



r_emiro.Giunta - Prot. 30/01/2024.0090002.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da
ancarlo
Sinha Thomas, SINHA THOMAS, Pancrazi

Titolo:
Impianto Biometano - 500 m³/h - Concordia sulla Secchia (MO)

Descrizione:
Relazione geotecnica

| N. Commessa | Tavola | Rev. | Data | Scala | Formato | Foglio |
|-------------|----------------|-----------------------|----------|---------|----------|---------|
| 21-04 | MO1 - REL - 29 | 0 | 10/03/23 | 1:1000 | A4 | 1 di 1 |
| 0 | 10/03/23 | Prima emissione | | | | |
| Indice | Data | Descrizione Revisione | | Disegna | Verifica | Approva |

IL TECNICO:
Dott. Ing. Cristiano Riccamboni



IL COMMITTENTE:
APIS-M01 Società agricola S.r.l.
Vicolo del Bersaglio civ. 30
39100 Bolzano

Il presente documento viene redatto a supporto del progetto per la realizzazione di un nuovo impianto di biogas da 500mc/h nel Comune di Concordia sulla Secchia in provincia di Modena; in particolare vengono affrontate le **tematiche geotecniche** connesse alla realizzazione del nuovo tramite stradale di accesso che, come è già stato indicato, dovrà permettere il transito di automezzi ed autoarticolati e per questo sarà classificato di 1^a categoria. Con riferimento alle tavole progettuali elaborate e tenuto conto delle risultanze geologiche, idrogeologiche e geotecniche desumibili da indagini specifiche effettuate - seppur per altri interventi - nell'areale di interesse da parte dello studio GeoProgetti srl (Dott.Geol. Rita Ballista e Dott.Geol. Paolo Cestari, periodo 2009-2014) di Medolla (MO) e più recentemente (2021-2023) dal Dott.Geol. Thomas Veronese di Codigoro (FE), si espongono di seguito le considerazioni di carattere geotecnico derivanti da:

- a) *adeguamento di tramite carrabile esistente lungo Via Forcole*
- b) *realizzazione di nuovo tramite carrabile fra Via Forcole e il sedime del nuovo impianto biogas*
- c) *risoluzione interferenze della via di accesso carrabile con alcuni collettori artificiali (canali irrigui, fossi di guardia, cunettoni stradali, etc).*

Relativamente ai **punti “a” e “b”** il tema prevalente è la composizione del rilevato stradale e della relativa piattaforma; in entrambi i casi si dovrà avere particolare cura nel rispetto di una successione stratigrafica tipica (v. fig.1a) e nella scelta dei materiali meccanicamente idonei anche in relazione al costipamento cui dovranno essere necessariamente sottoposti.

In via generale, partendo dallo strato più profondo e salendo fino a quello più superficiale, si possono individuare i seguenti strati di qualità via via crescente (v. fig.1b)

| STRATO | FUNZIONE | MATERIALE |
|------------|--|---|
| Usura | Aderenza e Regolarità | Conglomerato Bituminoso |
| Binder | Collegamento | Agglomerato Bituminoso |
| Base | Ripartizione strutturale dei carichi | Conglomerato Bituminoso misto cementi |
| Fondazione | Trasmissione dei carichi al Sottofondo | Misto di granulari con terre stabilizzate |
| Sottofondo | Dissipazione ed assorbimento dei carichi | Terre Stabilizzate |

Fig.1b

Tradizionalmente la pavimentazione stradale è costituita da diversi strati sovrapposti tra di loro e realizzati con materiali differenti; ciascuno strato è posizionato ad un livello preciso della pavimentazione stradale e assolve a funzioni specifiche e per questi motivi presenta delle caratteristiche distintive che differiscono sia in ragione della tipologia costruttiva della struttura stradale, sia in funzione delle sollecitazioni ambientali e di traffico, a cui la stessa dovrà far fronte nel corso del suo arco vitale utile.

In base alla diversa combinazione degli strati e alla scelta dei materiali costituenti, si potrà avere sulla pavimentazione stradale una diversa distribuzione dei carichi sul terreno di fondo e conseguentemente un diverso comportamento in esercizio motorio dei mezzi transitanti.

Il sottofondo rappresenta lo strato più profondo della pavimentazione stradale e ha il compito di distribuire e assorbire i carichi evitandone la concentrazione in un unico punto con potenziali rischi di cedimenti e di fessurazione dell'intera pavimentazione stradale.

Una corretta preparazione del sottofondo costituisce un aspetto strutturale fondamentale per la buona resa di tutti gli strati più superficiali della pavimentazione stradale e per la preservazione della sua integrità nel tempo. Infatti, anche in presenza di strati superficiali costituiti da materiali di ottima qualità e realizzati anche con le più recenti tecniche di messa in opera, qualora lo strato di sottofondo risulti di scarsa qualità, si potrà notare in brevissimo tempo un rapido deterioramento della pavimentazione sovrastante con una drastica riduzione della durabilità di tutta l'opera.

La fondazione costituisce il penultimo strato più profondo della pavimentazione stradale, ed è il primo livello di materiale lavorato ad essere in diretto contatto con il terreno di sottofondo.

Oltre a svolgere una funzione di parziale regolarizzazione della sovrastruttura stradale, rappresenta un secondo livello di distribuzione e uniformizzazione dei carichi verticali degli strati superiori.

Per la sua realizzazione viene solitamente utilizzato un misto granulare e/o materiali di recupero certificati per il riutilizzo in ambito di costruzione stradali; nella maggior parte dei casi si tratta di *fresato in conglomerato bituminoso*, *materiale demolito* da altre fondazioni stradali che hanno terminato il loro ciclo vitale o *materiali provenienti da scavi*.

La compatibilità geotecnica del rilevato stradale oggetto di studio riguarda sostanzialmente tutto il tracciato ed è legata sia alla compressibilità degli strati superficiali che al possibile manifestarsi alla riposta locale ed agli effetti di sito in caso di evento sismico; infatti le indagini geologiche effettuate nell'areale di interesse dallo studio GeoProgetti srl hanno evidenziato un materasso superficiale (fino a 3-4m di profondità) di materiale fine (argilloso) e quindi tendenzialmente compressibile soprattutto se, come è il caso di specie, interessato da falda stagionale per metà del suo spessore.

