



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione



Regione Lombardia

Provincia di Milano

Legge n. 345/97

Accordo di programma quadro in materia di trasporti

Realizzazione di un sistema integrato di accessibilità ferroviaria e stradale
all'aeroporto di Malpensa 2000

(CONVENZIONE DEL 29.10.1999)

Collegamento tra la S.S.n.11 "Padana Superiore" a Magenta
e la Tangenziale ovest di Milano
Variante di Abbiategrasso sulla S.S.n.494 e adeguamento in sede
del tratto Abbiategrasso Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino

PROGETTO DEFINITIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE

B - GEOLOGIA - GEOTECNICA

Relazione geologica e idrogeologica

| | | | | |
|-----------|-------------|-----------|----------------------------------|------------------------|
| Revisioni | Controllato | Approvato | Data :Dicembre 2008..... | Scala :-..... |
| | | | Agg.to :Novembre 2014..... | All.to n.B.1..... |

Progettazione :



Società Esercizi Aeroportuali s.p.a.
20090 Aeroporto Milano Linate tel. 02/74851

Progettazione redatta da :



errevia s. r. l.
RICERCA VIABILITÀ AMBIENTE

Centro operativo: 20090 TREZZANO s/N (MI), via Cristoforo Colombo n. 23

Il Progettista :

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Alberto RINALDI

[Handwritten signature of Alberto Rinaldi]

Visto

La Direzione Centrale Progettazione :
Dott. Ing. Nicola DINNELLA

.....

Visto

Il Responsabile del Procedimento :
Dott. Ing. Domenico PETRUZZELLI

.....

INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 5 |
| 3 | DINAMICA GEOMORFOLOGICA..... | 9 |
| 4 | IDROGEOLOGIA | 11 |
| 4.1 | Piezometria..... | 14 |
| 5 | INDAGINI GEOGNOSTICHE | 19 |
| 5.1 | Programma d'indagine | 19 |
| 5.2 | Sondaggi geognostici..... | 20 |
| 5.3 | Prove penetrometriche dinamiche | 20 |
| 5.4 | Prove geotecniche di laboratorio..... | 21 |
| 5.5 | Indagini geofisiche | 21 |
| 6 | MODELLO GEOLOGICO | 23 |
| 6.1 | Unità litotecniche | 23 |
| 7 | PERICOLOSITA' SISMICA..... | 25 |
| 7.1 | Descrizione della sismicità storica e recente | 25 |
| 7.2 | Caratterizzazione del sito | 29 |
| 7.3 | Pericolosità sismica locale | 31 |
| 7.4 | Sintesi dei parametri sismici | 33 |
| 7.5 | Considerazioni sul potenziale di liquefazione..... | 37 |
| 8 | QUALITA' AMBIENTALE DEI SUOLI | 39 |
| 9 | VINCOLI GEOLOGICI | 41 |
| 10 | CONCLUSIONI..... | 42 |

1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta la relazione geologica e sismica relativa alla fase di progettazione definitiva del tracciato del 1° stralcio funzionale del nuovo collegamento viario tra la S.S. n. 11 "Padana Superiore" a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, Variante di Abbiategrasso sulla S.S. n. 494 e adeguamento in sede del tratto Abbiategrasso - Vigevano fino al nuovo ponte sul Fiume Ticino.

L'intervento si articola in tre tratti:

- Tratta A, collegamento in variante di lunghezza pari a circa 9 Km che ha caposaldo iniziale sulla S.S. n.526 a Magenta, e caposaldo finale sulla S.P. n.114 ad Albairate;
- Tratta C, collegamento in variante di lunghezza pari a circa 8 Km che ha caposaldo iniziale sullo svincolo n. 5 ad Albairate, e caposaldo finale sulla S.S. n.494 Abbiategrasso – Ozzero;
- Variante di Ponte Nuovo di Magenta, collegamento in variante di lunghezza pari a circa 0,900 Km che ha caposaldo iniziale sulla S.S. n.11 a Boffalora T. – Magenta, e caposaldo finale sulla S.P. n.225 a Boffalora T.

Lo studio redatto ha lo scopo di identificare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto (infrastruttura viaria, rilevati, manufatti di attraversamento, scavi, etc.), evidenziando le criticità che dovranno essere affrontate per la progettazione e la realizzazione dell'intervento.

L'infrastruttura in progetto viene classificata come opera infrastrutturale ordinaria (tipo 2 di cui alla Tab. n. 1.1) cui corrisponde un valore di vita nominale $V_N \geq 50$ anni.

| Opera | Tipo | V_N (anni) |
|---|-------------|---------------------------------|
| Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva | 1 | ≤ 10 |
| Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale. | 2 | ≥ 50 |
| Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica. | 3 | ≥ 100 |

Tab. n. 1.1 – Tipo e vita nominale dell'opera (D.M. 14/01/2008 – tabella 2.4.I).

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso in caso di evento sismico l'opera in esame viene classificata in classe d'uso IV cui viene associato un coefficiente d'uso (C_U) pari a 2,0 (tabella n.2.4.II – NTC; Tab. n. 1.2).

Il periodo di riferimento (V_R) dell'evento sismico, definito come prodotto tra la vita nominale (V_N) ed il coefficiente d'uso (C_U), nel caso del progetto in esame risulta pari a: $V_R = 50 \text{ anni} \times 2,0 = 100 \text{ anni}$.

Le opere provvisionali e accessorie sono invece considerate di tipo 1 (vita nominale pari a 10 anni) e classe d'uso II (coefficiente d'uso C_U pari a 1,0) con periodo di riferimento V_R di 35 anni ($V_R \geq 35 \text{ anni}$).

La presente relazione è redatta conformemente al D.M. 14.01.08 "Norme tecniche per le Costruzioni".

| Classe d'uso | Descrizione | C_u |
|---------------------|---|----------------------|
| I | Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. | 0,7 |
| II | Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. | 1,0 |
| III | Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. | 1,5 |
| IV | Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. | 2,0 |

Tab. n. 1.2 – Classi e coefficienti d'uso (DM 14/01/2008 – tabella 2.4.II).

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame fa parte della media pianura lombarda ed è geologicamente caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi quaternari legati all'attività fluviale e fluvioglaciale del Fiume Ticino.

Una prima e fondamentale distinzione di tali depositi viene effettuata su base morfologica e permettere di distinguere tre ripiani morfologici, separati da scarpate erosionali di origine fluviale:

- i depositi affioranti ad Est della scarpata principale, posti a quote topografiche più elevate, denotano una genesi fluvioglaciale e sono attribuibili al *Fluvioglaciale Wurm*. Essi rappresentano la porzione medio-grossolana dei sedimenti risalenti al Pleistocene Superiore, accumulatisi nella Valle Padana durante la fase parossistica dell'ultima glaciazione (Wurmiana).

- Ad ovest, rispetto alla scarpata principale, i materiali presentano un carattere prevalentemente sabbioso o sabbioso-ghiaioso. La loro origine deve essere ricondotta a fasi successive di alluvionamento e di erosione del Fiume Ticino (Alluvium antico).

Il settore in esame è compreso nei Fogli 44 "Novara" e 45 "Milano" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Fig. n. 2.1 e n. 2.2); le tavole allegate fanno riferimento alle unità stratigrafiche ivi distinte, a partire dalla più antica:

- Alluvioni fluvioglaciali riferibili alla glaciazione Wurmiana, suddivise sulla base di considerazioni litologiche e geomorfologiche, in diverse fasi stadiali wurmiane. A monte della linea dei fontanili si hanno alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleosuolo giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti; tali depositi sono attribuite al periodo Riss-Wurm del Pleistocene Superiore. A valle della linea dei fontanili si hanno invece alluvioni ghiaioso-ciottolose e fluviali prevalentemente sabbioso-limose con debole strato di alterazione brunastro; tali depositi sono attribuite al periodo Wurm del Pleistocene Superiore. Dal punto di vista litologico sono costituiti da ghiaie e sabbie a supporto clastico, mal selezionate e discretamente arrotondate; la matrice è generalmente sabbiosa grossolana di colore grigio, anche se non sono

rari orizzonti fini limosi. I clasti sono prevalentemente di natura granitoide, scistosa e gneissica e privi di alterazione. L'insieme di questi materiali forma il cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura Padana" che definisce i depositi riferibili all'ultima fase di colmamento della pianura, avvenuta nel corso del Pleistocene superiore, ad opera di apparati fluviali di notevoli dimensioni. Nel complesso questi depositi costituiscono una complessa successione di lenti e orizzonti che si interdigitano reciprocamente con variazioni granulometriche più o meno nette e marcate sia in orizzontale che in verticale. Questi terreni fino a c.ca 140 metri di profondità sono stati depositi nel corso del Pleistocene superiore ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali provenienti dai fronti di espansione dei ghiacciai e sono classificati in letteratura come "Diluvium Recente". Essi sono stati trasportati dalle acque di fusione dei ghiacciai innalzando il livello della pianura fino all'odierna morfologia, in successione ai sedimenti di origine marina costituiti da argille e argille marnose.

- Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali (Olocene superiore) degli alvei fluviali abbandonati ed attivi. Sono costituite da ghiaie e ghiaie sabbiose con locali intercalazioni di livelli sabbioso - limosi legati a fenomeni di esondazione.

Nelle tavole allegate alle unità stratigrafiche ufficiali sono state sovrapposte informazioni litologiche derivanti dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati, che hanno permesso la distinzione, relativamente agli orizzonti più superficiali, di tre unità:

- Sabbia con ghiaia / ghiaia con sabbia – si tratta di terreni granulari di composizione medio grossolana generalmente privi di frazione fine limosa (presente solo localmente in tracce); rappresenta la litologia più diffusa lungo il tracciato stradale in esame.
- Sabbia limoso ghiaiosa – si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi con una percentuale non trascurabile di limo e di ghiaia; è stato individuato in corrispondenza del sondaggio S14-15 (presso Albairate, al termine della "Tratta A").

- Limo sabbioso / limo con sabbia – questa litozona fine è stata individuata nei sondaggi S14-32 e S14-33 (lungo la "Tratta C" a Sud di Abbiategrasso).

