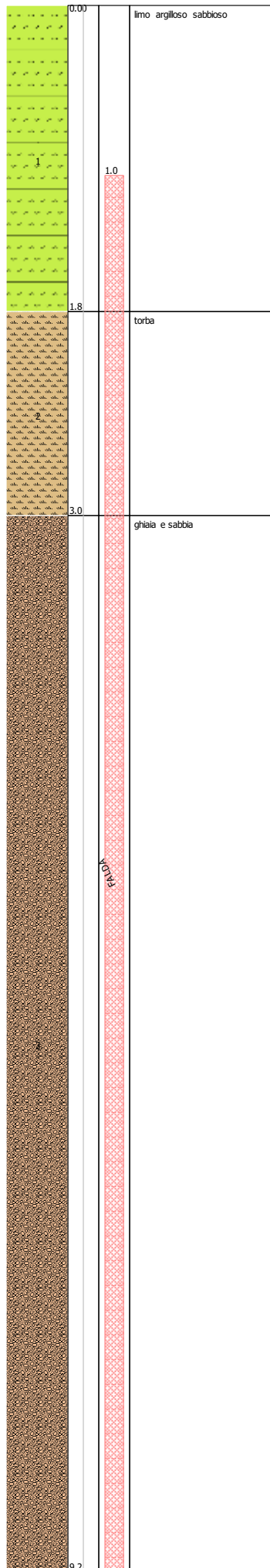


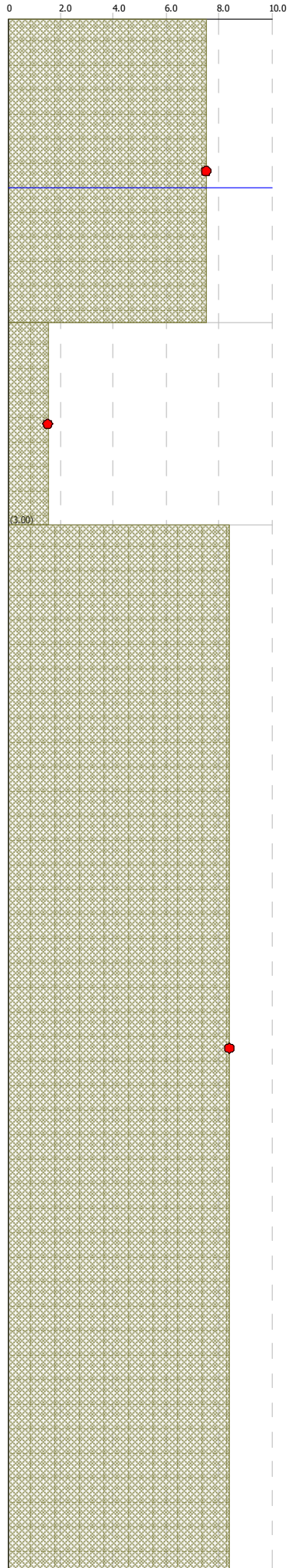
| | | | | | | | | | | |
|--|------|---------|--------|-------|---------------|-------|------|--|-------|----------------|
| | 5.30 | 95.053 | 49.942 | 0.921 | 0.16700 13 | 0.139 | 1.20 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -9.27 | Molto basso |
| | 5.50 | 98.777 | 51.705 | 0.918 | 0.16540 63 | 0.139 | 1.19 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -8.99 | Molto basso |
| | 5.70 | 102.501 | 53.468 | 0.915 | 0.16384 6 | 0.139 | 1.18 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -8.71 | Molto basso |
| | 5.90 | 106.225 | 55.230 | 0.912 | 0.16231 92 | 0.139 | 1.17 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -8.41 | Molto basso |
| | 6.10 | 109.949 | 56.993 | 0.909 | 0.16082 45 | 0.139 | 1.16 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -8.10 | Molto basso |
| | 6.30 | 113.673 | 58.756 | 0.906 | 0.15936 1 | 0.139 | 1.15 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -7.79 | Molto basso |
| | 6.50 | 117.397 | 60.518 | 0.903 | 0.15792 76 | 0.139 | 1.14 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -7.46 | Molto basso |
| | 6.70 | 121.121 | 62.281 | 0.900 | 0.15652 32 | 0.139 | 1.13 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -7.14 | Molto basso |
| | 6.90 | 124.845 | 64.044 | 0.897 | 0.15514 68 | 0.139 | 1.12 | Terreno suscetti bile di liquefaz ione | -6.80 | Molto basso |
| | 7.10 | 0.000 | 0.000 | | | | 0 | | | |