Al di sotto di questo strato superficiale la stratigrafia (v. Tabelle A e B) presenta materiali prevalentemente sabbiosi caratterizzate da addensamento crescente con la profondità e dove peraltro vi è tendenza alla filtrazione proveniente dallo strato superiore durante la stagione più piovosa: questo suggerisce a parere dello scrivente l'adozione di dreni verticali che favoriscano questo fenomeno evitando assestamenti del nuovo corpo stradale.

Tabella A – Stratigrafia tipica dell'areale di interesse

| Profondità dal p.c. (m) | Unità Formazionale | γ'_d (kN/m ³) | γ'_w (kN/m ³) | c'_k (kPa) | ϕ'_k (°) | C_{uk} (kPa) |
|-------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|----------------|
| 0.00 – 3.80 | Argille sovra consolidate passanti ad argille poco compatte | 16 | 18 | 2÷4 | 12÷14 | 33 |
| 3.80 – 15.60 | Sabbie da poco a mediamente addensate | 18 | 20 | 0 | 26÷28 | 0 |
| 15.60 – 35.00 | Sabbie addensate | 18 | 20 | 0 | 29÷31 | 0 |

Tabella B – Stratigrafia tipica dell'areale di interesse

| Profondità dal p.c. (m) | Unità Formazionale | γ'_d (kN/m ³) | γ'_w (kN/m ³) | Coeff.di Poisson (v) | Modulo elastico E'(kPa) | Modulo Edometrico Ed (kPa) |
|-------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0.00 – 3.80 | Argille sovra consolidate passanti ad argille poco compatte | 16 | 18 | 0.45 | / | 4000÷5000 |
| 3.80 – 15.60 | Sabbie da poco a mediamente addensate | 18 | 20 | 0.35 | 15000÷25000 | / |
| 15.60 – 35.00 | Sabbie addensate | 18 | 20 | 0.35 | 25000÷35000 | / |

Sul fronte “liquefazione” infine l'areale di interesse ricade in zona “7” (Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione, v. fig.2) secondo la “Carta delle aree suscettibili dui effetti locali” elaborata per il Nuovo PTCP approvato dalla Provincia di Modena con atto DCP n.46 del 18/03/2009.

| | |
|---|--|
| 7 | Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione studi*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u> *: approfondimenti di III livello. |
|---|--|

Fig.2

Le indagini condotte fra il 2009 e il 2014 dal Dott.Geol. Rita Ballista e Dott. Geol. Paolo Cestari dello studio GeoProgetti srl di Medolla (MO) hanno tuttavia evidenziato un rischio complessivamente basso e spesso molto basso con le carte tematiche comunali che sottolineano “rischio amplificazione e cedimenti attesi”.

In tempi più recenti (tra maggio 2021 e gennaio 2023) è stato affidato l'incarico di un ulteriore approfondimento geognostico al dott.geol. Thomas Veronese per una più completa caratterizzazione geologica e geotecnica del sito individuato per la costruzione dell'impianto di cui trattasi ed in seguito anche per le aree interessate dalla viabilità di accesso all'impianto medesimo.

Come si rileva dalla copiosa documentazione prodotta ed alla quale integralmente si rimanda il terreno naturale non presenta caratteristiche meccaniche particolarmente favorevoli, la falda è superficiale e le condizioni di sovraccarico espongono certamente le nuove opere al rischio di cedimento che deve essere opportunamente ed adeguatamente affrontato preventivamente (per quanto possibile) e risolto.

Il presente documento affronta il tema legato alla viabilità di accesso che come ormai noto riguarda l'adattamento di un tratto di rilevato stradale (pubblico) già esistente e la realizzazione di un nuovo tratto stradale in rilevato che si sviluppa per poche centinaia di metri fra la via pubblica ed il sito di costruzione.

Ebbene, la disamina del documento geologico prodotto dal dott. Veronese permette di evidenziare quanto segue:

- a) il sito (area privata) è sostanzialmente caratterizzato da terreni alluvionali fini, spesso compressibili (bassi valori dei moduli edometrici) e sono presenti anche diffusi livelli torbosi e argille organiche (v. fig.3a);

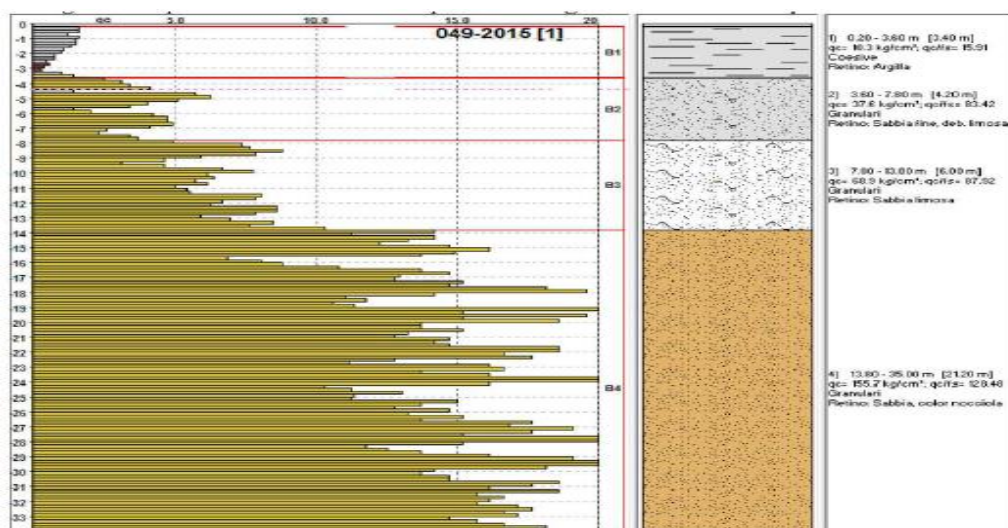


fig.3a

- b) il rilevato stradale esistente (Via Forcole) presenta una sequenza, sopra il livello del piano campagna circostante, che viene ben identificato in fig.3b e che, sulla base della classificazione UNI, non risultano particolarmente idonee ad essere riutilizzate come sottofondo se non consolidate a calce oppure “sporcate” con inerti che possano conferire caratteristiche migliori:

| PERFORAZIONE: S1 | | RDP SITO N°: SF230113 | | PROFONDITA': 5,00 m | | | |
|------------------------|---------------|----------------------------------|--|----------------------|------|----------|----------|
| ESECUZIONE: 31/01/2023 | | OPERATORE: HAMMANI - EL YAKHLIFI | | RIVESTIMENTO: 5,00 m | | | |
| COMMESSA: 0631FE/22 | | RESPONSABILE: BALZANO | | QUOTA s.l.m.: - | | | |
| METRI | METRI da P.C. | LITOLOGIA | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | CAMPIONI | | P.P. kPa | T.V. kPa |
| | | | | TIPO | NUM. | | |
| 1 | 0,70 | | Ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) in matrice sabbioso limosa, marrone | SH1 | 1,50 | 300 | 140 |
| | 1,50 | | Presenza di apparati radicali | | | | |
| 2 | 2,00 | | Argilla con limo, marrone | SH1 | 2,00 | 200 | 85 |
| | 3,00 | | Presenza di tratti debolmente sabbiosi | | | | |
| 3 | 3,50 | | Argilla limosa, grigio | SH2 | 4,50 | | |
| | 4,50 | | Da 2.60 a 3.00 m presenza di tracce di alterazione | | | | |
| 4 | 5,00 | | Sabbia (a grana medio-grossa) limosa, grigio | SH2 | 5,00 | | |
| 5 | | | | | | | |
| FINE SONDAGGIO | | | | | | | |

fig.3b

- c) per quanto attiene il rischio liquefazione sito e stabile per eventi con tempi di ritorno di 475 anni con cedimenti attesi, in caso di evento sismico, tendenzialmente non superiori a 5cm

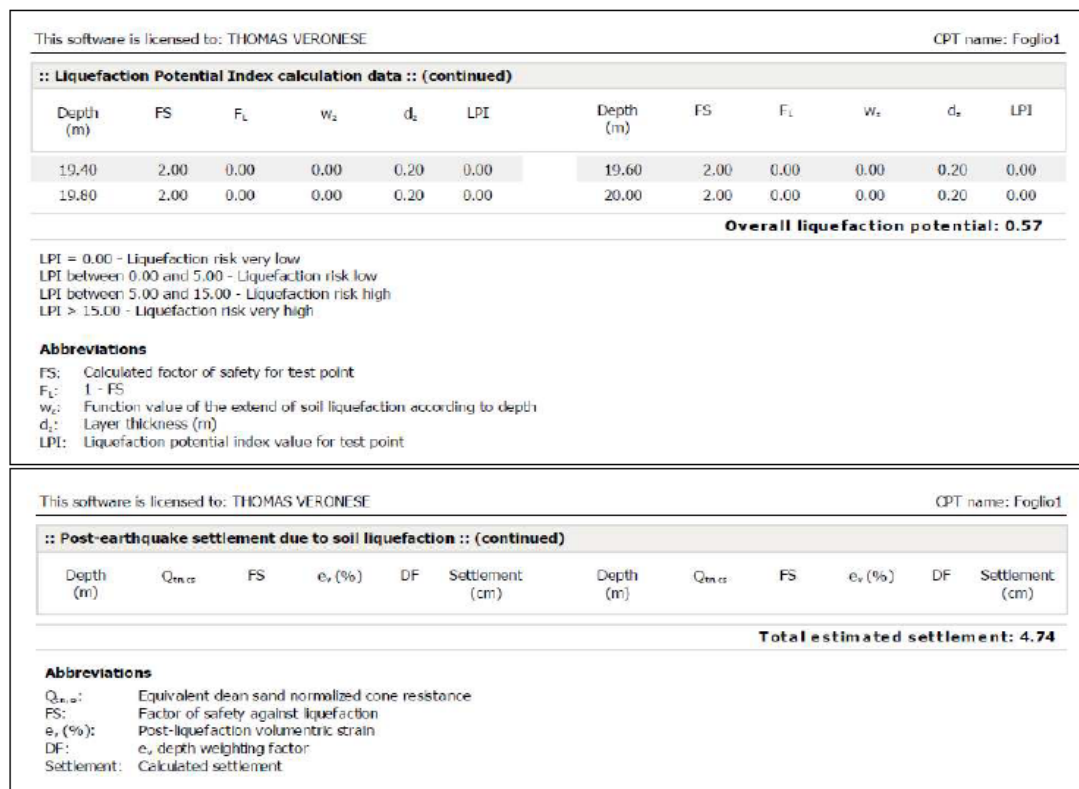


fig.3c

Per contro sono stati acquisiti presso la committenza i dati riguardanti il traffico “commerciale” previsto annualmente (oltre 16000 viaggi/anno) lungo la viabilità di accesso al sito che ne determinano una classificazione di “SECONDO,LIVELLO” (su 5, v. fig.3d).

| Livello di traffico | Numero di veicoli commerciali |
|---------------------|-------------------------------|
| 1° | 400.000 |
| 2° | 1.500.000 |
| 3° | 4.000.000 |
| 4° | 10.000.000 |
| 5° | 25.000.000 |
| 6° | 45.000.000 |

fig- 3d

Tale classificazione deriva dall’assunzione di una vita utile per la pavimentazione pari a 50 anni (probabilmente molto superiore al periodo di esercizio dell’ impianto biogas) che determina oltre 800mila transiti durante la vita utile medesima da parte di automezzi di portata a pieno carico superiore alle 16tonnellate sebbene per oltre il 25% superiori alle 30tonnellate ” (v. fig.3e).

