguenti corsi d'acqua e canali mediante viadotti, ponti, ponticelli e scatolari:

- Torrente Terdoppio,
- Torrente Agogna,
- Torrente Roggia Mora
- Canale Regina Elena
- Oltre ad una serie di reti e canali irrigui minori.

Sono previsti due svincoli in progetto e presentano la stessa impostazione tipologica con il raccordo tra l'asse principale e la sottostante strada statale a mezzo di rampe che confluiscono su una rotatoria. Essi sono posizionati rispettivamente:

- Svincolo S.P. 229
- Svincolo S.P. 299

Per lo svincolo esistente posto ad inizio tracciato, Svincolo S.S. 32, è prevista la semplice connessione al tratto di nuova realizzazione essendo già state realizzate le rampe ed i collegamenti alla S.S. 32.

4 GEOLOGIA

4.1 Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico, sul settore e più in generale sulla porzione di pianura novarese compresa tra i fiumi Sesia e Ticino, si distribuiscono in affioramento depositi fluviali - fluvioglaciali del Wurm (Pleistocene superiore) e, in asse ai corsi d'acqua principali, depositi alluvionali recenti ed attuali. Tali depositi ricoprono un substrato Pliocenico di facies marina, costituito da sedimenti argilloso-sabbiosi debolmente cementati, che affiorano molto più a Nord di Cameri, all'altezza dei primi rilievi collinari (Cavallirio).

I sedimenti di ambiente continentale più antichi sono relativi al Villafranchiano inferiore e risultano costituiti da alternanze di alluvioni ciottoloso-ghiaiose rugginose e di sabbie giallastre talora argillose con rari e locali livelli lignitico-torbosi di circa 1 m di spessore: questi depositi si rinvencono presso la località Castelnovate (sulla sponda lombarda del F. Ticino, all'altezza di Oleggio). I depositi del Villafranchiano superiore sono formati da alluvioni ciottolose grossolane, intensamente pedogenizzate, per uno spessore pari a circa 4 m, che affiorano alla base dei terrazzi lungo il Ticino.

Le fasi glaciali del periodo Pleistocenico, separate da periodi interglaciali hanno contribuito non solo alla deposizione dei sedimenti tipicamente glaciali e fluvioglaciali, ma anche al modellamento morfologico del territorio, legato al continuo alternarsi di fenomeni di accumulo e di erosione.

A partire dal tardo Pliocene - inizio Pleistocene (Villafranchiano) sino alla fine del Pleistocene inferiore si è avuto un continuo accumulo di sedimenti, senza che si siano verificati prolungati periodi di erosione. Questi ultimi si manifestano tra il Pleistocene inferiore e quello medio (periodo interglaciale), a seguito di una forte variazione climatica, con abbassamento del livello di base dei corsi d'acqua, dando luogo ad incisioni che raggiungono in alcune zone i 30-40 m.

La deposizione di nuovi sedimenti riprende con le avanzate glaciali del Pleistocene medio che portò alla costituzione di una pianura, successivamente erosa durante l'interglaciale del Pleistocene medio-superiore.

L'incisione originatasi durante le fasi interglaciali del Pleistocene medio-superiore, con una escavazione pari a circa 100 m, viene successivamente colmata, in più periodi, corrispondenti ad altrettante avanzate glaciali minori, attribuibili tutte comunque nel Pleistocene superiore.

I sedimenti depositi sono rappresentati da alluvioni fluvioglaciali ghiaioso-ciottolose e da alluvioni fluviali prevalentemente sabbioso-limose (indicate con la sigla "FG^W" del Würm), distinte da quelle fluvioglaciali precedenti (contraddistinte come FG^{WR} del Riss-Würm), costituite da ghiaie, localmente grossolane con un ridotto paleosuolo argilloso.

L'origine dei depositi wurmiani è infatti legata alle fasi di espansione glaciale protrattesi sino al pleistocene superiore ed in particolare all'attività deposizionale operata dai corsi d'acqua formati a seguito dello scioglimento del fronte glaciale nel settore di raccordo con la fascia propriamente di pianura.

A chiudere la serie stratigrafica si ritrovano i depositi alluvionali Olocenici attuali e recenti, che costituiscono la fascia di transazione tra gli alvei dei corsi d'acqua principali e i depositi fluvioglaciali del tardo Pleistocene.

Si tratta dei depositi alluvionali dei torrenti Terdoppio e Agogna (indicate con la sigla AL), costituite prevalentemente da ghiaie sabbiose e limi sabbiosi, con andamento delle alternanze disordinato, discontinuo ed eteropico.

4.2 Inquadramento strutturale

Le strutture della regione si possono genericamente ricondurre alla struttura tettonica del Monferrato, con motivi sinclinali ed anticlinali e con assi circa paralleli. Tali forme strutturali si sarebbero originate in una fase tettonica avvenuta alla fine del Miocene superiore.

La tettonica delle più recenti formazioni plioceniche si presenta molto blanda, con pieghe a vasto raggio di curvatura, che sembrano talvolta distribuite in aree distinte fra loro e chiaramente rispondenti ad antichi bacini di sedimentazione interdipendenti, ma facenti parte di un unico grande bacino mio-pliocenico Astigiano-Alessandrino di cui la zona rappresentava una stretta ansa settentrionale. I sedimenti pliocenici, generalmente orizzontali, ma talvolta anche variamente inclinati, sembrano essere stati interessati da movimenti tettonici che, seppure coevi, rivelano una genesi distinta, probabilmente legata in parte alla ripresa delle dislocazioni del Monferrato e in parte a movimenti molto estesi agenti su tutto il bacino terziario piemontese.

4.3 Successione stratigrafica dell'area di studio

La serie stratigrafica di riferimento dell'area, in ordine cronologico dai termini più recenti ai più antichi ed in successione stratigrafica normale dall'alto verso il basso, è così schematizzabile:

- Depositi alluvionali olocenici (AL) dei torrenti Terdoppio e Agogna, costituite da ghiaie sabbiose e limi sabbiosi con giacitura eteropica.

- Alluvioni fluvioglaciali e fluviali del Pleistocene superiore (FG^W) costituite da sabbie e ghiaie mal classate e discretamente arrotondate e poco alterate con clasti di dimensione centimetrica con colore variabile dal grigio al marrone al giallo. Sono state riconosciute le seguenti facies, distinte e riportate nei profili/sezioni geologiche:
 - Limi sabbiosi con rara ghiaia di colore grigio marrone rossastro **FG^W(1)**;
 - Argille limose consistenti di colore da grigio-ocraceo a marrone-rossastro **FG^W(2)**;
 - Limi sabbiosi di colore da nocciola-verdastro a rossastro **FG^W(3)**;

- Sabbie medio-fini limose e con rara ghiaia (max 2-3 cm), micacee, da mediamente addensate ad addensate e di colore oca **FG^W(4)**;
 - Sabbie medio-grossolane con ghiaia (max 8 cm) poligenica, di natura cristallina e metamorfica, da mediamente addensate a molto addensate, di colore da marrone chiaro giallastro a marrone rossastro **FG^W(5)**;
 - Ghiaie sabbiose (max 8 cm) con clasti subarrotondati e poligenici (natura cristallina e metamorfica), da mediamente addensate a molto addensate, di colore marrone-nocciola-grigiastro **FG^W(6)**.
- Alluvioni fluvioglaciali del Pleistocene medio-superiore (**FG^{WR}**) Alluvioni fluvioglaciali costituite da ghiaie e sabbie alterate con lenti intercalate limoso argillose, con paleosuolo argillificato giallo-rossiccio. Colore rossastro. Sono state riconosciute le seguenti facies, distinte e riportate nei profili/sezioni geologiche:
 - Sabbie medio fini limose di colore nocciola oca da mediamente addensate ad addensate **FG^{WR}(1)**;
 - Limi sabbiosi di colore da nocciola-oca a rossastro, a luoghi con screziature varicolori **FG^{WR}(2)**.

Di seguito si riporta la tabella comparativa tra le formazioni geologiche, distinte in diverse facies, riconosciute nel progetto esecutivo e la classificazione USCS del terreno adottata nel progetto definitivo. Come si può osservare, le indagini integrative hanno evidenziato alcune litozone e corrispondenti terreni che precedentemente non erano presenti:

<i>Tabella comparativa tra formazioni geologiche e classificazione USCS</i>		
	<i>Litozona</i>	<i>Classificazione USCS</i>
AL	1	GW-GM-SM
FG ^W (1)	Non definita	Non definita
FG ^W (2)	Non definita	Non definita
FG ^W (3)	3	SM-ML
FG ^W (4)	2	SW-SM
FG ^W (5)		SW-SM
FG ^W (6)	1	GW-GM-SM
FG ^{WR} (1)	2	SW-SM
FG ^{WR} (2)	2 e 3	SM-ML e ML-CL

5 GEOMORFOLOGIA

Morfologicamente l'area fa parte della pianura padana e più precisamente del settore di pianura novarese, delimitato a nord dai rilievi alpini, a sud dalle colline del Monferrato, ad ovest dal F. Sesia, a est dal F. Ticino (fig.2).

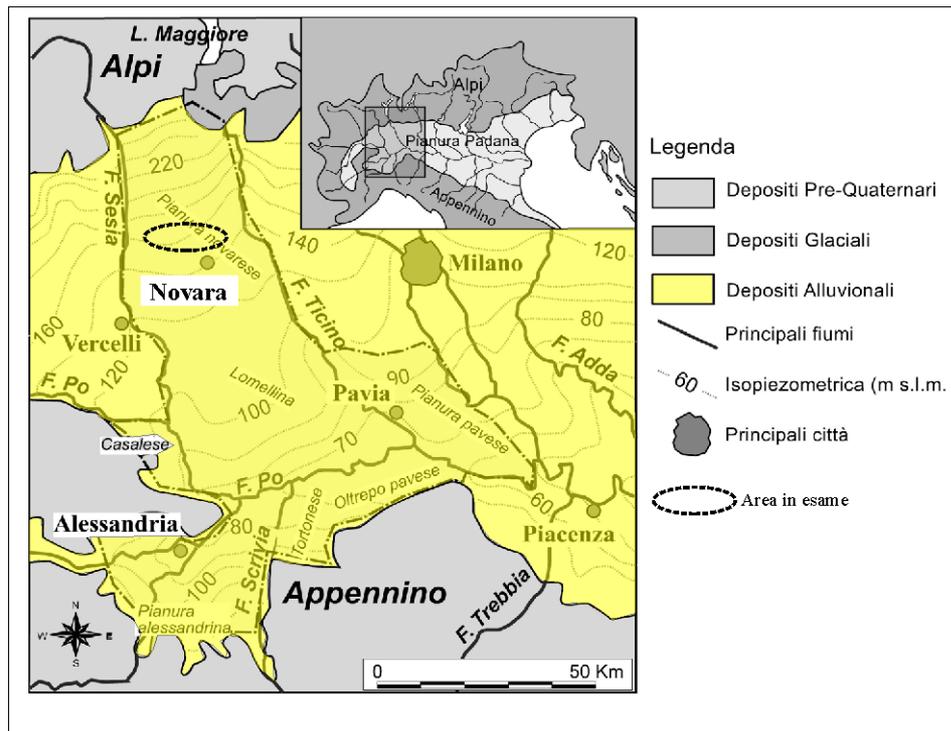


Fig.2 - Assetto morfologico schematico della pianura padana

La conformazione del territorio è pertanto caratterizzata da condizioni pianeggianti (quote comprese tra 160 –170 m s.l.m); unici elementi morfologici di variazione della monotonia del paesaggio sono rappresentati:

- dalle incisioni dei due corsi d'acqua principali che attraversano la zona (T. Agogna ad ovest e T. Terdoppio ad est);
- dai fontanili e dalle aree ad essi pertinenti;
- dall'"alto morfologico" su cui sono impostati parte degli abitati di Novara e Vespolate.

5.1 Compatibilità geomorfologica dell'opera in progetto. Verifica del PAI

Relativamente agli aspetti connessi alla difesa del suolo, l'area interessata dalle opere in progetto ricade nell'ambito territoriale di competenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Per il rischio frana, in ragione della situazione morfologica di pianura, nel territorio in studio, non risultano esserci aree con tale criticità.

5.2 Morfologia dell'area in studio

Lo studio geomorfologico è avvenuto sia tramite fotointerpretazione, con la visione anche di voli storici e comunque a partire dal volo base IGMI (1955), sia mediante successiva verifica in sito delle forme identificate e sia mediante gli abbondanti dati bibliografici esistenti (piani regolatori e varianti dei comuni di Cameri e Novara) per l'area interessata dalla progettazione.

I risultati dello studio sono sintetizzati nella carta geomorfologica di progetto, redatta in scala 1:2.000, nella quale sono riportati tutti gli elementi legati alla rielaborazione geomorfologica del territorio ed i punti di verifica eseguiti in sito.

Le forme sono state classificate sulla base dell'agente morfologico dominante che, visto il contesto, è quello legato ai processi fluviali a carico dei torrenti Agogna e Terdoppio.

Nell'ambito della dinamica fluviale, sono state riportate le tracce di corsi d'acqua estinti, paleoalvei ed i canali di deflusso abbandonati, individuati sia lungo l'asta del T. Terdoppio e sia del T. Agogna.

E' possibile infatti osservare come per il primo, le tracce dei paleoalvei siano blande evidenze localizzate in sponda idrografica destra, mentre per il T. Agogna le stesse risultano più marcate e di dimensioni ragguardevoli, legate alla migrazione dell'alveo e comunque proporzionali al corso d'acqua in questione.

Sono inoltre riportati, limitatamente al T. Agogna, i canali di rotta fluviale che si sono verificati durante l'evento alluvionale del maggio 2002, così come documentati negli elaborati geologici del PRGC di Novara (novembre 2003) e ubicati al margine dell'area in studio.

Indicazioni desunte dallo stesso evento alluvionale, sono anche le aree agricole allagate dalla rete idrografica minore e localmente da quella maggiore presenti principalmente nel settore centrale della zona in studio da circa il km 2+500 al km 3+600.

Nella carta morfologica sono stati riportati inoltre tutti gli elementi di origine antropica come aree urbanizzate, i rilevati e gli argini.