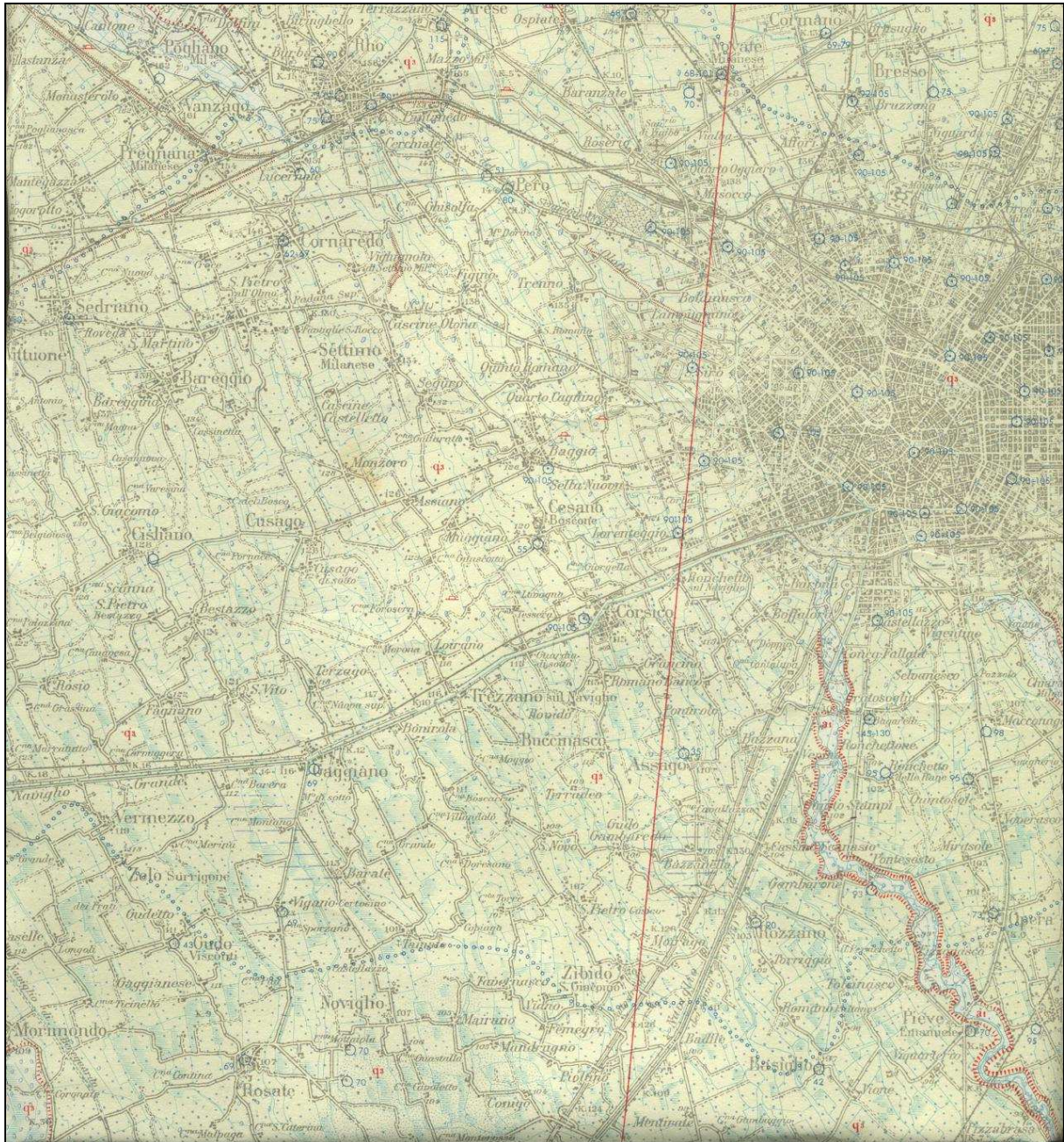


Fig. n. 2.1 - Stralcio del Foglio 45 "Milano" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

Collegamento tra la S.S. n. 11 "Padana Superiore" a Magenta e la tangenziale ovest di Milano, con variante di Abbiategrasso e adeguamento in sede del tratto della S.S. n. 494 da Abbiategrasso fino al nuovo ponte sul Ticino – Progetto Definitivo – 1° Stralcio Funzionale (CUP F32C05000320001)

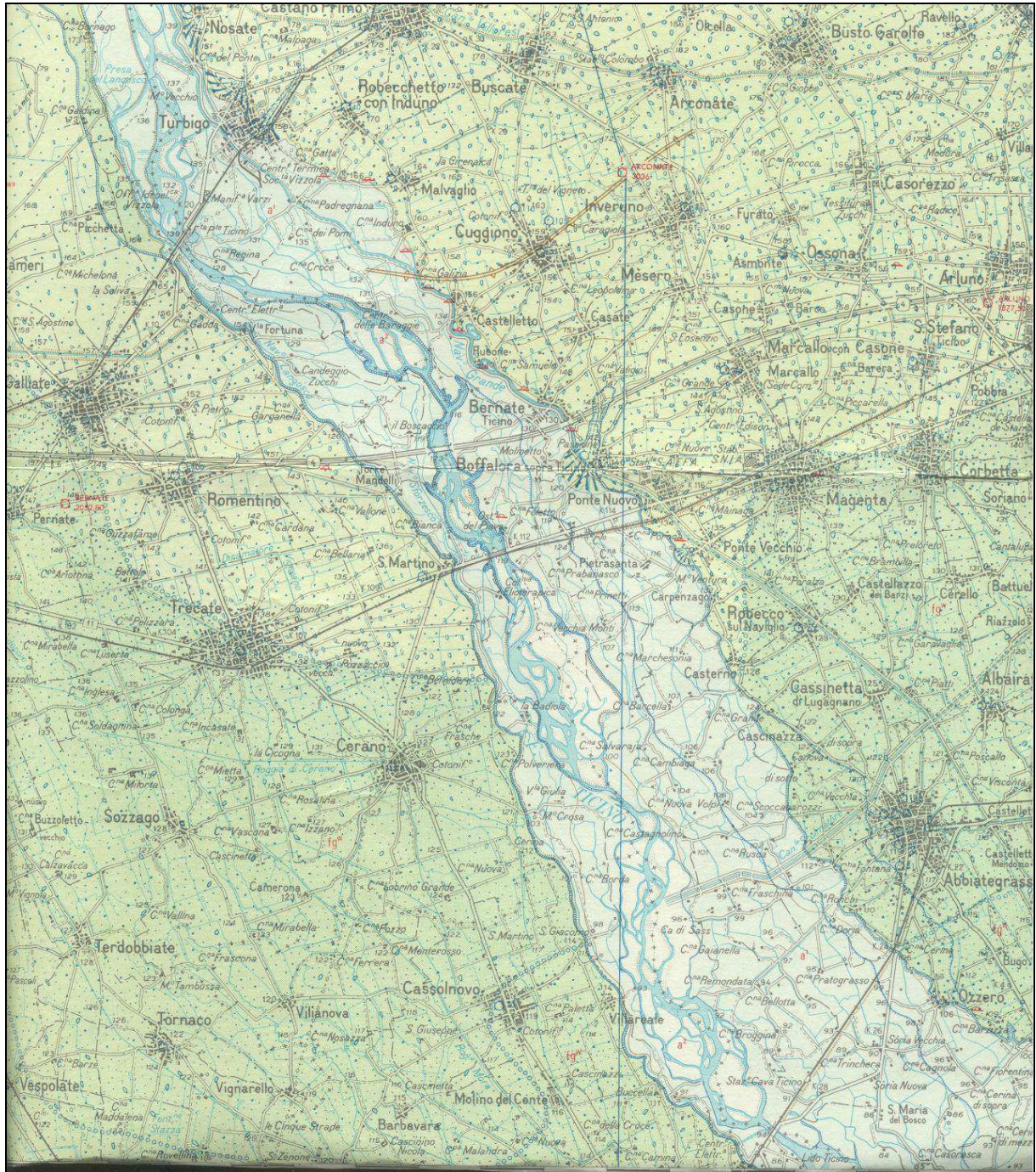


Fig. n. 2.2 - Stralcio del Foglio 44 "Novara" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

3 DINAMICA GEOMORFOLOGICA

Il territorio in esame presenta una morfologia pianeggiante, con scarse evidenze morfologiche, rappresentate da lievi ondulazioni, orli di terrazzo e superfici leggermente rilevate.

Dal punto di vista altimetrico il tracciato si sviluppa tra una quota di c.ca 145 e 90 m s.l.m. degradando da Nord verso Sud con una pendenza media pari al 3 per mille.

Gli elementi morfologici principali sono rappresentati dagli orli di terrazzo, spesso obliterati dall'azione antropica, che presentano un generale sviluppo Nord-Sud; la genesi di queste scarpate è riconducibile all'azione erosiva dei torrenti proglaciali che, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, danno luogo a morfologie depresse dalla tipica forma di valloni, a fondo debolmente concavo o piatto.

Il comparto in esame appare intensamente antropizzato, con conseguente alterazione ed influenza sui processi morfogenetici naturali, soprattutto in relazione al controllo della circolazione idrica superficiale e all'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali. Un'ulteriore modificazione indotta sul territorio deriva anche dallo sfruttamento a fini estrattivi di cave di ghiaia e sabbia. Si sottolinea in proposito, che in località Ponte Nuovo è presente una piccola depressione legata ad una antica attività estrattiva di altezza superiore a m 5 che interferisce con il tracciato previsto.

Il territorio si caratterizza quindi per la completa obliterazione delle dinamiche morfologiche naturali: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpatine ed avvallamenti di esclusiva genesi agricola.

Ulteriori elementi morfologici sono rappresentati dai paleoalvei sepolti e dai fontanili. I primi possono avere una locale influenza sulle linee isopiezometriche caratterizzandosi per permeabilità equivalenti orizzontali anche di ordini di grandezza differenti rispetto alle matrici in cui si trovano; le dimensioni di queste strutture sono ridotte a larghezze

nell'ordine delle decine di metri e si rinvencono principalmente nell'intorno dei corsi d'acqua che presentano andamenti meandriformi.

I fontanili sono delle emergenze sorgentizie originate da una progressiva predominanza, nell'acquifero indifferenziato, di terreni a bassa permeabilità in grado di condizionare circolazione sotterranea dell'acqua. Spesso la loro origine è riconducibile ad interventi antropici finalizzati al drenaggio delle acque per alimentare le rogge artificiali. Tali fontanili si localizzano lungo una fascia orientata E-O nel settore della media pianura lombarda. Non tutti i fontanili evidenziati nella cartografia allegata risultano attivi.

Infine si riconoscono localmente delle zone di ristagno idrico connesse sia alla presenza di orizzonti fini superficiali sia all'emergenza diffusa della falda idrica. Una di queste aree di ristagno, situata in Loc. Ponte Nuovo viene interessata dal nuovo tratto stradale ("Variante di Ponte Nuovo").

