

Committente:
TALEA S.p.A.

Livello di Progetto:

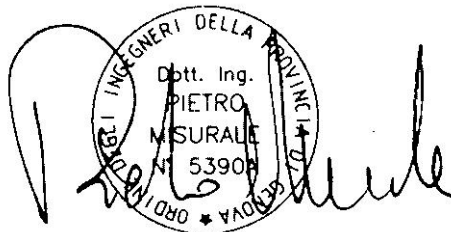
Titolo:
**PROGETTO URBANISTICO OPERATIVO
DISTRETTO DI TRASFORMAZIONE AD1/C
COMUNE DELLA SPEZIA
LOC. LA PIANTA AREA EX SIO
PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' EX
ART. 13 L.R. 32/2012**

Oggetto:
**RELAZIONE SUL RISCHIO IDRAULICO
CON RIFERIMENTO ALLE FASCE DI
INONDABILITA' DEL TORRENTE VECCHIA
DORGIA**

Codice Progetto:
P037-19

Firme:

Nome File:
P037-19-I-RE-IDR-001-A



Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	Prima emissione	MI	11/04/19	PM	12/04/19

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	DESCRIZIONE E UBICAZIONE DELL'INTERVENTO	3
3	INDAGINI E RILIEVI.....	5
4	PIANO DI BACINO VIGENTE.....	6
5	DESCRIZIONE DEL TRATTO D'ALVEO INDAGATO.....	8
6	VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE	9
6.1	GEOMETRIA DEI TRATTI DI ALVEO INDAGATI.....	9
6.2	PORTATE DI PIENA	9
6.3	METODOLOGIA E PARAMETRI DI CALCOLO	9
6.4	RISULTATI.....	10
7	ANALISI DELLA DINAMICA DI ESONDAZIONE.....	11
7.1	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI ESONDAZIONE	17
7.2	IDROGRAMMI DI PIENA	17
8	MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO	21
8.1	BASE TOPOGRAFICA	21
8.2	METODOLOGIA DI CALCOLO	21
8.3	SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO	21
8.4	PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	22
8.5	RISULTATI.....	24
9	COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL PUO	26

Allegati:

- ALLEGATO 1:** Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato attuale
- ALLEGATO 2:** Mappatura delle velocità evento 50-ennale stato attuale
- ALLEGATO 3:** Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato attuale
- ALLEGATO 4:** Mappatura delle velocità evento 200-ennale stato attuale
- ALLEGATO 5:** Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato di progetto
- ALLEGATO 6:** Mappatura delle velocità evento 50-ennale stato di progetto
- ALLEGATO 7:** Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato di progetto
- ALLEGATO 8:** Mappatura delle velocità evento 200-ennale stato di progetto
- ALLEGATO 9:** Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato attuale no muretto valle
- ALLEGATO 10:** Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato attuale no muretto valle
- ALLEGATO 11:** Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato attuale no muretti
- ALLEGATO 12:** Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato attuale no muretti
- ALLEGATO A:** Documentazione fotografica tombinatura torrente Vecchia Dorgia
- ALLEGATO B:** Verifiche idrauliche in moto permanente torrente Vecchia Dorgia

Appendici:

- APPENDICE 1:** Software di calcolo HecRas 5.0.5
- APPENDICE 2:** Software di calcolo InfoWorks ICM
- APPENDICE 3:** Calcolo dell'idrogramma di piena secondo i criteri della DGR 357/2008

1 PREMESSA

La presente relazione contiene l'analisi del rischio idraulico a cui è soggetta l'area oggetto del PUO (*Distretto di trasformazione AD1/C Comune della Spezia - Loc. la Pianta area ex SIO*) con riferimento alle fasce di inondabilità del torrente Vecchia Dorgia.

L'analisi è stata fatta attraverso uno studio idraulico di dettaglio come richiesto dalla Regione Liguria¹ con lettera del 7/02/2019 (Prot. n. PG/2019/41408) inviata al Comune della Spezia nell'ambito della procedura di verifica di assoggettabilità (ex art. 13 L.R. 32/2012).

Lo studio è stato effettuato mediante un modello bidimensionale di simulazione dei fenomeni di allagamento per gli eventi di piena 50-ennale e 200-ennale.

Rispetto a studi idraulici precedenti, redatti nell'ambito di pratiche autorizzative di interventi edificatori all'interno del bacino del torrente Vecchia Dorgia, il presente studio ha approfondito ulteriormente l'indagine dello stato dei luoghi e ha utilizzato un DTM di maggior dettaglio, come meglio specificato al successivo capitolo 3.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- calcolo degli idrogrammi di piena;
- verifiche idrauliche in moto permanente gradualmente variato;
- analisi della dinamica di esondazione;
- determinazione degli idrogrammi delle portate di esondazione;
- simulazione dei fenomeni di allagamento mediante l'utilizzo di un software di calcolo bidimensionale;
- definizione dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento.

¹ Regione Liguria - Dipartimento Territorio, Ambiente, Infrastrutture e Trasporti
Vice Direzione Generale Ambiente - Settore Assetto del Territorio

2 DESCRIZIONE E UBICAZIONE DELL'INTERVENTO

Secondo il Piano Urbanistico Comunale l'area interessata dall'intervento è inserita nei Distretti di Trasformazione.

Questi ultimi sono normati dall'art. 16 delle Norme di Conformità e Congruenza del PUC "Criteri generali di intervento per i Distretti di Trasformazione" e soggetti a PUO di iniziativa pubblica o privata come previsto dalla L. R. n. 36/97. La tipologia del Distretto in questione è la AD n.1 - Aree dismesse/dismettibili o sottoutilizzate.

Il Distretto è collocato nella parte orientale della città, lungo il tratto iniziale di Via Carducci all'uscita del raccordo autostradale ed è delimitato a Est dai binari del raccordo ferroviario del Porto e a Ovest da Via della Pianta.



Figura 1

L'intervento si colloca in un contesto formato da quattro aree: l'area occupata dalla sottostazione ENEL della Pianta, localizzata a Sud di Via Maralunga, l'area occupata da attrezzature di trasformazione dell'energia elettrica, localizzata a Nord di Via Maralunga, l'area delimitata a Sud da Via Maralunga e a Est dai binari ferroviari, già adibita ad attività di stoccaggio container, e l'area dismessa dello stabilimento SIO, compresa tra Via Maralunga e Via Carducci. L'insieme di queste aree definisce un comparto urbanistico caratterizzato da un sottoutilizzo diffuso e conseguente abbandono delle aree stesse.

Il distretto è suddiviso in tre subdistretti che sono classificati come strategici.

Il PUO in oggetto è il Piano Attuativo del subdistretto AD1/C che interessa principalmente l'area dismessa dello stabilimento SIO in fregio a Via Carducci e l'area che costituisce il punto di consegna della fornitura in alta tensione allo stabilimento della Termomeccanica.

L'intervento verrà realizzato in 4 lotti: il lotto 1, denominato "ex area SIO", comprendente la maggior parte della proprietà Talea S.p.A. e la proprietà Soc. Techne, il lotto 2 comprendente la proprietà Termomeccanica S.p.A., il lotto 3 comprendente la proprietà Pinza Francesco e il lotto 4 comprendente la di proprietà ENEL, in cui sono ubicati impianti di interesse collettivo comunali (sottostazione elettrica) e sovracomunali dei quali è previsto il mantenimento.

Il progetto all'esame è orientato alla riorganizzazione urbanistica ed edilizia del Distretto attraverso l'insediamento di fabbricati commerciali, artigianali e terziari dimensionati secondo le indicazioni di piano.

Nel lotto 1 è prevista la costruzione di un fabbricato con destinazione commerciale, articolato su un livello fuori terra e copertura parzialmente destinata a parcheggio, con accesso dalla Via Carducci e dalla viabilità contermina. Le aree esterne saranno adibite a parcheggi pubblici e privati, nuova viabilità pubblica, marciapiedi e percorsi pedonali, area a verde pubblico attrezzato, e verde privato.