Il territorio in studio ha una vocazione prevalentemente agricola, anche se non mancano gli insediamenti civili-rurali, ubicati nei dintorni del tracciato come alcune cascine (Argine, Isarno, Asilo Rurale, Mirabella ecc.) e l'Istituto Agrario "G. Bonfantini" localizzato nella parte centrale del tracciato.

Quindi le forme derivanti dalla trasformazione del paesaggio naturale a seguito dell'attività umana, storica e recente appaiono comunque limitate e connesse all'attività agricola delle risaie.

6 IDROGEOLOGIA

Secondo la tradizionale e comprovata ricostruzione del modello idrogeologico del territorio piemontese, ampiamente descritta in letteratura di settore, l'assetto idrogeologico della bassa pianura novarese è contraddistinto dallo sviluppo di un primo orizzonte di depositi fluviali e fluvioglaciali quaternari di età olocenica e pleistocenica ("Serie dei depositi continentali"), potente alcune decine di metri (30-40m), a permeabilità medio elevata ed ospitante la falda freatica, delimitato inferiormente dalla "Serie dei depositi di transizione villafranchiani", di età pliocenica e pleistocenica inferiore, sede di un sistema acquifero multi-falda da cui attingono la maggior parte dei pozzi idropotabili della zona.

Più dettagliatamente la successione idrogeologica e la configurazione degli acquiferi, limitatamente alla porzione di pianura d'interesse, in senso cronologico dal complesso idrogeologico più recente al più antico e stratigraficamente dall'alto verso il basso, è così schematizzabile:

- "Complesso dei depositi fluviali olocenici" - C(F) Corrisponde ai depositi alluvionali attuali e recenti, che si distribuiscono in corrispondenza e lungo le fasce dei T. Agogna e Terdoppio, con litofacies dominante rappresentata da ghiaie ciottolose sabbiose, a permeabilità per porosità medio elevata ($K > 10^{-2}$ m/s). Sono sede di una falda libera attestata a debole profondità e strettamente relazionata con il regime idrometrico del reticolo idrografico.
- "Complesso dei depositi fluviali e fluvioglaciali" - C(FG) Depositi alluvionali e fluvioglaciali pleistocenici formati da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, cui si intervallano sporadici livelli limosi dotati di permeabilità (desunta da prove Lefranc eseguite nei sondaggi SE_2 e SE_12) per porosità da media a medio - elevata (10^{-3} m/s $> K > 10^{-4}$ m/s). Sono sede di una falda libera superficiale i cui valori di soggiacenza sono variabili da - 4.0/5.0 m a - 2.0 dal p.c. in ragione dello specifico andamento morfologico.
- "Serie dei depositi di transizione villafranchiani" Depositi di ambiente lacustre o di laguna costiera, contraddistinti da ripetute alternanze di livelli di limi argillosi di colore grigio azzurro con orizzonti lenticolari di sabbie gialle e lenti di ghiaie. Costituiscono un acquifero in cui sono ospitate falde confinate ed in pressione a cui attingono la maggior parte dei pozzi ad uso idropotabile.

Da quanto sopra, la struttura idrogeologica configura due comparti acquiferi principali:

- *Acquifero superficiale*, con spessore dell'ordine di 20/40 m, è sede dell'acquifero libero.
- *Acquifero profondo*, caratterizzato da falde confinate e semiconfinate.

Sezione Idrogeologica nella Pianura Novarese

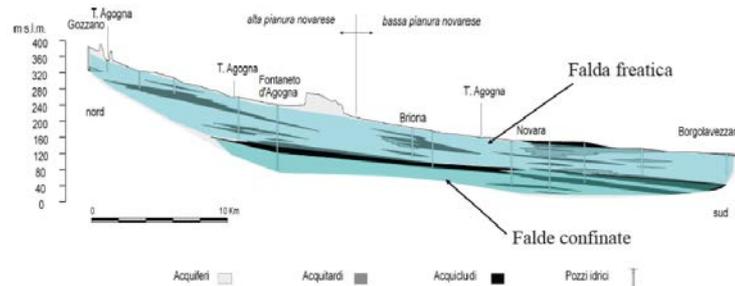


Fig.3 - Rappresentazione schematica dell'assetto idrogeologico

Per quanto riguarda l'acquifero superficiale, sulla base dei dati di profondità acquisiti (in particolare carta delle isofreatiche da: Direzione Pianificazione Risorse Idriche – Regione Piemonte), delle misure freaticometriche in corrispondenza di pozzi idrici censiti e dei piezometri con cui sono stati attrezzati i sondaggi di progetto (campagne geognostiche 2009 e 2010, nonché quella di gennaio-febbraio 2018), viene confermato che la falda libera nella zona del tracciato si attesta a profondità sostanzialmente ridotte comprese tra - 1.0 m e - 4.0 m dal p.c., così come documentata nella carta idrogeologica redatta in scala 1:2.000. La distribuzione di valori di soggiacenza sopra elencati individua una superficie freatica configurata sostanzialmente in modo del tutto simile a quella rappresentata nella “Carta delle isofreatiche- Direzione Risorse Idriche Regione Piemonte” di seguito riportata e comunque a grande scala rispetto a quella di progetto.

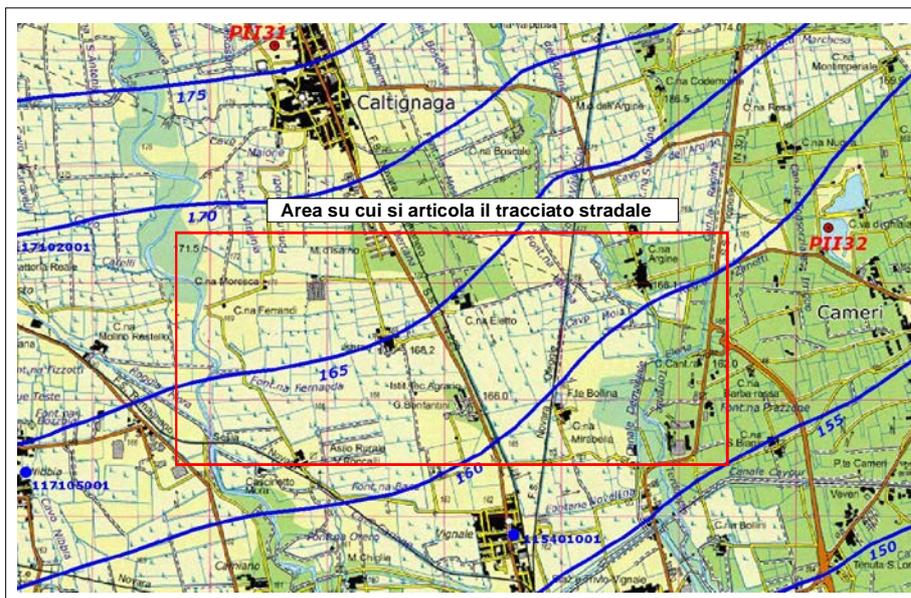


Fig.4 - Carta schematica delle isofreatiche del settore di pianura a nord di Novara

Il regime delle variazioni stagionali del livello della falda freatica nella zona, è strettamente relazionato all'attività irrigua ed in particolare alla pratica agricola di sommersione delle risaie durante Marzo - Agosto. I dati forniti dai piezometri di Cameri e di Caltignaga, monitorati da anni dalla *Direzione Risorse Idriche* della Regione Piemonte e pertanto riguardanti periodi molto lunghi di misurazioni, indicano un massimo estivo del livello piezometrico (soggiacenza a -1/-3 m dal p.c.) ed un minimo primaverile (- 2/ - 5 m).

La sua direzione di flusso è orientata NNW-SSE ed il relativo gradiente idraulico è dell'ordine di 0,38%. I torrenti Agogna e Terdoppio esercitano, in condizioni normali, un'azione prevalentemente drenante, particolarmente accentuata da parte del Terdoppio nel settore a Nord di Novara. Strettamente legati all'assetto idrogeologico della zona ed in particolare alla circolazione della falda libera, sono la frequenza e la distribuzione dei "fontanili" (Fig.5); questi ultimi infatti, presenti sul territorio in numero rilevante, sono indice di condizioni d'estrema superficialità della falda. Come ben evidente nella figura di seguito riportata, sono ubicati più a sud dell'aere in studio e pertanto il tracciato non interferisce con tale criticità idrogeologica, come anche evidenziato dalle misure piezometriche eseguite.

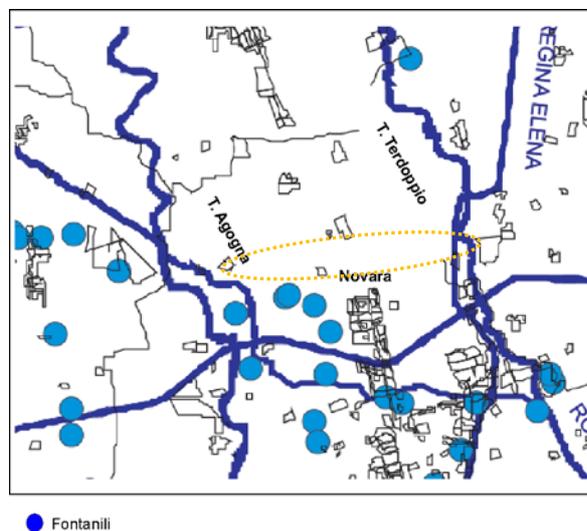


Fig.5 - Stralcio della carta del reticolato idrografico e dei fontanili
 (da: Piano per le attività estrattive provinciali)

6.1 Vulnerabilità dell'acquifero superficiale

Secondo quanto indicato sulla "*Carta della vulnerabilità intrinseca G.O.D. (Groundwater Confinement, Overlaying Strata, Depth to groundwater table)*" il cui stralcio è riportato in fig. 6 (da: "Idrogeologia della pianura padana"- Direzione Pianificazione Risorse Idriche – Regione Piemonte - Marzo 2000) l'acquifero superficiale su cui si articola il tracciato stradale e più in generale l'area ad esso circostante, rientra nelle classe di vulnerabilità "Alta" cui corrisponde un indice di vulnerabilità "I" compreso tra 0.5 e 0.7.

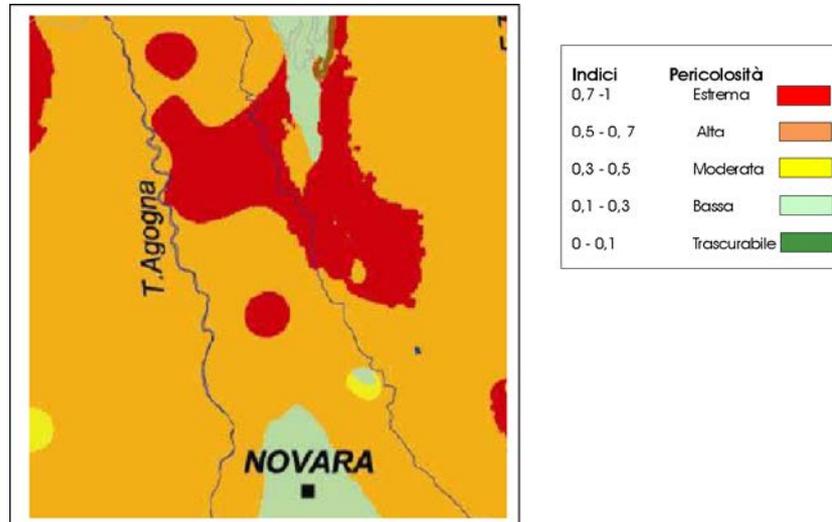


Fig.6 - Stralcio della Carta delle vulnerabilità dell'acquifero superficiale.

6.2 Monitoraggio piezometrico

E' stato eseguito il monitoraggio della falda relativamente a tutta la strumentazione piezometrica installata e relativa sia alla progettazione preliminare e definitiva (2009-2010), fatta eccezione per quella andata distrutta, che esecutiva (2018) nonché alcuni pozzi individuati sul territorio in una fascia di 1.000 metri a cavallo del tracciato stradale.

Le misurazioni di falda sono riportate nella carta idrogeologica, in m s.l.m. e sono state utilizzate per la ricostruzione dell'andamento delle curve isopiezometriche di dettaglio, alla scala di 1:2.000.

I risultati del monitoraggio piezometrico, eseguito nei giorni 14 e 15 febbraio 2018, alla fine della campagna di indagine geognostica, nei 3 pozzi e nei 7 piezometri di progetto (n.2 del progetto definitivo e n.5 del progetto esecutivo), sono visibili nella tabella di seguito riportata.

Le letture piezometriche sono anche indicate nel profilo geologico in corrispondenza di ciascun sondaggio e sono state utilizzate per la ricostruzione del livello di falda.

Da quanto osservato in campagna e quanto ricostruito, emerge che il livello piezometrico risulta più superficiale (a circa 2.50 m dal p.c.), nel tratto finale, a partire dal km 3+600.

Si precisa che i valori piezometrici misurati potrebbero subire delle variazioni stagionali, trattandosi di una falda estremamente superficiale e che quindi risente delle precipitazioni nonché delle attività agricole delle risaie; al momento, la mancanza di un monitoraggio annuale, non permette di apprezzare l'entità dell'escursione di dettaglio e quindi si deve fare riferimento a dati bibliografici della Regione Piemonte, precedentemente riportati che indicano una soggiacenza variabile tra 1 e 5 metri, con valori minimi nel periodo estivo a causa dell'attività antropica.

Pozzo per acqua	Livello progettazione	N° Sond.	Tipo strumentazione	Livello di falda 2009 [m da p.c.]	Livello di falda 2010 [m da p.c.]	Livello di falda 2018 [m da p.c.]	
			Tubo aperto (tratto fessurato)				
	Preliminare	S2	2.0 – 20.0	ND	2.20	5.14	
		S5	2.0 – 20.0	ND	2.30	3.77	
	Definitivo	S1B	2.0 – 20.0	---	0.80	DISTUTTO	
		S3B	2.0 – 20.0	---	3.92	DISTUTTO	
	Esecutivo	SE_2	3.0 – 30.0	--	--	4.07	
		SE_5	3.0 – 20.0	--	--	2.77	
		SE_8	3.0 – 25.0	--	--	3.35	
		SE_10	3.0 – 20.0	--	--	2.50	
		SE_12	3.0 – 30.0	--	--	2.41	
	Cascina Mirabella				--	--	3.20
	Cascina Eletto Lualdi				--	--	3.50
	Cascina Asilo Roncalli				--	--	4.75

7 SISMICITA'

I territori comunali di Novara, Cameri e San Pietro Mosezzo rientrano in Zona 4 pericolosità sismica molto bassa (non sismici nelle precedenti normative) con valori di $a_g \leq 0.05$, della “Nuova Classificazione Sismica” del territorio nazionale introdotta dall'OPCM n.3274 del 20 marzo 2003.