4 IDROGEOLOGIA

Nella tabella 4.1 sono riportate le denominazioni delle diverse unità idrogeologiche presenti nel sottosuolo di Milano e hinterland secondo diversi Autori.

| UNITA' LITOLOGICHE (MARTINIS B. & MAZZARELLA S. , 1971) | UNITA' IDROSTRATIGRAF. (FRANCANI & POZZI, 1981), | UNITA' STRATIGRAFICHE (PIERI & GROPPI, 1981) | UNITA' IDROGEOL. (AVANZINI ,BERETTA, FRANCANI et Al., 1995) | GRUPPI ACQUIFERI (REGIONE LOM-BARDIA & AGIP, 2002) |
|---|---|--|---|--|
| LITAZONA GHIAIOSO - SABBIOSA | FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Dil. Recente) | ALLUVIONE | UNITA' GHIAIOSO - SABBIOSA | A |
| | FLUVIOGLACIALE RISS - MINDEL AUCT. (Dil. Medio - Antico) | | UNITA' SABBIOSO - GHIAIOSA | B |
| | CEPPO AUCT. | | UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI | |
| LITAZONA SABBIOSO - ARGILLOSA | VILAFRANCIANO | SABBIE DI ASTI | UNITA' SABBIOSO - ARGILLOSA (facies continentali e di transizione) | C |
| LITAZONA ARGILLOSA | | | UNITA' ARGILLOSA (facies marine) | D |

Tab. n. 4.1 – Descrizione idrogeologica del sottosuolo milanese (Regione Lombardia & ENI – Divisione AGIP, 2002).

Riassumendo, si può dire che nel sottosuolo del comparto in esame sono state riconosciute ai fini idrogeologici tre litozone:

- Litozona ghiaioso-sabbiosa (nella quale si riconosce una subunità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica): questa unità è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani, con lenti argillose di limitato spessore ed estensione areale, ed è sede di un acquifero libero, che trae alimentazione per lo più dall'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche e irrigue; la subunità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica più antica affiora nelle aree pedemontane e di alta pianura, dove forma i terrazzi morfologicamente più elevati; gli acquiferi in essa contenuti sono separati da quello sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, talora molto spessi e quasi sempre molto estesi, che limitano gli scambi tra i due livelli acquiferie determinano la presenza di falde semi-confinata e localmente confinata; in linea generale, gli acquiferi più produttivi e di maggiore estensione areale si localizzano nella porzione sommitale e sono quelli attualmente sfruttati dalla maggior parte delle opere di captazione; l'insieme degli acquiferi contenuti in questa unità viene identificato come acquifero tradizionale, anche se nella realtà questo complesso è formato da un sistema multifalda che viene assimilato ad un acquifero monostrato; questa condizione strutturale assume un carattere ancor più marcato nelle aree di bassa pianura dove, in relazione all'affinamento della granulometria dei terreni, l'unità in esame è caratterizzata, già a partire dalla superficie, dalla prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano terreni più grossolani, che formano acquiferi con falde semi-confinata o confinata; lo spessore medio varia da 90-100 m nel settore settentrionale ai 20-40 m nella zona meridionale.

- Litozona sabbioso-argillosa: formata in prevalenza da argille e limi di colore grigio e giallo, con frequenti alternanze nella colorazione e con presenza di torbe, costituisce generalmente il substrato della falda acquifera tradizionalmente sfruttata; nei livelli sabbiosi o, più raramente, sabbioso-ghiaiosi sono presenti falde confinate, che traggono la loro alimentazione dalle aree poste più a N e dallo scambio con gli acquiferi soprastanti, laddove i setti argillosi di separazione sono discontinui; lo spessore più rilevante di tale unità si rinviene nell'area occidentale della Provincia di Milano con valori variabili tra 100 e 200 m, a fronte di valori compresi tra 0 e 160 m riscontrabili nei settori centrali e orientale.

- Litozona argillosa: formata prevalentemente da argille e limi di colore grigio-azzurro con micro e macro fossili marini, alle quali sono subordinati livelli sabbiosi, talora cementati, generalmente di modesto

spessore; queste unità, che si rinvennero nei pozzi per acqua profondi oltre 220-280 m nella media pianura e 130 m nell'alta pianura, vengono attribuite al Pleistocene inferiore (Calabriano).

Le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limoso-argillosi, che si verifica non solo con l'aumento della profondità ma anche procedendo da N verso S.

In sintesi, vengono generalmente distinti nell'ambito del territorio milanese tre complessi acquiferi principali (Fig. n. 4.1):

- Acquifero tradizionale: è l'acquifero superiore, costituito dalle unità ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica, comunemente sfruttato dai pozzi pubblici; la base di tale acquifero è generalmente definita dai depositi Villafranchiani.

- Acquifero profondo: è costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali del Pleistocene inferiore ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori.

- Terzo acquifero: si tratta di una serie di livelli acquiferi presenti nelle argille marine, solo sporadicamente presente nelle sezioni stratigrafiche.

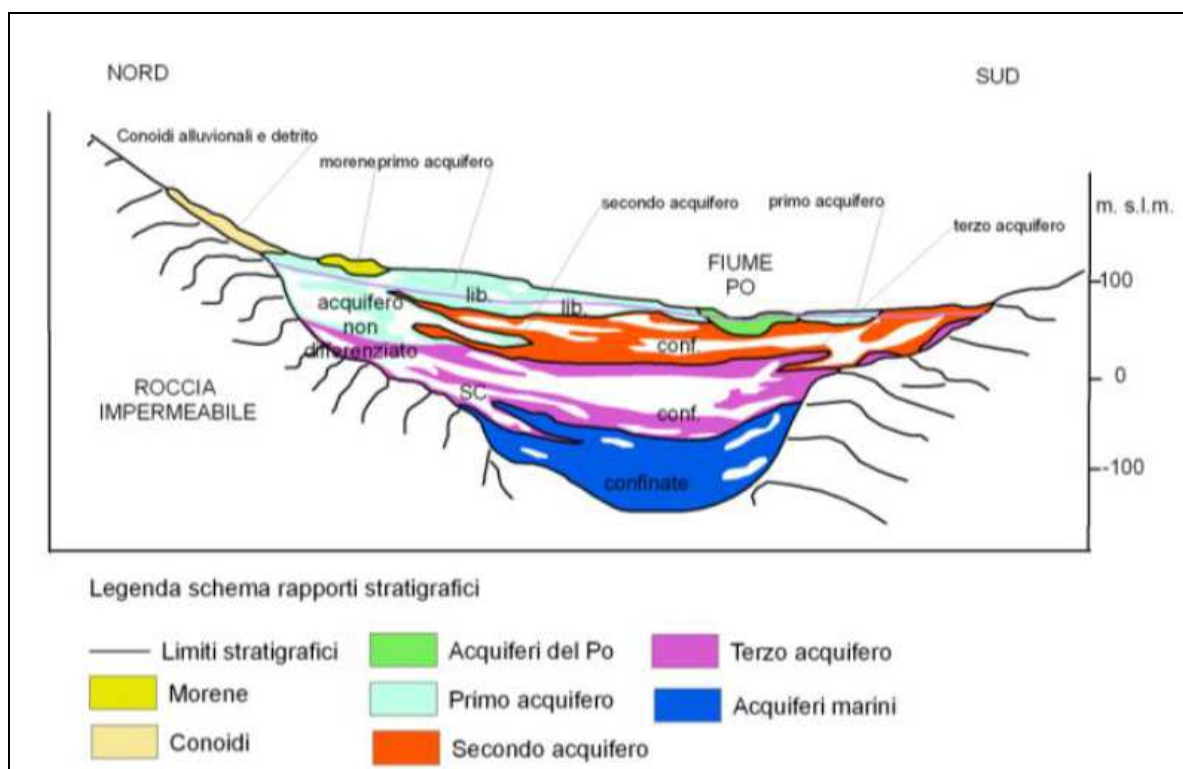


Fig. n. 4.1 – Schema geologico della Pianura Padana.

All'interno del corpo acquifero tradizionale viene comunemente distinto un acquifero freatico superficiale, presente fino ad una profondità di 40-45 m dal piano campagna, ed uno semiconfinato sottostante (con una profondità variabile tra 80 e 120 m dal piano campagna), separato dal precedente tramite lenti poco permeabili (*aquitard*) di spessore variabile (da 5 a 20m) e spesso discontinue. Tale orizzonte semipermeabile può essere individuato con una discreta continuità nella porzione meridionale dell'area, mentre tende ad assottigliarsi e progressivamente a scomparire verso N, dove non si ha più la distinzione tra gli acquiferi. Di conseguenza, nella parte settentrionale è presente la sola falda libera (una sola unità ghiaioso-sabbiosa), mentre nella parte a meridionale troviamo due unità ghiaioso-sabbiose separate da uno strato continuo di argilla e limo.

Nella più recente suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta da Regione Lombardia ed ENI (2002) si identificano i seguenti gruppi acquiferi (Tab. n. 4.1):

- Gruppo Acquifero A: corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa);
- Gruppo Acquifero B: corrisponde alla porzione di acquifero tradizionale più profondo, generalmente confinato o semi-confinato (litozona sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica);
- Gruppo Acquifero C: corrisponde all'acquifero profondo della litozona sabbioso-argillosa (Villafranchiano);
- Gruppo acquifero D: corrisponde all'acquifero profondo della litozona argillosa.

4.1 PIEZOMETRIA

Nella carta idrogeologica allegata è stata riportata la piezometria e la soggiacenza elaborata dal Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano per il settembre 2013.

L'andamento generale del livello della falda contenuta nel I Acquifero evidenzia una morfologia con linee di flusso che nel settore in esame presentano un andamento NO-SE. I valori di soggiacenza sono piuttosto

variabili: da meno di 1 m in corrispondenza delle estremità settentrionale (Loc. Ponte Nuovo) e meridionale (Loc. Soria) fino ad oltre 7-10 m nella fascia in prossimità della scarpata che delimita la Valle del Ticino.

Più in particolare, la piezometria della falda libera superficiale è caratterizzata da una struttura radiale convergente, nella quale si risente dell'effetto drenante del Fiume Ticino.

Le quote della falda variano da c.ca 130 m s.l.m. nel settore settentrionale (Comune di Boffalora Ticino, Loc. Ponte Nuovo) a 88 m s.l.m. nel settore meridionale (Comune di Ozzero, Loc. Soria).

Molto pronunciate risultano anche le differenze di gradiente idraulico che risente nel settore occidentale dell'andamento della superficie topografica (scarpata del Fiume Ticino) e nel settore meridionale della variazione granulometrica (presenza di materiali più fini), passando dallo 0,5% allo 0,3%.