| tipo di trasporto | capacità di carico | t/ trasporto | N° Viaggi Anno (A/R) | Frequenza Giorno |
|---|--------------------|--------------|----------------------|------------------|
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 143 | 4,8 |
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 690 | 2,2 |
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 71 | 2,4 |
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 179 | 0,6 |
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 67 | 2,2 |
| Camion con rimorchio | 42 balloni | 17 t | 290 | 0,9 |
| Camion con cassone ribaltabile (3 assi) | 32 m ³ | 18 t | 3 011 | 9,7 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 36 t | 278 | 0,9 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 36 t | 1 944 | 6,2 |
| Camion con cassone ribaltabile (3 assi) | 32 m ³ | 14 t | 139 | 0,4 |
| Camion con cassone ribaltabile (3 assi) | 32 m ³ | 14 t | 694 | 2,2 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 24 t | 250 | 3,5 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 24 t | 25 | 0,1 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 24 t | 250 | 0,8 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 24 t | 167 | 1,5 |
| Trattore con dumper (4 assi) | 65 m ³ | 26 t | 8 | 0,0 |
| Trattore con dumper (4 assi) | 65 m ³ | 26 t | 38 | 0,5 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 24 t | 8 | 0,1 |
| Trattore con dumper (4 assi) | 65 m ³ | 26 t | 8 | 0,1 |
| Trattore con autobotte (4 assi) | 40 m ³ | 36 t | 1 583 | 8,2 |
| | | | 8 261 | |

fig.3e

La tipologia degli automezzi in transito permette di assumere il valore di riferimento per il carico massimo trasferito in piattaforma (v. fig.3f).

| Tipo di veicolo | N° Assi | Distribuzione dei carichi per asse in KN | | | | | |
|-------------------------------|---------|--|------|------|------|------|------|
| 1) autocarri leggeri | 2 | ↓10 | ↓20 | | | | |
| 2) " " | " | ↓15 | ↓30 | | | | |
| 3) autocarri medi e pesanti | " | ↓40 | ↓80 | | | | |
| 4) " " " | " | ↓50 | ↓110 | | | | |
| 5) autocarri pesanti | 3 | ↓40 | ↓80 | ↓80 | | | |
| 6) " " | " | ↓60 | ↓100 | ↓100 | | | |
| 7) autotreni e autoarticolati | 4 | ↓40 | ↓90 | ↓80 | ↓80 | | |
| 8) " " | " | ↓60 | ↓100 | ↓100 | ↓100 | | |
| 9) " " | 5 | ↓40 | ↓80 | ↓80 | ↓80 | ↓80 | |
| 10) " " | " | ↓60 | ↓90 | ↓90 | ↓100 | ↓100 | |
| 11) " " | " | ↓40 | ↓100 | | ↓80 | ↓80 | ↓80 |
| 12) " " | " | ↓60 | ↓110 | | ↓90 | ↓90 | ↓90 |
| 13) mezzi d'opera | " | ↓50 | ↓120 | | ↓130 | ↓130 | ↓130 |
| 14) autobus | 2 | ↓40 | ↓80 | | | | |
| 15) " " | 2 | ↓60 | ↓100 | | | | |
| 16) " " | 2 | ↓50 | ↓80 | | | | |

fig.fe

In sintesi il terreno naturale (sottofondo per il nuovo rilevato) presenta caratteristiche estremamente scadenti e l'attuale corpo stradale (Via Forcole) non è idoneo a sopportare l'aumento di intensità e frequenza dei carichi pur a fronte di variazioni geometriche relativamente modeste.

La nota positiva scaturisce dalle verifiche rischio liquefazione che almeno permettono di escludere interventi di bonifica oltre lo strato di sottofondo che invece dovrà necessariamente essere previsto in materiale nuovo adeguatamente separato dal suolo circostante.

Tale esigenza deriva dal fatto che la teoria di Boussinesq estende fino a circa 1,5m di profondità la trascurabilità degli effetti del carico applicato in piattaforma e su questo sarà impostata ogni successiva valutazione progettuale; questo orientamento è utile anche ai fini della salvaguardia dei canali irrigui e di scolo che spesso interferiscono con il tracciato stradale.

Sotto questo specifico profilo vale la pena sottolineare la prescrizione del Consorzio Burana relativamente alla tutela del Fosso Dugale II per cui è stata richiesta una tombinatura (scatolare chiuso di misure nette interne BxH=2,5x2m, v. fig.4) in luogo della sezione trapezia in calcestruzzo con scorrimento a cielo aperto proposta inizialmente; tale prescrizione fa decadere ogni timore relativo alla stabilità di quella scarpata introducendo solo il tema della gestione di ulteriori interferenze con specifico riferimento alle scoline ed ai punti di attingimento già esistenti.

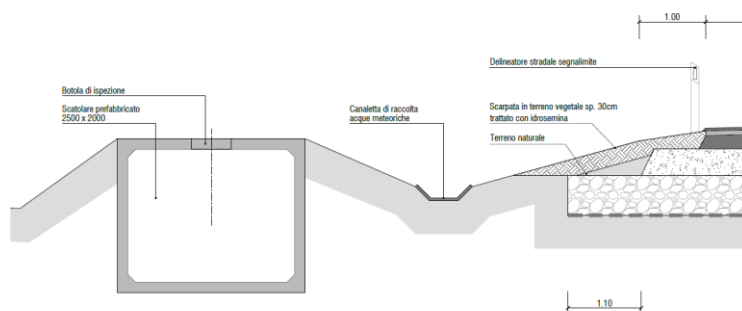


fig.4

Riguardo la compatibilità geotecnica fra lo scatolare chiuso ed il suolo sottostante e circostante si noti la sostanziale neutralità dell'intervento che pur modificando localmente la morfologia permette la definitiva salvaguarda e protezione del Fosso Dugale II e nel contempo contribuisce a mitigare l'impatto del nuovo traffico veicolare su via Forcole.