7.1 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Tale classe di pericolosità è confermata dalla più recente classificazione sismica emanata dalla Regione Piemonte con D.G.R. n. 11-13058 del 19.01.2010 (B.U.R.P. n. 7 del 18.02.2010) “Aggiornamento e adeguamento dell’elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)”, di cui la figura seguente riporta l’allegato cartografico e, in stralcio, un dettaglio riferito ai comuni interessati dall’opera in oggetto.

La pericolosità sismica è da intendersi come “*grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l’insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane*”. L’analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi: la definizione della *pericolosità sismica di base*, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche; l’analisi della *pericolosità locale*, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

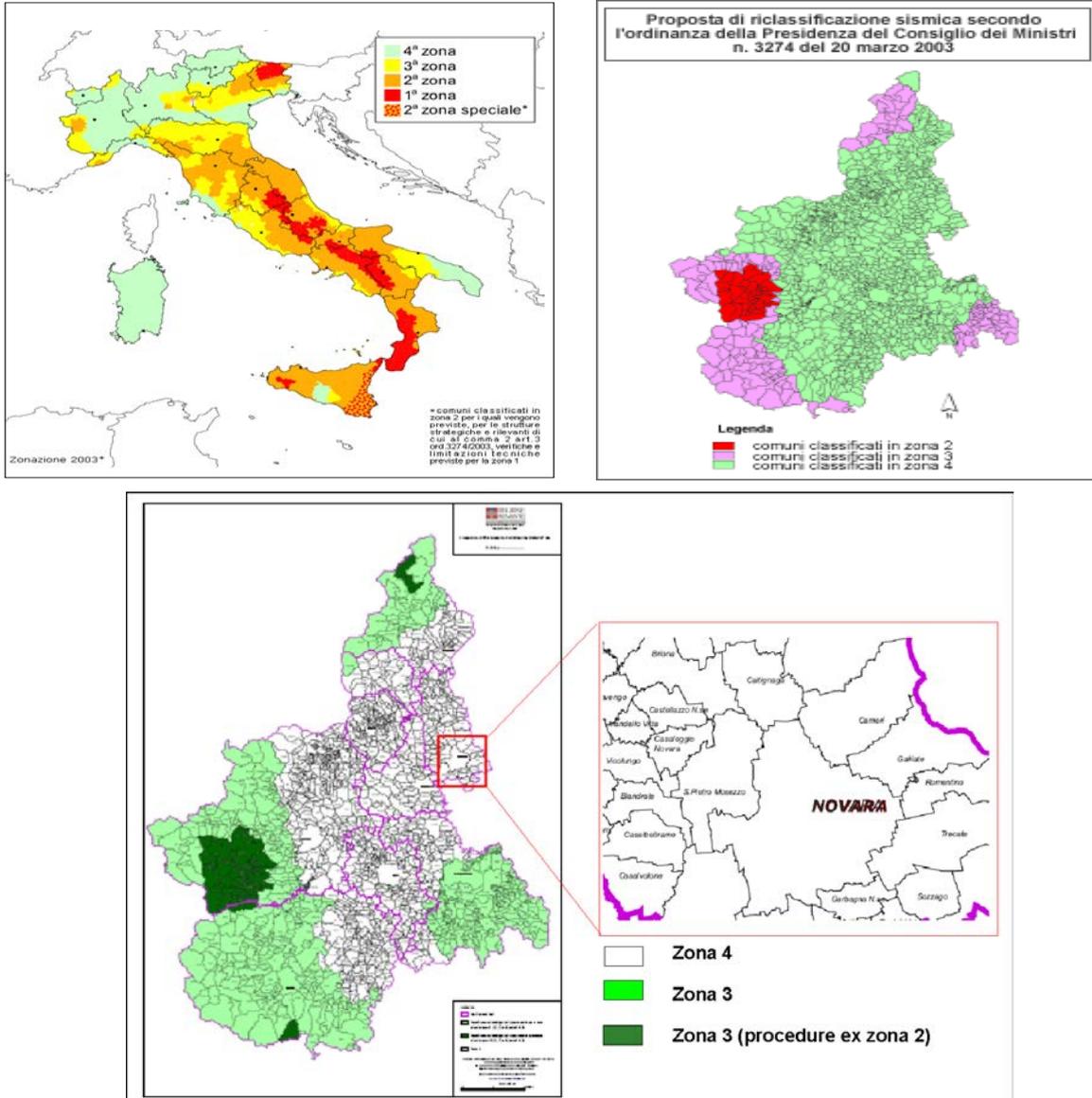


Fig.6 – Pericolosità sismica dell’area in studio

L’intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell’accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall’INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall’OPCM 3519/06 di seguito riportate.

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITA' DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Fig.7 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all’accelerazione di picco su terreno rigido

Nell'ambito del presente progetto l'azione sismica è definita attraverso l'accelerazione massima attesa in superficie ed i relativi spettri di risposta. Trattandosi di sito in Zona 4, la componente verticale dell'azione sismica è trascurata. Le due componenti orizzontali indipendenti che descrivono il moto sismico sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. Secondo la procedura prevista dalle NTC18 la stima dei parametri spettrali necessari per il calcolo dell'azione sismica di progetto deve essere effettuata secondo l'approccio "sito dipendente".

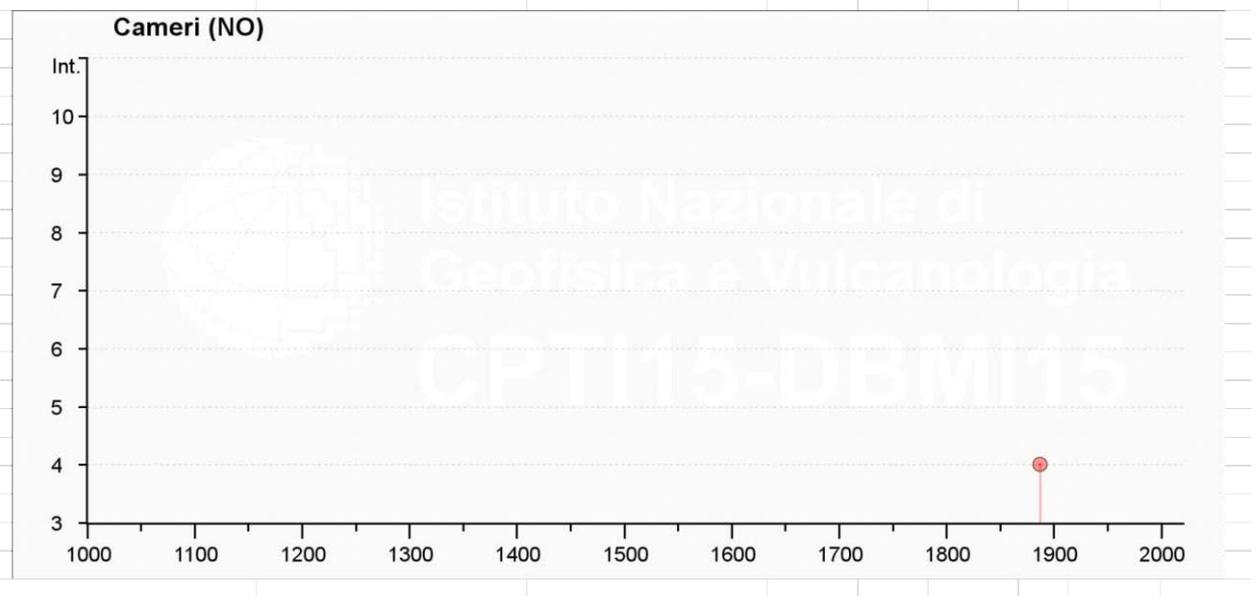
Per maggior approfondimenti si rimanda comunque agli elaborati di progetto specifici.

7.2 Sismicità storica

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato vengono di seguito esaminati i dati riportati nel data base DBMI15 (database macrosismico italiano dal 1000 al 2014) dell'INGV, disponibile per i comuni di Cameri, Caltignaga e Novara in cui l'opera in progetto ricade; per il comune di San Pietro Mosezzo, non risultano eventi.

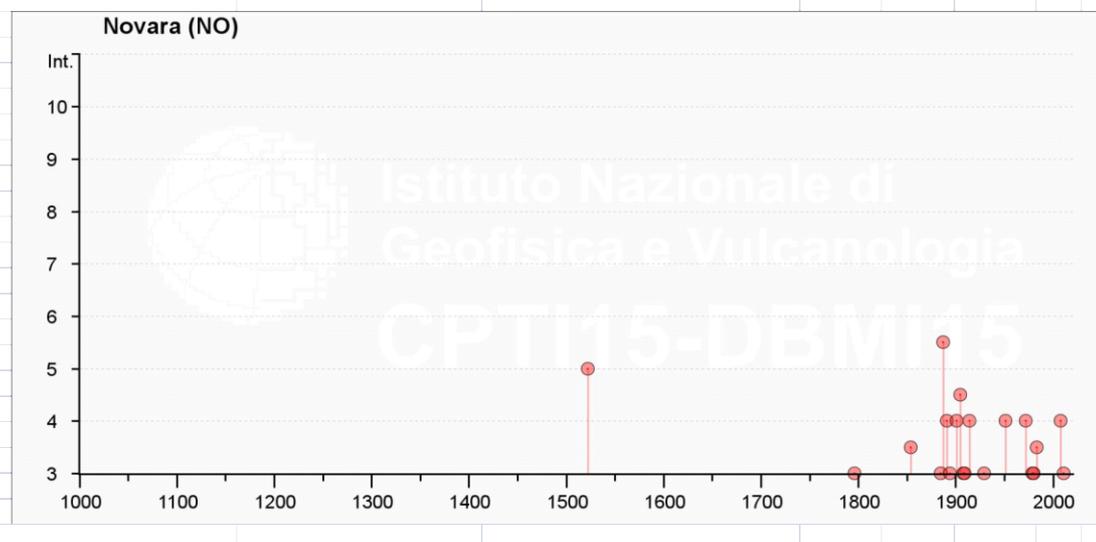
OSSERVAZIONI SISMICHE (1) DISPONIBILI PER CAMERI:

Seismic history of	Cameri									
PlaceID	IT_04025									
Coordinates (lat, lon)	45.501, 8.662									
Municipality (ISTAT 2015)	Cameri									
Province	Novara									
Region	Piemonte									
No. of reported earthquakes	1									
Intensity	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	N	Io	Mw
4	1887	02	23	05	21	50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27



OSSERVAZIONI SISMICHE (26) DISPONIBILI PER NOVARA:

Seismic history of	Novara				
PlaceID	IT_04477				(Io) intensità epicentrale
Coordinates (lat, lon)	45.447, 8.622				(Mw) magnitudo momento
Municipality (ISTAT 2015)	Novara				(N) numero data points
Province	Novara				
Region	Piemonte				
No. of reported earthquakes	26				
Intensity	Year Mo Da Ho MI Se	Epicentral area	N	Io	Mw
5	1522 10 05 00 10	Pianura Padana	6	5	4,71
3	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5,45
3-4	1854 12 29 01 45	Liguria occidentale	86	7-8	5,72
3	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
5-6	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
4	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5,87
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4,89
4	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
4-5	1905 04 29 01 46 45.00	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5,1
3	1908 05 24 08 37	Piemonte centro-settentrionale	36	4	4,1
3	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
F	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5	4,57
F	1914 10 26 03 43 22.00	Torinese	63	7	5,24
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
F	1918 01 13 12	Pianura lombarda	24	4	4,62
3	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
2	1947 02 17 00 12 33.00	Alpi Cozie	283	5-6	4,74
4	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5,17
F	1969 10 09 03 31 36.00	Val di Susa	36	5	4,25
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
3	1979 02 09 14 44	Bergamasco	73	6	4,78
3	1980 01 05 14 32 26.00	Torinese	120	6-7	4,82
3-4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
2	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6	4,94
4	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4,79



7.3 Definizione dell'azione sismica di progetto

Nell'ambito del presente progetto l'azione sismica è definita attraverso l'accelerazione massima attesa in superficie ed i relativi spettri di risposta.

Trattandosi di sito in Zona 4, la componente verticale dell'azione sismica è trascurata. Le due componenti orizzontali indipendenti che descrivono il moto sismico sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. Secondo la normativa vigente la stima dei parametri spettrali necessari per il calcolo dell'azione sismica di progetto deve essere effettuata secondo l'approccio "sito dipendente". Più precisamente, i valori dei parametri spettrali a_g (accelerazione espressa in $g/10$ dove g è l'accelerazione di gravità), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), propri del sito in esame, vengono calcolati, mediante media pesata, a partire dai medesimi valori corrispondenti ai 4 punti del reticolo di riferimento delimitanti il sito in oggetto.

Amplificazione stratigrafica

L'amplificazione stratigrafica dipende dalla categoria del terreno di fondazione.

I risultati delle specifiche indagini geofisiche eseguite nel corso del Luglio 2010 (n°7 prospezioni di tipo MASW) e del 2018 (n°2 prospezioni di tipo CROSS-HOLE), mirate alla definizione della velocità delle onde di taglio V_s in corrispondenza delle aeree dove saranno realizzate le opere d'arte principali del tracciato stradale in progetto, hanno evidenziato profili di rigidità del terreno compresi tra la classe C e la B, come riassunto nel dettaglio della tabella seguente.