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

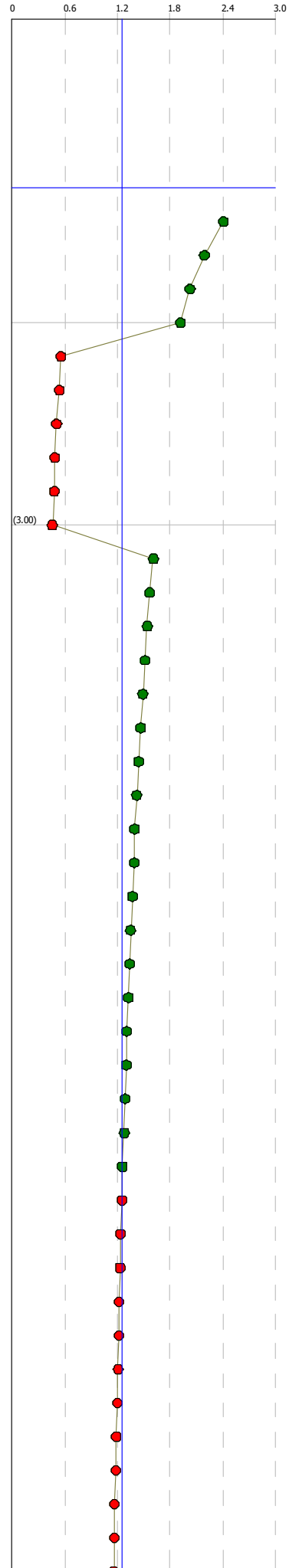
Colonna stratigrafica



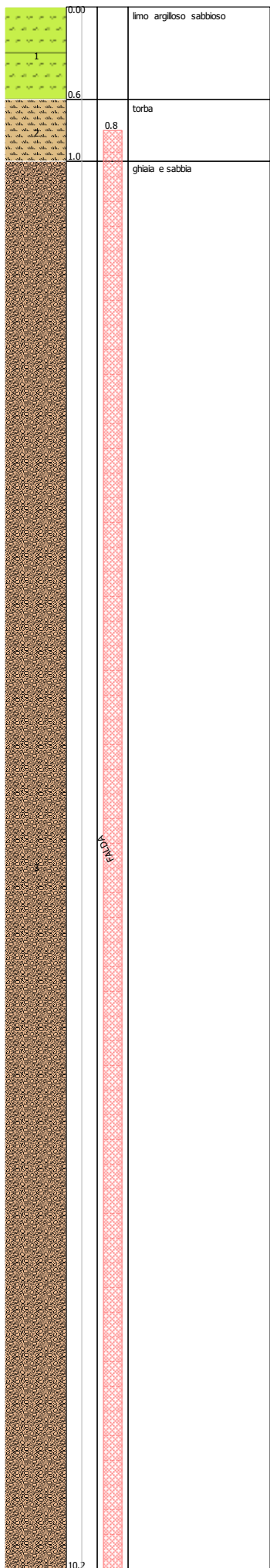
Nspt



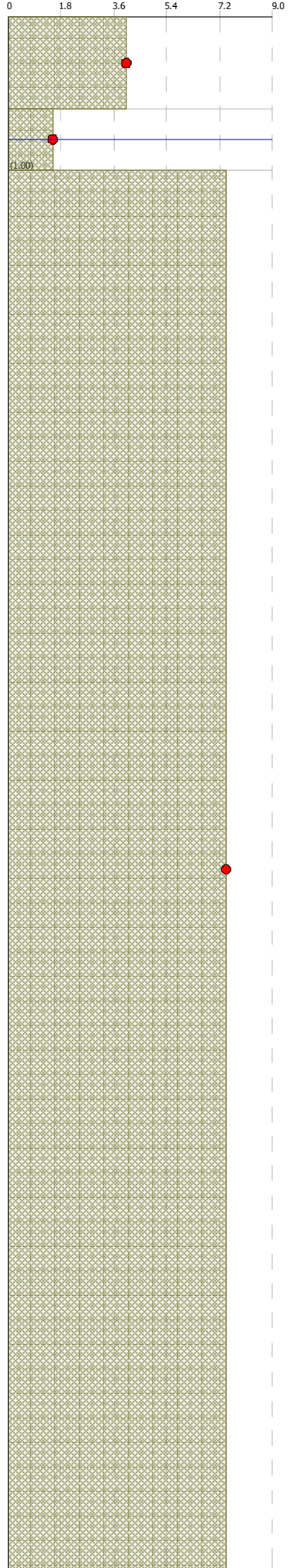
Fattore di sicurezza Fs



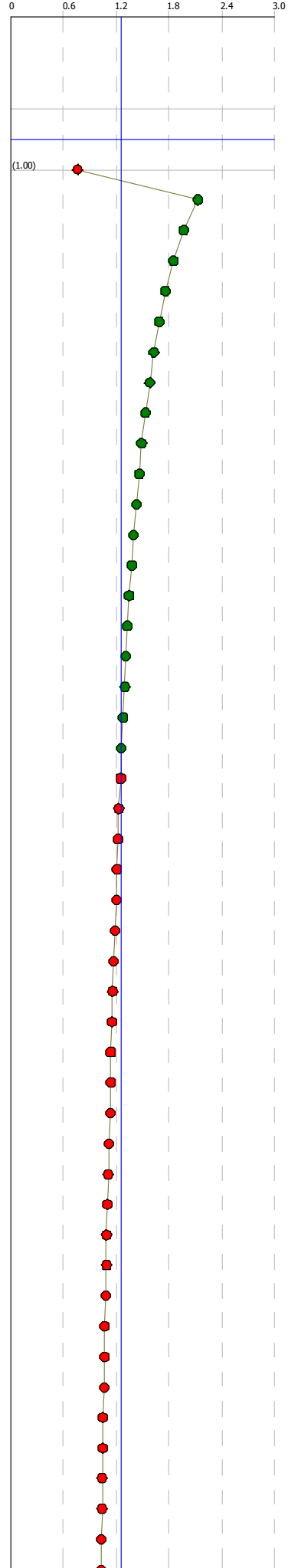
Colonna stratigrafica



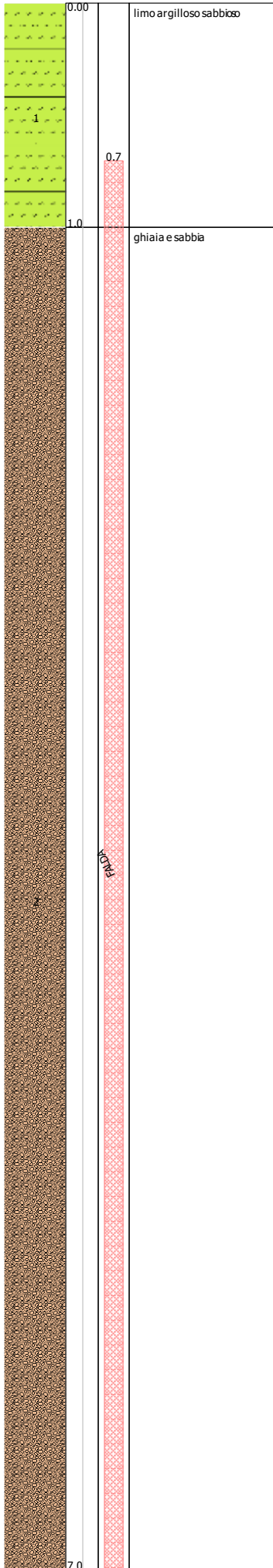
Nspt



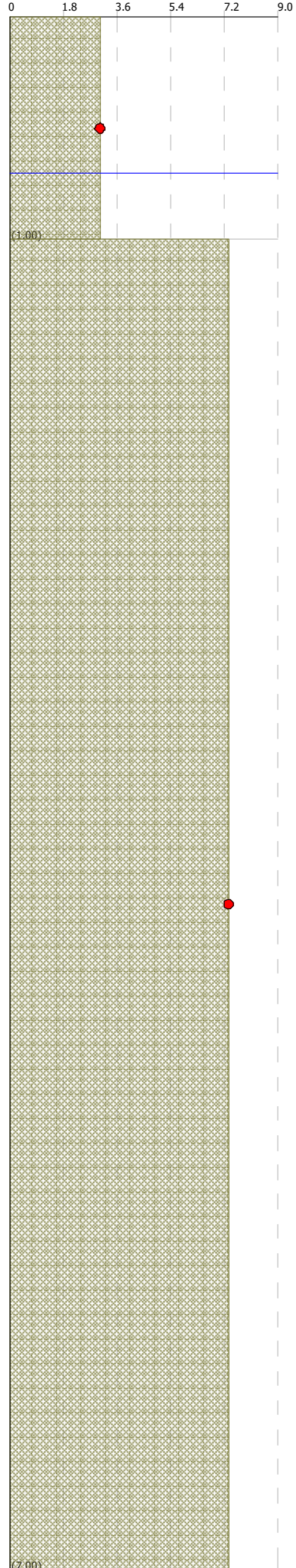
Fattore di sicurezza Fs



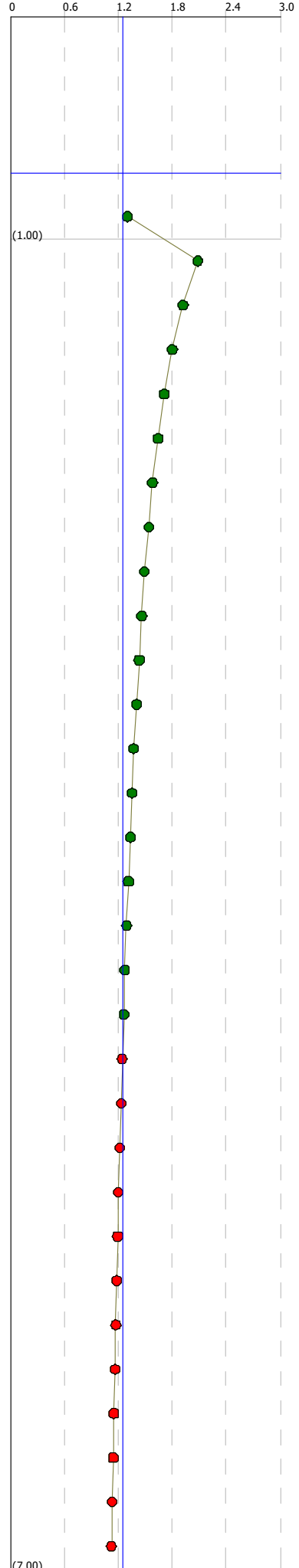
Colonna stratigrafica



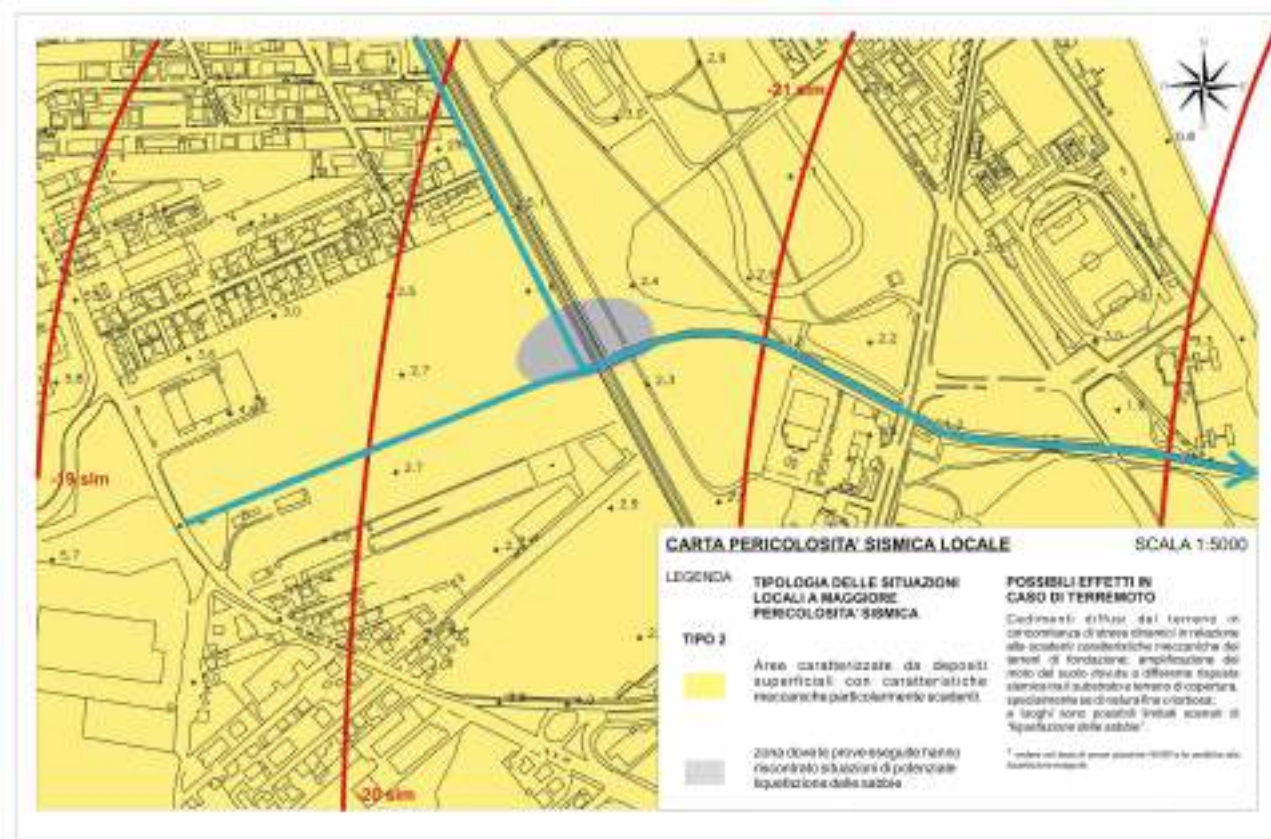
Nspt



Fattore di sicurezza Fs



Carta della Pericolosità Sismica Locale



Il coefficiente di amplificazione sismica è determinato sulla base degli scenari di riferimento espressi nell'allegato (tabella 5.5) della deliberazione della Giunta Regionale delle Marche n.1977 del 02/08/99.

Tenuto conto degli esiti della presente indagine e nello specifico degli spessori della coltre detritica e quindi riferendosi alla tipologia delle situazioni, per l'area oggetto degli interventi si ha:

Per quanto concerne la tipologia delle situazioni locali a maggior pericolosità sismica, la zona nel suo complesso ricade nello scenario di **tipo 2**. "aree caratterizzate da depositi superficiali a caratteristiche meccaniche scadenti" i cui possibili effetti in caso di terremoto sono riconducibili a "cedimenti diffusi del terreno a causa di amplificazioni del moto del suolo".

Nello specifico, si possono verificare, a seguito di importanti eventi sismici, situazioni di liquefazione delle sabbie, in modo particolare su terreni compressibili o poco addensati, di natura fine e su falda, presenti nell'immediato sottosuolo.