Nel Lotto 2 è prevista la realizzazione di una porzione di fabbricato a destinazione terziario/artigianale di servizio, sviluppato su due piani fuori terra oltre ad un livello interrato dove verranno collocati i parcheggi privati.

Nel Lotto 3 è prevista la realizzazione della porzione di fabbricato in continuità con il fabbricato del lotto 2.

Nel lotto 4 si prevede il mantenimento degli impianti Enel e pertanto si prevedono tutti gli interventi necessari al mantenimento e alle eventuali integrazioni edilizie e impiantistiche necessarie per la funzionalità degli impianti.

Integra l'intervento la realizzazione della nuova viabilità, prevista dal vigente PUC per il collegamento del nuovo insediamento con Via Della Pianta, per quanto compatibile con gli impianti di alta tensione esistenti.

3 INDAGINI E RILIEVI

Per poter definire in maniera affidabile la reale capacità di deflusso dell'alveo del torrente Nuova Dorgia nel tratto interessato dallo studio, e ricostruire il più fedelmente possibile la dinamica di esondazione, sono state fatte specifiche indagini documentali, conoscitive e topografiche, che hanno costituito la base di riferimento ai fini della simulazione dei fenomeni di allagamento e la definizione dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento.

Le indagini hanno riguardato:

- l'acquisizione e l'analisi della documentazione disponibile presso gli archivi comunali relativa alle caratteristiche della tombinatura del torrente Vecchia Dorgia. In particolare è stato possibile reperire gli elaborati grafici del progetto del 1980 della tombinatura compresa fra Via Sarzana e Via Carducci, dove sono riportati il tracciato e le sezioni della stessa.
- ispezione a campioni del tratto tombinato con rilievo diretto delle caratteristiche geometriche e dimensionali della sezione della tombinatura. Le ispezioni e le misure dirette effettuate, a meno di piccole variazioni trascurabili, hanno confermato le caratteristiche geometriche e dimensionali riportate negli elaborati del progetto del 1980.
- rilievi topografici di superficie relativi a:
 - o tratto d'alveo a cielo aperto (circa 100 m) a monte della ferrovia;
 - o tratto d'alveo a cielo aperto a valle di Via Carducci fino a Viale San Bartolomeo;
 - o livelletta del tracciato ferroviario "linea bassa" compreso fra il sottopasso di Via della Pieve e Via Maralunga.
- rilievo topografico di dettaglio dell'area interessata dal PUO e delle aree limitrofe.

Oltre a quanto sopra è stata acquisita la seguente cartografia informatizzata:

- Lidar del Ministero dell'Ambiente caratterizzato da una maglia di 1x1 m.
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1:5000.

In particolare il Lidar del Ministero dell'Ambiente è più dettagliato del DTM regionale utilizzato in studi precedenti.

Quest'ultimo è fornito dalla Regione Liguria, è prodotto dal CTR 1:5000, (le cui informazioni topografiche appartengono ad un intervallo temporale tra gli anni 2006 e 2009) ed è caratterizzato da una maglia di 5x5 m.

4 PIANO DI BACINO VIGENTE

Il piano di bacino vigente è il Piano di Bacino Ambito 20 - Golfo della Spezia.

Come mostra l'estratto della *Carta delle fasce fluviali* del Piano di Bacino di seguito riportato, il torrente Vecchia Dorgia risulta "fasciato" solo nel tratto a monte della linea ferroviaria, mentre a valle le fasce presenti sono relative al torrente Nuova Dorgia.

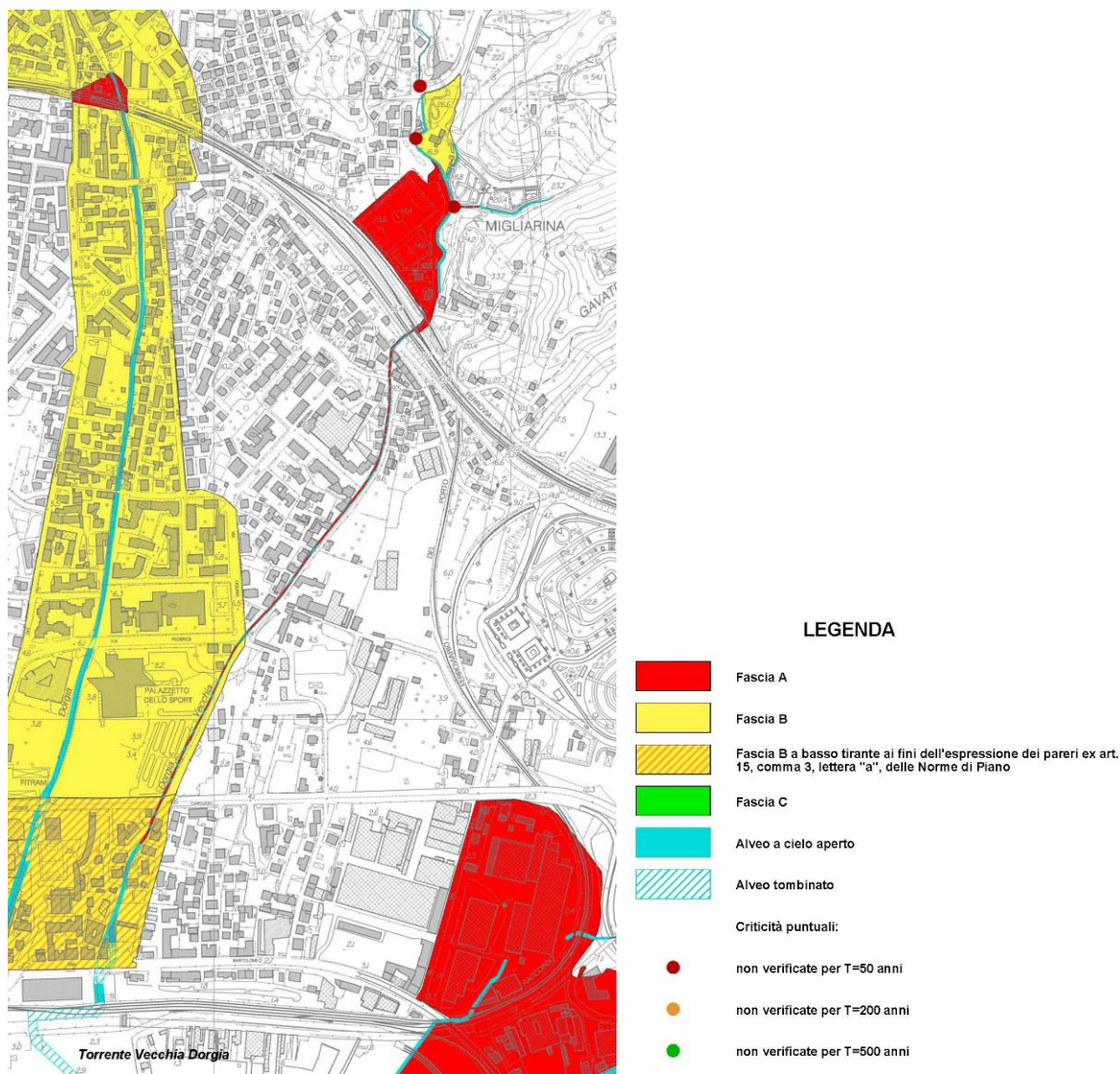


Figura 2

Nel Piano di bacino sono riportati i limiti dei bacini per diverse sezioni di chiusura, in cui sono state calcolate le portate di piena per assegnato tempo di ritorno.

Nella figura seguente sono riportati i limiti del bacino del torrente Vecchia Dorgia con l'indicazione delle sezioni di chiusura, mentre in tabella I sono riportate, per ciascuna sezione di chiusura, l'area sottesa e le portate di piena 50-ennale e 200ennale.