1. Categoria suolo	Caratteristiche	V_s 30(m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m</i>	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle v_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ KPa nei terreni a grana fina</i>	360-800

C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)</i>	180-360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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 V_{s30} inferiori a <180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)</i>	<180
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti su substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)</i>	-
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ KPa) che includono uno stato di almeno 8 metri di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3.0 m di torba o di argille altamente organiche</i>	<100
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti</i>	-

OPERA	PROGRESSIVE	PROVA	VELOCITA' ONDE DI TAGLIO VS 30	PROFILO DI SUOLO
PONTE SS N°32 TICINESE E CANALE ELENA	Km 0+348 circa	MASW 1	326 m/sec	C
VIADOTTO TERDOPPIO	Km 0+700 circa	MASW 2	256 m/sec	C
VIADOTTO FS ALESSANDRIA ARONA	Km 1+600 circa	MASW 3	336 m/sec	C
VIADOTTO SS 229 E LINEA FS NOVARA DOMODOSSOLA	Km 2+450 circa	MASW 4	294 m/sec	C
VIADOTTO ROGGIA MORA sponda sx	Km 4+300 circa	MASW 5	441 m/sec	B
VIADOTTO ROGGIA MORA sponda sx (pressi Roggia Mora)	Km 4+520 circa	MASW 6	410 m/sec	B
VIADOTTO ROGGIA MORA sponda Dx	Km 4+800 circa	MASW 7	352 m/sec	C al limite con B
VIADOTTO TERDOPPIO	Km 0+890 circa	Cross 1 SONDAGGIO (S3-S3bis)	403 m/sec	B
VIADOTTO NOVARA-DOMODOSSOLA	Km 2+415 circa	CH 2 SONDAGGIO (S7-S7bis)	401 m/sec	B

Tenuto conto dei risultati ottenuti ed operando a favore di sicurezza, tutte le opere sono state progettate per un'azione sismica corrispondente alla categoria C.

Amplificazione Topografica

Essendo l'ambito prettamente di pianura, sulla base delle Tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC qui di seguito riportate, la Categoria topografica associata all'opera in oggetto è la T1 ed il relativo coefficiente di amplificazione topografica è unitario ($S_T = 1$).

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Fattore di struttura

Tenuto conto delle disposizioni contenute al paragrafo 7.9.2.1 delle NTC in merito alla definizione del fattore di struttura q per ponti soggetti ad azione sismica, considerata la conformazione tipica delle opere d'arte in oggetto, che in direzione longitudinale oppongono al sisma una spalla rigida, ed in direzione trasversale gli offrono uno schema irregolare di spalle rigide e pile di rigidità variabile in parallelo (viadotto sul T. Agogna, viadotto sul T. Terdoppio) oppure ancora uno schema di spalle rigide ("strutture che si muovono col terreno" secondo la dicitura di Tab. 7.9.I delle NTC08), si adotta per la totalità delle opere d'arte in oggetto l'ipotesi di comportamento sismico "non dissipativo", trascurando dunque, a favore di sicurezza, un'eventuale riduzione di risposta sismica che derivasse alla struttura da

risorse anelastiche, e valutando pertanto gli spettri di progetto in funzione di un fattore di struttura q assunto unitario. Tale scelta progettuale equivale a richiedere che la struttura sotto sisma rimanga sostanzialmente in campo elastico, che lo spettro di progetto coincida con quello elastico (fatto salvo il rispetto del limite inferiore per lo spettro di progetto, $S_d(T) \geq 0.2a_g$), e che si possa derogare dal rispetto di quel complesso di regole che va sotto il nome di “gerarchia delle resistenze”. Ne consegue, ad esempio, che le sollecitazioni calcolate mediante analisi dinamica modale con spettro di risposta, debitamente combinate con quelle “non sismiche”, possono essere direttamente impiegate per le verifiche di sicurezza senza alcun ulteriore incremento.

Spettri di progetto

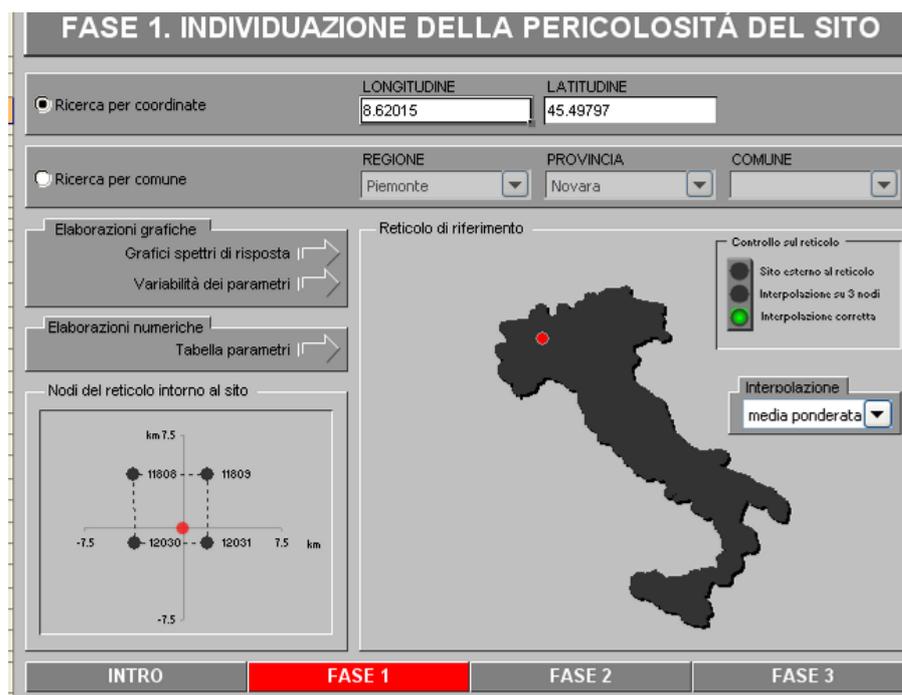
In base alle coordinate geografiche, al periodo di riferimento, alle categorie di suolo e topografiche ed al fattore di struttura, possono essere valutati i parametri sismici del sito e degli spettri di progetto corrispondenti a ciascuno stato limite.

Di seguito si riporta un esempio della valutazione dei parametri sismici e degli spettri di progetto, con riferimento, per semplicità, alle seguenti coordinate geografiche rappresentative dell’area.

Latitudine: $45^{\circ}29'52.69''$ N = 45.49797 N

Longitudine: $8^{\circ}37'12.55''$ E = 8.62015 E.

Si rimanda alle relazioni di calcolo delle singole opere per le specifiche a definizione di dettaglio dei parametri sismici e degli spettri di progetto.



FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 8.62015
 LATITUDINE: 45.49797

Ricerca per comune
 REGIONE: Piemonte
 PROVINCIA: Novara
 COMUNE: []

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta |>
 Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri |>

Nodi del reticolo intorno al sito
 km 7.5
 11808 11809
 -7.5 12030 12031 7.5 km
 -7.5

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione
 media ponderata

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_R info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

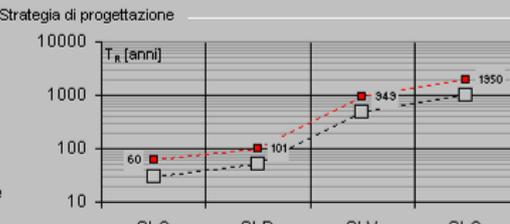
Stati limite ultimi - SLU {

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo info $S_B = 1.500$ $C_e = 1.563$ info

Categoria topografica info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) $\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 Regol. in altezza info

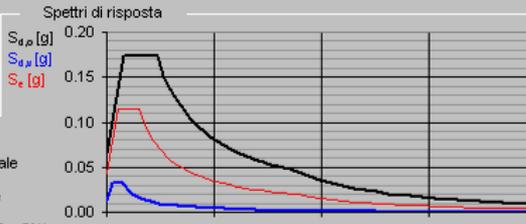
Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore q $\eta = 1.000$ info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Nella tabella che segue sono contenuti i valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.019	2.536	0.172
SLD	101	0.024	2.556	0.213
SLV	949	0.044	2.626	0.300
SLC	1950	0.051	2.707	0.319

Per maggiori dettagli si rimanda alla specifica relazione sismica, (elaborato T00_GE02_GEO_RE01_A) e alle singole relazioni di calcolo per la definizione degli spettri di risposta di progetto, adottati per ciascuna opera.

8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le zone interessate dalla progettazione sono state investigate, direttamente o indirettamente, attraverso diverse campagne di indagini geognostiche realizzate a supporto del progetto preliminare e definitivo (nel 2009 e 2010), nel 2015 in fase di gara, limitatamente alla caratterizzazione ambientale e prestazionale e nell'esecutivo (nel 2018) così come riportate, con colorazione diversa per ogni singola campagna, nella planimetria dell'ubicazione delle indagini, allegata al progetto unitamente ai dati stratigrafici e tecnici derivanti dalla documentazione geognostica e sintetizzati di seguito.

Vista la tipologia della progettazione e la sostanziale uniformità dei litotipi affioranti lungo gran parte del tracciato in esame, le indagini sono state concentrate prevalentemente in corrispondenza delle principali opere d'arte.

Oltre alle indagini in situ sono state eseguite anche prove di laboratorio sui campioni prelevati al fine di ottenere una caratterizzazione geotecnica comprendente prove fisiche e meccaniche.

8.1 Indagini bibliografiche

Le informazioni geognostiche bibliografiche reperite provengono da documentazione relative alle stratigrafie pozzi idrici (Pozzo n.9 Caltignaga e Pozzo 11 Novara-Vignale) e dati di profondità da documentazione acquisite da enti pubblici (PRGC di Novara, Cameri e San Pietro Mosezzo).

8.2 Indagini di progetto

Le indagini geognostiche eseguite per la redazione del progetto dei "lotti 0 e 1 della Tangenziale di Novara" ("Completamento ed ottimizzazione della Torino Milano con la viabilità locale mediante l'interconnessione tra la S.S. 32 e la S.P. 299"), fanno riferimento a diverse fasi temporali, di seguito descritte.

Nel loro complesso le diverse campagne d'indagine, unitamente alle informazioni ricavate dalla documentazione acquisita con la ricerca bibliografica e presso Enti Pubblici, hanno consentito di ricostruire in modo sufficientemente dettagliato il modello geologico, sismico ed idrogeologico nonché geotecnico, per il volume significativo delle opere in progetto.

8.2.1 INDAGINI DEL PROGETTO PRELIMINARE

La campagna geognostica a supporto del progetto preliminare è stata eseguita nel mese di luglio 2009, dalla C.T.E. S.p.a. (Costruzioni Tecniche ed Elettriche S.p.A. di Acqui Terme) ed è consistita in n.5 sondaggi a carotaggio continuo con n.40 prove SPT.

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi a carotaggio e la relativa strumentazione installata.

Indagine	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
S1	162.25	30.0	---
S2	164.00	20.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m
S3	164.49	30.0	Tubo per indagine sismica in foro DH a-30 m
S4	161.40	20.0	---
S5	167.17	20.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m

Tab.1– Sondaggi del progetto preliminare

8.2.2 INDAGINI DEL PROGETTO DEFINITIVO

A sostegno della progettazione definitiva è stata realizzata una campagna geognostica nel mese di luglio 2010, condotta dalla C.T.E. S.p.a..

In sito sono stati eseguiti n.4 sondaggi a carotaggio continuo con n°49 prove S.P.T. e n.6 prelievi di campioni di terreno rimaneggiati. A completamento della indagine sono state realizzate n.3 prove penetrometriche superpesanti del tipo SCPT.

Per la caratterizzazione sismica sono state eseguite n.7 stendimenti sismici di tipo MASW con sviluppo lineare variabile da 45 a 70 m mirate alla determinazione della velocità delle onde di taglio Vs sino a profondità di 30 m da p.c. (società esecutrice Tecghea Servizi S.a.s. di Torino)

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio (GD Test S.r.l. di Torino) per la caratterizzazione fisica e meccanica (granulometria, prove taglio diretto CD).

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi a carotaggio e la relativa strumentazione installata.

Indagine	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
S1B	162.48	35.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m
S2B	163.55	35.0	---
S3B	165.50	40.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m
S1aB	161.77	40.0	---

Tab.2– Sondaggi del progetto definitivo

8.2.3 INDAGINI DEL PROGETTO ESECUTIVO

A supporto del progetto offerto in fase di gara, è stata eseguita una campagna geognostica in situ ed in laboratorio, a supporto della gestione delle terre e rocce da scavo, realizzata nei mesi di maggio – giugno – luglio 2015, ha permesso di rivalutare gli spessori di bonifica relativi al piano di posa dei rilevati.

Nel dettaglio sono stati eseguiti n.4 pozzetti esplorativi spinti ad una profondità massima di 1.0 metri dal piano campagna e prelevati campioni rimaneggiati che sono stati successivamente sottoposti a prove di laboratorio per la definizione della classificazione dei terreni (sia con la norma CNR-UNI 10006, nel rispetto del “Capitolato speciale d’appalto – Norme tecniche” e sia con la più recente CNR-UNI 11531-1) e per i soli terreni trattabili a cemento è stato valutato il contenuto di sostanza organica, il contenuto in solfati ed è stato definito l’indice CBR determinato dopo sette giorni di stagionatura e dopo imbibizione di quattro giorni in acqua, seguendo la procedura indicata nella norma CNR - UNI 10009.

Pozzetto	Progressiva	Coordinate (Rettilinee)	Quota (metri s.l.m.)	Litotipo	Opera prevista
Pz1	0+550	11014,50/8548,94	161	Deposito fluviale	Rilevato
Pz2	1+550	9995,04/8465,11	164	Deposito fluviale	Rilevato
Pz2bis	2+900	8679,39/8221,54	166	Deposito fluviale	Rilevato
Pz3	3+800	7900,46/7716,66	166	Deposito fluviale	Rilevato

A supporto della progettazione esecutiva, nei mesi di gennaio e febbraio 2018, la Siscom S.r.l di Arona ha eseguito n.13 sondaggi a carotaggio continuo con prove in foro tipo S.P.T. (n.145), prelievo di campioni indisturbati Shelby (n.12) e campioni rimaneggiati (n.36) e due prove Lefranc. In sito, inoltre, sono state realizzate n.3 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH e n.10 pozzetti esplorativi con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati, nonché prove di carico su piastra.

Per la caratterizzazione sismica sono state realizzate n.2 prove in foro tipo Cross hole.

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio (TecnoPiemonte S.p.a. di Lenta) per la caratterizzazione fisica e meccanica (granulometria, caratteristiche fisiche, prove edometriche, prove di compressione triassiale e prove taglio diretto CD).

Le attività di sito e laboratorio sono state seguite costantemente in sinergia con il progettista geotecnico, al fine di adeguare sempre le indagini (tipologia, quantità ecc.) alle opere in progetto.

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi a carotaggio e la relativa strumentazione installata.