Carta della Compatibilità al PAI (Piano di Assetto Idrogeologico)



Dalla sovrapposizione della Carta del PAI (Tavola RI 54d) sulla zona in oggetto si desume la compatibilità dell'intervento: di fatto l'area d'intervento risulta esterna al perimetro definito per le aree soggette a rischio esondazione (E-19-0001, R4) indicate nel Piano di Assetto Idrogeologico (aggiornamento del 2016).

RELAZIONE IDROLOGICA

Premessa

Lo studio idrologico-idraulico ha riguardato il Fosso Trabocco. Più in particolare il bacino è stato suddiviso in due sottobacini di cui è stata calcolata la portata al colmo di piena per tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni. I dati di portata così ottenuti sono stati in seguito utilizzati per la verifica idraulica dei tratti scelti. Tutti i rasters e gli shapefiles utilizzati sono stati opportunamente omogenizzati utilizzando il “WGS1984_UTM_Zone33N” come sistema di riferimento.

IL MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico del bacino è stato costruito utilizzando il tool per ArcGis “HEC-GeoHMS” versione 10.2, uno strumento particolarmente potente e versatile sviluppato dall’U.S. Army Corps of Engineers, che permette di processare i dati territoriali (carta tecnica, uso del suolo, geologia, ecc.) e ricavarne caratteristiche dimensionali, morfologiche ed idrologiche dei bacini e di altri elementi quali tronchi e sezioni idrografiche. Tali dati sono stati poi successivamente utilizzati per la modellazione idrologica con il software HEC-HMS versione 4.3.

Step 1

Il primo step è stato quello di calcolare i parametri geometrici caratteristici di ogni tratto di reticolo e di ogni sottobacino quali:

- lunghezza e pendenza dei tratti fluviali e dei sottobacini;
- posizione ed altezza del centro di massa di ogni sottobacino;

Questi parametri sono stati utilizzati per la stima del “tempo di corrivazione” che come noto rappresenta il tempo impiegato da una generica goccia d’acqua a percorrere la distanza fra lo spartiacque e la sezione di chiusura di un bacino. Essendo molteplici i metodi disponibili in letteratura, il valore del tempo di corrivazione è stato ottenuto calcolando la “media troncata” fra cinque dei sette metodi utilizzati e di seguito enunciati, escludendo il 40% dei valori dalla coda superiore ed inferiore (2 valori). Le formule utilizzate sono le seguenti:

Formula di Giandotti, Formula di Pezzoli, Formula di Puglisi, Formula di Ventura, Formula di Kirpich, Formula di Tournon e Formula di Viparelli per le cui enunciazioni si fa riferimento alla letteratura specifica.

Step 2

Il secondo step ha riguardato la definizione delle caratteristiche di uso del suolo dei bacini, informazioni indispensabili per il calcolo dei quantitativi di infiltrazione e ruscellamento nel modello numerico.

Sia per il calcolo della “pioggia netta” che per la “trasformazione afflussi-deflussi” si è scelto di utilizzare i metodi proposti dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti. Tali metodi prevedono la stima del Curve Number (CN), un parametro sintetico che esprime l’attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale). Il CN varia da zero a cento; più alto è il valore, maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione. Il CN varia in funzione di quattro diverse classificazioni:

- classificazione della permeabilità del suolo in quattro classi A, B, C e D, gruppi idrologici ed idrogeologici del suolo;
- classificazione dell’uso del suolo e sistemazione della superficie (solchi dritti, solchi a reggipoggio, solchi a reggipoggio e terrazzamenti);
- condizione di drenaggio (cattiva, discreta, buona);
- condizioni iniziali di saturazione dei suoli (AMC - Antecedent Moisture Condition).

Per la suddivisione in classi di suolo è stato utilizzato il 2° livello della “Carta delle Province pedologiche” in scala 1:250.000 della Regione Marche. Le diverse tipologie di suolo sono state inizialmente accorpate in 18 macro-gruppi sulla base delle caratteristiche tessiturali, granulometriche e litologiche; ad ognuna di esse sono state poi assegnate, in percentuale, le 4 classi di permeabilità (A, B, C, D).

Per la classificazione del territorio in base all’uso del suolo è stato invece utilizzato il III livello del Corine Land Cover 2018 (CLC_2018).

Il file grid del Curve Number è stato quindi ricavato dall’unione dei due shapefile precedentemente creati, in seguito relazionati ad una “lookup table” creata in Excel e contenente i valori guida del CN per ogni tipologia di uso del suolo. Il valore del Curve Number così ottenuto corrisponde alla condizione II delle Antecedent Moisture Conditions (AMC), ovvero a quella che prevede terreni mediamente saturi, quindi in uno scenario più assimilabile al modello reale composto da vaste superfici impermeabilizzate/antropizzate.

Il modello meteorologico

Per la creazione del modello meteorologico del bacino sono stati utilizzati i dati di precipitazione forniti dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Marche, relativi ad un pluviometro (Tabella 1). I dati raccolti, riguardano i dati cumulati giornalieri per la ricostruzione degli ietogrammi di eventi reali e i massimi quantitativi annuali registrati per le durate di 1, 3, 6, 12, e 24 ore, utilizzati poi per la costruzione delle Curve Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (CPP).

Tabella 1- Dati relativi al pluviometro utilizzato nello studio

| Codice sensore | Longitudine | Latitudine | Quota | Comune | Provincia |
|----------------|-------------|------------|-------|-------------------|-----------|
| 2679 | 13° 42' | 43° 17' | 7.9 | Civitanova Marche | MC |

Le CPP esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione h e la loro durata t , per un assegnato valore del periodo di ritorno T_r . L’altezza di precipitazione h presa in considerazione è quella massima annuale relativa alla durate in esame. Diverse formule sono utilizzate per descrivere questa relazione. In Italia viene generalmente utilizzata una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_{(t,T)} = a \times t^n$$

dove h = altezza di precipitazione; t = durata della precipitazione; a ed n sono coefficienti che dipendono dal periodo di ritorno (Tabella 2). Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull’analisi delle curve di frequenza (CDF), costruite appunto a partire dalle serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore, adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, un predefinito modello probabilistico (TCEV, Gumbel, etc.).

Sulla base dei valori ottenuti è stato quindi costruito l’idrogramma di progetto e, nello specifico, è stato scelto quello tipo “Chicago”.

Nelle aree di studio, lo ietogramma di progetto è stato quindi assegnato ad ogni pluviometro e distribuito sui singoli sottobacini utilizzando il metodo dei Poligoni di Thiessen (topoiet).

Tabella 2- Valori dei coefficienti a ed n per i diversi tempi di ritorno (TR)

| Codice Sensore | TR5 anni | | TR10 anni | | TR20 anni | | TR50 anni | | TR100 anni | | TR200 anni | | TR500 anni | |
|----------------|----------|--------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | a | n | a | n | a | n | a | n | a | n | a | n | a | n |
| 2679 | 19.058 | 0.4553 | 20.279 | 0.487 | 21.451 | 0.5116 | 22.963 | 0.5375 | 24.091 | 0.5536 | 25.21 | 0.5676 | 26.678 | 0.5835 |

La simulazione idrologica dei bacini con il software HEC-HMS

Le schematizzazioni dei bacini ottenute con il software HEC-GeoHMS sono state poi esportate per la successiva modellazione in Hec-Hms. La scelta del metodo di formazione della piena (step 1) è caduta, coerentemente con la fase precedente, su quello dell'Idrogramma unitario del Soil Conservation Service che prevede, a partire dal tempo di corrivazione, di calcolare il Tempo di ritardo (SCS Lag).

Il secondo step prevede invece la scelta del metodo di propagazione della piena che avviene lungo i tronchi presenti nella schematizzazione di bacino utilizzata. In questo caso si è scelto di utilizzare il metodo del "Tempo di ritardo" (Lag time) con il quale la stima del tempo di ritardo alla sezione di chiusura è fatta con una semplice composizione degli idrogrammi dei singoli sottobacini. La simulazione dell'evento di progetto è stata preceduta, ove possibile, da una taratura del modello su un evento reale.

La simulazione idrologica in Hec-Hms

Purtroppo il modello idrologico non è stato calibrato a causa della mancanza di dati reali sulla misura della portata.

Nella modellazione dell'evento di progetto (Figura 1) sono stati pertanto utilizzati i valori del Curve Number III, opportunamente ricalcolati per simulare condizioni di elevata saturazione (AMC III). Completata la schematizzazione del bacino (Figura 2) è stata avviata la simulazione.

I risultati sono riportati in Tabella 4.