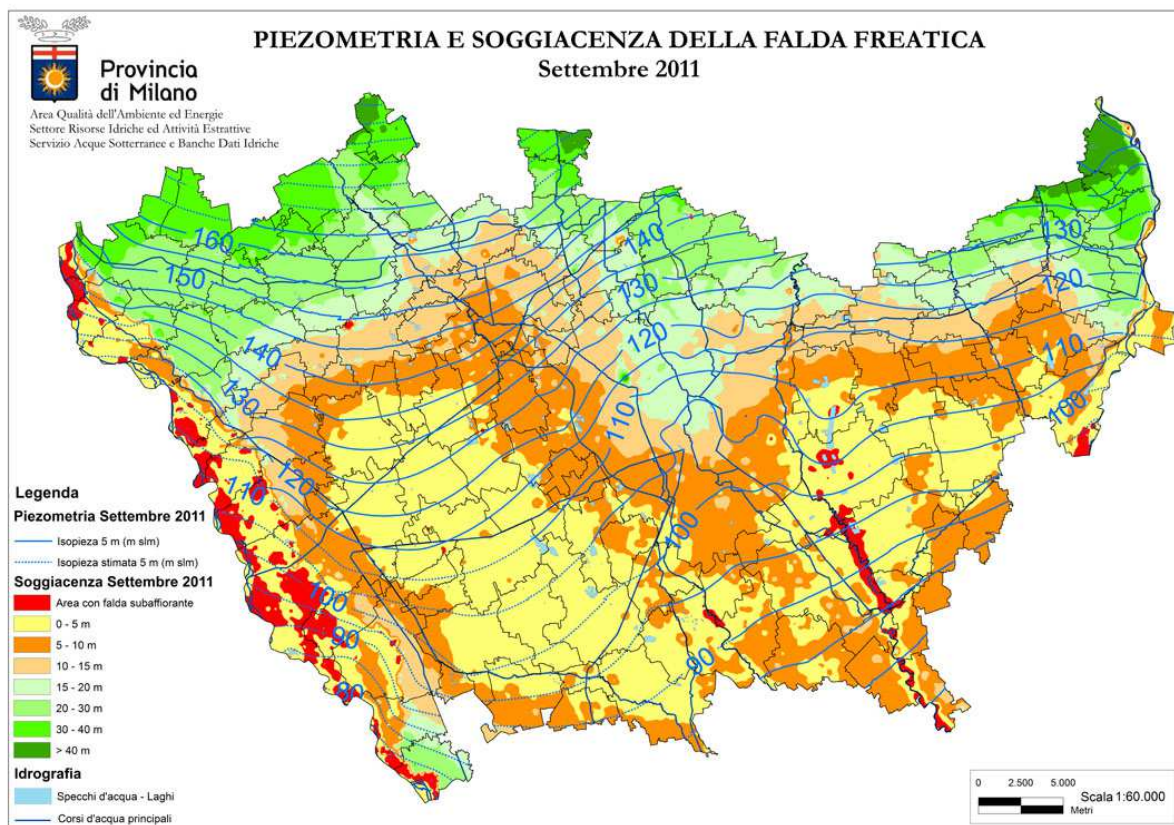


Fig. n. 4.2 – Piezometria e soggiacenza della falda freatica, settembre 2011 (Sistema Informativo Falda, Provincia di Milano).

Per quanto riguarda le oscillazioni piezometriche stagionali si registrano variazioni variabili dall'ordine metrico nella zona settentrionale a oscillazioni di ordine decimetrico nella zona meridionale. Variazioni ridotte si registrano anche in prossimità del Fiume Ticino, che svolge un'azione regolatrice dei livelli piezometrici. Le oscillazioni piezometriche osservate risentono fortemente dell'andamento del periodo irriguo. Infatti, i massimi livelli della falda (minima soggiacenza) si registrano nei mesi di agosto/settembre, mentre i minimi (massima soggiacenza) sono raggiunti tra marzo e aprile.

Per quanto riguarda l'andamento storico della falda si fa riferimento, oltre che alla bibliografia disponibile, all'analisi delle misurazioni di alcuni pozzi pubblici idropotabili situati in prossimità del tracciato viabilistico in esame.

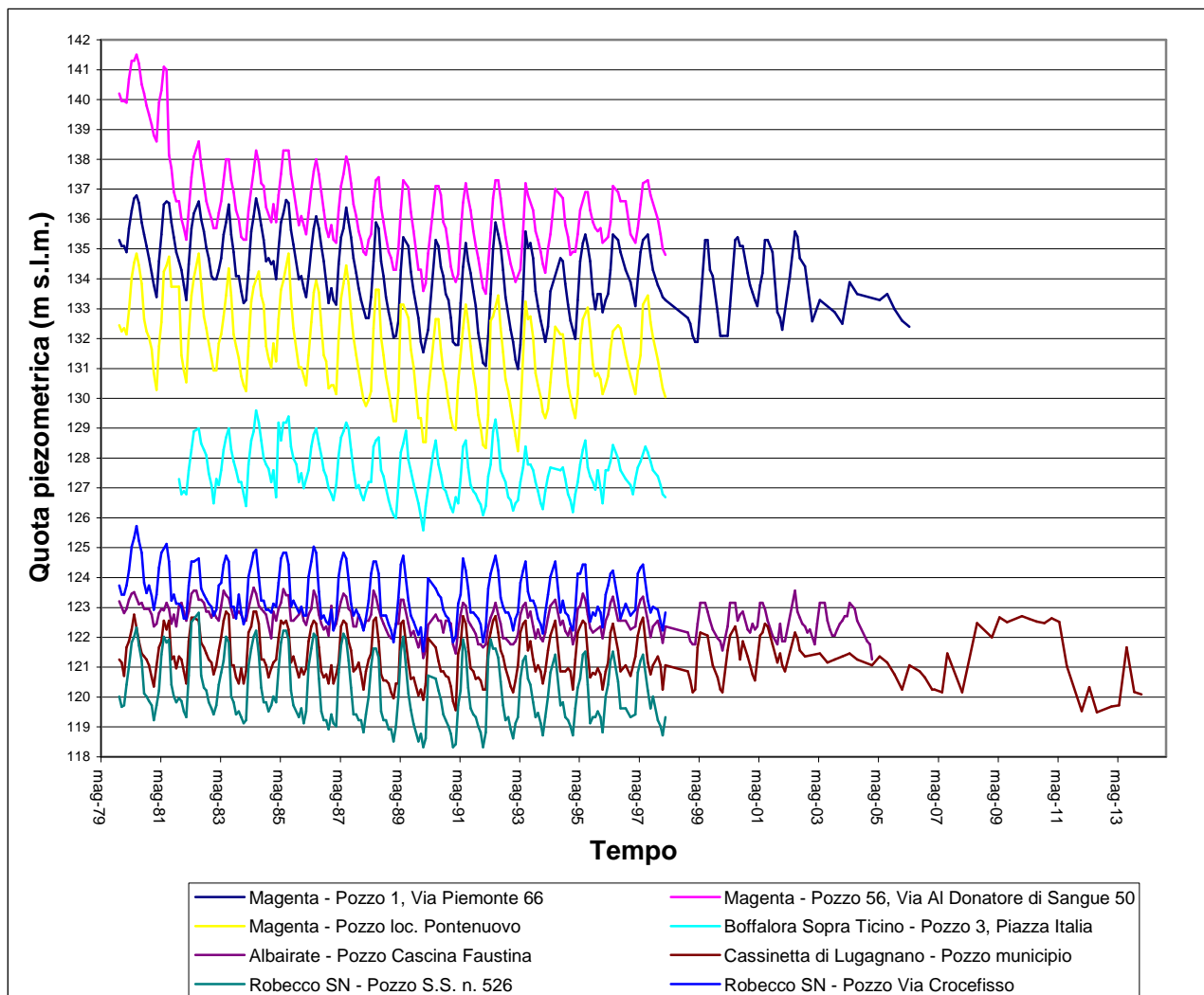


Fig. n. 4.3 - Andamento del livello piezometrico in alcuni pozzi pubblici.

La piezometria e la soggiacenza rappresentate nella carta idrogeologica allegata (SIF, settembre 2013) hanno un valore unicamente indicativo in quanto la falda a carattere locale può risentire di particolarità litologiche, idrogeologiche e topografiche non individuabili alla scala di inquadramento. Per tale motivo sono riportate anche le misure effettuate nei piezometri realizzati nel corso della campagna geognostica del 2014 (Tab. n. 4.2) che consentono una individuazione più accurata dell'assetto idrogeologico in funzione delle esigenze progettuali.

| Sondaggio | Tratta | Quota p.c. (m s.l.m.) | Soggiacenza (m dal p.c.) | Quota piezometrica (m s.l.m.) |
|-----------|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| S14-04 | Ponte Nuovo | 139,91 | 13,61 | 126,3 |
| S14-06 | A | 132,54 | 3,85 | 128,69 |
| S14-08 | A | 131,29 | 2,96 | 128,33 |
| S14-12 | A | 127,38 | 2,97 | 124,41 |
| S14-14 | A | 125,31 | 5,46 | 119,85 |
| S14-15 | A | 122,28 | 2,75 | 119,53 |
| S14-17 | A | 121,62 | 2,8 | 118,82 |
| S14-18 | A | 121,36 | 2,21 | 119,15 |
| S14-20 | A | 121,46 | 2,43 | 119,03 |
| S14-22 | A | 121,53 | 2,15 | 119,38 |
| S14-25 | C | - | 2,41 | - |
| S14-26 | C | - | 2,93 | - |
| S14-31 | C | 114,55 | 2,17 | 112,38 |
| S14-33 | C | 114,94 | 5,29 | 109,65 |
| S14-35 | C | 108,87 | 4,55 | 104,32 |
| S14-36 | C | 107,08 | 5,76 | 101,32 |

Tab. n. 4.2 – Misure piezometriche effettuate nei piezometri in data 20-11-2014.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

5.1 PROGRAMMA D'INDAGINE

Per la caratterizzazione geologica, idrogeologica, meccanica e sismica del comparto in esame è stata realizzata nel corso dei mesi di ottobre e novembre 2014 una campagna geognostica strutturata sulle seguenti indagini (Elaborati B.8.1-2, B.12.1-2 e B.16):

- n. 29 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabili tra m 20 e 35 da p.c. con realizzazione di prove penetrometriche in foro (SPT);
- n. 85 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi per analisi granulometriche e per la determinazione dei limiti di Atterberg (dove possibile);
- n. 5 campioni indisturbati prelevati dai sondaggi per analisi granulometriche e, dove possibile, per la determinazione dei limiti di Atterberg e per prove triassiali consolidate isotropicamente drenate;
- n. 9 stendimenti sismici con metodologia MASW;
- n. 17 perforazioni sono state attrezzate a piezometro per il monitoraggio della falda;
- n. 9 perforazioni sono state attrezzate per l'esecuzione di rilievi sismici down hole;
- n. 26 prove penetrometriche dinamiche continue;
- n. 20 pozzetti esplorativi per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio per la classificazione stradale ex CNR UNI 10006 (queste indagini sostituiscono, in accordo con ANAS S.p.A., le prove di carico su piastra che non è stato possibile realizzare per inagibilità dei terreni dovuta alle forti precipitazioni che hanno caratterizzato tutto il mese di novembre);
- n. 60 analisi chimiche per l'accertamento dello stato di qualità dei suoli superficiali.

Nel Febbraio 2000 e nell'Aprile 2008 erano state condotte due campagne geognostiche costituite nel complesso da:

- n. 14 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabili tra m 20 e 30 da p.c., con realizzazione di prove penetrometriche in foro (SPT) e prelievo di campioni di terreno per analisi granulometriche e limiti di Atterberg, le perforazioni sono state attrezzate a piezometro;
- n. 29 prove penetrometriche dinamiche continue di cui 5 attrezzate con micropiezometro.