Indagine	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
SE_1	161.22	20.0	---
SE_2	162.38	30.0	1 Pz. tubo aperto a -30 m
SE_3	162.60	30.0	Tubo per indagine sismica in foro CH a -30 m
SE_4	162.54	30.0	---
SE_5	163.70	20.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m
SE_6	163.45	30.0	---
SE_7	166.59	30.0	Tubo per indagine sismica in foro CH a -30 m
SE_8	166.50	25.0	1 Pz. tubo aperto a -25 m
SE_9	166.69	20.0	---
SE_10	166.24	20.0	1 Pz. tubo aperto a -20 m
SE_11	165.22	20.0	---
SE_12	163.92	30.0	1 Pz. tubo aperto a -30 m
SE_13	164.06	30.0	---

Tab.3- Sondaggi del progetto esecutivo

Sono state infine effettuate analisi chimico ambientali del terreno in accordo alla normativa ambientale (DL 152/2006 e s.m.i.) e finalizzate alla definizione del piano di gestione delle terre e rocce da scavo (maggiori dettagli negli elaborati di progetto specifici).

9 PRINCIPALI PROBLEMATICHE GEOLOGICHE IN ASSE AL TRACCIATO

Sulla base dei dati acquisiti dal rilevamento geologico di dettaglio, dalle indagini geognostiche e dalla fotointerpretazione è stato possibile ricostruire il modello geologico in corrispondenza del tracciato stradale e nel suo intorno.

A conseguenza di ciò sono emerse alcune criticità che singolarmente saranno di seguito descritte.

- ✓ Dalle misure piezometriche, eseguite nei pozzi e piezometri a ridosso del tracciato, la falda superficiale per metà tracciato, nel suo tratto finale, risulta localmente sub-affiorante, con una soggiacenza minore di 2 metri dal piano campagna. In merito alla vulnerabilità, ad opera di agenti inquinanti, l'acquifero superficiale rientra nelle Classi di vulnerabilità "Alta" ed "Estrema" cui corrisponde un indice di vulnerabilità $I > 0.5$ (Indice G.O.D).
- ✓ I corsi d'acqua, a carattere torrentizio, durante gli eventi idrometrici eccezionali potrebbero essere interessati da dinamiche alluvionali fortemente erosive da produrre locali scalzamenti.
- ✓ La presenza in affioramento, in particolare nel tratto iniziale e fino a circa metà tracciato, di terreni di natura limoso-sabbiosa con spessori anche superiori al metro, dovrà essere oggetto di bonifica in corrispondenza dei tratti in rilevato, come di seguito riportato.

<i>PIANO BONIFICHE – SPESSORI MEDI</i>	
Progressiva	Spessore (cm)
0+400÷0+640	80
1+100÷1+560	100
1+593÷2+480	80
2+480÷3+040	10
3+640÷4+340	10

9.1 Bonifica piano di posa dei rilevati

Nel progetto definitivo offerto in fase di gara (anno 2015) si prevedeva, per i soli terreni fini, una bonifica del piano di posa dei rilevati mediante il trattamento a cemento, visto che le analisi di laboratorio eseguite indicavano possibile tale pratica industriale.

L'entrata in vigore del nuovo DPR 13 giugno 2017 n. 120 in materia di terre e rocce da scavo ha di fatto reso non eseguibile la stabilizzazione a calce/cemento dei terreni non prevedendo tra le operazioni di normale pratica industriale tale attività.

Per quanto riguarda l'impiego della stabilizzazione si ribadisce che gli incontri con Arpa Piemonte contestuali alla redazione del progetto hanno dato parere negativo riguardo la metodologia proposta sia a causa

della mancanza delle linee guida per l'applicazione del recente DPR e sia per il contesto agricolo delle risaie.

Di fatto, il cambio progettuale con l'inserimento dei rilevati in terra rinforzata in luogo dei rilevati classici ha di fatto annullato il problema della bonifica poiché la sezione di posa e la fondazione del rilevato stesso rende inutile la lavorazione e quindi tale metodologia. Infatti il piano di posa dei rilevati è stato posto mediamente a circa 60 cm (dimensioni del cassero) dal piano campagna al di sotto del quale viene sempre garantito uno spessore di almeno 40 cm di materiale arido (precisamente terreno A1 proveniente da cava) in accordo con le specifiche concordate con la Direzione della Progettazione.

Pertanto, è stata prevista la totale asportazione del terreno e sostituzione degli spessori ritenuti non idonei alla realizzazione del corpo del rilevato.

La modifica della sezione tipo del corpo stradale, realizzata mediante l'utilizzo di terre rinforzate rinverdite, così come riportato nella Relazione di Ottemperanza (T00_EG00_GEN_RE02_B), si è basata sulla necessità di adottare tutti gli accorgimenti per risolvere le problematiche connesse con la rete irrigua, la viabilità interpodereale e di la minimizzazione del consumo di aree agricole. Infatti uno dei problemi più critici della realizzazione della tangenziale è l'impatto della quantità di materiale da rilevato da porre in opera, con le relative conseguenze di trasporto e lavorazione, che può avere su un ambiente particolarmente sensibile come quello delle risaie. E' stato quindi definito che quando il corpo del rilevato supera l'altezza di 4 metri, anziché adottare la classica scarpata a pendenza 2 su 3, pur mantenendo la stessa geometria di arginello e la scarpata classica nel primo metro di altezza al di sotto della pavimentazione, viene adottata una scarpata in terra rinforzata con geogriglie avente un angolo di 65 gradi rispetto alla verticale. Tale soluzione fa sì che venga ottemperato quanto richiesto dalla Regione Piemonte nella Deliberazione della Giunta Regionale 27/10/2014, n.13469 ed in seguito ribadito dal Comune di Novara, minimizzando il consumo delle aree agricole che, nella fattispecie, sono destinate a colture di notevole pregio.

Quindi, tale scelta progettuale, pur avendo un costo superiore rispetto al progetto definitivo, presenta evidenti vantaggi che sono di seguito riassunti:

- Riduzione della quantità di materiale da rilevato (pari al 15%) e delle tempistiche di messa in opera;
- Riduzione dell'impronta del rilevato con conseguente riduzione della bonifica;
- Riduzione dei relativi trasporti con indiscutibili vantaggi ambientali data la riduzione di quantità;
- Riduzione dell'ingombro in pianta del corpo del rilevato con minore occupazione di terreno;
- Abbattimento della manutenzione trattandosi di opera di ingegneria naturalistica, a differenza del rilevato naturale.

Sulla scorta del bilancio terre verranno prodotti circa 181.000 m³ di materiale, proveniente principalmente da bonifiche, preparazione dei piani di posa, fondazioni opere d'arte ed opere idrauliche. Tali volumi verranno riutilizzati pressoché interamente all'interno del cantiere sia per i fabbisogni del corpo stradale e opere d'arte (154.000 m³) che per i rimodellamenti in aree interne al cantiere – aree svincoli (27.000 m³), in considerazione del completo rispetto dei limiti imposti dal D.Lgs 152/2006 tabella A.

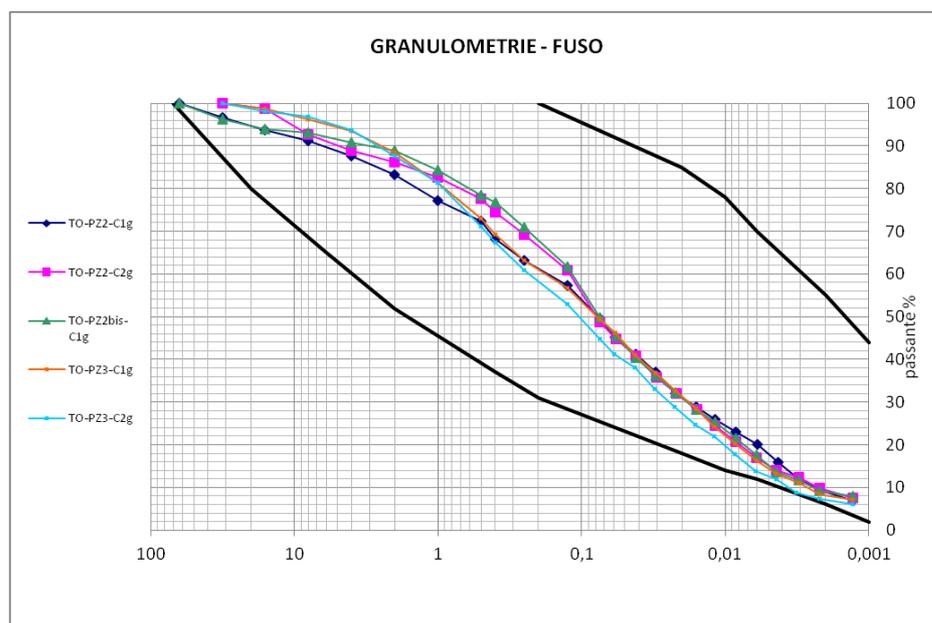
In dettaglio la fornitura sarà di 981.825 m³ per il corpo stradale e per le opere d'arte (costituita sia da materiale di cava per circa 218.917 mc e sia da riciclati per la restante parte pari a 762.908 mc).

Gli inerti pregiati, previsti nel progetto definitivo, sono stati sostituiti per la quasi totalità da inerti riciclati. L'utilizzo dei materiali riciclati verrà effettuato, in accordo con il Capitolato Speciale d'Appalto, secondo un piano quotato che sarà a 1.50m dall'arginello.

In base all'analisi dei sondaggi e delle prove realizzate, i materiali, suddivisi per litotipo, sono di seguito riportati in tabella, caratterizzati sia come classifica che come tipo di utilizzo:

LITOTIPO	CLASSI	UTILIZZO TAL QUALE	UTILIZZO TRATTAMENTO A CEMENTO
Deposito fluviale grossolano	A _{1-a} /A _{1-b} / A ₃	SI	NO
Deposito fluviale medio	A ₂₋₄	SI	NO
Deposito fluviale fino	A ₄ /A ₅ /A ₆ e A ₇₋₆	NO	SI

Per i terreni classificati A4 (analisi del 2015 per i campioni prelevati nei quattro pozzetti) e quindi trattabili a cemento, si riportano anche le rispettive curve granulometriche all'interno del fuso, così come richiesto dal "Capitolato speciale d'appalto – Norme tecniche".



Le curve granulometriche dei campioni rientrano tutte all'interno del fuso granulometrico indicato nel "Capitolato speciale d'appalto – Norme tecniche" e pertanto i volumi di materiali classificati A4 risultano essere idonei al trattamento di stabilizzazione a cemento.

Tutti i campioni prelevati, nel 2015 e nel 2018, sono stati sottoposti a prove di laboratorio per la definizione della classificazione dei terreni (sia con la norma CNR-UNI 10006, nel rispetto del "Capitolato speciale d'appalto – Norme tecniche" e sia con la più recente CNR-UNI 11531-1) e per i soli terreni trattabili a cemento è stato valutato il contenuto di sostanza organica, il contenuto in solfati ed è stato definito l'indice CBR determinato dopo sette giorni di stagionatura e dopo imbibizione di quattro giorni in acqua, seguendo la procedura indicata nella norma CNR - UNI 10009.

Riassumendo, le prove eseguite sui 12 campioni prelevati sono:

- Analisi granulometrica (vaghiatura e sedimentazione)
- Limiti di Atterberg
- Contenuto in solfati (*)
- Contenuto in sostanza organica (*)
- Prova di compattazione proctor CBR stabilizzata a cemento 2.5%, con determinazione del CBR immediato, a 7 giorni di maturazione e 7+4 di immersione, eseguita su un unico campione di terreno A4 "composito" (*)

(*) per i soli terreni in cui si può eseguire la stabilizzazione cemento.

I risultati sono riportati nei certificati allegati al progetto (T00_GE00_GEO_RE06_A "Documentazione prove di laboratorio di progetto esecutivo" e T00_GE02_GET_RE02_A "Prove di laboratorio ambientali del 2015 e 2018 e prestazionali del 2015" e di seguito nella tabella sono riassunti, per ciascun campione, i valori utili per la definizione del riutilizzo, desunti dalla sola campagna del 2015 e 2018

	CAMPIONE	LITOTIPO	CLASSE	TIPO DI UTILIZZO
Indagini 2015	Pz1C1g (0.20-0.30m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
	Pz1C2g (0.40-0.50m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
	Pz1C3g (0.90-1.00m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
	Pz2C1g (0.20-0.30m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	Pz2C2g (0.40-0.50m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	Pz2C3g (0.90-1.00m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
	Pz2bisC1g (0.20-0.30m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	Pz2bisC2g (0.40-0.50m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
	Pz2bisC3g (0.90-1.00m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
	Pz3C1g (0.20-0.30m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	Pz3C2g (0.40-0.50m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	Pz3C3g (0.90-1.00m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
Indagini 2018	PzE_1-1A (0.50-0.60m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	PzE_1-1B (0.70-0.80m)	Deposito fino	A ₆	Trattamento cemento
	PzE_2-2B (0.70-0.80m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	PzE_3-3A (0.50-0.60m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	PzE_4-4A (0.50-0.60m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	PzE_5-5A (0.70-0.80m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
	PzE_6-6A (0.70-0.80m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
	PzE_8-8A (0.50-0.60m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
	PzE_9-9A (0.50-0.60m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
	SE_1-SPT2 (3.00-3.50m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_1-SPT4 (6.00-6.50m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale	