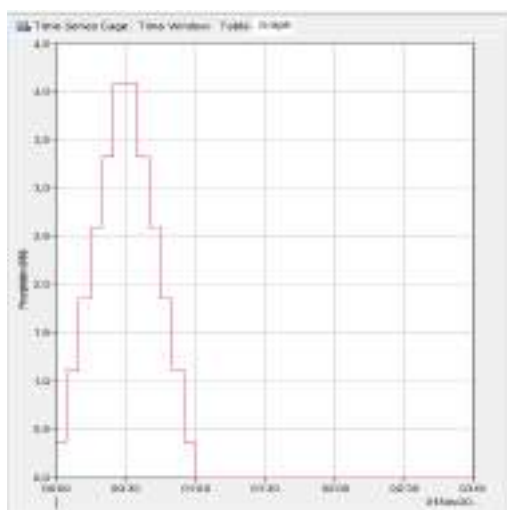


Figura 1- Esempio Idrogramma di progetto (tipo Chicago - 1 h) calcolato per il pluviometro 2679

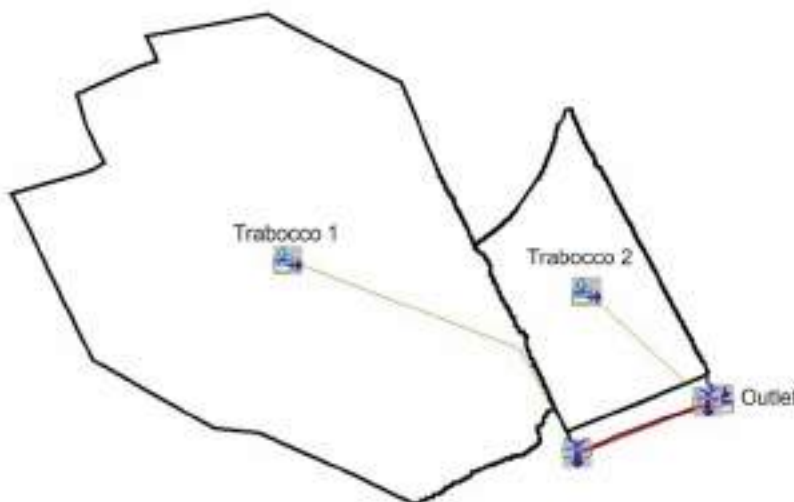


Figura 2- Schematizzazione HMS del Fosso Trabocco

MODELLO IDRAULICO

La modellazione idraulica dei bacini con il software Hec-RAS

Una volta calcolati i valori di portata di progetto per ogni tempo di ritorno (50-100-200 anni), è stata effettuata la modellazione idraulica lungo tutta l'asta dei canali previsti nell'ambito dello studio.

L'analisi idraulica è stata effettuata utilizzando il codice open source Hec-Ras ver.5.0.3, messo a punto dall'U.S. Army Corps of Engineers che permette di simulare la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idraulico e determinare quindi l'altezza che il livello idrico raggiunge nelle varie sezioni; in tal modo è possibile evidenziare possibili criticità del reticolo stesso e permettere con successive elaborazioni, di perimetrare le aree allagabili con diversi tempi di ritorno. Più in particolare il software Hec-Ras permette di modellare la propagazione di una corrente lungo un d'acqua utilizzando uno schema unidimensionale sia in condizioni di moto permanente che in condizioni di moto vario.

In condizioni di moto permanente il sistema può modellare correnti lenti, veloci e miste e considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico e sia infine un singolo corso d'acqua. La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale.

Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (Equazione di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica.

Allo stesso modo, utilizzando gli stessi schemi di calcolo idraulico utilizzati nel moto permanente per le sezioni trasversali, per i ponti, per i tombini e per le altre strutture idrauliche il software è in grado di modellare la propagazione dell'onda di piena attraverso una rete di canali utilizzando lo schema monodimensionale in regime di moto vario (Figura 3).

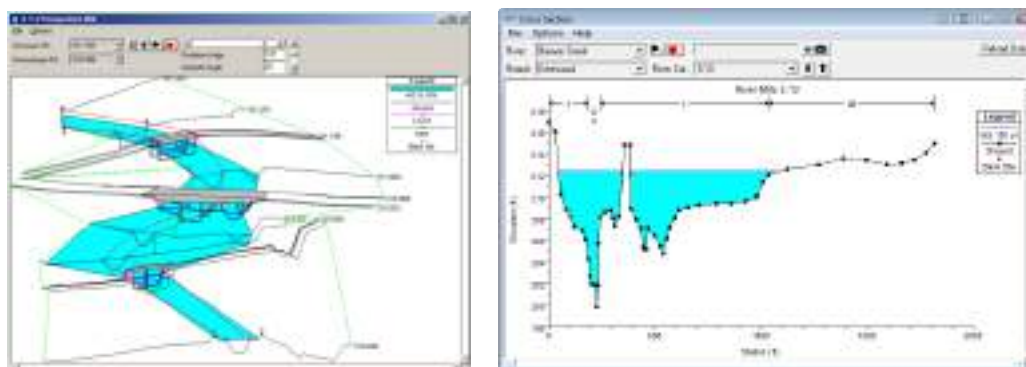


Figura 3 – Esempio di schematizzazioni eseguite con il software Hec-Ras

Il software Hec-Ras prevede l'inserimento di una serie di sezioni trasversali al flusso, la cui geometria può essere inserita a partire da rilievi topografici effettuati in loco o utilizzando i dati territoriali estratti da modelli digitali del terreno (DTM) a varia risoluzione. I dati di scabrezza (coefficiente di Manning) ed altri parametri idraulici, vengono invece solitamente stimati sulla base delle caratteristiche morfologico-sedimentologico-botaniche ed antropiche degli alvei o desunte da dati bibliografici: ove possibile possono essere ricavate indirettamente con procedure di calibrazione e attraverso metodi di back-analysis.

Non avendo a disposizione rilievi topografici aggiornati di dettaglio, per la presente verifica è stato utilizzato un DTM ad alta risoluzione (1m), derivato da dati LIDAR forniti dal Consorzio di Bonifica (Dott.ssa Margherita Bufalini): tali dati sono stati preliminarmente elaborati utilizzando l'estensione HEC-GeoRAS per ArcGIS. Per ogni tratto è stato quindi creato un adeguato numero di sezioni trasversali al flusso e, sempre in ambiente GIS, sono state definite le sezioni di monte e di valle relative agli attraversamenti ed ai "limiti" dell'alveo (sponde e canale principale).

Le geometrie degli attraversamenti (ponti e culverts) ed i parametri di scabrezza del canale e delle sponde sono stati invece inseriti direttamente in Hec-Ras. Al termine della schematizzazione sono stati quindi inseriti i valori di portata

precedentemente calcolati in Hec-Hms ed avviata la simulazione in regime di moto permanente: tale modalità, come detto, permette di calcolare la massima altezza raggiunta dal tirante idrico in corrispondenza del picco di piena. Una volta terminata la modellazione, i risultati sono stati nuovamente esportati in formato idoneo per essere visualizzati in HEC-GeoRAS: in tal modo è stato possibile rappresentare con base DTM l'estensione e le altezze delle aree inondabili.



Figura 4 - Aree sottese dei due sub bacini ed Outlet artificiali

RISULTATI DELLE MODELLAZIONI

Si riportano di seguito in forma sintetica i principali risultati delle modellazioni eseguite lungo il Fosso Trabocco.

Modellazione Idrologica

Principali caratteristiche (Tab.3)

Tabella 3- Principali caratteristiche del bacino del Fosso Trabocco

| Fosso Trabocco | | | |
|-------------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| Area (km ²) | Perimetro (km) | Lunghezza Asta (km) | T Corrivazione (h) |
| 1.74 | 7.07 | 1.19 | 0.69 |

Tabella 4- Risultati delle Portate a diversi Tempi di Ritorno (TR) per i diversi Sottobacini del Fosso Trabocco

| | Portata Q (m ³ /s) | | |
|--------|-------------------------------|------------|--------|
| | Trabocco 1 | Trabocco 2 | Outlet |
| TR 5 | 4.6 | 0.8 | 5.1 |
| TR 10 | 5.1 | 0.9 | 5.7 |
| TR 20 | 5.6 | 1.0 | 6.2 |
| TR 50 | 6.2 | 1.2 | 6.9 |
| TR 100 | 6.7 | 1.3 | 7.4 |
| TR 200 | 7.1 | 1.4 | 8.0 |
| TR 500 | 7.8 | 1.5 | 8.7 |



a)



b)

a) Canale Trabocco 1; b) Canale Trabocco 2

| Sezioni TIPO Trabocco 1 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|------|
| 1142 | | 1088 | | 934 | | 845 | | 799 | | 733 | |
| x | y | x | y | x | y | x | y | x | y | x | y |
| 0 | 3,1 | 0 | 3,1 | 0 | 3,1 | 0 | 3,1 | 0 | 3,1 | 0 | 3,1 |
| 11,58 | 3,1 | 11,58 | 3,1 | 11,58 | 3,1 | 11,58 | 3,1 | 11,58 | 3,1 | 40,31 | 2 |
| 46,32 | 3,1 | 46,32 | 3,1 | 46,32 | 3,1 | 46,32 | 3,1 | 46,32 | 3,1 | 45,19 | 2 |
| 88,78 | 2,8 | 88,78 | 2,8 | 88,78 | 2,8 | 88,78 | 2,8 | 88,78 | 2,8 | 46,15 | 1,52 |
| 157,06 | 2,5 | 157,06 | 2,5 | 157,06 | 2,5 | 157,06 | 2,5 | 157,06 | 2,5 | 47,12 | 1 |
| 158,06 | 1 | 158,06 | 1 | 158,06 | 1 | 158,06 | 1 | 158,06 | 1 | 50,96 | 1 |
| 160,06 | 1 | 160,06 | 1 | 160,06 | 1 | 160,06 | 1 | 160,06 | 1 | 51,92 | 1,02 |
| 162,06 | 1 | 162,06 | 1 | 162,06 | 1 | 162,06 | 1 | 162,06 | 1 | 52,88 | 1,95 |
| 163,06 | 2,5 | 163,06 | 2,5 | 163,06 | 2,5 | 163,06 | 2,5 | 163,06 | 2,5 | 53,85 | 2 |
| 231,34 | 2,8 | 231,34 | 2,8 | 231,34 | 2,8 | 231,34 | 2,8 | 231,34 | 2,8 | 60,69 | 2 |
| 273,8 | 3,1 | 273,8 | 3,1 | 273,8 | 3,1 | 273,8 | 3,1 | 273,8 | 3,1 | 100 | 2 |
| 305,66 | 3,1 | 305,66 | 3,1 | 305,66 | 3,1 | 305,66 | 3,1 | 305,66 | 3,1 | | |

| Altezza Tirante Idrico [m] | |
|----------------------------|------|
| Tr5 | 0,97 |
| Tr10 | 1,22 |
| Tr20 | 1,29 |
| Tr50 | 1,4 |
| Tr100 | 1,47 |
| Tr200 | 1,56 |
| Tr500 | 1,67 |