Di seguito vengono descritti sinteticamente i risultati della campagna geognostica dell'ottobre-novembre 2014; per una visione completa delle risultanze di tutte le indagini effettuate si rimanda al documento B.3 – Indagini Geognostiche.

5.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo sono stati eseguiti con carotieri di diametro pari a 101 mm.

In tutte le perforazioni sono stati rinvenuti materiali prevalentemente granulari rappresentati da sabbia fine, sabbia limosa, sabbia con ghiaia e ghiaia con sabbia. In corrispondenza di numerose verticali di perforazione sono inoltre stati individuati, nelle porzioni più superficiali (entro la profondità di m 10) degli orizzonti di spessore metrico di materiale coesivo costituiti da limi sabbiosi, limi con sabbie o argille.

Lungo tutto il tracciato analizzato si osserva una diminuzione della frazione ghiaiosa con la profondità: per profondità superiori a m 15 / 25 si incontrano materiali di tipo quasi esclusivamente sabbioso.

5.3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le prove penetrometriche dinamiche sono state eseguite con un penetrometro dinamico tipo Pagani DPH (Dynamic Probing Heavy).

I terreni mostrano in generale un graduale aumento della resistenza alla penetrazione con la profondità, specialmente nelle prove P14-01, P14-02 e da P14-8 a P14-26, dove si raggiunge il rifiuto alla penetrazione.

Localmente (ad esempio nelle prove da P14-03 a P14-07) si osservano orizzonti di spessore metrico con resistenza media e medio-alta anche a bassa profondità (entro m 7-8 dal p.c.), cui segue dapprima una riduzione del grado di addensamento e quindi un graduale aumento con la profondità.

5.4 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nel corso delle perforazioni sono stati raccolti n. 85 campioni rimaneggiati e n. 5 campioni indisturbati (tramite campionatore semplice a pareti sottili), che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico finalizzate alla classificazione (granulometria e limiti di consistenza) e alla determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni (relativamente ai soli campioni indisturbati).

Per quanto riguarda la distribuzione granulometrica la maggior parte dei campioni analizzati sono costituiti prevalentemente da sabbia con frazioni minori di ghiaia e limo (fino al 35%); secondariamente si evidenziano ghiaie (con sabbia o sabbiose) e meno frequentemente limi (con sabbia o sabbiosi).

Sulla base della plasticità i terreni analizzati ricadono nel campo dei limi di bassa plasticità (ML).

5.5 INDAGINI GEOFISICHE

E' stata condotta una campagna di indagini geofisiche con metodologie MASW e Down Hole, allo scopo di ottenere il valore medio di velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità (Vs30) e ricavare la categoria di sottosuolo per ogni area indagata.

5.5.1 Metodologia MASW

Sono state condotte n. 9 prospezioni geofisiche con metodologia MASW.

Le indagini mostrano generalmente un aumento graduale della velocità delle onde S con la profondità; i valori di Vs30 ottenuti sono generalmente

compresi tra 260 (MASW n. 8) e 356 m/s (MASW n. 1), corrispondenti alla categoria di suolo C. Fa eccezione la MASW n. 2, con Vs30 pari a 361 m/s, corrispondente alla categoria di suolo B.

5.5.2 Metodologia Down hole

I sondaggi S14-03, S14-05, S14-09, S14-16, S14-19, S14-21, S14-23, S14-32 e S14-34 sono stati attrezzati per l'esecuzione di indagini geofisiche con metodologa Down hole.

I valori di Vs30 ottenuti sono compresi tra 229,3 m/s (sondaggio S14-23) e 311,8 m/s (sondaggio S14-03), corrispondenti alla categoria di suolo C.

6 MODELLO GEOLOGICO

Dall'analisi delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile individuare quattro unità litotecniche principali che costituiscono il substrato dell'area interessata dall'intervento in esame. Per chiarezza il modello elaborato è stato rappresentato nei profili geotecnici allegati (Elaborati B.7.1, B.11.1 e B.15) in modo da consentire una visione immediata delle sue caratteristiche.

6.1 UNITÀ LITOTECNICHE

Nel suo complesso l'area in esame è quindi caratterizzata, a partire dalla superficie, dai seguenti livelli:

UNITÀ G3/G3*

Questa unità è costituita da ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaia caratterizzate da un grado di addensamento che varia da medio (G3) ad alto (G3*). Si rinvencono frequentemente intercalazioni di materiali costituenti l'Unità L5. L'unità G3/G3* si estende da p.c. fino a profondità massime di c.ca 22.0 m.

UNITÀ L5

Questo orizzonte è rappresentato da limo sabbioso a tratti debolmente argilloso e da limo con sabbia, con basso grado di addensamento. ;L'Unità L5 si ritrova generalmente intercalata all'interno dell'unità G3/G3*, con spessori variabili tra 1.5 e 2.0 m. Nel solo sondaggio S14-36 raggiunge spessori di circa 5.0 m.

UNITÀ S2

E' costituita da sabbia prevalentemente fine, limosa, talvolta ghiaiosa. Si rinviene normalmente al di sotto dell'unità G3/G3* e si estende oltre la massima profondità raggiunta dai sondaggi.

UNITÀ S1

L'orizzonte S1 è composto da sabbia prevalentemente fine, talora con intercalazioni di livelli sabbiosi a granulometria media; il grado di addensamento è medio. Questa Unità è stata riconosciuta solo in alcune tratte al di sotto dell'unità G3/G3* e/o all'interno dell'Unità S2 e si estende oltre la profondità raggiunta dai sondaggi.

7 PERICOLOSITA' SISMICA

7.1 DESCRIZIONE DELLA SISMICITÀ STORICA E RECENTE

Ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica di un'area, il primo passo consiste nell'analisi della distribuzione spazio-temporale dei terremoti avvenuti. Per tale scopo sono stati consultati tutti i cataloghi redatti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e disponibili in rete. Nello specifico si è fatto riferimento al:

- Catalogo DOM4.1 [*Monachesi e Stucchi, 1997*];
- Catalogo NT4.1 e NT4.1.1 [*Camassi e Stucchi, 1996, 1992*];
- Catalogo dei forti terremoti italiani CFTI1 e CFTI2 [*Boschi et al, 1997; Boschi et al., 2000*];
- Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI11 [*A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi, 2011*];
- DBMI11 il database macrosismico utilizzato per la compilazione di CPTI11 [*Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011*].

Dalla consultazione dei cataloghi sismici sopra riportati risulta che:

- il settore in esame è caratterizzato da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata nell'ordine del VI grado della scala Mercalli (*Fig. n. 7.1*);
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti al settore orientale della provincia di Bergamo, al Veronese, al Bresciano ed alla zona dell'Appennino (catalogo DBMI11, osservazioni macrosismiche censite per i comuni di Magenta e Abbiategrasso - *Tab. n. 7.1*).

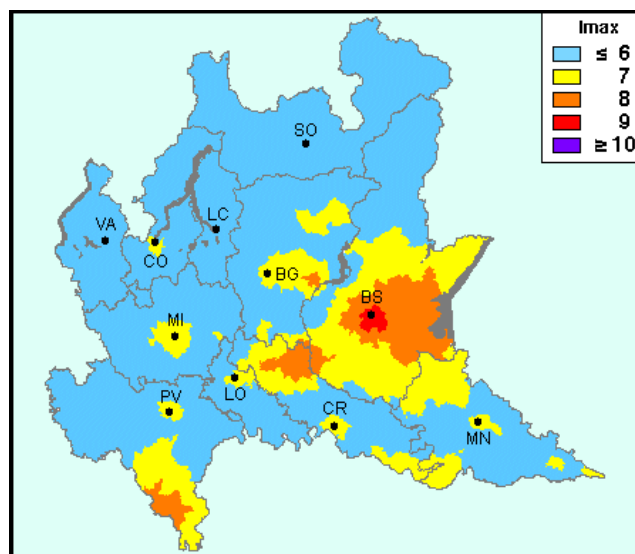


Fig. n. 7.1 - Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

| Storia sismica del Comune di Abbiategrasso | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------|
| Effetti in occasione del terremoto del: | | | | | |
| Is | Anno Me Gi Or Mi | Area epicentrale | Np | Ix | Mw |
| 4 | 1886 09 05 | VAL DI SUSA | 102 | 7 | 5.25 ±0.17 |
| 5 | 1887 02 23 05:21:50 | Liguria occidentale | 1516 | | 6.97 ±0.15 |
| 3-4 | 1894 11 27 05:07 | FRANCIACORTA | 183 | 6 | 5.07 ±0.10 |
| 3 | 1895 04 14 22:17 | Slovenia | 296 | 8 | 6.23 ±0.08 |
| 3 | 1898 03 04 21:05 | Valle del Parma | 313 | 7-8 | 5.41 ±0.09 |
| 5-6 | 1901 10 30 14:49:58 | Salò | 190 | 8 | 5.70 ±0.10 |
| 3 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 | 5.53 ±0.09 |
| NF | 1913 11 25 20:55 | Val di Taro | 73 | 4-5 | 4.84 ±0.20 |
| 3-4 | 1913 12 07 01:28 | NOVI LIGURE | 56 | 5 | 4.70 ±0.20 |
| 4 | 1918 01 13 12:00 | Milanese | 25 | 4-5 | 4.80 ±0.21 |
| 4 | 1920 09 07 05:55:40 | Garfagnana | 756 | 10 | 6.48 ±0.09 |
| 2 | 1960 03 23 23:08:49 | Vallese | 178 | | 5.00 ±0.20 |
| 3-4 | 1983 11 09 16:29:52 | Parmense | 850 | 6-7 | 5.06 ±0.09 |
| Storia sismica del Comune di Magenta | | | | | |
| Effetti in occasione del terremoto del: | | | | | |
| 4 | 1887 02 23 05:21:50 | Liguria occidentale | 1516 | | 6.97 ±0.15 |
| 4 | 1920 09 07 05:55:40 | Garfagnana | 756 | 10 | 6.48 ±0.09 |
| 3 | 1960 03 23 23:08:49 | Vallese | 178 | | 5.00 ±0.20 |
| 4 | 1968 06 18 05:27:33 | BARD | 60 | 6 | 5.08 ±0.17 |

Tab. n. 7.1 - Catalogo DBMI11, osservazioni macrosismiche censite per i Comuni di Abbiategrasso e Magenta.

Facendo riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. n. 7.2) ed al catalogo delle sorgenti sismiche DISS3 (DISS Working Group (2010), "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas" – Fig. n. 7.3) si nota come la porzione occidentale della Provincia di Milano ed un suo ragionevole intorno siano lontani da strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci").