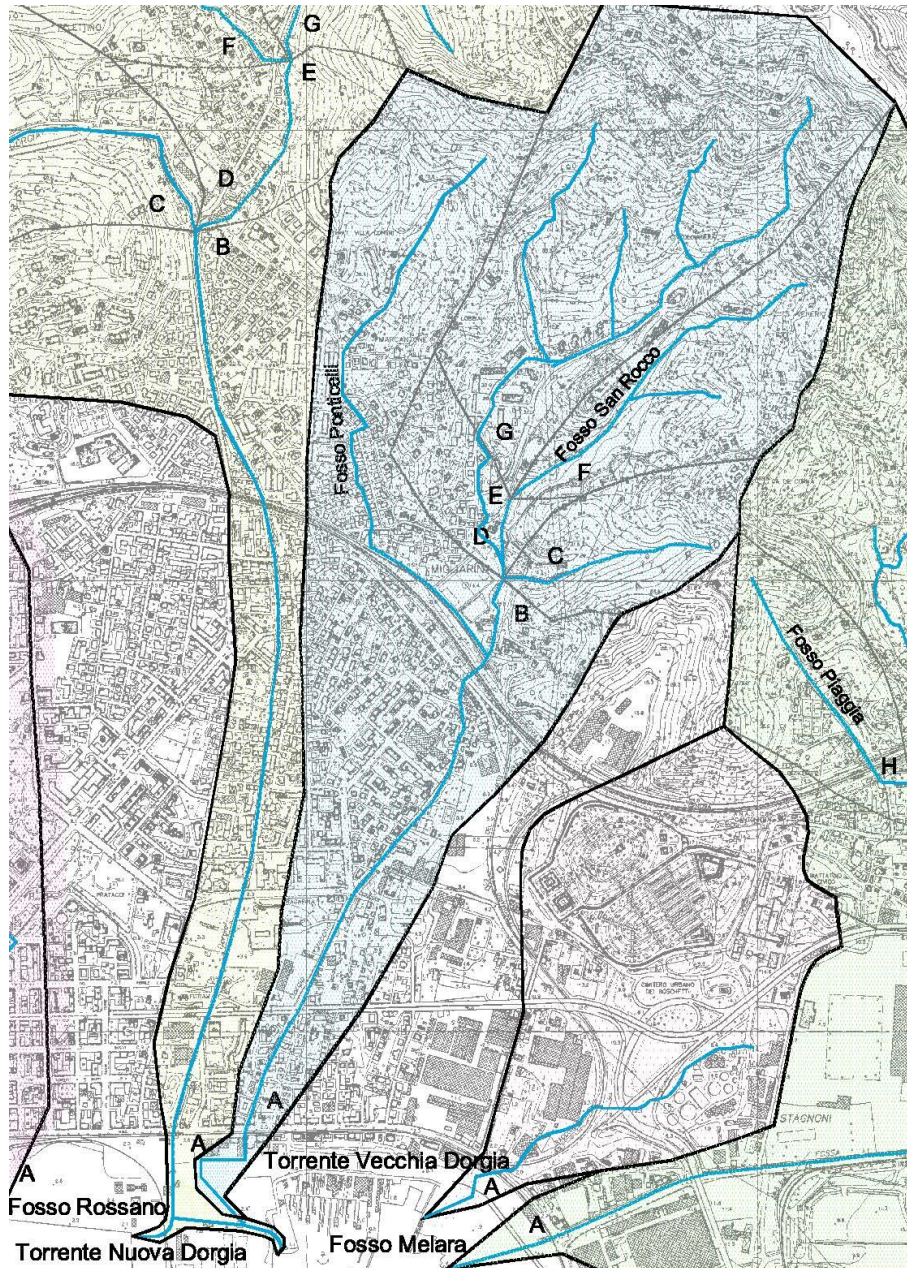


Figura 3

Sez. chiusura	Area [km ²]	Q200 [m ³ /s]	Q50 [m ³ /s]
A	1.64	32.2	27.7
B	0.93	24.6	21.4
C	0.12	4.1	3.6
D	0.81	21.4	18.6
E	0.71	18.8	13.3
F	0.21	6.2	5.4
G	0.50	13.2	11.5

Tabella I

5 DESCRIZIONE DEL TRATTO D'ALVEO INDAGATO

Il bacino del torrente Vecchia Dorgia appartiene amministrativamente al Comune di La Spezia ed è delimitato dal bacino del canale Fossamastra a Est, dal bacino del canale Bottagna (affluente del fiume Vara) a Nord e dal bacino del torrente Nuova Dorgia a Ovest.

L'area complessiva sottesa è 1.64 km², la lunghezza dell'asta principale è di circa 2.7 km e la quota massima è circa 250 m s.l.m.

I suoi affluenti principali sono il fosso Ponticelli e il fosso San Rocco. Il bacino è attraversato dalla linea ferroviaria Roma Genova ed è fortemente urbanizzato a valle della ferrovia.

Il tratto d'alveo interessato dallo studio ha una lunghezza complessiva di circa 1200 m e comprende un tratto a cielo aperto della lunghezza di circa 100 m a monte della linea ferroviaria e tutto il tratto tombinato che termina circa 100 m a valle di Via Carducci.

In tale tratto il corso d'acqua ha un andamento sostanzialmente rettilineo con direzione NE-SO per la parte tombinata compresa fra la sezione di sbocco e l'inizio di Via della Pianta, da cui prosegue verso monte con tracciato curvilineo, attraversa Via Sarzana, sottopassa la ferrovia fino alla sezione di imbocco ubicata lungo Via della Pieve. Il tratto a cielo aperto prosegue con andamento rettilineo.

La pendenza media del fondo alveo è pari a circa 1%.

Nel tratto a cielo aperto a monte della linea ferroviaria l'alveo ha una sezione rettangolare larghezza 2 m circa e altezza di 2.5 m circa.

La sezione di imbocco del tratto tombinato ha dimensioni interne nette di 2x2 m circa.

La tombinatura ha una sezione interna netta di circa 2x2 m dall'imbocco fino all'attraversamento delle linee ferroviarie dove cambia in una sezione con volta a botte di altezza massima di 2.5 m e larghezza 1.7 m circa, fino all'inizio di Via della Pianta dove si allarga e prosegue a sezione rettangolare fino allo sbocco con larghezze variabili da 3.6 a 4.4 m e altezze variabili da 1.9 a 2.0 m.

6 VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE

6.1 GEOMETRIA DEI TRATTI DI ALVEO INDAGATI

La geometria dell'alveo del torrente Vecchia Dorgia è stata ricavata dalla documentazione, le indagini e i rilievi decritti nel capitolo 3 e da una serie di sopralluoghi di verifica dello stato dei luoghi.

6.2 PORTATE DI PIENA

Nelle verifiche sono state utilizzate le portate di piena riportate nel Piano di Bacino per quanto riguarda la sezione A (sbocco a mare), mentre per quanto riguarda la sezione ubicata subito a valle dell'immissione del fosso Ponticelli (denominata sezione A1), per la quale il Piano di Bacino non riporta i valori delle portate di piena, le stesse sono state ricavate per interpolazione lineare fra quelle delle sezioni A e B.

In sintesi sono state utilizzate le seguenti portate:

Tratto	Sez. chiusura	Area [km ²]	Q200 [m ³ /s]	Q50 [m ³ /s]
a valle ferrovia	A	1.64	32.2	27.7
a monte ferrovia	A1	1.30	28.6	24.7

Tabella II

6.3 METODOLOGIA E PARAMETRI DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.5²*.

Il software consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 1 allegata alla presente relazione.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte da 63 a 100 in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti.

² HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

La modellazione è stata effettuata nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali assegnando al coefficiente di scabrezza n di Manning un valore di 0.03, corrispondente a corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento sul fondo, in accordo con le verifiche del Piano di Bacino

Il profilo di rigurgito è stato integrato per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle imponendo come condizioni al contorno la profondità critica nella sezione di estremità di monte e di valle.

6.4 RISULTATI

Sono state effettuate le verifiche idrauliche del torrente Nuova Dorgia nel tratto compreso tra la Pieve di san Venerio e 80 m a valle di via Carducci per una lunghezza di 1.2 km circa con i valori di portata 50-ennale e 200-ennale sopra riportati.

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato B.

Le verifiche mostrano come entrambi i valori di portata non risultino contenuti all'interno dell'alveo con esondazioni nei tratti a cielo aperto e/o messa in pressione dei tratti coperti.