Per quanto concerne invece la proposta definitiva per i nuovi “corpi stradali” di fatto si rileva una convergenza, dettata da motivi diversi, fra la soluzione visualizzata in fig.5a e riferita al primo tratto di Via Forcole e la soluzione visualizzata in fig.5b e riferita al tratto nuovo; entrambe derivano peraltro dal “pacchetto” proposto per il rilevato stradale (v. fig.4, stralcio) che si sviluppa lungo il Fosso Dugale II

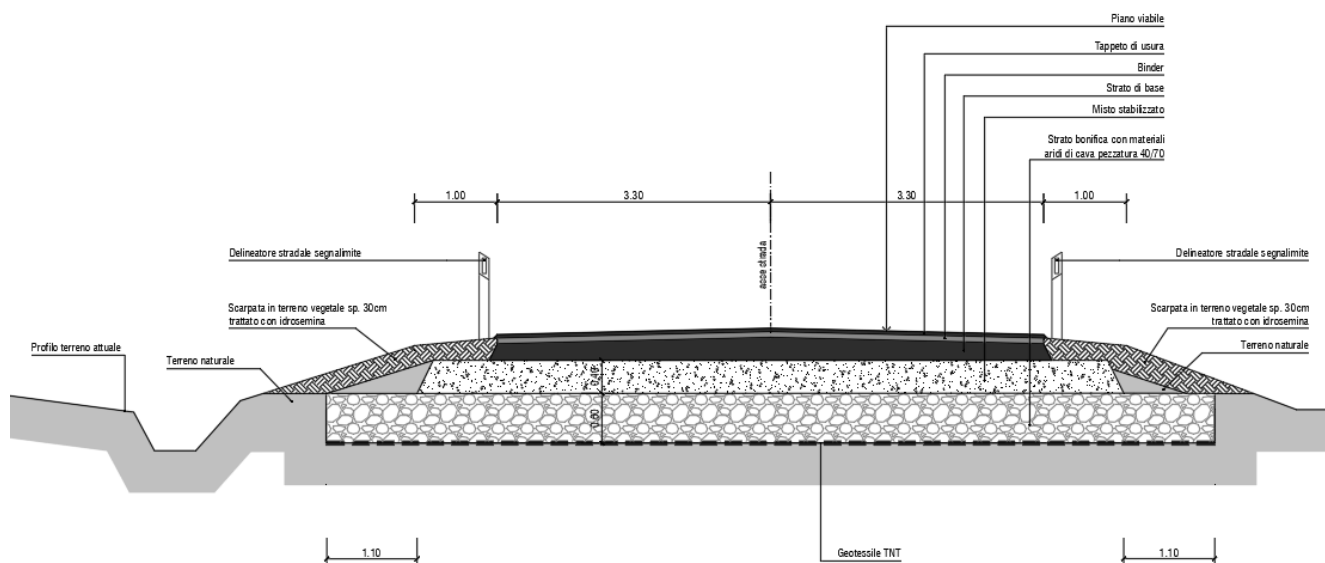


fig.5a (sezione 1)

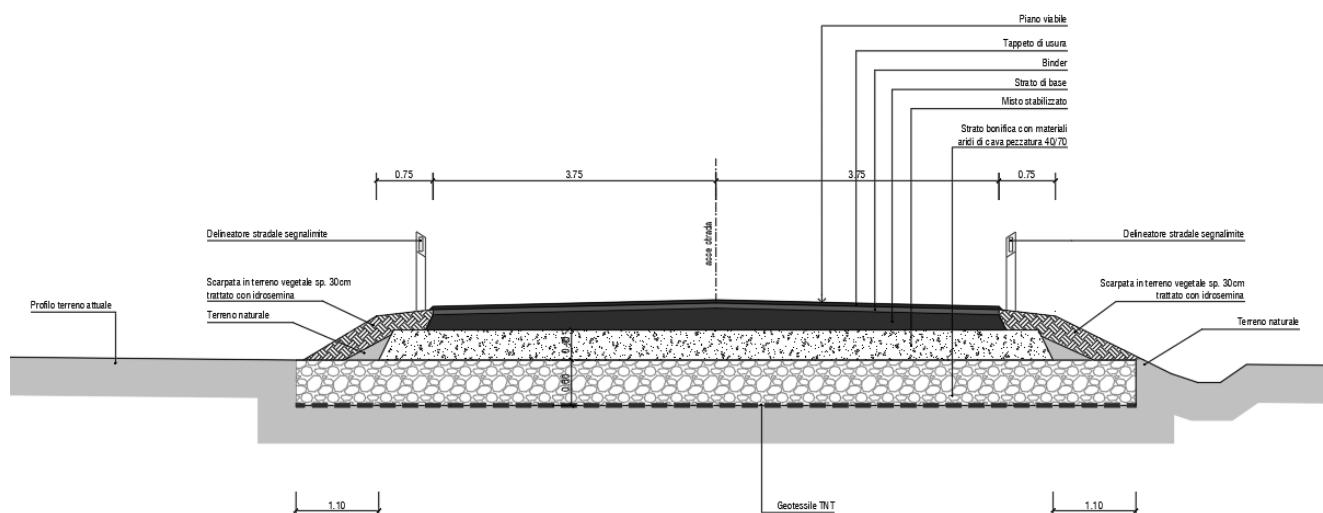
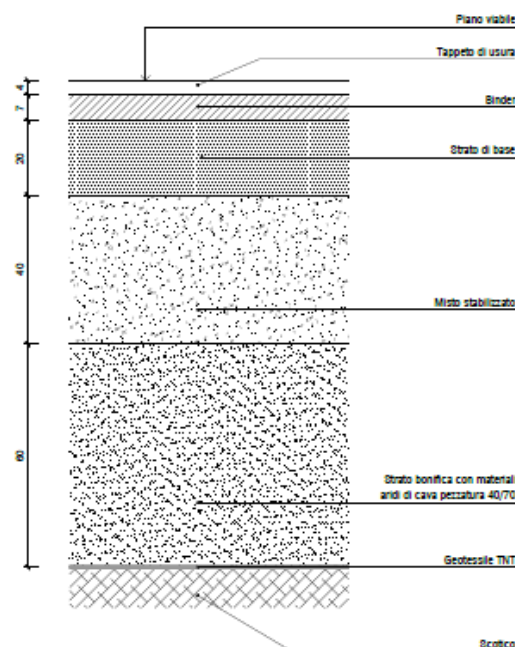


fig.5b (sezione 3)

Gli spessori e le caratteristiche del nuovo corpo stradale sono rappresentate in fig.6a e trovano riscontro anche nelle indicazioni della scheda 4F del “Catalogo delle Pavimentazioni” di cui al Bollettino Ufficiale CNR n.178 del 15.09.1995 (v. fig.6b-c); tali indicazioni sono essenzialmente riferite al tipo di traffico ed alla rigidezza/portanza del sottofondo rappresentata dal cosiddetto “modulo resiliente” (Mr) del sottofondo correlato al valore CBR che nel nostro caso, sulla scorta di quanto emerso dai recenti approfondimenti geologici e geotecnici, non supera il 4%.