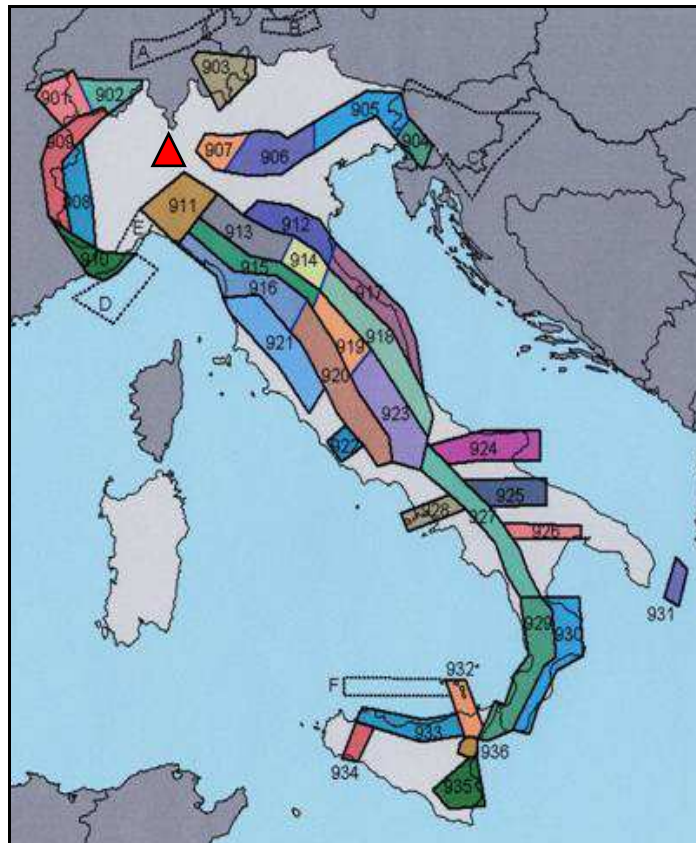


Fig. n. 7.2 - Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

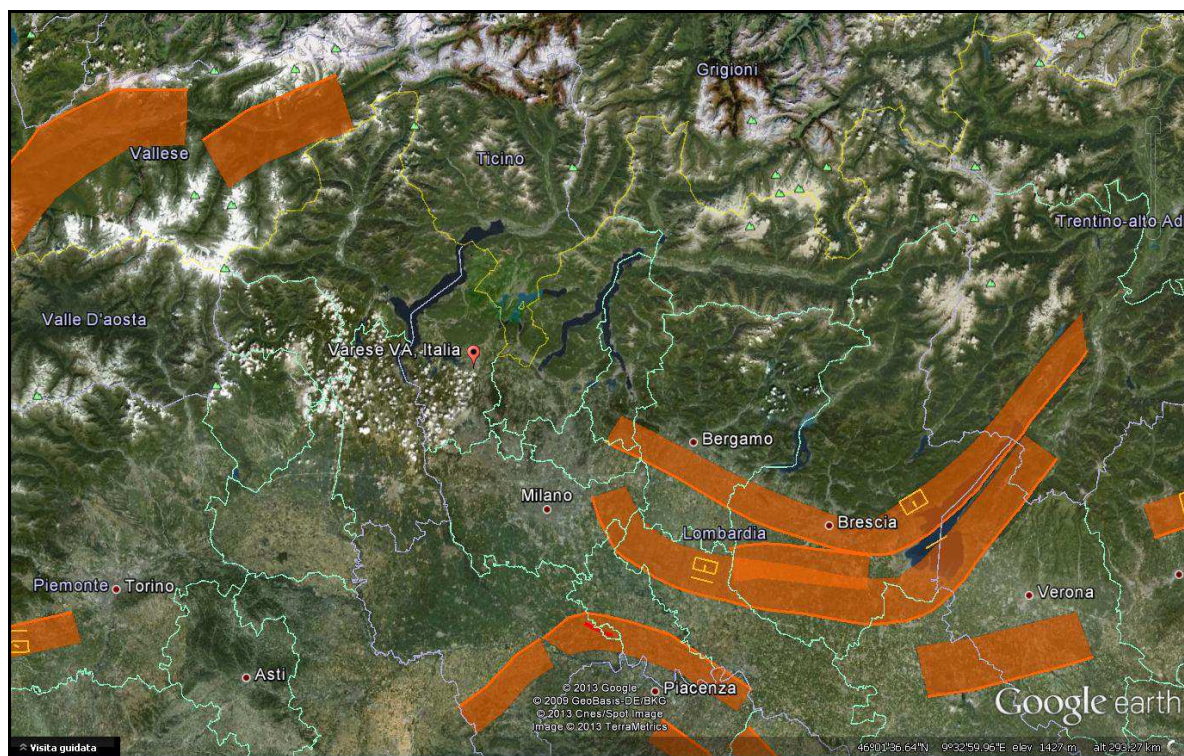


Fig. n. 7.3 - Ubicazione delle sorgenti sismiche (catalogo DISS3).

L'area in esame appare quindi caratterizzata da una bassa potenzialità sismica il cui aspetto principale risulta legato agli effetti risentiti e prodotti da terremoti di energia medio-elevata ($ML > 5$) avvenuti in aree epicentrali esterne e lontane del territorio in esame.

Tale aspetto risulta confermato anche dall'analisi della disaggregazione della pericolosità sismica per il punto griglia n. 12257 (Comune di Magenta) da cui emerge che il contributo maggiore alla pericolosità sia legato ad eventi sismici con magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 e distanze epicentrali comprese tra 50 e 70 km (Fig. n. 7.4).

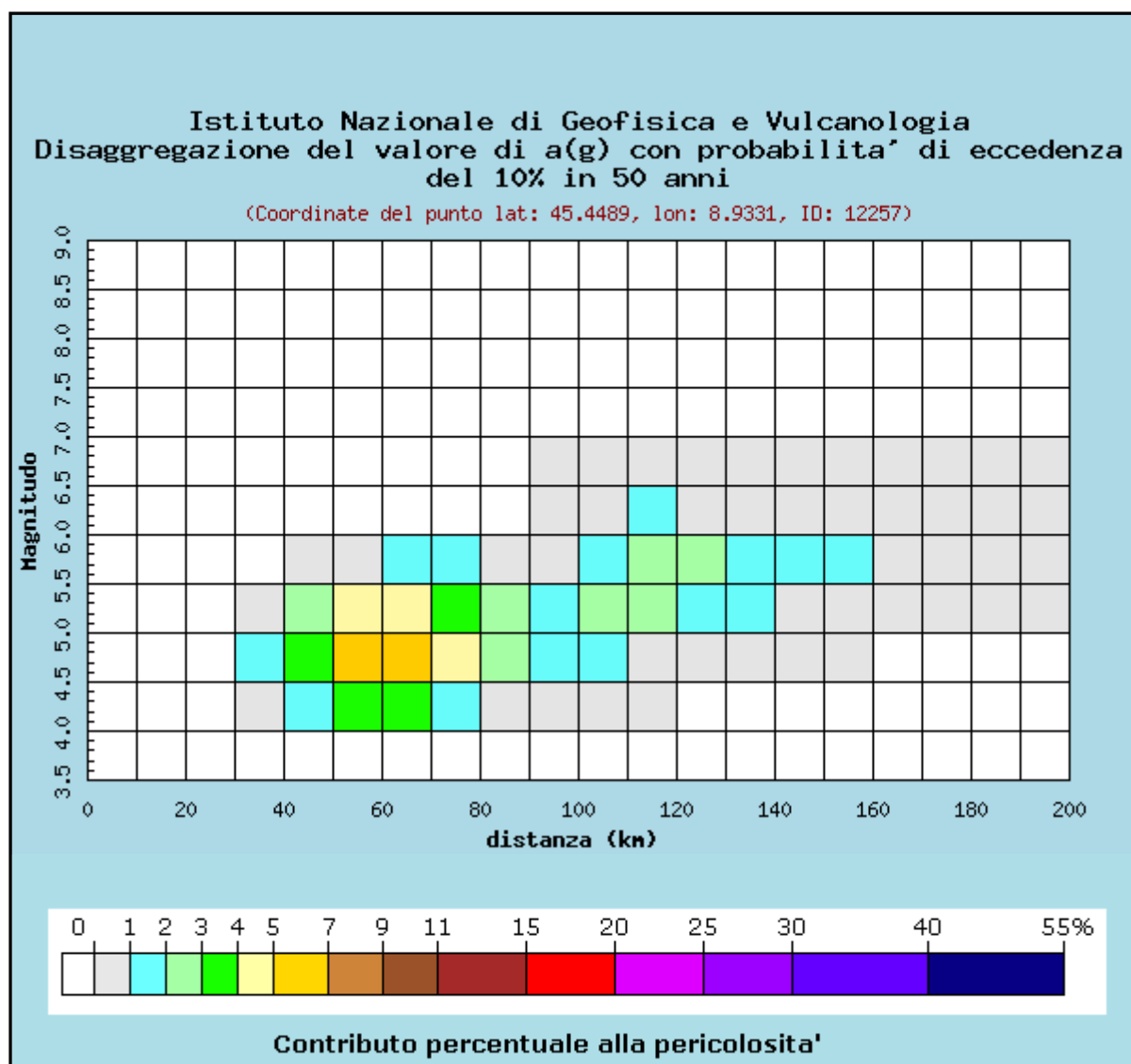


Fig. n. 7.4 - Analisi della disaggregazione per il punto griglia 12257 ($T_r = 475$ anni).

7.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

La classificazione sismica del territorio nazionale pone i comuni attraversati dall'infrastruttura viaria in esame in zona 4 (O.P.C.M. n. 3274 del 20-03-2003, All. n. 1; Fig. n. 7.5); tale classificazione viene confermata anche nell'aggiornamento deciso dalla Regione Lombardia (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014) che entrerà in vigore nell'ottobre 2015.

La pericolosità sismica di base, valutata in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A nelle NTC), viene espressa in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g in base ai nodi del reticolo di riferimento e a diversi tempi di ritorno.