La portata massima smaltibile dal tratto tombinato senza esondazione è pari a 16 m³/s.

La portata massima smaltibile dalla tombinatura nel tratto a valle della ferrovia è pari a 17 m³/s.

7 ANALISI DELLA DINAMICA DI ESONDAZIONE

L'analisi del rischio idraulico di cui al presente studio è stata fatta nell'ipotesi cautelativa che non avvengano esondazioni a monte, ma che tutta la portata di piena possa raggiungere, senza perdita di volume lungo il tragitto l'imbocco della tombinatura.

La dinamica di esondazione è stata ricostruita sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche e sulla base di un'attenta analisi della morfologia dei luoghi.

Nelle figura seguente sono indicati i punti di esondazione e le vie di deflusso principali delle portate esondate.



Figura 4: foto aerea con indicati i punti di esondazione e le via di deflusso principali

Il torrente Vecchia Dorgia nel tratto compreso tra la Pieve di san Venerio e la linea ferroviaria scorre in un canale rettangolare lateralmente a Via della Pieve. Poco a monte della linea ferroviaria inizia il tratto tombinato della lunghezza di 1 km circa che termina a valle di Via Carducci.



Foto 1: tratto a cielo aperto in Via della Pieve



Foto 2: imbocco tratto tombinato

La portata esonda a monte della linea ferroviaria allaga le aree limitrofe alla viabilità soprattutto sul lato Ovest e, raggiunta la quota del muro di confine della linea ferroviaria “bassa”, di collegamento con la zona portuale, allaga la sede del binario che è in pendenza verso Sud e costituisce una via preferenziale per la portata esondata.

La sommità del cordolo di confine di valle della linea ferroviaria ha una quota di sommità inferiore rispetto a quello di monte (circa 1 m di differenza) pertanto parte della portata esondata che invade la sede del binario, tracima al di sopra del cordolo e defluisce a valle lungo il sottopasso di Via della Pieve.



Foto 3: muro di confine a monte della linea ferroviaria



Foto 4-5: muro di confine a valle della linea ferroviaria



Foto 6: sottopasso di Via della Pieve

La linea ferroviaria “bassa” a valle di Via della Pieve sottopassa in galleria gli altri binari.



Foto 7: imbocco galleria linea ferroviaria “bassa”

A valle della galleria la ferrovia percorre un primo tratto in trincea per poi proseguire a raso verso valle.

Lungo il lato destro la linea confina inizialmente con l’area ex Messina e successivamente con Via Maralunga, mentre sul lato sinistro confina con piazzali adibiti a deposito/parcheggio e, nel tratto di parallelismo con Via Maralunga, con la sede di un ulteriore binario. In corrispondenza dell’area ex Messina il muro di confine è formato da una serie di lamiere verticali in più punti deformate e danneggiate (sono presenti numerosi varchi o interstizi), mentre in corrispondenza di Via Maralunga è presente un muro di confine dell’altezza di 1 m circa sormontato da una rete metallica.

Sono presenti anche due cancelli ubicati in corrispondenza (uno a monte e uno a valle) dell'ingresso dell'area ex Messina da Via Maralunga.

Sul lato sinistro il confine è costituito da una semplice rete di recinzione.

In ragione della morfologia dei luoghi sopra descritta la portata esondata in arrivo dalla galleria, che defluisce lungo la ferrovia, allaga le aree in sponda destra dalla fine del tratto in trincea fino al cancello su Via Maralunga, mentre in sponda sinistra allaga le aree a valle del tratto in trincea.

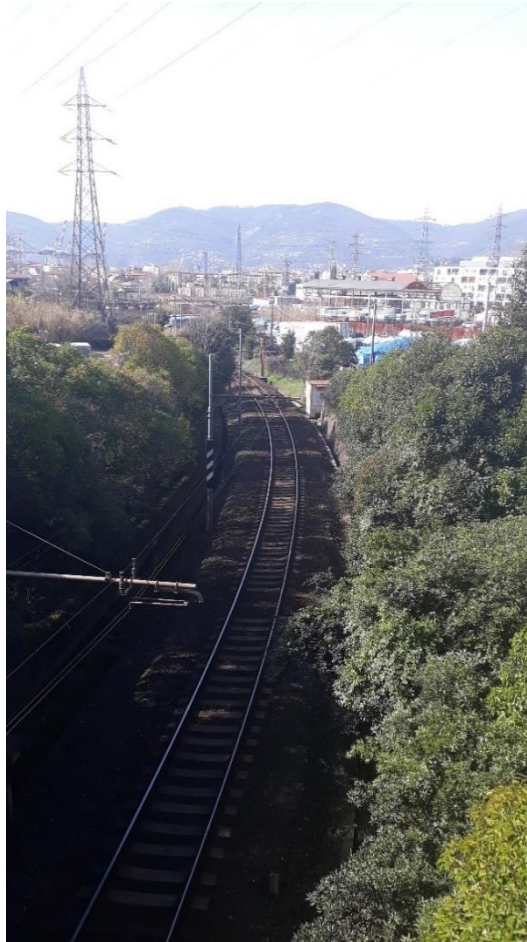


Foto 8: linea ferroviaria allo sbocco della galleria



Foto 9: linea ferroviaria tra la galleria e Via Maralunga



Foto 10: cancello a monte di Via Maralunga



Foto 11: cancello in corrispondenza di Via Maralunga



Foto 12: confine linea ferroviaria parallela a Via Maralunga

7.1 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI ESONDAZIONE

Ai fini della determinazione delle portate di esondazione è stata calcolata la portata massima smaltibile (portata di soglia) dalla tombinatura imponendo come quota massima del pelo libero la quota del muro di monte della linea ferroviaria a quota 13.0 m s.l.m.

La portata esondata è stata calcolata come differenza tra la portata di monte e quella di soglia posta pari a 16 m³/s.

Nella tabella seguente sono riportate le portate esondate del torrente Vecchia Dorgia, calcolate come differenza fra le portate 50-ennale e 200-ennale e la massima portata transitabile senza messa in pressione della tombinatura.

Q ₅₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]	Q _{soglia} [m ³ /s]	Q _{esond.50} [m ³ /s]	Q _{esond.200} [m ³ /s]
24.7	28.6	16	8.7	12.6

Tabella III

7.2 IDROGRAMMI DI PIENA

La determinazione degli idrogrammi di piena del torrente Vecchia Dorgia è stata effettuata secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

In particolare si è utilizzato il *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzato alla valutazione degli idrogrammi di riferimento condizionati dal valore della portata al colmo di progetto, assunta in questo caso pari a quella del Piano di Bacino.

La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 3.

Nel caso in esame si è adottata la curva di probabilità pluviometrica della stazione di La Spezia, i cui parametri sono riportati nell'Appendice II della DGR sopra menzionata.

La curva risultante è esprimibile come $h=91.5 \cdot t^{0.313}$ per T=50 anni e $h=100.2 \cdot t^{0.313}$ per T=200 anni.

Ai fini del calcolo sono stati ricostruiti gli idrogrammi di piena attraverso l'uso di un modello seriale di trasformazione afflussi-deflussi.

Il modello (vedi Appendice 3) è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

La determinazione dei parametri caratteristici del bacino quali superficie, tempo di corrivazione e valore di CN è stata effettuata sulla base dei contenuti del Piano di Bacino e della stessa DGR 357/2008.

Gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti in corrispondenza della sezione A1.

In particolare si sono assunti $S=1.3 \text{ km}^2$, $t_c= 25$ minuti, $CN(\text{condizione III}) = 87$.

I risultati dei calcoli sono riassunti nella tabella seguente nell'ipotesi di una portata di soglia di $16 \text{ m}^3/\text{s}$.