CAMPIONE	LITOTIPO	CLASSE	TIPO DI UTILIZZO
SE_1-SPT6 (9.00-9.50m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_2-CR1 (15.50-15.00m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_2-SPT3 (4.50-4.95m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_2-SPT6 (9.00-9.45m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_2-SPT10 (21.00-21.45m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_3-SPT1 (1.50-1.85m)	Deposito fino	A ₆	Non utilizzabile
SE_3-SPT9 (18.00-18.35m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_3-SPT11 (24.00-24.35m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_4-A (0.40-1.00m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_4-B (16.30-17.00m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_4-SPT8 (15.00-15.35m)	Deposito fino	A ₅	Trattamento cemento
SE_4-SPT10 (21.00-21.35m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_5-CII (9.00-9.60m)	Deposito fino	A ₇₋₆	Non utilizzabile
SE_5-SPT2 (3.00-3.45m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_5-SPT8 (15.00-15.45m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_6-CII (9.00-9.60m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_6-CR1 (15.00-15.50m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_6-SPT7 (12.00-12.45m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_6-SPT10 (21.00-21.45m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_7-CII (13.40-14.00m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_7-SPT7 (12.00-12.45m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_7-SPT9 (18.00-18.45m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_7-SPT11 (24.00-24.45m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_8-CII (13.40-14.00m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_8-SPT2 (3.00-3.45m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_8-SPT6 (9.00-9.45m)	Deposito fino	A ₄	Trattamento cemento
SE_8-SPT8 (15.00-15.45m)	Deposito medio	A ₂₋₄	Tal quale
SE_9-CII (12.00-12.60m)	Deposito fino	A ₇₋₆	Non utilizzabile
SE_9-SPT1 (1.50-1.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_9-SPT5 (7.50-7.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_10-SPT1 (1.50-1.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_10-SPT2 (3.00-3.45m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_10-SPT5 (7.50-7.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_11-SPT1 (1.50-1.95m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_11-SPT3 (4.50-4.95m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_11-SPT5 (7.50-7.95m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_12-SPT3 (4.50-4.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_12-SPT5 (7.50-7.95m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_12-SPT7 (12.00-12.45m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_12-SPT9 (18.00-18.45m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_13-CR1 (20.00-20.50m)	Deposito medio	A ₃	Tal quale
SE_13-SPT3 (4.50-4.95m)	Deposito grossolano	A _{1-a}	Tal quale
SE_13-SPT6 (9.00-9.45m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale
SE_13-SPT12 (27.00-27.45m)	Deposito grossolano	A _{1-b}	Tal quale

E per i soli terreni A₄, stabilizzabili a cemento:

CAMPIONE	CLASSE	INDICE PLASTICO (%)	PASSANTE SETACCIO 0.075MM (%)	SOLFATI (%)	SOSTANZA ORGANICA (%)	PROVA COSTIPAMENTO PROC-TOR (*)	INDICE CBR (CEMENTO 2.5%) (*)	INDICE CBR (CEMENTO 3.5%) (*)
Pz2C1g (0.20-0.30m)	A ₄	N.P.	49.60	<0.05	1.91	Yd= 1.92 g/cm ³ W _{OTT} = 12.6%	CBR _{immediato} =76% CBR _{7gg} = 95 % CBR _{7gg+4gg} = 31%	CBR _{7gg+4gg} = 37%
Pz2C2g (0.40-0.50m)	A ₄	N.P.	48.70	<0.05	1.89			
Pz2bisC1g (0.20-0.30m)	A ₄	N.P.	49.80	<0.05	2.06			
Pz3C1g (0.20-0.30m)	A ₄	N.P.	49.30	<0.05	2.12			
Pz3C2g (0.40-0.50m)	A ₄	N.P.	44.80	<0.05	1.84			

(*) prova eseguita su un campione composito del gruppo A₄

I risultati delle prove geotecniche eseguite hanno comunque mostrato, oltre al rispetto del passante al setaccio 0.075 mm, sempre inferiore al 50%, del contenuto di solfati inferiori all'1% e della sostanza orga-

nica mediamente non superiore al 2% (valori rilevati sempre inferiori ad eccezione di due campioni in cui il valore risulta di poco superiore e pari a 2.06 e 2.12) valori di indice CBR superiori a 30% (rigonfiamento di 0.04%) ma comunque inferiori a 60% e quindi, nel rispetto del “Capitolato speciale d’appalto – Norme tecniche”.

La percentuale minima di cemento da utilizzare, così come osservato dalle prove di laboratorio, che garantisce un indice CBR pari ad almeno 30, è di 2.5%. Per maggiore scrupolo e per verificare l’affidabilità del trattamento sui terreni presenti, è comunque stato stimato un indice CBR anche con il 3.5% di cemento; il cui risultato ha confermato l’efficacia con un valore di CBR pari 37.

10 DESCRIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO IN ASSE AL TRACCIATO

In considerazione di quanto fin qui esposto e rappresentato negli elaborati cartografici allegati, viene esaminato lo sviluppo del tracciato, in relazione alle componenti geologico stratigrafiche, geomorfologiche ed idrogeologiche della porzione di territorio su cui esso si articola e le loro possibili interazioni.

L'intero tracciato si sviluppa in una zona morfologicamente pianeggiante a quote variabili tra circa 160 m e 170 m s.l.m. e con una direzione est-ovest, prevalentemente in rilevato a meno degli attraversamenti in corrispondenza delle incisioni fluviali (corsi d'acqua come i torrenti Terdoppio, Agogna, Roggia Mora e Canale Regina Elena, oltre ad una serie di reti e canali irrigui minori) che avviene mediante viadotti e ponti.

Partendo **dall'inizio del lotto** e procedendo verso ovest, **fino al km 0+670** il tracciato interessa i depositi alluvioni fluvio-glaciali e fluviali (FG^W - livello fondamentale della pianura) costituiti da ghiaie mal classate, discretamente arrotondate e poco alterate di spessore pari a circa 10 metri passanti verso il basso a sabbie medio fini limose con rara ghiaia con alla base una lente di ghiaia che segna poi, inferiormente, il passaggio alle alluvioni fluvio-glaciali (FG^{WR}) del Pleistocene medio-superiore. In affioramento è presente un copertura di natura limoso sabbiosa, così come evidenziato nei sondaggi SE-1 e SE-2, nonché nel PZE-1, di spessore pari a circa 0.80-1.00 m. Dal punto di vista morfologico sussistono condizioni pianeggianti tipicamente di pianura ed al km 0+350 circa viene intercettato il canale demaniale "*Regina Elena*".

Nell'intervallo **dal km 0+670 al km 1+260** si rinvencono i depositi alluvionali del torrente Terdoppio costituiti da ghiaie sabbiose e limi sabbiosi con andamento delle alternanze disordinato, discontinuo ed eterotopico. Lo spessore ricostruito mediante i sondaggi S1B, S1Ab, SE-3, SE-4 e SE-5, si attesta nell'ordine di 2.00-2.50 m e tali terreni si rinvencono al di sopra della formazione fluvio-glaciale e fluviale FG^W rappresentata dall'alto verso il basso da un strato di ghiaie con spessore variabile da 2 a 10 metri poggianti su sabbie medio-fini limose e con rara ghiaia, da mediamente addensate ad addensate con locali lenti di limo sabbioso, poggianti sul deposito fluvio-glaciale (FG^{WR}).

L'elemento morfologico essenziale, intercettato dal tracciato stradale in questo tratto, è costituito dal sistema idrografico del T. Terdoppio, caratterizzato in questa zona da un andamento unicursale sinuoso, con la sponda sinistra caratterizzata dalla presenza di forme fluviale relitte (paleolvei e canali di deflusso abbandonati) a testimonianza di una sensibile migrazione dell'asse del corso d'acqua verso W.

Dal km 1+260 al km 4+490 il sottosuolo è costituito, al di sotto di una copertura di terreni limoso-sabbiosi, spessa mediamente un metro (PZE2, PZE3 e PZE4) fino al km 2+480 e poi assente (PZE6) o pari a pochi centimetri (PZE5, PZE7, PZE8, PZE9 e PZE10), da depositi fluviali e fluvio-glaciali (FG^W) nella sua facies ghiaiosa di spessore, fino al km 3+490, di circa 10 m ed oltre pari a circa 30 m; nel primo tratto tali terreni poggiano sulle sabbie limose che si rinvencono fino alla profondità di 34-35 m in cui sono

a contatto con la formazione fluvioglaciale più antica (FG^{WR}); nel secondo tratto, con un passaggio graduale (SE-10), tendono a scomparire le sabbie limose mettendo direttamente in contatto le ghiaie con il sottostante fluvioglaciale (SE-11 e S3B).

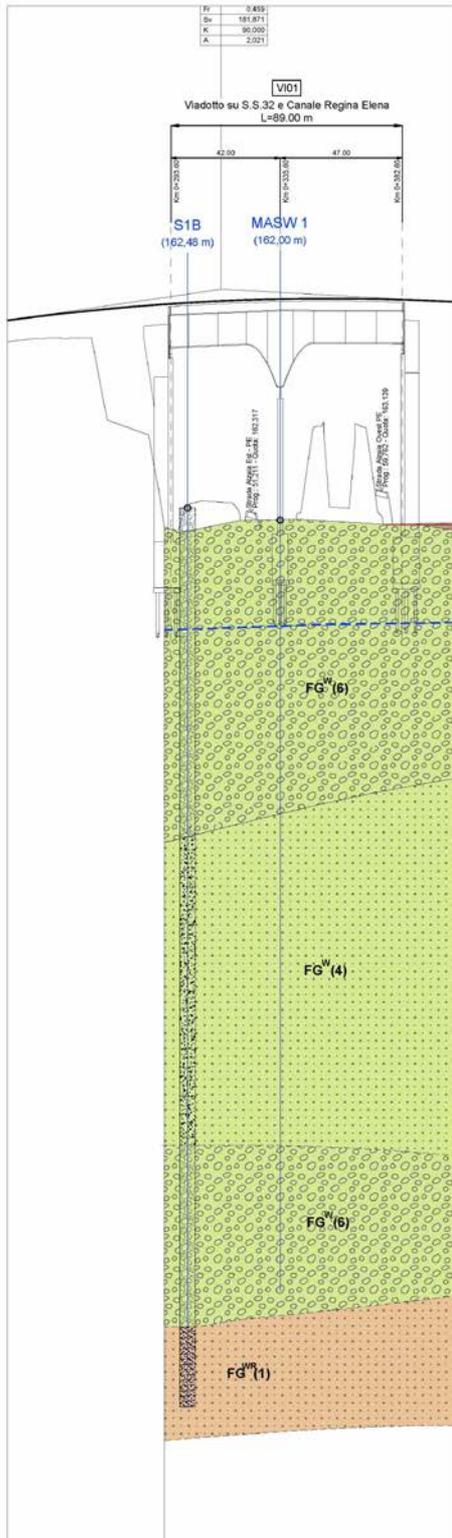
Inoltre, in questo intervallo chilometrico, è presente una fitta rete di fossati irrigui che, con decorso N-S, trasversale rispetto all'asse del tracciato stradale, costituisce il sistema idrografico artificiale, che nel corso dell'evento alluvionale maggio 2002, ha provocato fenomeni d'allagamento nell'area in prossimità della località C. Isarno e dell'Istituto Tecnico Bonfantini (PRGC di Novara).

Il tratto finale, **dal km 4+490 al km 5+120** è caratterizzato dai depositi alluvionali del T. Agogna, spessi circa 2-3 metri, che terminano al km 4+850 dove risultano in contatto con i litotipi della formazione fluvioglaciale FG^W in facies ghiaiosa con lenti di sabbia medio-grossolana con ghiaia, anche ampiamente estese come quella presente dal km 4+400 (S3B, S3, SE-12, S4 e SE-13) a fine lotto, che si rinviene ad una profondità variabile da circa 5 a 15-20 m dal piano campagna e con uno spessore di 10-15 metri.

Morfologicamente la fascia prospiciente alla sponda sinistra del T. Agogna è contraddistinta da paleolvei e canali di deflusso abbandonati, che dimostrano l'attività di divagazione nel tempo da parte del corso d'acqua.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, lungo il tracciato stradale è presente una falda libera a debole profondità, ospitata nei depositi quaternari olocenici e pleistocenici (acquifero superficiale). Il livello piezometrico, attestato a profondità medie comprese tra - 2.0 e - 4.0 m circa, è soggetto a marcate escursioni stagionali sia positive che negative in quanto strettamente relazionato con la pratica agricola di allagamento delle risaie e, in prossimità dei torrenti Terdoppio ed Agogna, con il regime idrico dei due corsi d'acqua. La direzione di deflusso sotterraneo della falda è orientata NNW-SSE, trasversalmente rispetto all'asse del tracciato stradale.