Fig.6a



| Tipo di strada | Tipo di veicolo | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1) autostrade extraurbane | 12.2 | --- | 24.4 | 14.6 | 2.4 | 12.2 | 2.4 | 4.9 | 2.4 | 4.9 | 2.4 | 4.9 | 0.10 | --- | --- | 12.2 |
| 2) " urbane | 18.2 | 18.2 | 16.5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.6 | 8.2 | 27.3 | --- |
| 3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico | --- | 13.1 | 39.5 | 10.5 | 7.9 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 0.5 | --- | --- | 10.5 |
| 4) strade extraurb. second. ordin. | --- | --- | 58.8 | 29.4 | --- | 5.9 | --- | 2.8 | --- | --- | --- | --- | 0.2 | --- | --- | 2.9 |
| 5) " extr. second.-turistiche | 24.5 | --- | 40.8 | 16.3 | --- | 4.15 | --- | 2 | --- | --- | --- | --- | 0.05 | --- | --- | 12.2 |
| 6) " urbane di scorrimento | 18.2 | 18.2 | 16.5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.6 | 18.2 | 27.3 | --- |
| 7) " " di quartiere e locali | 80 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 20 | --- | --- |
| 8) corsie preferenziali | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 47 | 53 | --- |

Fig.6b – tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada

CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - A. XXIX - N. 178



Fig.6c – CNR, Bollettino Ufficiale 178/1995 – SCHEDA 4F

Il parametro tipicamente scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è come detto il modulo resiliente M_r che tuttavia nel caso specifico non è stato possibile acquisire mediante prove sperimentali e perciò si è fatto

riferimento a correlazioni (v. tabella 1A e tabella 1B) disponibili con l'indice di portanza CBR ed il modulo di reazione K.

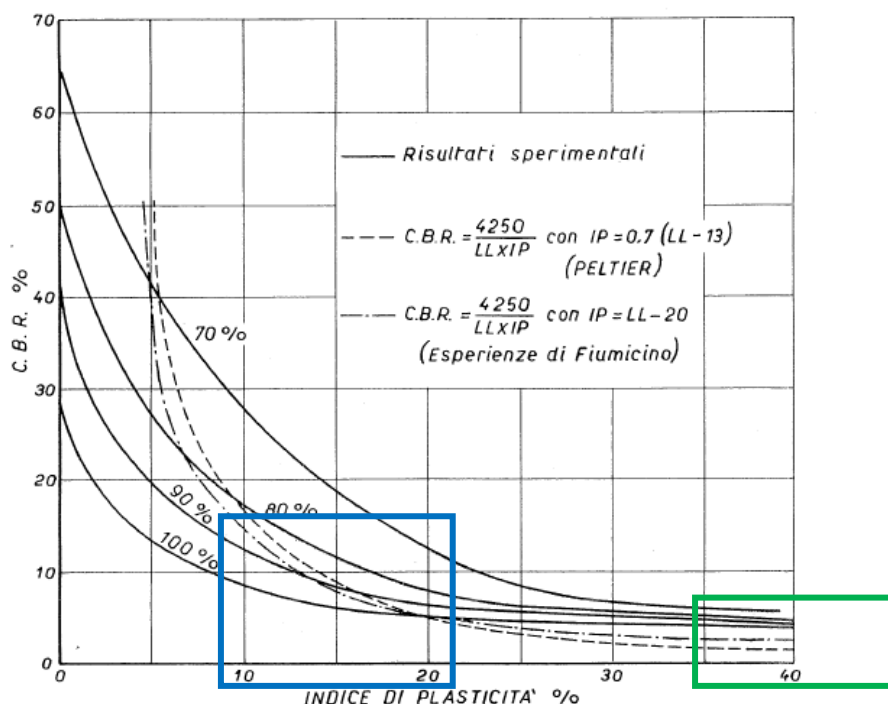
Tabella 1A – livelli di traffico su corsia più caricata

| | | |
|----------------------------|------------|----------------|
| $M_r = 150 \text{ N/mm}^2$ | CBR = 15 % | K = 100 KPa/mm |
| $M_r = 90 \text{ N/mm}^2$ | CBR = 9 % | K = 60 KPa/mm |
| $M_r = 30 \text{ N/mm}^2$ | CBR = 3 % | K = 20 KPa/mm |

Tabella 1B – correlazione fra indici portanza sottofondo

| Modulo resiliente | Indice di CBR | Modulo di reazione | Modulo di reazione | Fattore di correlazione per $v=0,35$ | Fattore di correlazione per $v=0,5$ | Modulo di deformazione M_d |
|-------------------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| N/mm ² | (%) | KPa/mm | daN/cm ² | | | daN/cm ² |
| 150 | 15 | 100 | 10 | 75,47 | | 754 |
| 150 | 15 | 100 | 10 | | 76,40 | 764 |
| 90 | 9 | 60 | 6 | 75,47 | | 453 |
| 90 | 9 | 60 | 6 | | 76,40 | 458 |
| 30 | 3 | 20 | 2 | 75,47 | | 151 |
| 30 | 3 | 20 | 2 | | 76,40 | 153 |

Tabella 1C – correlazione fra CBR e indice di plasticità (limite di Atterberg)



In Tabella 1C il riquadro **BLU** si riferisce a profondità oltre i 4m da piano campagna mentre il riquadro **VERDE** riguarda gli strati con i quali interferisce il rilevato stradale oggetto di verifica e progettazione.

Appare evidente come la situazione geotecnica con la quale siamo costretti a confrontarci NON E' FAVOREVOLE in quanto gli strati fino a 3m di profondità sotto il piano di campagna attuale (che per noi

corrisponde al piano viario di Via Forcole, ndr) mostrano valori dell'indice CBR tendenzialmente INFERIORI AL 5%.