T. Vecchia Dorgia	A [km ²]	a(*) [mm/h]	n	t _p [min]	Q _{max} [m ³ /s]	V _{tot} [m ³]	Q _s [m ³ /s]
T200	1.30	100.2	0.313	25	28.6	41500	16
T50	1.30	91.5	0.313	25	24.7	35800	16

Tabella IV

Data la complessità del fenomeno risulta evidente che se da una parte tale idrogramma può non rappresentare l'effettivo andamento delle portate durante l'evento, dall'altra ne costituisce tuttavia una sintesi sufficientemente attendibile per gli scopi del presente studio.

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena 50-ennale e 200-ennale del torrente Vecchia Dorgia nella sezione A1.

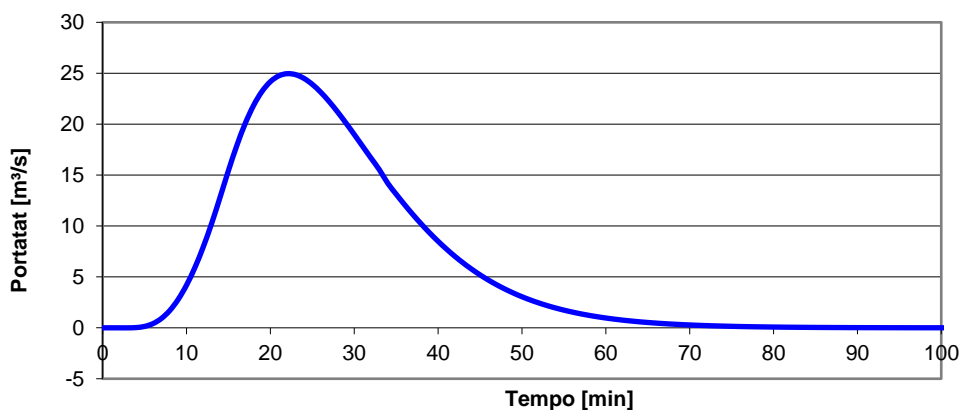


Figura 5: idrogramma di piena 50-ennale

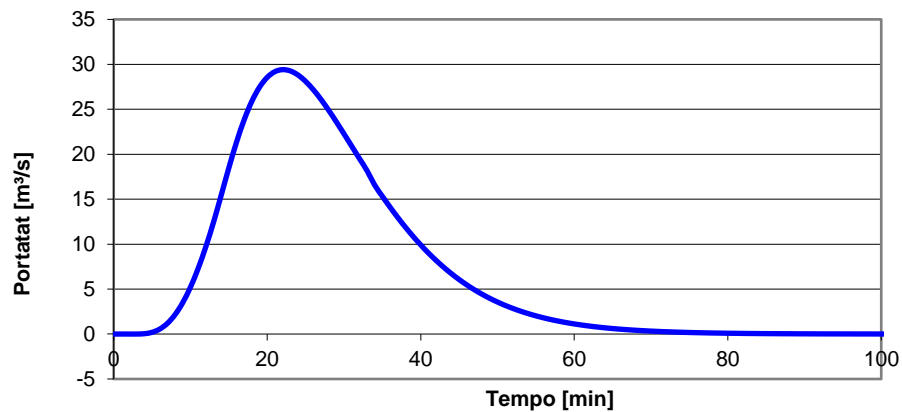


Figura 6: idrogramma di piena 200-ennale

Idrogrammi di piena delle portate esondate

Gli idrogrammi delle portate esondate sono stati ricavati associando a prefissate coppie di valori (Q , t) degli idrogrammi di piena del torrente Vecchia Dorgia i valori delle corrispondenti portate esondate riportati in tabella III, mantenendo inalterata la durata t .

Nella tabella seguente sono riassunti i valori delle portate esondate, dei volumi di esondazione e del tempo di esondazione (o tempo di base dell'idrogramma delle portate esondate).

	V_{es} [m ³]	$Q_{max\ es}$ [m ³ /s]	t_{es} [min.]
T200	9370	12.6	20
T50	5706	8.7	17

Tabella V

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi delle portate esondate.

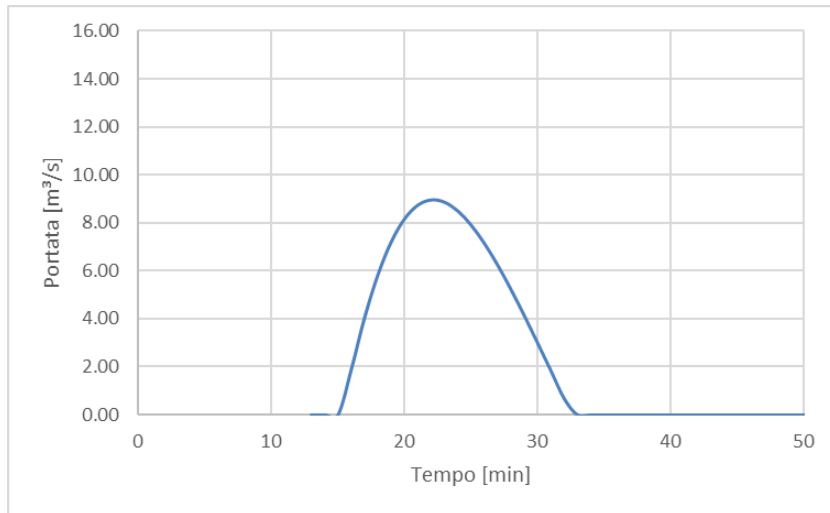


Figura 7: idrogramma portate esondate T50

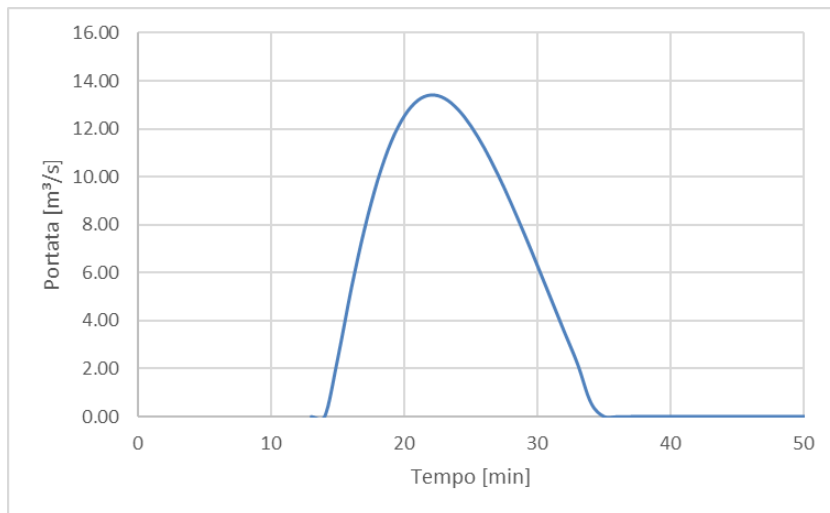


Figura 8: idrogramma portate esondate T200

8 MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO

8.1 BASE TOPOGRAFICA

La modellazione idraulica dell'area urbana indagata è stata fatta a partire da una base topografica adeguata alla tipologia di studio e alla scala di dettaglio del modello.

In particolare per la definizione del dominio di calcolo sono state utilizzate le seguenti basi topografiche opportunamente integrate ed omogeneizzate tra loro:

- Lidar del Ministero dell'Ambiente caratterizzato da una maglia di 1x1 m.
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1:5000
- rilievo topografico di dettaglio dell'area interessata dal PUO e delle aree limitrofe.
- rilievo della livelletta del tracciato ferroviario "linea bassa" compreso fra il sottopasso di Via della Pieve e Via Maralunga.

8.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Lo studio relativo all'allagamento delle aree adiacenti al torrente Vecchia Dorgia è stato effettuato implementando un modello idraulico bidimensionale con il software *Infoworks ICM³*.

Il software consente il calcolo in moto vario monodimensionale e bidimensionale di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane utilizzando la metodologia dei volumi finiti.

Tra i principali risultati fornisce per ciascun dominio di calcolo (maglia di discretizzazione) i massimi tiranti idrici e la massima velocità di scorrimento.

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 2 allegata alla presente relazione.

8.3 SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO

Il dominio di studio è stato schematizzato utilizzando i dati presenti nelle diverse basi topografiche disponibili. La base topografica di partenza importata nel software è costituita dal Lidar del Ministero dell'Ambiente.