10.1 Modello geologico Viadotto su SS32 e Canale Regina Elena

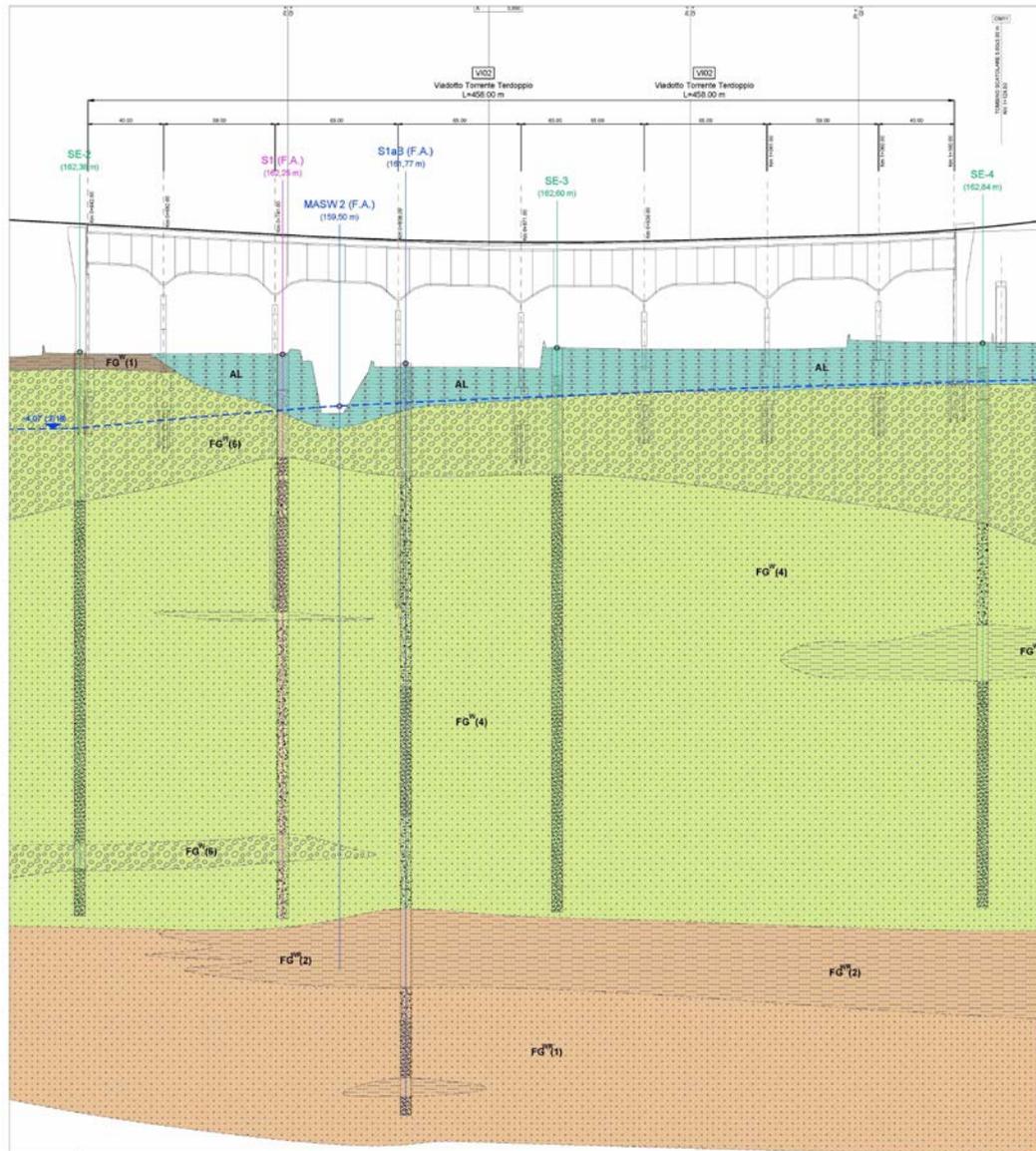


La successione stratigrafica presente al di sotto del viadotto che attraversa la SS32 ed il Canale Regina Elena (VI01-lunghezza 89.0 metri), ricostruita puntualmente attraverso il sondaggio S1B e comunque correlata con il pozzetto PZE1 ed il sondaggio SE1 distanti rispettivamente circa 70 m e 150 m, mette in evidenza depositi alluvioni fluvioglaciali e fluviali (FG^W - livello fondamentale della pianura) e più in profondità le alluvioni fluvioglaciali più antiche FG^{WR} . In affioramento i terreni appartenenti alla facies $FG^W(6)$ [Classificazione USCS: GW-GM-SW], si rinvengono per uno spessore medio di 11 metri, più precisamente 12 m al di sotto della spalla est e 10 m in quella ovest. Si tratta di ghiaie sabbiose, da mediamente addensate a molto addensate. Tali litotipi poggiano sulle sabbie medio fini con rara ghiaia $FG^W(4)$ [Classificazione USCS: SW-SM], da mediamente addensate ad addensate, presenti fino ad una profondità di circa 24 metri che a loro volta sono in contatto, verso il basso, con le ghiaie $FG^W(6)$ potenti circa 7 metri.

Superato tale orizzonte, si passa ai depositi fluvioglaciali del Riss-Wurm, che fino alla profondità di circa 35 metri sono rappresentati dalle sabbie medio fini limose $FG^{WR}(1)$ [SW-SM] da mediamente addensate ad addensate.

Il livello piezometrico ricostruito è posizionato ad una profondità di 4 metri dal piano campagna ed una direzione di scorrimento da NNW a SSE.

10.2 Modello geologico Viadotto Torrente Terdoppio



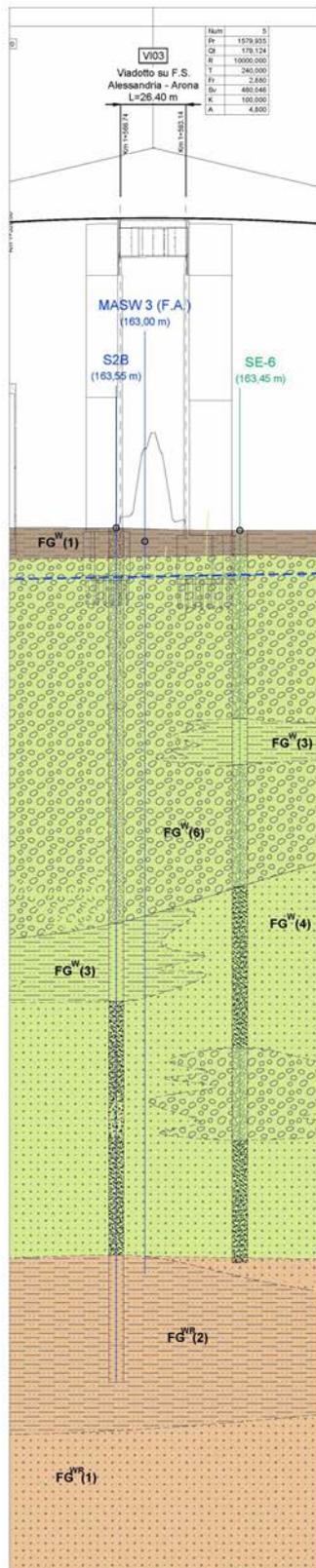
Al di sotto del viadotto che attraversa il Torrente Terdoppio (VI02-lunghezza 458.0 metri) si rinvergono i depositi alluvionali AL [Rif. Classificazione USCS: GW-GM-SW] del torrente Terdoppio costituiti da ghiaie sabbiose e limi sabbiosi tra loro eteropici. Lo spessore ricostruito mediante i sondaggi SE2, S1, S1aB, SE-3 e SE-4, si attesta nell'ordine di 2.00-2.50 m, litotipo comunque non presente in corrispondenza della spalla al km 0+642, in cui si rinvergono invece i terreni limosi di FG^W(1) spessi 0.8 metri.

Superato gli strati superficiali, è presente la formazione fluvioglaciale e fluviale FG^W rappresentata dall'alto verso il basso da uno strato di ghiaie FG^W(6) [Classificazione USCS: GW-GM-SW] con spessore variabile da 2 a 10 metri poggiate su sabbie medio-fini limose e con rara ghiaia, da mediamente addensate ad addensate e con locali lenti di

limo sabbioso, poste sul deposito fluvioglaciale (FG^{WR}) che nella parte più alta si presenta limoso-sabbioso $FG^{WR}(2)$ [Classificazione *SM-ML e ML-CL*] per uno spessore di circa 4 metri e quindi inferiormente, per almeno 8 metri è schiettamente sabbioso $FG^{WR}(1)$ [Classificazione *SW-SM*].

Il livello piezometrico ricostruito attraverso le letture (febbraio 2018) nei piezometri SE2 e SE5 è posizionato ad una profondità di 3-4 metri dal piano campagna, con soggiacenza minore in corrispondenza della spalla al km 1+100.

10.3 Modello geologico Viadotto su FS Alessandria – Arona



La successione stratigrafica presente al di sotto del viadotto che attraversa la linea ferroviaria FS Alessandria - Arona (VI03-lunghezza 26.4 metri), ricostruita attraverso i sondaggi S2B e SE6 evidenzia la presenza depositi alluvioni fluvioglaciali e fluviali (FG^W - livello fondamentale della pianura) e più in profondità le alluvioni fluvioglaciali più antiche FG^{WR}, entrambi caratterizzati da forti eteropie laterali e verticali.

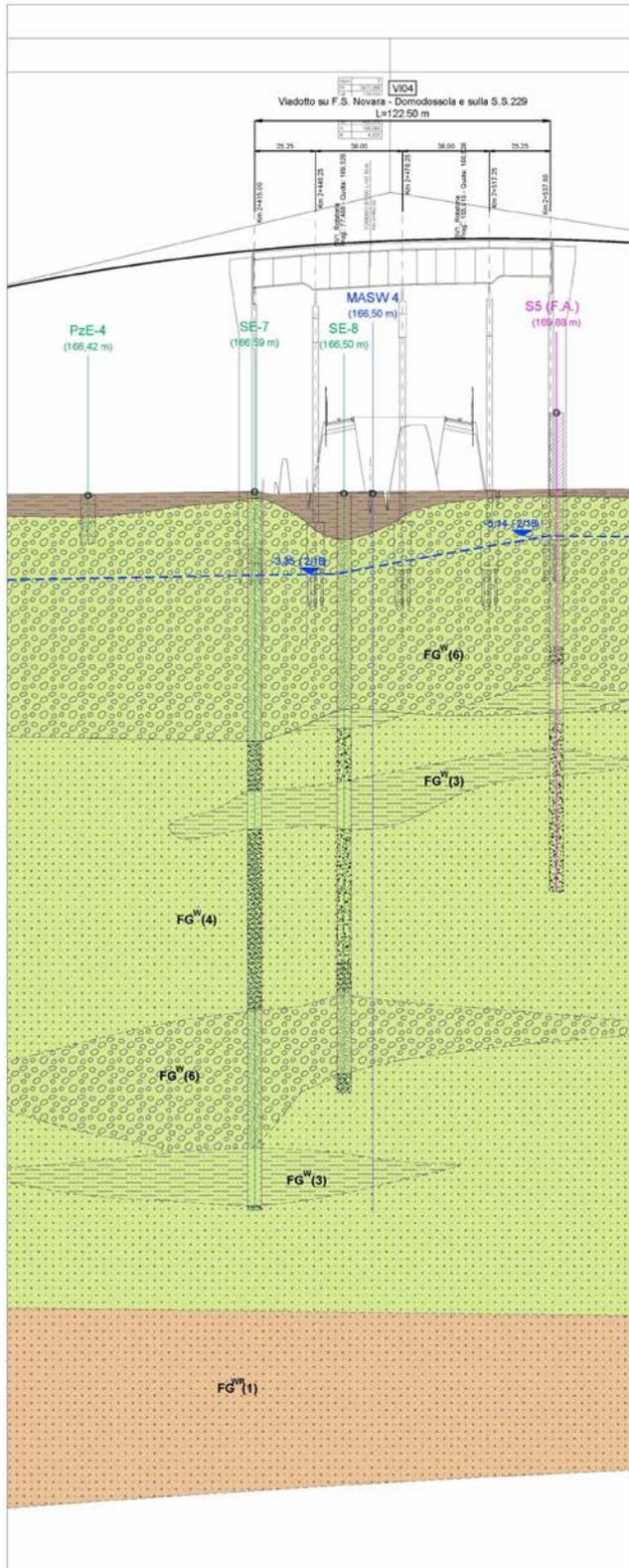
In affioramento sono stati rilevati i terreni di natura limoso – sabbiosa FG^W(6) [Classificazione USCS: GW-GM-SW] spessi circa 1 metro e sovrastanti le ghiaie sabbiose, pari a circa 15 metri che in corrispondenza del sondaggio SE6 presentano una lente limoso-sabbiose FG^W(3) [Classificazione USCS: SM-ML], spessa 2 metri e ad una quota di circa 8 metri dal p.c..

Più in profondità, fino a 30 m, si rinvencono le sabbie FG^W(4) [Classificazione USCS: SW-SM] intercalate sia da lenti sabbioso limose e sia ghiaiose, spesse rispettivamente 3 m e 4 m.

La parte basale appartiene ai depositi fluvioglaciali più antichi FG^{WR} che nella porzione alta, in giacitura lentiforme, è in facies limoso-sabbiosa FG^{WR}(2) [Classificazione SM-ML e ML-CL] per uno spessore massimo di circa 7 metri, mentre più in profondità torna ad essere sabbioso limosa FG^{WR}(1) [Classificazione SW-SM].

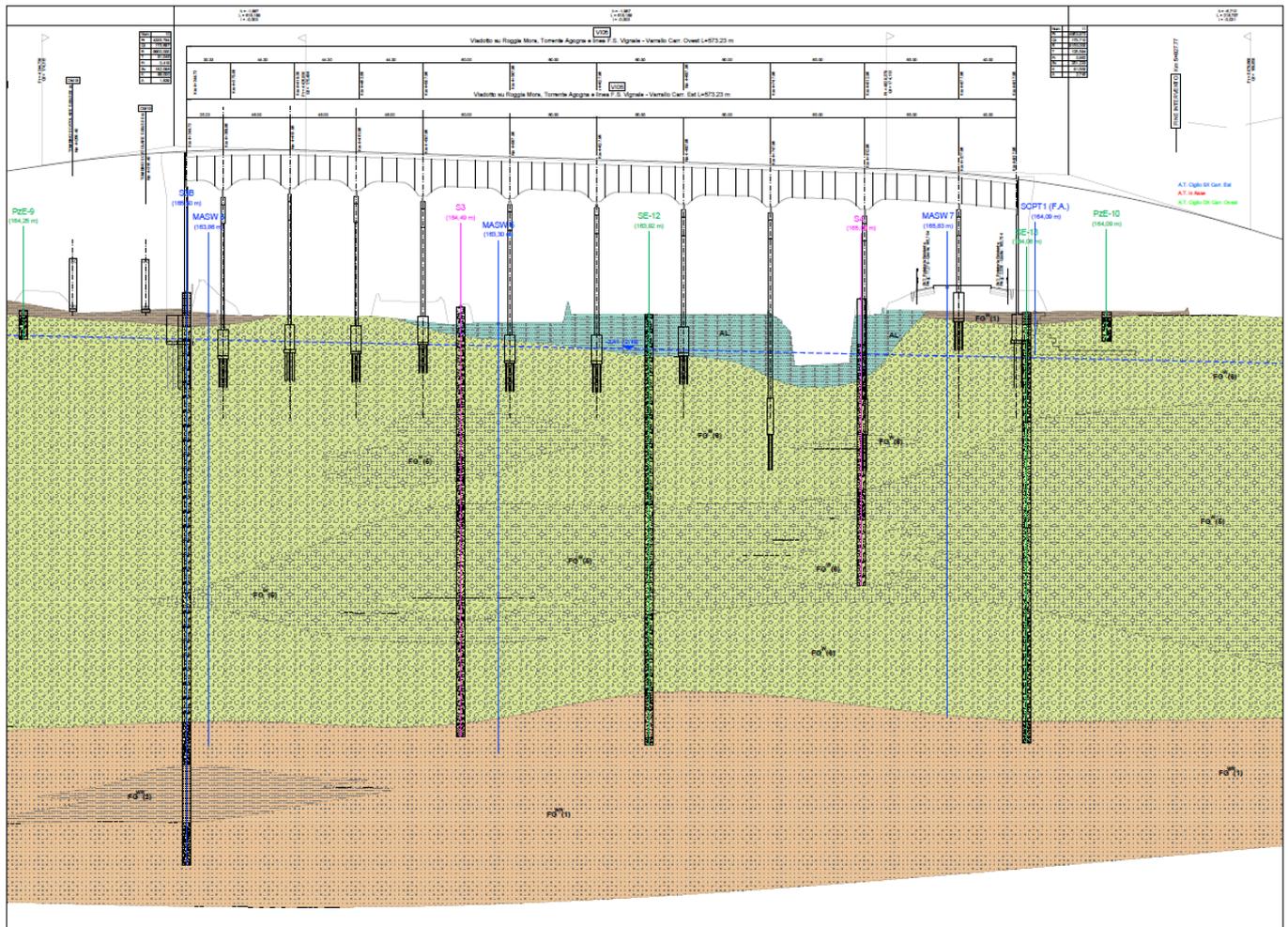
La piezometria ricostruita è posizionata a circa 2 metri dal p.c..