| Sezioni TIPO Trabocco 2 | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--|
| 800 | | 600 | | 400 | | 200 | | 50 | | |
| x | y | x | y | x | y | x | y | x | y | |
| 0 | 5,35 | 0 | 5,35 | 0 | 5,35 | 0 | 5,35 | 0 | 5,35 | |
| 9,17 | 5,35 | 9,17 | 5,35 | 9,17 | 5,35 | 9,17 | 5,35 | 9,17 | 5,35 | |
| 10,63 | 5,35 | 10,63 | 5,35 | 10,63 | 5,35 | 10,63 | 5,35 | 10,63 | 5,35 | |
| 12,13 | 3,55 | 12,13 | 3,55 | 12,13 | 3,55 | 12,13 | 3,55 | 12,13 | 3,55 | |
| 13,13 | 3,55 | 13,13 | 3,55 | 13,13 | 3,55 | 13,13 | 3,55 | 13,13 | 3,55 | |
| 14,13 | 3,55 | 14,13 | 3,55 | 14,13 | 3,55 | 14,13 | 3,55 | 14,13 | 3,55 | |
| 15,63 | 5,35 | 15,63 | 5,35 | 15,63 | 5,35 | 15,63 | 5,35 | 15,63 | 5,35 | |
| 23,33 | 5,35 | 23,33 | 5,35 | 23,33 | 5,35 | 23,33 | 5,35 | 23,33 | 5,35 | |
| 30 | 5,35 | 30 | 5,35 | 30 | 5,35 | 30 | 5,35 | 30 | 5,35 | |
| Tr5 | 0,68 | 0,64 | 0,59 | 0,52 | 0,41 | | | | | |
| Tr10 | 0,72 | 0,68 | 0,63 | 0,55 | 0,43 | | | | | |
| Tr20 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,58 | 0,46 | | | | | |
| Tr50 | 0,82 | 0,78 | 0,71 | 0,63 | 0,5 | | | | | |
| Tr100 | 0,85 | 0,81 | 0,74 | 0,66 | 0,52 | | | | | |
| Tr200 | 0,88 | 0,83 | 0,77 | 0,68 | 0,55 | | | | | |
| Tr500 | 0,91 | 0,86 | 0,8 | 0,7 | 0,56 | | | | | |

| Sezioni Outlet-ponte | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|------|--------|------|--|--|
| 744 | | 733 Upstream | | | | 733 Downstream | | 725 | | | |
| x | y | x | y | x | y | x | y | x | y | | |
| 0 | 4,2 | 0 | 4,2 | 0 | 4,2 | 0 | 4,2 | 0 | 4,2 | | |
| 159,06 | 4,2 | 159,06 | 4,2 | 159,06 | 4,2 | 159,06 | 4,2 | 159,06 | 4,2 | | |
| 159,06 | 2,42 | 159,06 | 2,42 | 159,06 | 2,42 | 159,06 | 2,42 | 159,06 | 2,42 | | |
| 159,06 | 0,92 | 159,06 | 0,92 | 159,06 | 0,92 | 159,06 | 0,92 | 159,06 | 0,92 | | |
| 159,56 | 0,92 | 159,56 | 0,92 | 159,56 | 0,92 | 159,56 | 0,92 | 159,56 | 0,92 | | |
| 159,56 | 0,22 | 159,56 | 0,22 | 159,56 | 0,22 | 159,56 | 0,22 | 159,56 | 0,22 | | |
| 160,06 | 0,22 | 160,06 | 0,22 | 160,06 | 0,22 | 160,06 | 0,22 | 160,06 | 0,22 | | |
| 160,56 | 0,22 | 160,56 | 0,22 | 160,56 | 0,22 | 160,56 | 0,22 | 160,56 | 0,22 | | |
| 160,56 | 0,92 | 160,56 | 0,92 | 160,56 | 0,92 | 160,56 | 0,92 | 160,56 | 0,92 | | |
| 161,06 | 0,92 | 161,06 | 0,92 | 161,06 | 0,92 | 161,06 | 0,92 | 161,06 | 0,92 | | |
| 161,06 | 2,42 | 161,06 | 2,42 | 161,06 | 2,42 | 161,06 | 2,42 | 161,06 | 2,42 | | |
| 161,06 | 4,2 | 161,06 | 4,2 | 161,06 | 4,2 | 161,06 | 4,2 | 161,06 | 4,2 | | |
| 305,66 | 4,2 | 305,66 | 4,2 | 305,66 | 4,2 | 305,66 | 4,2 | 305,66 | 4,2 | | |
| Tr5 | 1,53 | 1,53 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | | | | | | |
| Tr10 | 1,62 | 1,62 | 1,36 | 1,36 | 1,28 | | | | | | |
| Tr20 | 1,68 | 1,68 | 1,42 | 1,42 | 1,34 | | | | | | |
| Tr50 | 1,78 | 1,77 | 1,5 | 1,5 | 1,43 | | | | | | |
| Tr100 | 1,84 | 1,84 | 1,55 | 1,55 | 1,46 | | | | | | |
| Tr200 | 1,91 | 1,91 | 1,61 | 1,61 | 1,52 | | | | | | |
| Tr500 | 2 | 2 | 1,68 | 1,68 | 1,59 | | | | | | |
| | Sezione Confluenza Trabocco 1 e 2 | Ponte Ferrovia | Ponte Ferrovia | Ponte Ferrovia | Dopo del Ponte Ferrovia | | | | | | |

Modellazione Idraulica

Anche per la parte idraulica, si riportano solo alcuni esempi dei risultati ottenuti dalle modellazioni.

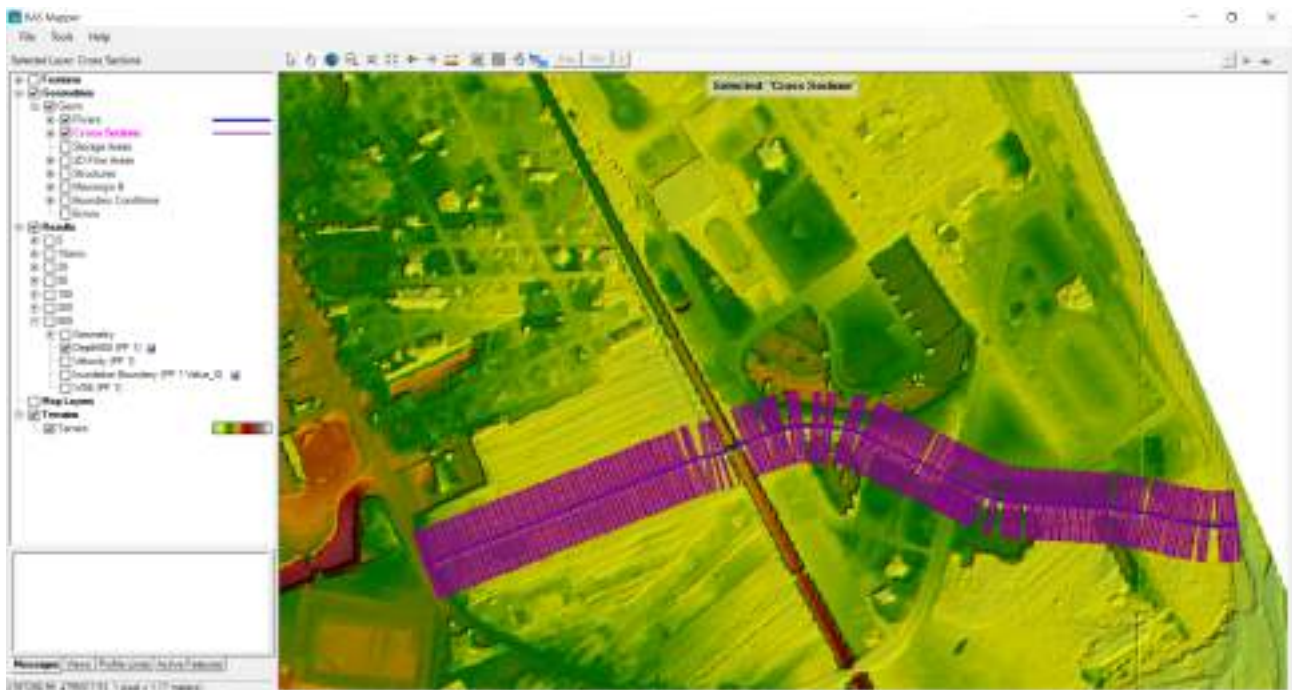


Figura 5 – Sezioni su Modello geometrico del Fosso Trabocco 1 e dell'Outlet (unione Confluenza Trabocco 1 e 2)