Ove si riscontrino terreni caratterizzati da una capacità portante scadente ($M_r \leq 30$ n/mm²), come nel nostro caso, le schede del “Catalogo” prevedono il ricorso ad interventi di bonifica del terreno di sottofondo mediante asportazione e sostituzione con materiale idoneo oppure con trattamento consolidante a calce; entrambi devono essere testati con l'ausilio di prove in sito di carico su piastra.

La bonifica serve innanzitutto per la conservazione della regolarità del piano di posa della sovrastruttura sotto il traffico di cantiere e favorire il costipamento degli strati della pavimentazione.

Nel caso specifico, con l'accortezza di interporre strati di geotessile in corrispondenza della interfaccia critica (pavimentazione/misto e sottofondo / terreno naturale) si è scelto prudentemente di adottare sull'intero tracciato la seguente stratigrafia:

- | | |
|---|------|
| a) strato di usura | 4cm |
| b) binder | 7 cm |
| c) strato di base (misto bituminoso cementato) | 20cm |
| d) strato di fondazione (misto stabilizzato) | 40cm |
| e) strato di bonifica superficiale del sottofondo | 60cm |

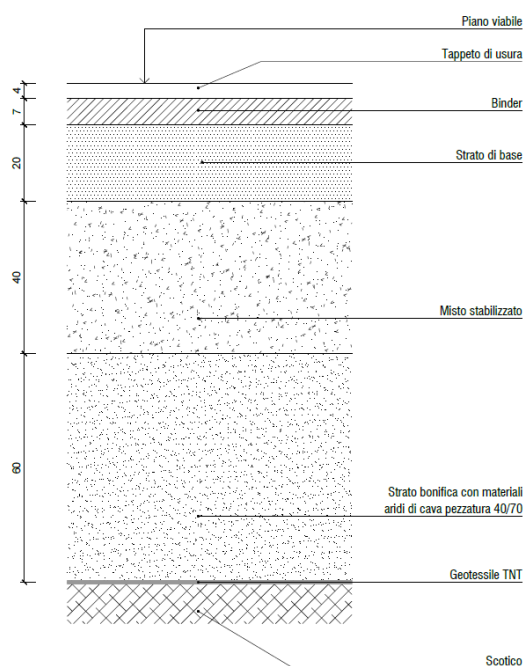


fig. 6d

La soluzione proposta appare congruente sia con il contesto geotecnico sfavorevole che con le nuove condizioni di traffico soprattutto alla luce della coerenza desumibile dal confronto con le tipologie proposte dal CNR.

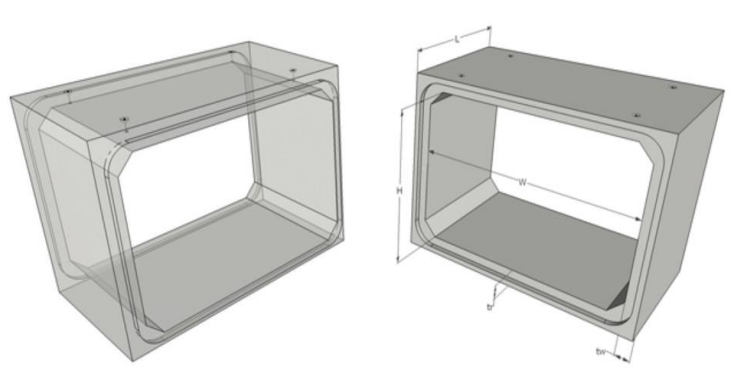
Ritornando infine al tema delle interferenze e relativamente dunque al **punto “c”** di cui in premessa, come già evidenziato in altri documenti e prescindendo dalla risoluzione della interferenza con un canale “sospeso” - per

il quale è già stata prevista e concordata la realizzazione di un sifone composto da camere di derivazione/sedimentazione e tubo singolo di convogliamento – le due principali situazioni di intersezione con collettori idraulici preesistenti determinano la necessità di ricorrere al potenziamento di attraversamenti stradali esistenti o alla realizzazione di nuovi attraversamenti riguardano un canale irriguo (v. attraversamento”1”, sezioni 9-10) ed un ampio cunettone di raccolta delle acque stradali (v. attraversamento”2”, sezioni 6-7); in entrambi i casi, seppur per motivi diversi, l’intersezione non avviene perpendicolarmente fra le due direttrici (asse strada ed asse canale/cunettone, ndr) e questo potrebbe condizionare la luce netta dell’attraversamento perché lo stesso con influenze negativamente il regolare deflusso delle portate di piena evitando in particolare restringimenti della sezione bagnata.

Tuttavia sul punto si è nuovamente pronunciato il Consorzio Burana concedendo i restringimenti di sezione in corrispondenza degli attraversamenti e pertanto in entrambi i casi potranno essere adottate le medesime sezioni idrauliche richieste per il Fosso Dugale II ossia 2,5m di larghezza netta interna e 2,0m di altezza netta interna..

Nello specifico si propone di risolvere le interferenze idrauliche con la medesima tipologia costruttiva impiegata per la tombinatura del Fosso Dugale II ma con portata transitabile per mezzi di 1^a categoria; in ogni caso si prevede l’idoneo accostamento di “elementi scatolari prefabbricati modulari in calcestruzzo (v. fig.7)

Fig.7



Entrambi gli attraversamenti saranno dunque realizzati tramite l’affiancamento di manufatti prefabbricati a sezione chiusa con

sigillatura delle giunzioni a garanzia della tenuta idraulica eventualmente mediante la tecnica del “giunto saldato” in abbinamento alla guarnizione “a cuspidi”.

Per garantire la transitabilità di mezzi pesanti e poter classificare gli attraversamenti di 1^a categoria è previsto uno spessore di impalcato non inferiore a 40cm che sarà poi esteso a ritti e platea di fondazione secondo il dimensionamento che sarà elaborato in fase di progettazione esecutiva in funzione dello spessore del ricomprimento e della natura ed entità dei carichi variabili di 1^a categoria; un’adeguata distribuzione dei carichi stradali alle spalle ed al terreno sottostante sarà garantita da un magrone armato di ripartizione che potrà essere limitato alle sole parti di estremità dell’attraversamento che sono le sole **geotecnicamente rilevanti** vista la luce degli attraversamenti medesimi.