10.4 Modello geologico Viadotto su FS Novara – Domodossola e SS229



Al di sotto del viadotto che attraversa la linea ferroviaria FS Novara – Domodossola e la SS229, (VI04-lunghezza 122.5 metri), è presente una copertura di terreni limoso sabbiosi FG^W(1) con spessori variabili da 0.3 m a 1.9 m, così come messo in evidenza dai sondaggi SE7, S5 e SE8. Questi terreni fini poggiano sulle ghiaie sabbiose dei depositi FG^W(6) [Classificazione USCS: GW-GM-SW] spesse mediamente 9-10 metri che passano inferiormente, attraverso delle piccole lenti limose FG^W(3) [Classificazione USCS: SM-ML] spesse da 1 a 2 metri, alle sottostanti sabbie limose FG^W(4) [Classificazione USCS: SW-SM] che presentano frequenti eteropie laterali e verticali con terreni a volte ghiaiosi FG^W(6) e a volte limoso sabbiosi. Dalla profondità di 34 metri si rinvencono le sabbie fini limose dei depositi fluvioglaciali antichi FG^{WR}(1) [Classificazione USCS: SW-SM], ricostruite per almeno 7 metri. Le misure eseguite nel mese di febbraio 2018, nei piezometri di progetto S5 e SE8 hanno mostrato un livello piezometrico stabilizzato tra 2 e 3 metri di profondità.

1.1 Modello geologico Viadotto su Roggia Mora – T. Agogna e linea FS Vignale - Varrallo



Al di sotto del viadotto che attraversa il Roggia Mora, il Torrente Agogna e la linea ferroviaria FS Vignale – Varrallo (VI05-lunghezza 573.23 metri) si rinvencono i depositi alluvionali AL [Rif. *Classificazione USCS: GW-GM-SW*] del torrente Agogna e del Roggia Mora costituiti da ghiaie sabbiose e limi sabbiosi tra loro eteropici. Lo spessore di tale formazione è stato ricostruito mediante i sondaggi S3, SE12, S4, SE-3 e SE-4, ed è pari ad un massimo di 3-4 metri. Questo litotipo non è presente in corrispondenza delle due spalle in cui si rinvencono invece i terreni limosi di FG^W(1) spessi da 0.7 a 1.0 metri.

Superati gli strati superficiali, discontinui che lasciano anche affiorare, localmente, la sottostante formazione, si rinvencono i depositi fluvio-glaciale e fluviale FG^W rappresentati da un'alternanza di ghiaie FG^W(6) [*Classificazione USCS: GW-GM-SW*] e sabbie medio grossolane con ghiaia FG^W(5) [*Classificazione USCS: SW-SM*] con uno spes-

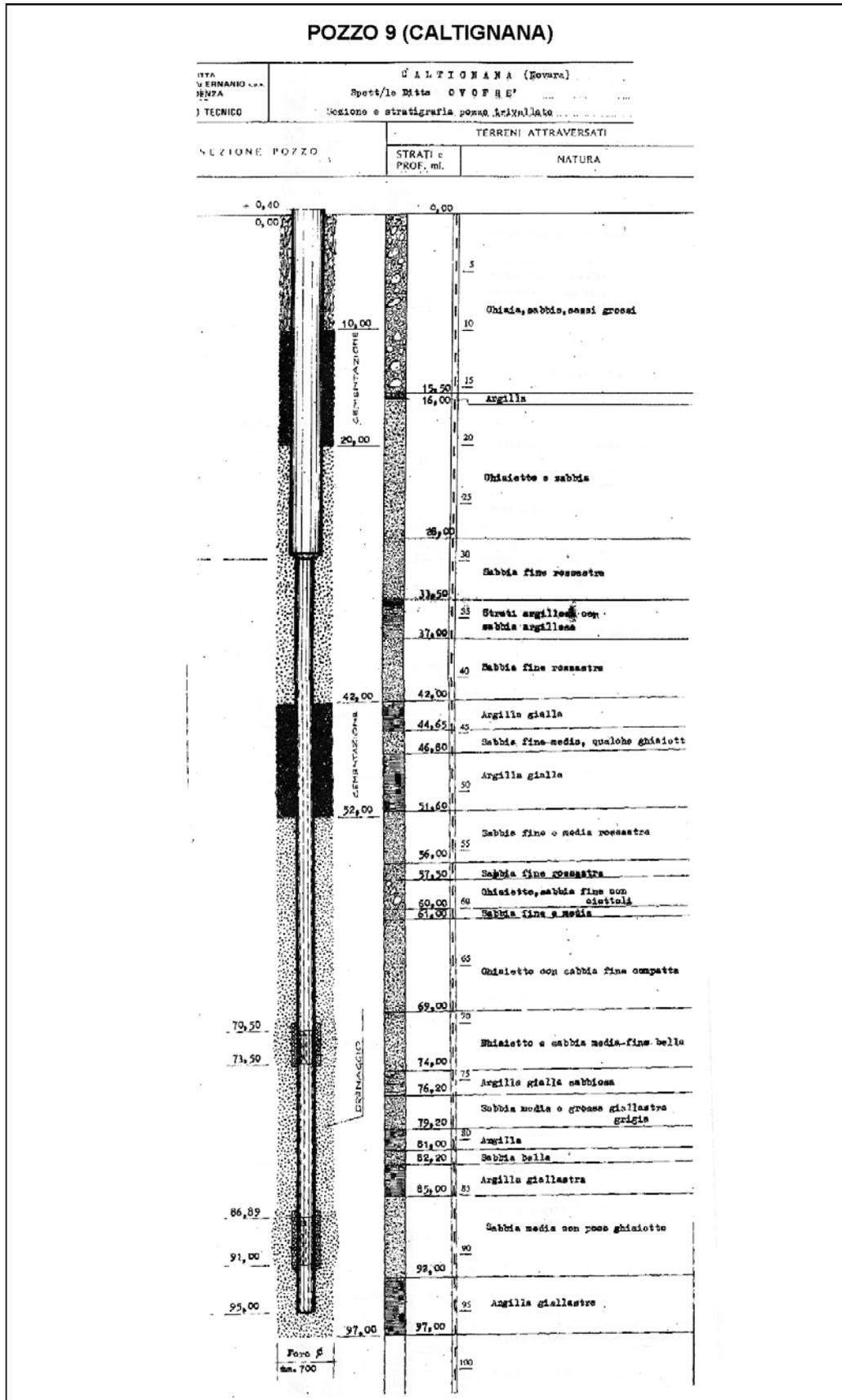
sore totale variabile da 23 a 28 metri poggiate su sabbie medio-fini limose, da mediamente addensate ad addensate, del Riss-Wurm $FG^{WR}(1)$ [Classificazione USCS: *SW-SM*] in eteropia, solo localmente, in corrispondenza del sondaggio S3B, con limi sabbiosi $FG^{WR}(2)$ [Classificazione USCS: *SM-ML-CL*].

La piezometria ricostruita è posizionata a circa 2.5 metri dal p.c..

ALLEGATI

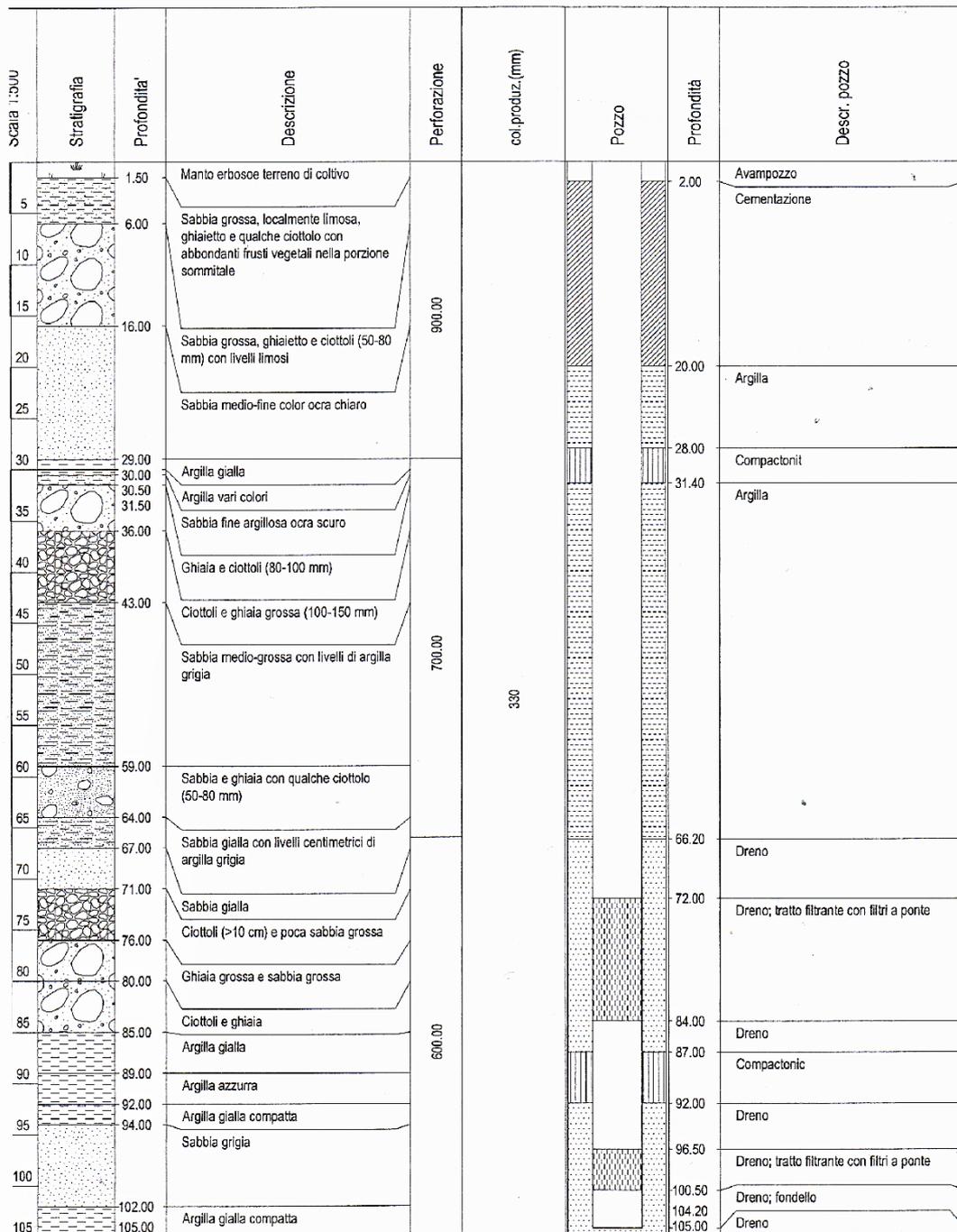
Stratigrafie dati di profondità: Pozzi Idrici

(da : Direzione Pianificazione Risorse Idriche Regione Piemonte; Risorse idriche Provincia di Novara))



POZZO 11 (NOVARA)

N&VE S.r.l.	Comune di Novara
Pozzo NO-P-00134	Via Boves
Stratigrafia	Schema di completamento



Documentazione fotografica

Foto 1) Tratto del T. Terdoppio in prossimità dell'attraversamento in viadotto del tracciato stradale, nel quale si distribuiscono in superficie depositi d'alveo costituiti da ghiaie sabbiose ciottolose.

Foto 2) Sezione d'affioramento in sponda destra del T. Terdoppio, in cui sono esposti depositi fluviali olocenici, formati da ghiaie sabbiose ciottolose.

Foto 3 - 4) Riprese rappresentative delle condizioni morfologiche di pianura dell'area su cui si snoda il tracciato dell'opera in progetto (foto 4: ripresa durante il periodo di sommersione per la risicoltura).

Foto 5) Depositi alluvionali del pleistocene superiore (FG^w) contraddistinti da litofacies di ghiaie sabbiose debolmente ciottolose, esposti in corrispondenza delle sponde del lago artificiale nei pressi di località C.na Mirabella (300 m a sud dal tracciato).

Foto 6) Alveo del T. Agogna, nel tratto intercettato dal tracciato stradale, regimato da arginature in sponda destra e su entrambe le sponde nel tronco di monte.



1



2



3



4



5



6

BIBLIOGRAFIA

ANAS SpA Elaborati geologici del progetto definitivo (2010)

Arpa Piemonte - <http://gisweb.arpa.piemonte.it/arpagis>.

Banca Dati Geologica - REGIONE PIEMONTE - (<http://www.regione.piemonte.it>).

Bove A., Destefanis , De Luca D, Masciocco L, Ossella L, Tonussi M - Studio idrogeologico finalizzato alla caratterizzazione dell'acquifero superficiale nel territorio di pianura della provincia di Novara (Luglio 2005).

Carta Geologica d'Italia – F°44 Novara (1967).

Direzione Pianificazione Risorse Idriche – Regione Piemonte (2004). PRISMAS: Monitoraggio delle acque sotterranee nella Regione Piemonte.

Documentazione Geologica Piano Regolatore di Cameri (2003).

Documentazione Geologica Piano Regolatore di Novara (2003).

I.P.L.A – Carta della capacità protettiva dei suoli del Piemonte, scala 1:250.000 (1982)

PAI - Arpa Piemonte - (<http://gis.csi.it/pai/default.html>).

PAI – Autorità di bacino del F.Po -<http://adbpo.it>.

Palin L, Bonomi T, Manazza S, Panella - Vulnerabilità degli acquiferi e caratteri idrochimici della acque sotterranee destinate al consumo umano nella pianura Novarese (1999).

Provincia di Novara – Assessorato alle cave – III° Settore Ambientale –Ecologia- Energia (2009)