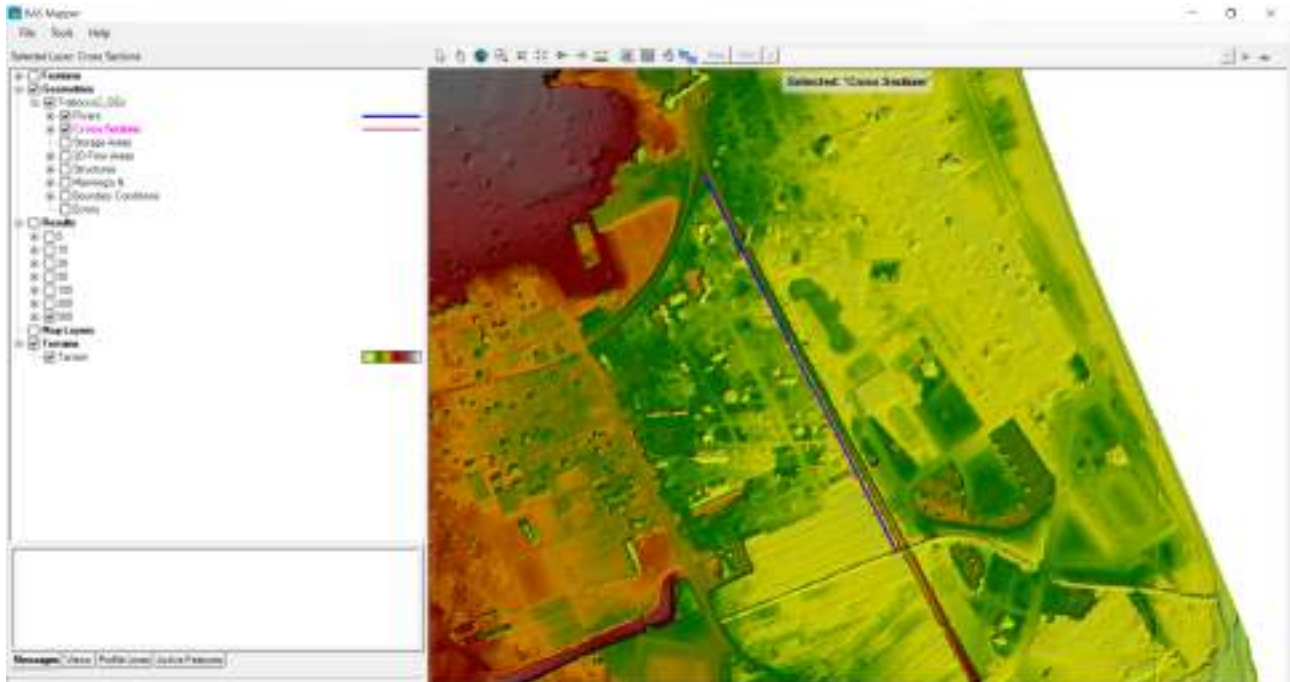
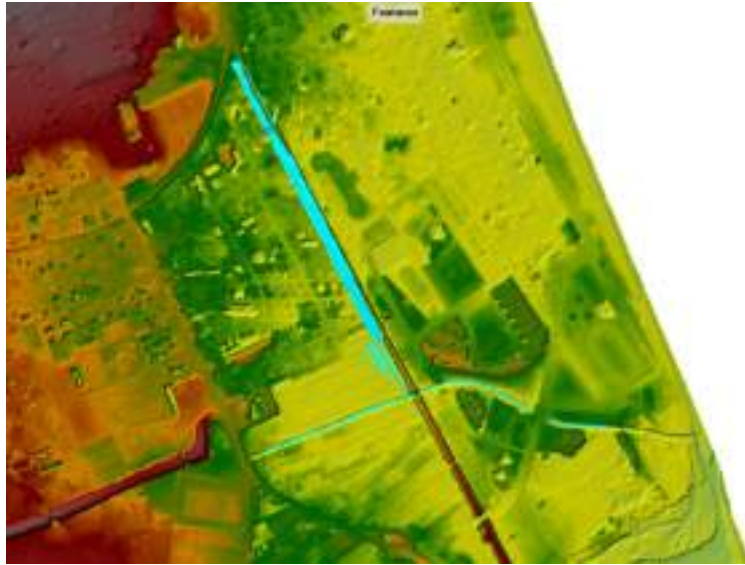
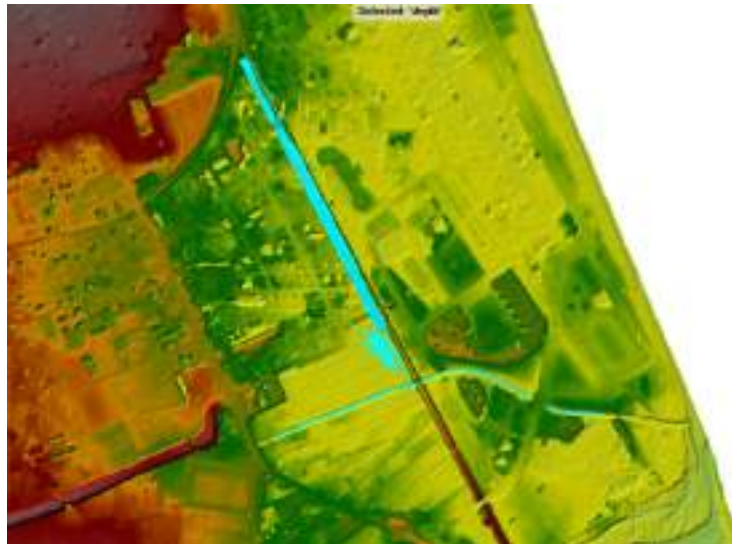


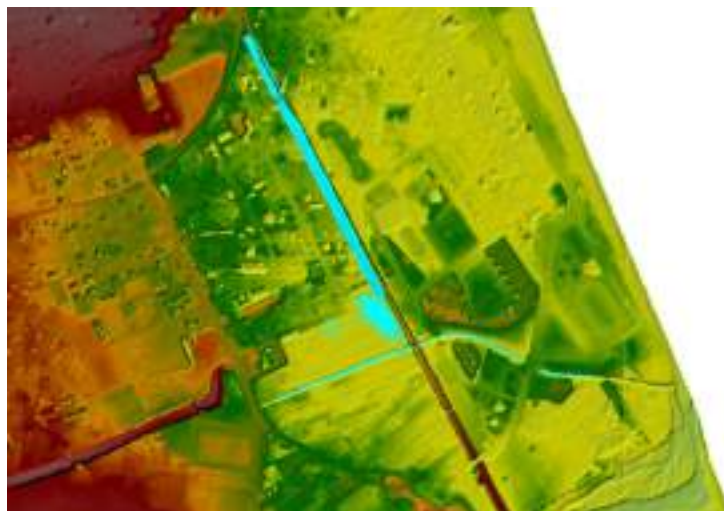
Figura 6 – Sezioni su Modello geometrico del Fosso Trabocco 2



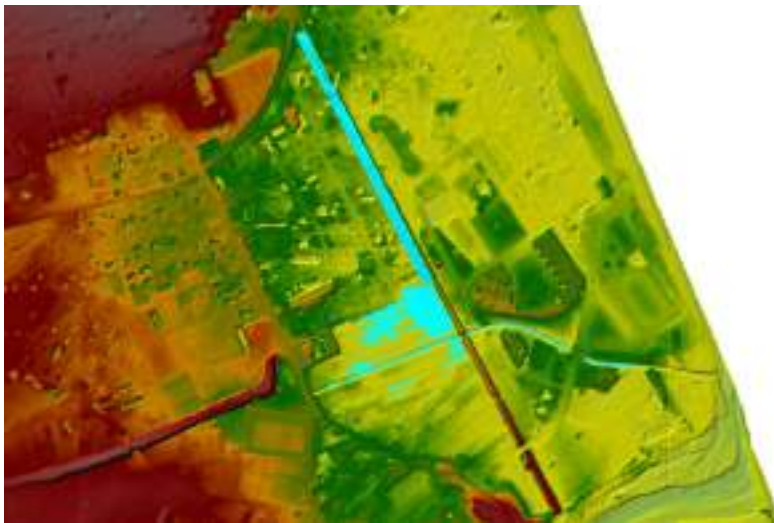
A) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 5 anni



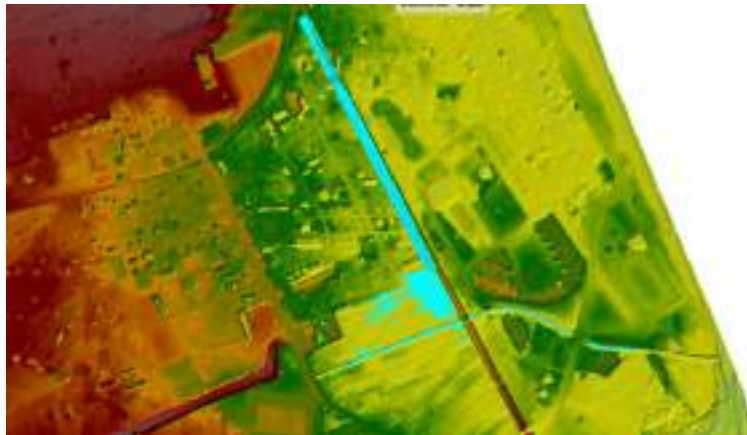
B) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 10 anni



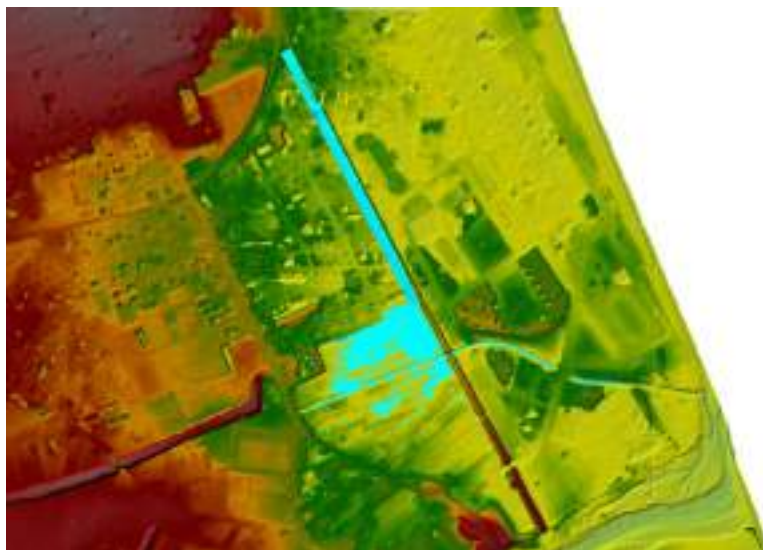
C) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 20 anni



D) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 50 anni



E) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 100 anni



F) Evidenziazione delle aree esondabili – con Tempo di ritorno 200 anni



Scenario, esempio (sullo stato attuale), delle aree di esondazione dei due canali con Tempo di ritorno max di 500 anni



a)



b)

a) Zona di confluenza del Canale Trabocco 2 nel Trabocco 1, prima dell'attraversamento del rilevato FF.SS.;
b) Canale Trabocco 1, dopo l'attraversamento del rilevato ferroviario.