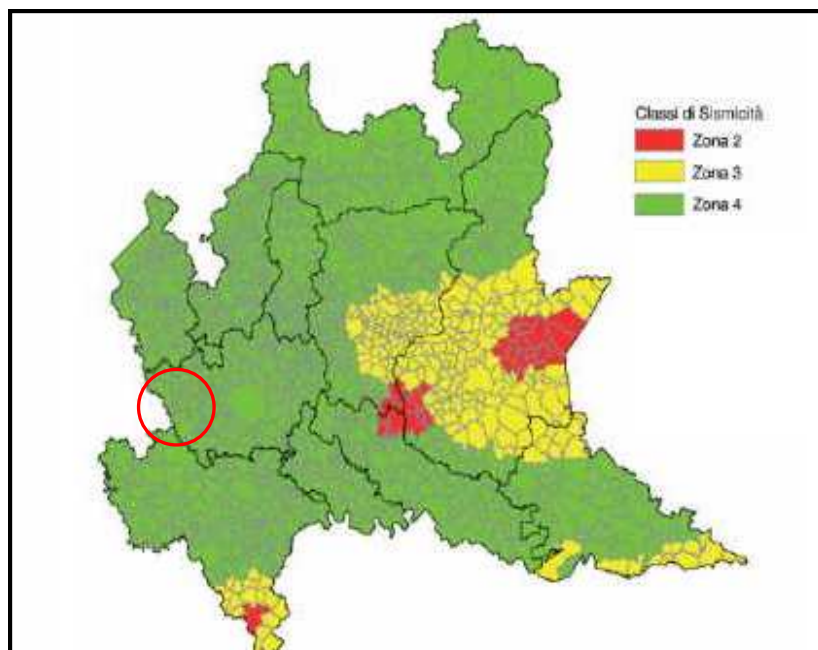


Fig. n. 7.5 – Classificazione sismica secondo l' O.P.C.M. n. 3274 del 20-03-2003.

Per l'opera in esame si è stimata, in accordo a quanto previsto dal D.M. 14-01-2008, una accelerazione massima del suolo a_g , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 950 anni), pari a 0,052g (Fig. n. 7.6 e Tab. n. 7.2); trattandosi di un'opera lineare si è considerato un punto rappresentativo delle condizioni più sfavorevoli.

| | Prob. Sup. [%] | Tr [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] |
|------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| SLO | 81 | 60 | 0,023 | 2,546 | 0,195 |
| SLD | 63 | 101 | 0,028 | 2,589 | 0,212 |
| SLV | 10 | 949 | 0,052 | 2,724 | 0,302 |
| SLC | 5 | 1950 | 0,061 | 2,813 | 0,317 |

Tab. n. 7.2 – Parametri sismici di base (non sono presi in considerazione i possibili effetti di amplificazione di sito).

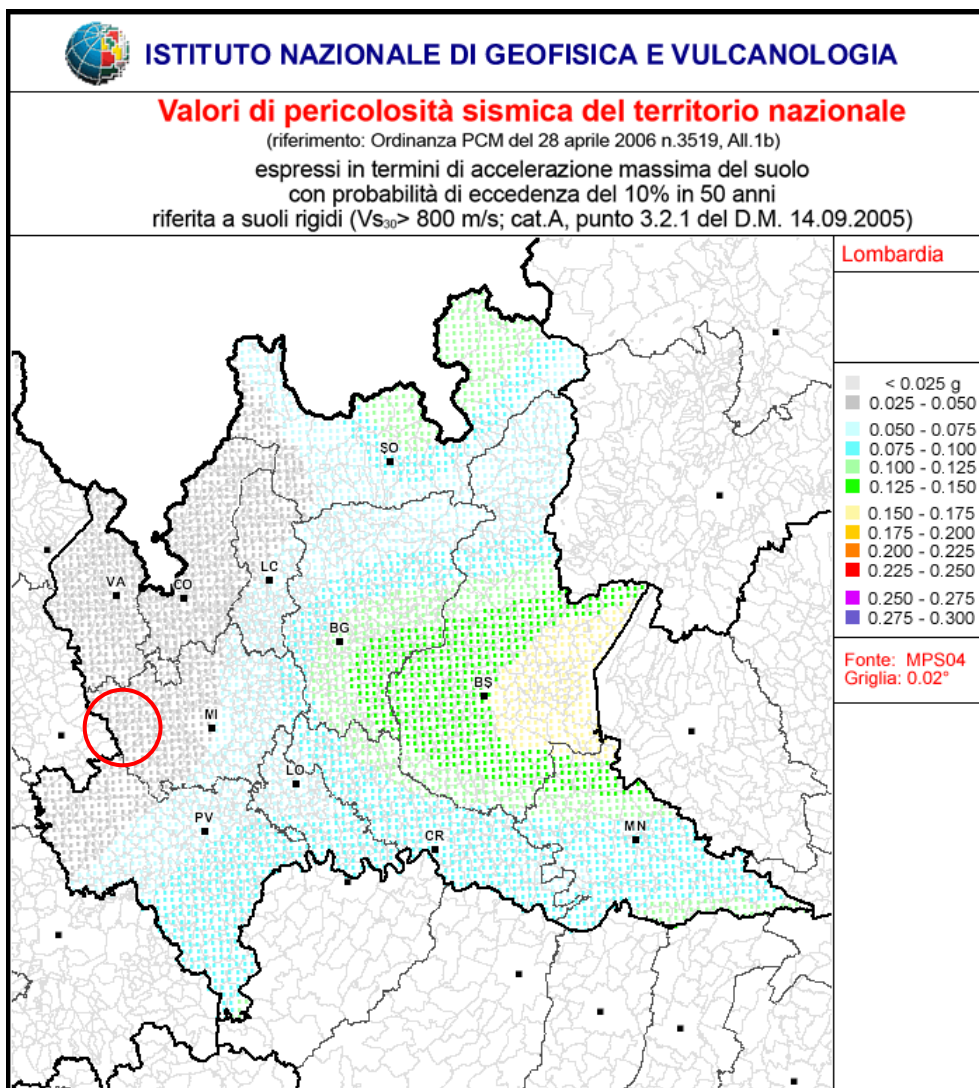


Fig. n. 7.6 – Pericolosità sismica, Regione Lombardia.

Per le verifiche geotecniche in condizioni sismiche si considerano come stati limite caratteristici lo stato di danno (**SLD**) e di salvaguardia della vita (**SLV**).

7.3 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo la normativa nazionale (D.M. 14-01-2008) gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri S_s (coefficiente

che tiene conto della categoria di sottosuolo) e S_T (coefficiente che tiene conto delle condizioni topografiche).

Effetti stratigrafici

Il parametro " S_s " che definisce gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia viene valutato in funzione delle caratteristiche del terreno nei primi 30 m di profondità.

A partire dal modello sismico monodimensionale ricavato dalle indagini sismiche effettuate (MASW e down hole) lungo il tracciato in esame, si calcola il valore delle $V_{s,30}$, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio (nel caso di fondazioni su pali, tale profondità è riferita alla testa del palo).

In corrispondenza di tutti i punti indagine sono stati ricavati valori di $V_{s,30}$ inferiori a 360 m/s (ad esclusione della MASW 2 per la quale si è ricavato un valore di 361 m/s) a cui corrisponde la **categoria di sottosuolo di tipo C** (Tab. n. 7.3).

Sulla base della categoria di sottosuolo, tramite le espressioni riportate nella tabella 3.2.V del D.M. 14-01-2008 si ricava un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s pari a 1,5.

Effetti topografici

Per la valutazione degli effetti topografici si fa riferimento alla classificazione proposta nella tabella 3.2.IV del D.M. 14 gennaio 2008, in base alla quale il comparto in esame viene classificato nella categoria topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) cui corrisponde un valore di S_T pari a 1,0 (tabella 3.2. VI del D.M. 14-01-2008).

| Categoria | Descrizione del profilo stratigrafico | Parametri | | |
|-----------|---|--------------------|-----------|----------------|
| | | V_{s30} (m/s) | N_{SPT} | C_u (kPa) |
| A | <u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> , 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 | > 800 | - | - |
| B | <u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 360 - 800 | > 50 | > 250 |
| C | <u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 180 - 360 | 15 - 50 | 70 - 250 |
| D | <u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | < 180 | < 15 | < 70 |
| E | <u>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</u> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s). | | | |

Tab. n. 7.3 - Categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.01.2008).

7.4 SINTESI DEI PARAMETRI SISMICI

Nella seguente tabella si sintetizzano i parametri sismici per la definizione dello spettro di risposta elastico per terreni appartenenti alla categoria di suolo C determinati per ogni opera maggiore.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,021 | 2,514 | 0,184 | 1,500 | 1,830 | 0,006 | 0,003 |
| SLD | 0,026 | 2,585 | 0,209 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,047 | 2,714 | 0,306 | 1,500 | 1,550 | 0,014 | 0,007 |
| SLC | 0,055 | 2,799 | 0,325 | 1,500 | 1,520 | 0,017 | 0,008 |

Tab. n. 7.4 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A CA01.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,021 | 2,516 | 0,185 | 1,500 | 1,830 | 0,006 | 0,003 |
| SLD | 0,026 | 2,585 | 0,209 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,048 | 2,714 | 0,306 | 1,500 | 1,550 | 0,014 | 0,007 |
| SLC | 0,055 | 2,799 | 0,324 | 1,500 | 1,520 | 0,017 | 0,008 |

Tab. n. 7.5 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A CA02.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,022 | 2,534 | 0,190 | 1,500 | 1,810 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,027 | 2,588 | 0,210 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,049 | 2,724 | 0,305 | 1,500 | 1,550 | 0,015 | 0,007 |
| SLC | 0,057 | 2,811 | 0,322 | 1,500 | 1,530 | 0,017 | 0,009 |

Tab. n. 7.6 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A CA04.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,022 | 2,535 | 0,191 | 1,500 | 1,810 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,027 | 2,588 | 0,210 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,049 | 2,725 | 0,305 | 1,500 | 1,550 | 0,015 | 0,007 |
| SLC | 0,057 | 2,812 | 0,322 | 1,500 | 1,530 | 0,017 | 0,009 |

Tab. n. 7.7 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A CA06.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,022 | 2,538 | 0,192 | 1,500 | 1,810 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,027 | 2,589 | 0,210 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,049 | 2,726 | 0,304 | 1,500 | 1,550 | 0,015 | 0,007 |
| SLC | 0,057 | 2,814 | 0,321 | 1,500 | 1,530 | 0,017 | 0,009 |

Tab. n. 7.8 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A PO01.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,022 | 2,539 | 0,192 | 1,500 | 1,810 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,027 | 2,589 | 0,210 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,049 | 2,728 | 0,304 | 1,500 | 1,560 | 0,015 | 0,007 |
| SLC | 0,058 | 2,815 | 0,321 | 1,500 | 1,530 | 0,017 | 0,009 |

Tab. n. 7.9 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A GA05-06.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,546 | 0,194 | 1,500 | 1,800 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,592 | 0,211 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,051 | 2,730 | 0,303 | 1,500 | 1,560 | 0,015 | 0,008 |
| SLC | 0,059 | 2,819 | 0,319 | 1,500 | 1,530 | 0,018 | 0,009 |

Tab. n. 7.10 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta A Rotatoria Albairate.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,546 | 0,194 | 1,500 | 1,800 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,592 | 0,211 | 1,500 | 1,760 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,051 | 2,730 | 0,303 | 1,500 | 1,560 | 0,015 | 0,008 |
| SLC | 0,059 | 2,819 | 0,318 | 1,500 | 1,530 | 0,018 | 0,009 |