Poiché il Lidar tiene conto solamente della superficie geodetica del territorio, sono stati importati dalla Carta Tecnica Regionale tutti gli edifici presenti nell'area indagata a cui è stata assegnata la condizione di "poligoni vuoti" non attraversabili dal flusso della corrente.

Con riferimento al Lidar è stata fatta un'analisi della precisione e della completezza dei dati topografici al fine di verificarne l'adeguatezza per l'utilizzo nella modellazione.

³ *Infoworks ICM 9.0 HR Wallingford Innovyze.*

Infine è stato individuato e creato il dominio 2D di allagamento sulla base delle dinamiche di esondazione dell'area e delle mappature risultanti dal Piano di Bacino.

In particolare il dominio di calcolo è delimitata a Nord dal versante zona Pieve di San Venerio, a Est dal versante del Boschetto, a Sud dalla zona a mare a valle di Viale San Bartolomeo e a Ovest dalla zona urbana di Via Canaletto, Via Palmaria, Via delle Grazie. Il dominio 2D individuato ha un'estensione di circa 140 ha.

8.4 PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Il dominio di calcolo è stato discretizzato generando una *mesh* triangolare a differente superficie, allo scopo di seguire più fedelmente possibile la geometria dei luoghi.

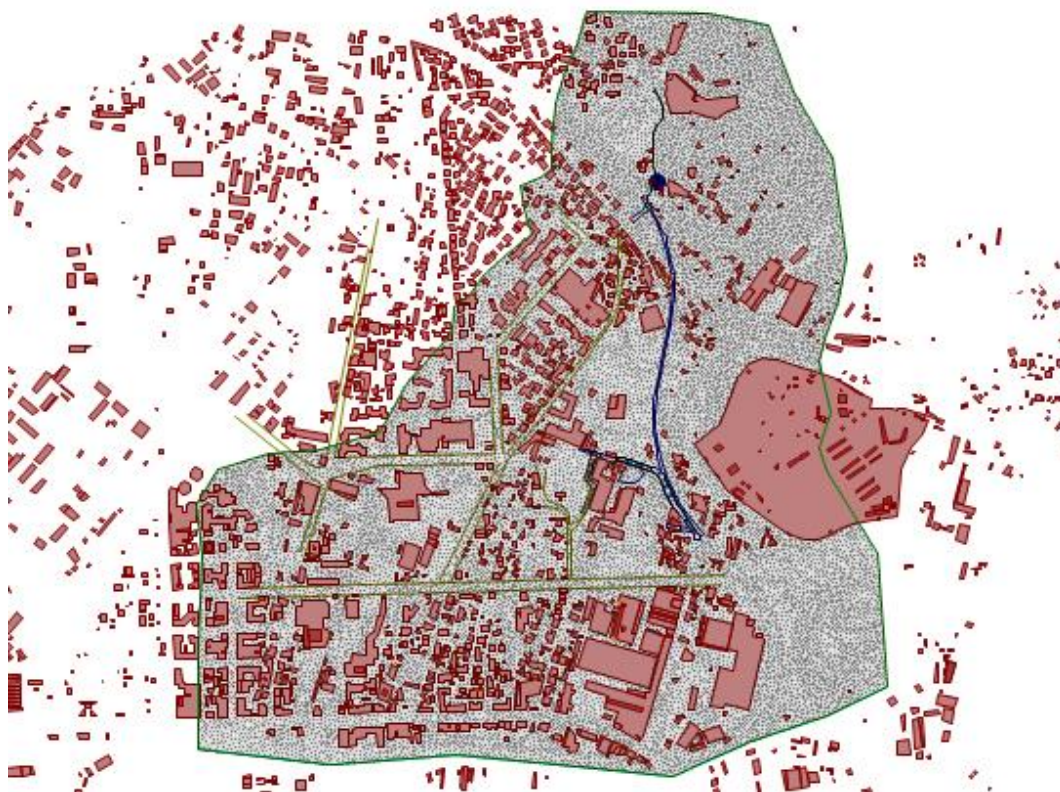


Figura 9

I parametri principali relativi alla magliatura assunti nella modellazione sono i seguenti:

- dimensione massima dell'area dei triangoli generati pari a 50 m²;
- dimensione minima dell'area dei triangoli generati paria a 1 m²;
- magliatura variabile in funzione dell'andamento del terreno in modo che la variazione di quota tra i tre vertici non superi il valore di 0.20 m;
- coefficiente di scabrezza (coefficiente di Manning) di tutto il dominio pari a 0.02. Tale scelta è dovuta al fatto che l'area indagata è costituita esclusivamente da un'area urbana caratterizzata da viabilità carrabili e marciapiedi.

Il numero totale di triangoli generati dal software è pari a circa 280000, ognuno dei quali presenta un valore di quota univoco determinato sulla base della triangolazione dei punti del modello.

Il modello di allagamento è stato effettuato per la portata 200-ennale e 50-ennale.

Al dominio di calcolo sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di output:* in corrispondenza della zona a mare a valle di Viale San Bartolomeo si è assunta come condizione la profondità critica (“*Critical Depth*”).
- *Condizioni generali della maglia:* nei restanti tratti del dominio di calcolo non interessati dalle condizioni di Input e di Output si è assunta, a favore di sicurezza, la condizione al contorno di “*Vertical Wall*” che corrisponde all’inserimento di una barriera verticale impermeabile infinitamente alta che non lascia uscire l’acqua dal dominio di calcolo qualora in simulazione si verificasse presenza d’acqua al suo perimetro.

Ai fini della simulazione idraulica , sono stati adottati i seguenti parametri:

- Passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo (*Timestep*) pari a 2 s.
- *Durata della simulazione* pari a 120 min corrispondente a circa 5 volte la durata degli idrogrammi in input.

Le *condizioni di input* sono costituite da:

- l’idrogramma di esondazione individuato nella simulazione con Hec-Ras ubicato a monte dell’attraversamento ferroviario, in corrispondenza dell’imbocco del tratto tombinato.

8.5 RISULTATI

I risultati delle simulazioni effettuate hanno confermato le dinamiche di esondazione descritte nei paragrafi precedenti.

Negli Allegati 1, 2, 3 e 4 sono riportate le mappature dei valori massimi dei tiranti e delle velocità di scorrimento per gli eventi 50-ennale e 200-ennale nello stato attuale, mentre negli Allegati 5, 6, 7 e 8 sono riportate le stesse mappature nello stato di progetto.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica dei risultati.

Evento 50-ennale

Le aree inondabili interessano Via della Pieve a monte della linea ferroviaria per un'area di circa 1.5 ha limitata dalla morfologia del terreno, con tiranti variabili tra 0.5 e 1.5 m circa.

Il sottopasso ferroviario di Via della Pieve è interessato da tiranti inferiori a 0.3 m.

Via Maralunga è interessata da aree inondabili solo per un breve tratto e con tiranti inferiori a 0.3 m.

L'edificio confinante a Ovest dell'area di interesse è caratterizzato da un cortile interno a quote inferiori rispetto a Via Maralunga e di conseguenza in tale zona si riscontrano tiranti leggermente superiori alla viabilità (compresi tra 0 e 0.5 m circa).

L'area oggetto di PUO non è interessata da aree inondabili 50-ennali.

Evento 200-ennale

Le aree inondabili interessano Via della Pieve a monte della linea ferroviaria per un'area di circa 1.5 ha limitata dalla morfologia del terreno, con tiranti variabili tra 0.5 e 1.5 m circa.

Il sottopasso ferroviario di Via della Pieve e le aree a valle sono interessate da aree inondabili con tiranti inferiori a 0.3 m.

Il binario della linea ferroviaria è interessato da allagamento con tiranti variabili tra 0.3 m e 0.7 m. Le aree adiacenti alla ferrovia a valle della galleria sono caratterizzate da tiranti compresi tra 0 e 0.3 m.

Via Maralunga è interessata da aree inondabili solo per un breve tratto e con tiranti inferiori a 0.3 m.