Canale Trabocco 1, fra via Marinetti e via A. Moro

VERIFICA ALL'INVARIANZA IDRAULICA

In sintesi l'obiettivo dell'*invarianza idraulica* richiede, a chi propone una trasformazione di uso del suolo, di accollarsi, attraverso opportune azioni compensative, gli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi di mantenere le condizioni di sicurezza territoriale nel tempo.

In linea generale, le misure da applicare sono diversificate in funzione della consistenza della trasformazione secondo la seguente tabella:

| Classe di intervento | Definizione |
|---|---|
| Trascurabile impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha |
| Modesta impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha |
| Significativa impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$ |
| Marcata impermeabilizzazione potenziale | interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp > 0,3$ |

La misura del volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte a una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che $I+P = 100\%$) è data dalla seguente relazione (di cui al D.G.R. n. 53 del 27/01/ 2014 - Titolo III, punto 3.4):

$$w = w^{\circ} \left(\frac{\Phi}{\Phi^{\circ}} \right)^{1/(1-n)} - 15 I - w^{\circ} P \quad (1)$$

Dove:

- $w^{\circ} = 50$ mc/ha (volume convenzionale di invaso prima della trasformazione);
- $\Phi = 0,90 \times Imp + C \times Per$ (coefficiente di deflusso dopo la trasformazione);
- $\Phi^{\circ} = 0,90 \times Imp^{\circ} + C \times Per^{\circ}$ (coefficiente di deflusso prima della trasformazione);
- Imp e Per = espressi come frazione totale dell'area impermeabile e permeabile prima della trasformazione (se connotati dall'apice $^{\circ}$) o dopo (se non c'è l'apice $^{\circ}$);
- C = coefficiente di deflusso;
- I e P = espressi come funzione dell'area trasformata;
- $n = 0,48$.

Ora, essendo la superficie dell'opera di pubblica utilità, prevista in variante al P.R.G. ed oggetto della presente relazione (di "riammagliamento della rete viaria comunale), compresa tra 1 ha e 10 ha di estensione (circa 1,6 ha) si rientra nel caso della classe di intervento denominata come "*significativa impermeabilizzazione potenziale*".

In tale condizione non è ammessa, dalle "*Linee Guida (Titolo I - Paragrafo 1.4) B - Sviluppo della Verifica per l'Invarianza Idraulica della Regione Marche pubblicate a Marzo del 2014*", la possibilità da parte del progettista di modificare il valore del coefficiente di deflusso in base alla natura lito-pedologica del terreno indagato ante opera.

Sempre *nel Paragrafo B.4 delle Linee Guida a pag. 12* si evidenzia il ruolo della rete fognaria interna al lotto in trasformazione.

In linea di massima, infatti, si può considerare che il volume totale delle condotte di fognatura sia efficace all'80% ai fini dell'invarianza.

Questo significa che l'80% del volume totale della rete fognaria interna al lotto (realizzazione di strada comunale e roatorie) può essere considerata in diminuzione del valore di volume minimo d'invaso precedentemente calcolato.

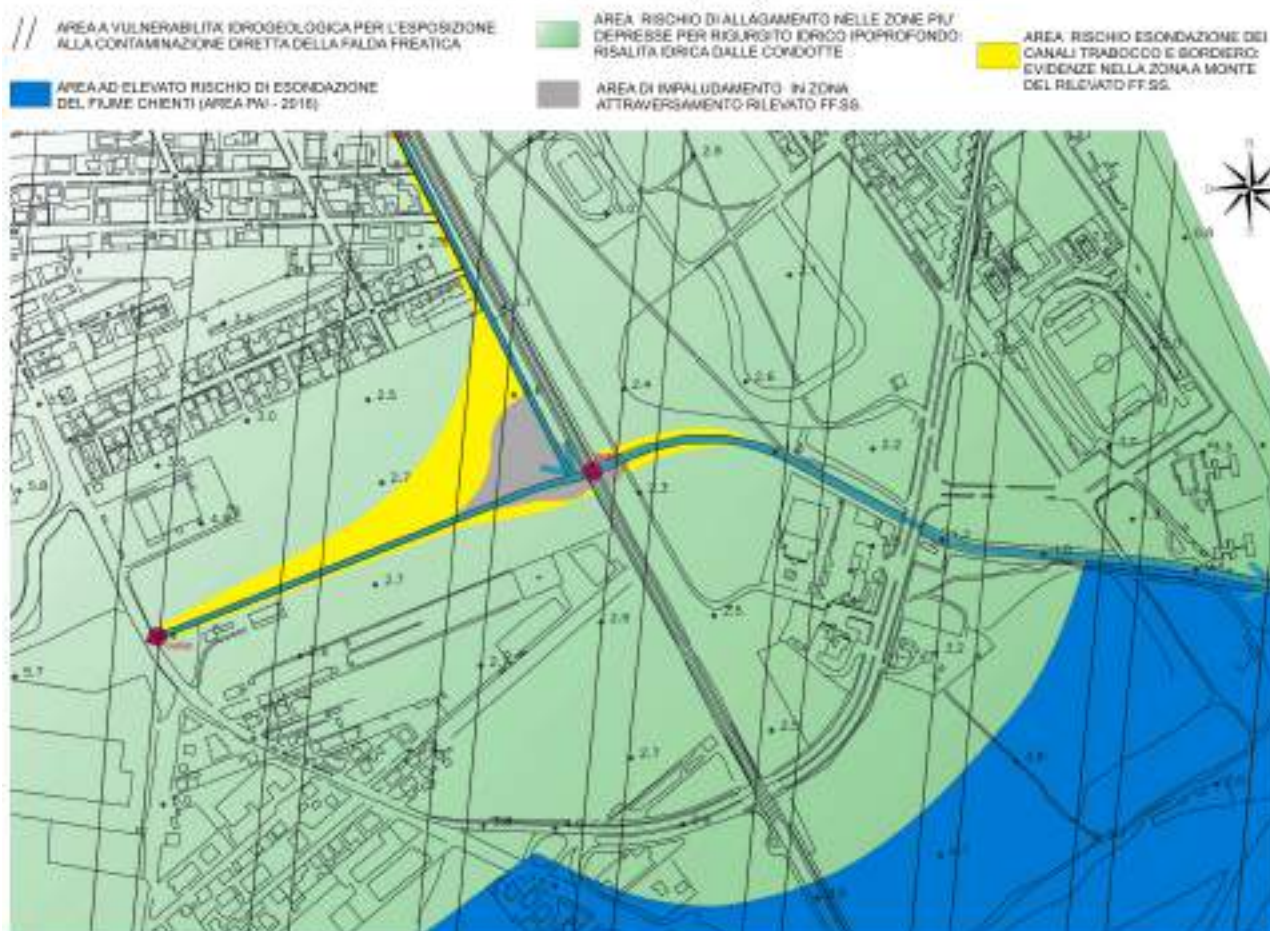
Inoltre (a pag. 17 – Paragrafo B.4 l.g.), nel caso di impermeabilizzazioni dovute a strade, l'invarianza idraulica si può realizzare con un opportuno dimensionamento delle canalette laterali di drenaggio.

In particolare, la totale impermeabilizzazione della superficie stradale porta a dimensionare, tramite la relazione (1), un volume di invaso di circa 0,09 mc/mq di superficie stradale, ovvero 0,9 mc per ogni metro di lunghezza di una strada di larghezza pari a 10 metri.

Quindi la realizzazione di due canali laterali, ognuno di volume $> a (0,9/0,8) / 2 \Rightarrow 0,563$ mc/m soddisfa i requisiti di volume di compensazione richiesti.

Carta delle Pericolosità Idrogeologiche

Carta delle Pericolosità Idrogeologiche - scala 1:5000



La carta delle pericolosità idrogeologiche è basata essenzialmente sulle verifiche dei processi idrogeomorfolologici in atto e sulle ipotetiche tendenze evolutive delle varie situazioni geo-ambientali in relazione agli scenari naturali ed antropici previsti nell'area.

L'esito dello studio viene così rappresentato:

- **Area a vulnerabilità idrogeologica:**
potenziale esposizione all'inquinamento (per diretta contaminazione) della falda freatica presente nei sedimenti alluvionali, permeabili, che costituiscono l'immediato sottosuolo della zona.
- **Area ad elevato rischio di esondazione del Fiume Chienti** (determinata dal PAI – 2016)
- **Area a rischio di allagamento per rigurgito idrico:** risalita d'acqua dalle condotte ipoprofonde, nelle zone morfologicamente più depresse del territorio, dovuta alla mancanza della capacità di deflusso causata dall'impossibilità di ricevere il corpo idrico da parte del bacino ricettore.

Nel Particolare, nella zona in oggetto di indagine:

- **Aree a rischio di impaludamento:** nella zona di confluenza dei due canali artificiali (Trabocco 1 e Trabocco 2), ed in prossimità dell'attraversamento del rilevato delle FF.SS.
- **Area a rischio di esondazione dei 2 canali artificiali:** probabili fenomeni di esondazione nei campi perimetrali al Trabocco 1, specialmente in situazioni di eccezionali precipitazioni meteoriche a partire da Tempi di Ritorno > di 10 anni.