Relativamente alla compatibilità dei carichi trasferiti al suolo nelle zone degli scatolari si noti innanzitutto come le pressioni massime siano concentrate in zone naturalmente sovraconsolidate ed inoltre sovraccaricate dall'attuale corpo stradale; detto questo si stima una pressione massima:

σ_{\max} pari a 0,15 MPa, valore sicuramente inferiore alla pressione massima trasferibile alla profondità di 2m da piano campagna e che è valutabile attraverso la formulazione della capacità portante di Brinch-Hansen che conduce ad un valore limite σ_{\lim} pari a 0,20MPa (v. fig.8).

| CAPACITA' PORTANTE (Formola di Brinch-Hansen) | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| Caratteristiche del terreno | | | Fattori di Capacità Portante | |
| Peso Specifico (t/mc) | 1,6 | | Nq | Ng |
| Angolo di resistenza al taglio (°) | 13 | | 3,26 | 1,97 |
| | | | | |
| Varie | Eccentricità longitudinale (mt) | 0 | | |
| | Eccentricità trasversale (mt) | 0 | | |
| | Inclinazione media p.c. (°) | 0 | | |
| | Sovraccarico su p.c. (t/mq) | 2 | | |
| | Effetto stabilizzante (t/mq) | 5,2 | | |
| Caratteristiche reali della fondazione | | | Fondazione effettiva | |
| Lunghezza (mt) | Larghezza (mt) | Profondità (mt) | Lunghezza (mt) | Larghezza (mt) |
| 10 | 1 | 2 | 10 | 1 |
| | | | | |
| Posizione della falda | | | | |
| | Profondità sotto piano di posa (mt) | 0 | | |
| | Altezza sopra piano di posa (mt) | 1 | | |
| | | | | |
| Coefficienti correttivi | | | | |
| Forma | Sq | Sg | | |
| | 1,02 | 0,96 | | |
| Inclinazione p.c. | Gq | Gg | | |
| | 1 | 1 | | |
| | | | | Qlim (t/mq) |
| | | | | 20,86 |
| Prof.piano posa | D q | | | |
| | 1,55 | | | |
| Falda | W | W' | | |
| | 0,75 | 0,5 | | |
| | | | | |
| Coefficiente di Sicurezza | | | | |
| | | 1 | | |

Fig.8

Nelle ipotesi estremamente prudenti di coesione nulla e altezza della falda 1m sopra il piano di posa della fondazione.

Il sistema di giunzione potrà essere del tipo “GIUNTO SALDATO” e quindi lo scatolare sarà rivestito in stabilimento e, in fase di getto, in prossimità della parte maschio e in prossimità della parte femmina, con un Liner di Polietilene ad Alta Densità HDPE perfettamente integrato nel getto per mezzo del sistema di ancoraggio T-GRIP lungo tutto il suo perimetro senza interruzioni, per consentire il perfetto fissaggio al calcestruzzo ed evitare così punti deboli che potrebbero compromettere la garanzia di adesione del liner nel tempo.

Una volta posato lo scatolare su una base di livellamento costituita da calcestruzzo magro da parte dell'impresa appaltatrice il fornitore dei manufatti provvederà, con proprio personale abilitato (munito di regolare patentino) secondo la normativa UNI EN 13067 per Classe 7 PE 7.5+3 PE 3.2 e DVS 2212:2008 per classe II-1.1, ad eseguire la saldatura dei giunti con tecnica ad estrusione (per apporto di materiale) e non ad aria calda, al fine di garantire una ragionevole tenuta stagna.

A totale garanzia dell'opera tutte le saldature dovranno essere verificate con la tecnica dello scintillografo e sarà rilasciato un verbale che attesti la positività di ogni saldatura.

I **vantaggi** di questa nuova soluzione (v. Fig.9) con saldatura del giunto degli scatolari assumono pertanto **rilevo sotto il profilo geotecnico** e possono riassumersi complessivamente in:

- Tenuta idraulica anche con pressioni elevate
- Assenza di infiltrazioni di radici
- *Garanzia di tenuta della condotta anche in caso di assestamenti rilevanti grazie all'elasticità del liner (proprietà di allungamento del 600%)*
- Garanzia di tenuta delle condotta anche con deviazioni angolari importanti
- *Mantenimento nel tempo delle caratteristiche di progetto (più di 100 anni)*
- Possibilità di posizionare il LINER su parti da gettare in opera (es. grandi curve o manufatti dove il getto in opera è inevitabile) garantendo sempre la continuità del sistema di protezione



Fig.9

Per maggiori dettagli sulla stratigrafia del corpo stradale si rimanda alle tavole di progetto ove si impongono caratteristiche meccaniche minime che il rilevato deve garantire e che saranno verificate in corso d'opera mediante prove di carico su piastra; si richiamano di seguito alcuni principi sempre validi che saranno contestualizzati in corso di progettazione esecutiva.

In conclusione è parere di chi scrive che l'utilizzo della viabilità esistente e la creazione di nuova viabilità per poter accedere al costruendo impianto biogas debbano necessariamente considerare la particolare debolezza del sottofondo offrendo un adeguamento dello stesso e la realizzazione di una "fondazione" soprastante che abbia caratteristiche di flessibilità e robustezza al tempo stesso tali da permettere alla pavimentazione bituminosa di compensare adeguatamente possibili cedimenti nell'ordine di pochi centimetri.

Tali possibili abbassamenti potranno ulteriormente essere mitigati mediante azioni preventive di consolidamento e/o bonifica degli strati inferiori con l'impiego di calce o di inerte integrativo.

E' certamente da sottolineare, prima di concludere, la scelta progettuale di trasferire gli importanti, seppure non frequenti (al massimo , sovraccarichi stradali a circa 2m di profondità ove le pressioni litostatiche non vengono

di fatto influenzate dall'aumento di pressione anche grazie al rinforzo garantito dall'installazione di geogriglie e geotessuti.

Con ciò si ritiene aver adeguatamente riscontrato le richieste della committenza anche tenuto conto delle informazioni e dei dati effettivamente disponibili e delle condizioni al contorno

Chiavari, lì 10 marzo 2023

Il tecnico



dott. ing. Cristiano Riccamboni