Tab. n. 7.11 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta C VI03.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,546 | 0,195 | 1,500 | 1,800 | 0,006 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,588 | 0,212 | 1,500 | 1,750 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,052 | 2,723 | 0,302 | 1,500 | 1,560 | 0,014 | 0,007 |
| SLC | 0,061 | 2,812 | 0,317 | 1,500 | 1,530 | 0,016 | 0,008 |

Tab. n. 7.12 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta C CA16.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,546 | 0,195 | 1,500 | 1,800 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,589 | 0,212 | 1,500 | 1,750 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,052 | 2,724 | 0,302 | 1,500 | 1,560 | 0,016 | 0,008 |
| SLC | 0,061 | 2,813 | 0,317 | 1,500 | 1,530 | 0,018 | 0,009 |

Tab. n. 7.13 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta C PO02.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,542 | 0,195 | 1,500 | 1,800 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,589 | 0,212 | 1,500 | 1,750 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,051 | 2,727 | 0,303 | 1,500 | 1,560 | 0,015 | 0,008 |
| SLC | 0,059 | 2,817 | 0,318 | 1,500 | 1,530 | 0,018 | 0,009 |

Tab. n. 7.14 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta C PO03.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,023 | 2,541 | 0,195 | 1,500 | 1,800 | 0,007 | 0,003 |
| SLD | 0,028 | 2,587 | 0,212 | 1,500 | 1,750 | 0,008 | 0,004 |
| SLV | 0,051 | 2,725 | 0,303 | 1,500 | 1,560 | 0,015 | 0,008 |
| SLC | 0,059 | 2,815 | 0,318 | 1,500 | 1,530 | 0,018 | 0,009 |

Tab. n. 7.15 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Tratta C CA17.

| | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | S [-] | C_c [-] | K_h [-] | K_v [-] |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO | 0,021 | 2,503 | 0,183 | 1,500 | 1,840 | 0,006 | 0,003 |
| SLD | 0,025 | 2,580 | 0,210 | 1,500 | 1,760 | 0,007 | 0,003 |
| SLV | 0,046 | 2,700 | 0,307 | 1,500 | 1,550 | 0,013 | 0,006 |
| SLC | 0,054 | 2,783 | 0,326 | 1,500 | 1,520 | 0,015 | 0,007 |

Tab. n. 7.16 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito – Variante di Ponte Nuovo di Magenta.

7.5 CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno di annullamento temporaneo della resistenza al taglio dovuto ad accumulo di deformazioni plastiche nei terreni saturi, prevalentemente sabbiosi (ma non solo) sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate; questo fenomeno fa sì che il terreno si comporti come un fluido e interessa materiali privi di coesione quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata dalla colonna di terreno sovrastante.

In accordo a quanto prescritto dal D.M. 14 gennaio 2008 la verifica del potenziale di liquefazione può essere omessa qualora si verifichi almeno una delle condizioni sotto elencate:

- A. Magnitudo dell'evento atteso $M < 5$.
- B. Accelerazione massima al suolo (a_{max}) in condizioni di free-field inferiore a $0,10g$.
- C. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m e fondazioni di tipo superficiale.
- D. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$.
- E. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura n. 7.11.1 delle NTC08.

Nel caso specifico in studio la massima accelerazione attesa al sito a_{max} (SLV) risulta pari a:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0,076g < 0,1g$$

E' quindi possibile escludere che il sito possa essere soggetto a fenomeni di liquefazione.

8 QUALITA' AMBIENTALE DEI SUOLI

Durante la campagna di indagine sono stati prelevati n. 60 campioni rimaneggiati volti a definire le caratteristiche ambientali dei terreni, fondamentali per la definizione del piano di gestione dei materiali di scavo secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

A tale scopo sono state seguite le disposizioni del D.M. n. 161 del 10 agosto 2012 ("Regolamento recante la disciplina dell'utilizzo delle terre e rocce da scavo") in quanto, secondo l'art. 41 comma 2 della L.98/2013 (legge di conversione del c.d. "Decreto del Fare"), tale regolamento si applica alle attività e opere soggette a Autorizzazione Ambientale Integrata (AIA) o a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA).

In generale sono stati prelevati:

- n. 1 campione tra 0-1 m di profondità in corrispondenza dei "centri di pericolo";
- n. 1 campione tra 0-1 m di profondità ogni 500 m lineari di opera, per i tratti di strada in corrispondenza di terreni agricoli;
- n. 3 campioni (0-1 m, fondo scavo, intermedio tra i due) in corrispondenza delle gallerie.

Si rimanda al documento B.3 – Indagini geognostiche per la visione completa dei risultati delle analisi.

Di seguito si riportano i campioni che hanno evidenziato concentrazioni di elementi che superano la Concentrazione soglia di contaminazione (CSC) definite nella colonna A Tabella 1 allegato 5, al Titolo V parte IV del decreto legislativo n. 125 del 2006 e per le quali i valori di concentrazione rilevati rispettano le soglie di riferimento di cui alla colonna B della citata tabella.

| Parametro | U.M. | LIMITE COL. A | LIMITE COL. B | CA14-04 | CA14-49 | CA14-52 | CA 14-56 | CA14-56 bis | CA14-59 |
|--------------|-------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|
| ARSENICO | mg/kg | 20 | 50 | 32,3 | 25,3 | 28,6 | 21,6 | 10,8 | 5,3 |
| CADMIO | mg/kg | 2 | 15 | <RL | <RL | <RL | 7,7 | <RL | 0,68 |
| COBALTO | mg/kg | 20 | 250 | 12,7 | 12,3 | 9 | 4,93 | 6,5 | 4,32 |
| CROMO ESAV. | mg/kg | 2 | 15 | <RL | <RL | <RL | <RL | <RL | <RL |
| CROMO TOT. | mg/kg | 150 | 800 | 31,5 | 28,1 | 24,3 | 17,6 | 24 | 29,1 |
| MERCURIO | mg/kg | 1 | 5 | <RL | 0,54 | <RL | <RL | 2,52 | <RL |
| NICHEL | mg/kg | 120 | 500 | 28,6 | 26,4 | 20,2 | 14,5 | 17,7 | 13,6 |
| PIOMBO | mg/kg | 100 | 1000 | 27,3 | 18,1 | 23,4 | 21,3 | 24,6 | 86 |
| RAME | mg/kg | 120 | 600 | 27 | 21,6 | 15,3 | 16 | 85 | 44,8 |
| ZINCO | mg/kg | 150 | 1500 | 80 | 72,7 | 53,9 | 61,5 | 113 | 61,3 |
| AMIANTO TOT. | mg/kg | 1000 | 1000 | <RL | <RL | <RL | <RL | <RL | <RL |
| C>12 | mg/kg | 50 | 750 | <RL | <RL | <RL | 22,9 | 58 | 164 |

Tab. 8.1 – Risultati indagine ambientale, in grassetto sottolineato sono riportati i valori che superano i limiti della colonna A.

In prima analisi il materiale proveniente dalle aree che rispettano le soglie della colonna A potrà essere riutilizzato come materiale per tutte le lavorazioni.

Per i punti nei quali sono state registrati superamenti delle CSC relativamente alla Colonna A si rimanda alle procedure dettate dal D.Lgs 152/2006 art. 242 e s.m.i. in relazione alla destinazione d'uso attuale e futura.

9 VINCOLI GEOLOGICI

Per quanto riguarda le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento a (vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89, vincoli di polizia idraulica ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002, n. 7/7868 e successive modificazioni, aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, geositi) sono stati esaminati gli studi della componente geologica, idrogeologica e sismica dei Piani di Governo del Territorio (P.G.T.) dei comuni attraversati dall'opera in esame.

Da quanto sopra è stato riscontrato quanto segue:

- il tracciato non risulta interessato da vincoli legati al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), in particolare dalla Fasce Fluviali del Fiume Ticino;
- il tracciato non risulta ricadere all'interno di fasce di rispetto dei pozzi utilizzati a scopo idropotabile;
- il tracciato interseca numerosi corsi d'acqua, naturali e artificiali appartenenti al reticolo idrico principale, minore e di competenza consortile delimitati da fasce di rispetto per le quali valgono norme di polizia idraulica locali.

10 CONCLUSIONI

Il comparto interessato dalla realizzazione del nuovo collegamento stradale è caratterizzato dalla presenza di depositi sciolti di origine fluvioglaciale di età würmiana costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie più o meno limose; in linea generale si osserva una progressiva diminuzione della granulometria procedendo da Nord verso Sud. Il tracciato interessa quindi terreni quasi esclusivamente di tipo granulare quali sabbie e ghiaie, con locali intercalazioni di livelli più fini con caratteristiche più o meno coesive (Unità L5, limi sabbiosi e limi con sabbia): non si ravvisano quindi da questo punto di vista particolari criticità.

Il livello di falda si attesta procedendo da Magenta verso Abbiategrasso a profondità comprese tra 13.6 e 1.8 m dal p.c.; mentre tra Albairate e Cusago si rinviene a debole profondità dal p.c. (2.15÷2.8 m); infine nella zona a Sud di Abbiategrasso la profondità della superficie piezometrica si attesta tra 3.9 e 5.76 m da p.c.. E' da sottolineare che tra la sezione 17 e la sezione 19 della Variante di Ponte Nuovo sul Naviglio, caratterizzata da emergenze idriche diffuse e zone di ristagno, il livello di falda si trova in corrispondenza del piano campagna, con conseguente necessità di adottare specifici interventi di mitigazione. Tale livello può subire oscillazioni stagionali di entità fino ad alcuni metri. Sulla base di quanto precedentemente riportato esiste la possibilità concreta di interferenze tra il livello di falda e le tratte previste in trincea, per cui dovranno essere predisposti idonei interventi di aggotamento, drenaggio e impermeabilizzazione sia in fase di cantiere che in fase di esercizio. Si consiglia in proposito di effettuare un monitoraggio periodico del livello di falda al fine di valutare in modo più preciso e puntuale le reali oscillazioni con riferimento agli interventi da realizzare.

Dal punto di vista geomorfologico lungo il tracciato in esame non si segnalano evidenze di problematiche legate a fenomeni di dissesto, reale o potenziale. Dovrà comunque essere prestata particolare attenzione lungo tutto il percorso alle intersezioni con il fitto reticolo idrico, naturale ed artificiale che caratterizza questo settore di pianura, avendo cura di

garantire il regolare deflusso delle acque, evitando l'instaurarsi di zone di accumulo.

Nel caso della "Variante di Ponte Nuovo" dovrà essere inoltre attentamente valutata:

- l'interazione con le zone di emergenza e ristagno idrico presenti a Sud del Villoresi (sezioni 17-19);
- l'interferenza con la scarpata morfologica, garantendo la stabilità generale del pendio, con particolare riguardo alla gestione delle acque meteoriche;
- la presenza di un'area depressa oggetto in passato di attività estrattiva.

Varese, 05/12/2014

Dott. Geol. Paolo Granata