5. Conclusioni

A compendio dello studio svolto si formulano le seguenti considerazioni geologico tecniche:

- Dalle modellazioni litostratigrafiche scaturite dai sondaggi eseguiti e dagli esiti delle prove penetrometriche svolte, l'area in oggetto evidenzia una sostanziale idoneità geologico tecnica del terreno di fondazione per quanto concerne la sopportabilità del sistema di *“riammagliamento della viabilità e realizzazione di rotatorie”*; di fatto l'opera, se realizzata *“a raso o in modesto rilevato”* poggiante direttamente sulla naturale morfologia del terreno mediante adeguati bonifici di sottofondo con opportuni rinfianchi, non presenta particolari condizioni sfavorevoli indotte dalle sollecitazioni dirette sul terreno di fondazione.
- Le verifiche sismiche hanno rilevato, tuttavia, la presenza di possibili amplificazioni del moto del suolo dovute alla differente risposta sismica locale; in modo particolare dall'analisi ed interpretazione dei dati risulta probabile, in caso di terremoti con $M_w > 5$, l'innescarsi di fenomeni di *“liquefazione delle sabbie”* proprio nell'area dell'attraversamento ferroviario e/o di confluenza dei due canali artificiali.

A tal proposito in questa zona il *“progetto di riammagliamento”* dovrà prevedere, nel caso si costruisca un nuovo sottopassaggio, opportune opere di sottofondazione che tengano conto dei cedimenti differenziali del terreno in rapporto alle sollecitazioni sismiche indotte.

Infine, il modello semplificato della risposta sismica locale ha determinato una *“categoria di sottosuolo di Tipo B”* su un *“coefficiente di amplificazione topografica $ST=1$ ”*.

- Il calcolo delle variazioni di permeabilità superficiale, determinate dalla realizzazione della nuova viabilità, e quindi la determinazione delle relative misure compensative rivolte *“all'invarianza idraulica”* risultano soddisfatte da interventi all'uopo realizzabili, mediante un ordinario sistema di canalette perimetrali di scolo delle acque che proverranno dalla nuova sede stradale. La situazione è comunque favorita dalla presenza dei due organizzati canali artificiali di deflusso idrico a cielo aperto: il *“Trabocco 1 e Trabocco 2”*; questi potranno essere utilizzati come ricettori e conduttori della massa idrica proveniente dalla strada.
- Le verifiche Idrogeologiche ed Idrauliche hanno determinato diversi scenari di rischio idrogeologico ed idraulico. Come è stato già evidenziato nella precedente *“Carta delle Pericolosità Idrogeologiche”*, l'area presenta una potenziale esposizione all'inquinamento per contaminazione diretta della falda freatica presente nei sedimenti alluvionali, permeabili, che costituiscono l'immediato sottosuolo; pertanto, in relazione agli aspetti legati alla vulnerabilità dell'acquifero, si dovrà evitare l'interazione tra gli interventi urbanistici e la falda idrica presente nell'immediato sottosuolo. In particolare nella zona risulteranno vietate le seguenti attività o destinazioni:

- Dispersione di reflui, fanghi e liquami anche se depurati.
- Accumulo di concimi organici.
- Dispersione nel sottosuolo di acque bianche provenienti da strade.
- Spandimento di pesticidi e fertilizzanti; apertura di cave e pozzi.
- Discariche di qualsiasi tipo. Stoccaggio di rifiuti, reflui, prodotti sostanze chimiche pericolose, sostanze radioattive, centri di demolizione e rottamazione di autoveicoli, impianti di trattamento rifiuti.

Inoltre ogni area destinata ad interventi di trasformazione del suolo dovrà essere sottoposta ad investigazione al fine di definire la “caratterizzazione del sito” secondo quanto stabilito dalla vigente normativa.

In modo diffuso, le aree antropiche più depresse del territorio (specie i sottopassaggi) sono soggette a fenomeni di allagamento prodotti dal rigurgito idrico ipoprofondo che innesca, in caso di copiose e prolungate precipitazioni meteoriche associate ad eccezionali eventi di piena e mareggiate, manifestazioni di risalita (per mancanza di deflusso) sia della falda idrica che delle acque di scolo dalle condotte.

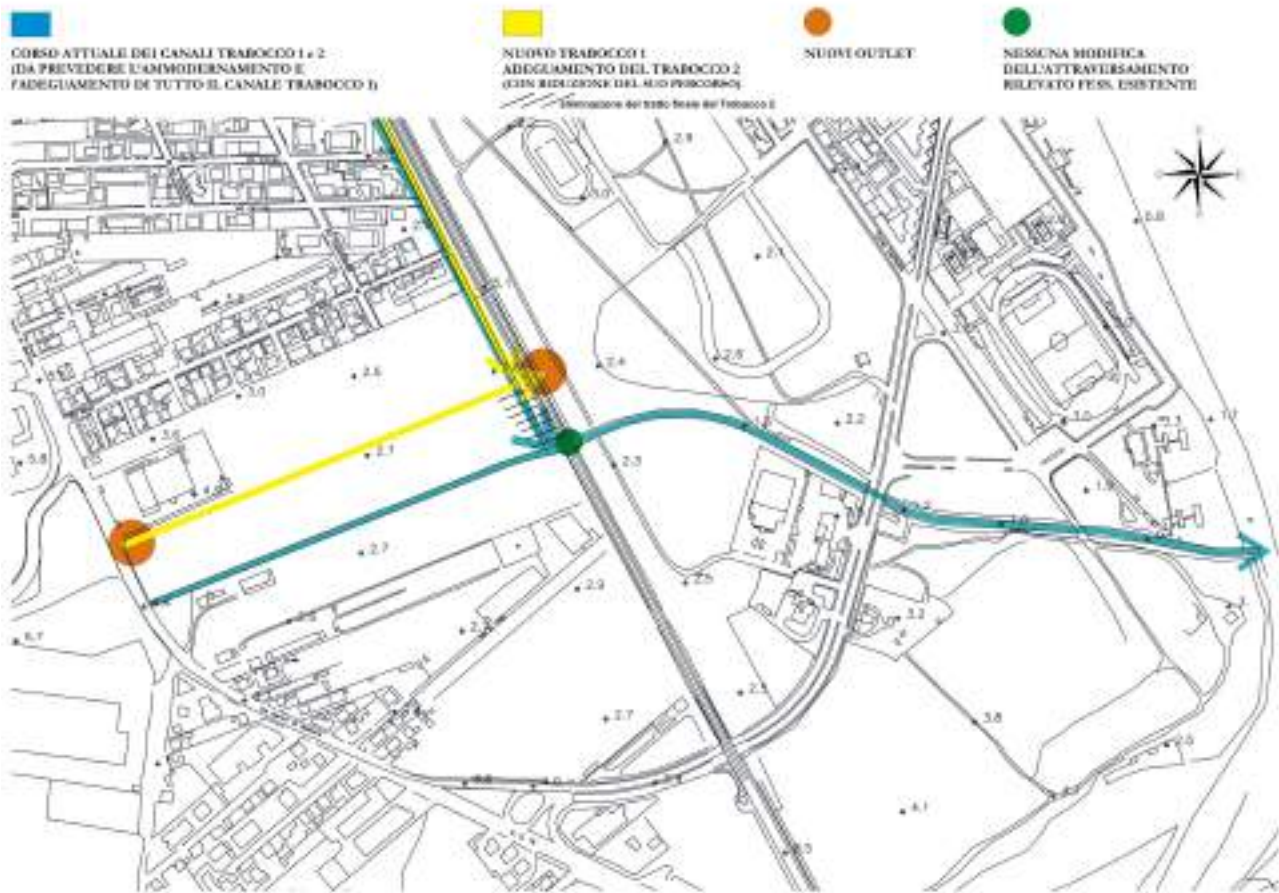
Questo scenario determina, nell’area in oggetto e specificatamente nei campi posti a zona a monte dell’attraversamento del rilevato ferroviario, un sistematico rischio di esondazione dei due canali artificiali (Trabocco 1 e 2), logicamente sempre più in aumento per crescenti tempi di ritorno di eventi eccezionali.

In sintesi, è possibile proporre un confronto su di una serie di interventi da effettuare nell’area in oggetto, rivolti alla mitigazione del rischio idrogeologico utilizzando proprio il nuovo sistema viario; nello specifico, queste possibili azioni vengono descritte in modo schematico, nella presente “*Tavola sinottica di possibile alternativa del sistema ...*”.

Una proposta di mitigazione, su cui porre l’attenzione riguarda:

- la necessaria rivisitazione ed il miglioramento della funzionalità idrica e strutturale dei Canali artificiali esistenti;
- la possibile realizzazione di un nuovo segmento di canale artificiale, posto lungo la scarpata settentrionale della nuova sede stradale, che intercetti le acque del Trabocco 2 e, usufruendo del nuovo attraversamento stradale, sottopassi il rilevato ferroviario;
- il mantenimento dell’attuale attraversamento del rilevato delle FF.SS.
- il Canale Trabocco 1 che, opportunamente migliorato nella sua funzionalità ed ora privo delle acque del Trabocco 2 e di parte della massa idrica - scomputata dall’outlet sul nuovo Canale, manterrà l’attuale percorso fino al mare.

POSSIBILE ALTERNATIVA DEL SISTEMA DEI CANALI (TRABOCCO 1 e 2) IN PRESENZA DELLA NUOVA STRUTTURA VIARIA



Infine si prescrive:

- la direzione dei lavori di carattere geologico durante le fasi di realizzazione di tutte le opere che coinvolgono il suolo o l'immediato sottosuolo;
- che gli eventuali interventi per la sistemazione di scarpate e/o rilevati debbono essere realizzati utilizzando tecnologie naturalistiche, opportunamente verificate sotto il profilo statico.
- Le aree adibite a parcheggio, piazzali e rotatorie debbono essere pavimentate con sistemi aperti, al fine di permettere la sostanziale e libera infiltrazione, nell'immediato sottosuolo, delle acque meteoriche e quindi garantirne la loro permeazione fino alla falda freatica.

Macerata, li 07.12.2019

Geologo Dott. Fabio Pallotta