L'edificio confinante a Ovest dell'area di interesse è caratterizzato da un cortile interno a quote inferiori rispetto a Via Maralunga e di conseguenza in tale zona si riscontrano tiranti leggermente superiori alla viabilità (compresi tra 0 e 1 m circa).

L'area oggetto di intervento è interessata da aree inondabili limitate alla zona compresa tra l'edificio esterno alla proprietà e l'edificio oggetto di parziale demolizione con tiranti inferiori a 0.3 m.

Tale allagamento è dovuto alla mancanza di muro di confine continuo con l'area adiacente lato Ovest posta ad una quota inferiore rispetto all'area oggetto del PUO.

Al fine di analizzare tutti gli eventuali rischi di esondazione, a favore di sicurezza, si sono studiati due ulteriori scenari:

- scenario 1: eliminazione del muro di valle della linea ferroviaria (no muretto)
- scenario 2: eliminazione di entrambi i muri della linea ferroviaria (no muri FS).

In questi due scenari le aree inondabili si differenziano dalle precedenti in particolare nella zona a valle di Via delle Pieve dove risultano mappate anche Via della Pianta e Via Sardegna con tiranti inferiori a 0.3 m.

L'area oggetto di PUO non è soggetta a nessun tipo di variazione rispetto alle simulazioni precedenti.

Negli allegati 9, 10, 11 e 12 sono riportate le mappature dei valori massimi dei tiranti per gli eventi 50-ennale e 200-ennale per entrambi gli scenari.

9 COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL PUO

Le verifiche e le simulazioni riportate nei capitoli precedenti hanno consentito la valutazione del rischio idraulico a cui è soggetta l'area oggetto del PUO con riferimento alle fasce di inondabilità del torrente Vecchia Dorgia, nelle condizioni di stato attuale e di progetto.

I risultati delle simulazioni riportate nelle mappature allegate alla presente relazione hanno dimostrato che l'area oggetto di PUO:

- non è soggetta ad allagamento in caso di eventi di piena 50-ennale sia nello stato attuale che nello stato di progetto;
- in caso di evento di piena 200-ennale nello stato attuale solo una limitata porzione dell'area, compresa tra l'edificio esterno alla proprietà e l'edificio esistente (di cui è prevista la parziale demolizione) è interessata da tiranti inferiori a 0.3 m e velocità di scorrimento inferiori a 1 m/s;
- in caso di evento di piena 200-ennale nello stato di progetto non sono presenti aree inondabili.

Inoltre gli interventi previsti nel PUO:

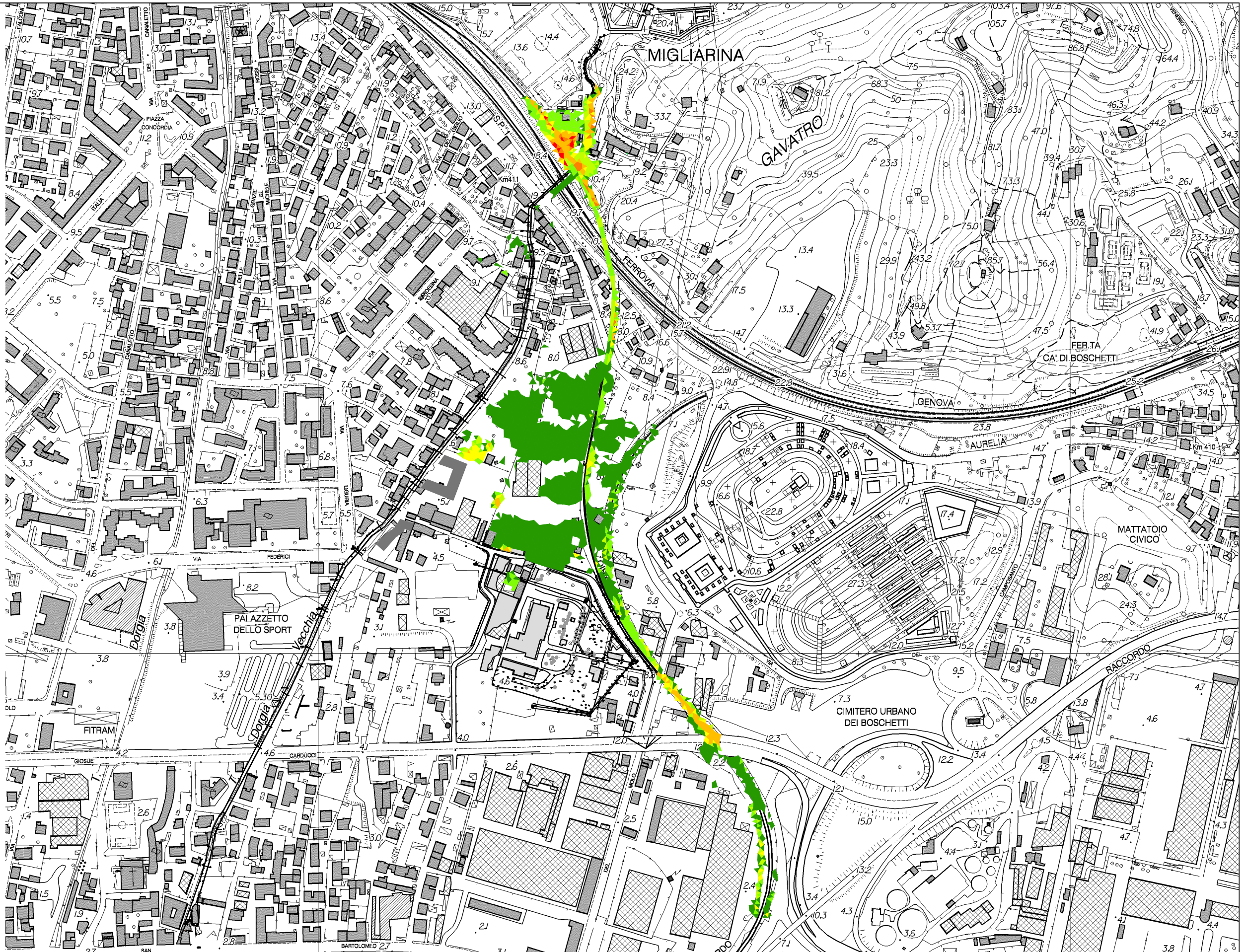
- rientrano fra quelli assentibili dalla normativa del Piano di Bacino (art. 15, comma3);
- non pregiudicano la sistemazione idraulica definitiva del torrente Vecchia Dorgia;
- non aumentano la pericolosità di inondazione e il rischio connesso, sia localmente, sia a monte che a valle;
- non costituiscono significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena;
- non riducono la capacità di invaso delle aree circostanti.

Infine, per quanto riguarda le misure e gli accorgimenti tecnico-costruttivi da adottare per il non aumento delle condizioni di rischio idraulico in aree inondabili, in ottemperanza ai contenuti dell'art. 15 e dell'Allegato 5 delle Norme di Attuazione, si è previsto che:

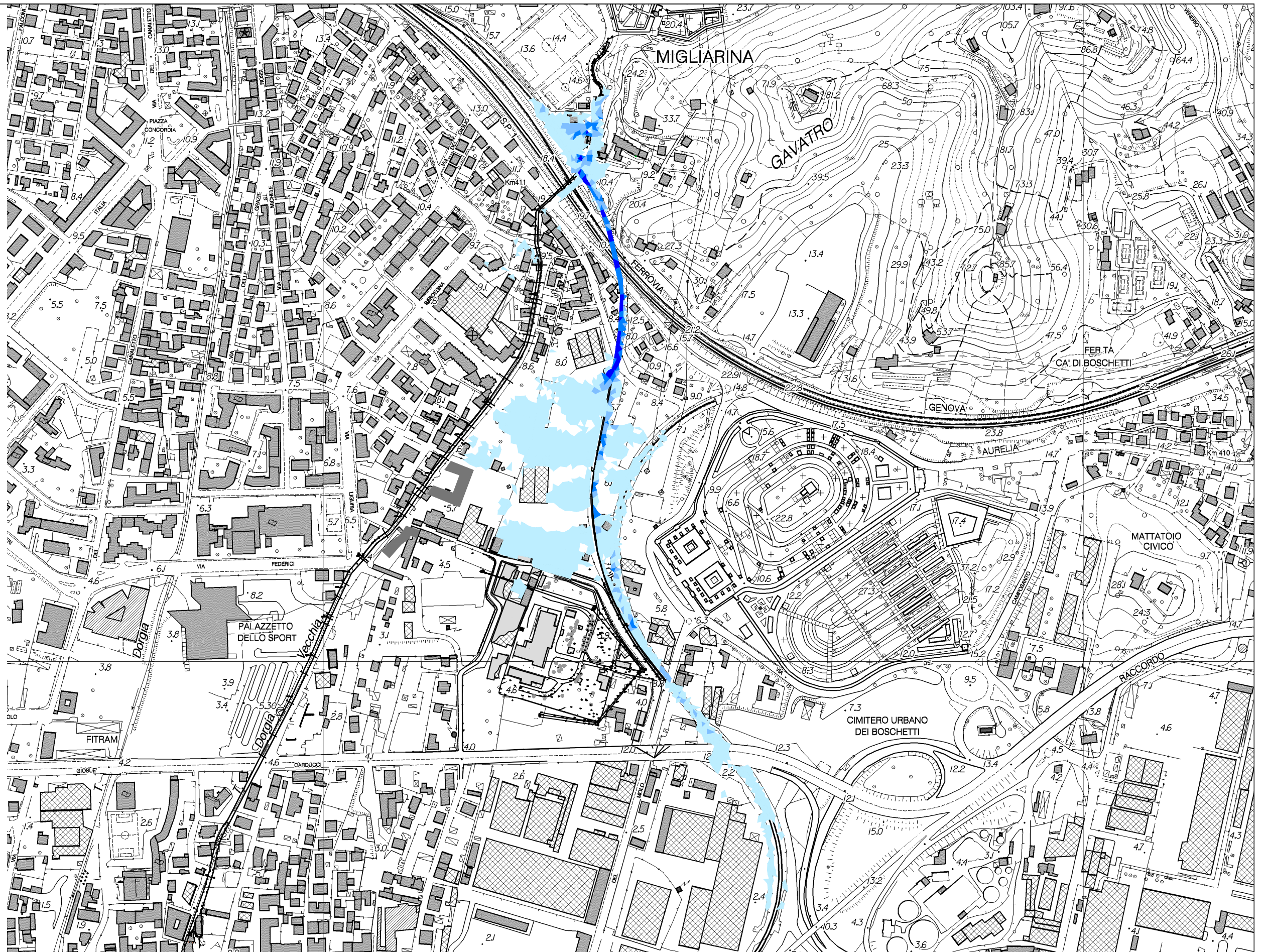
- le aree limitrofe a via Maralunga (lato Nord e Nord-Est dell'area in oggetto) saranno poste ad una quota superiore di 0.2 m rispetto al piano viabile circostante;
- lungo i confini dell'area di proprietà (in particolare verso Ovest) è prevista la realizzazione di un muro dell'altezza di 1 m circa con sovrastante recinzione metallica.

Alla luce di quanto sopra si può affermare che gli interventi previsti nel PUO sono compatibili con la mappatura delle fasce di inondabilità del torrente Vecchia Dorgia.

LEGENDA



ALLEGATO 1
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO ATTUALE
scala 1:5000

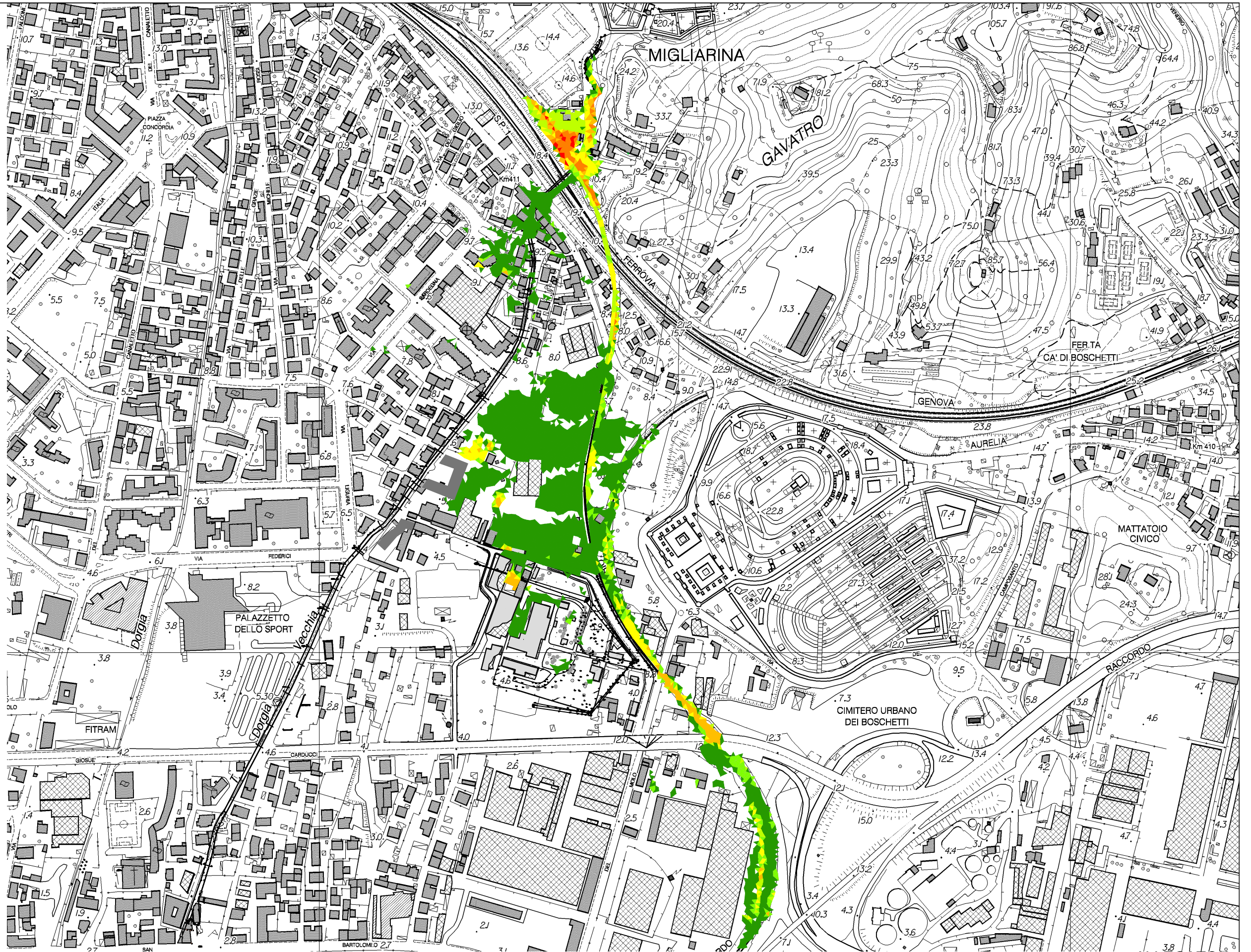
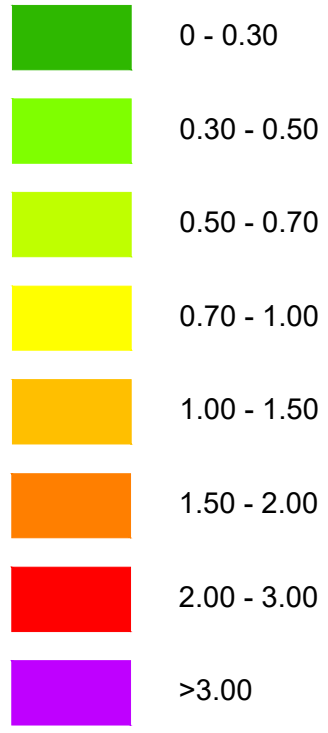


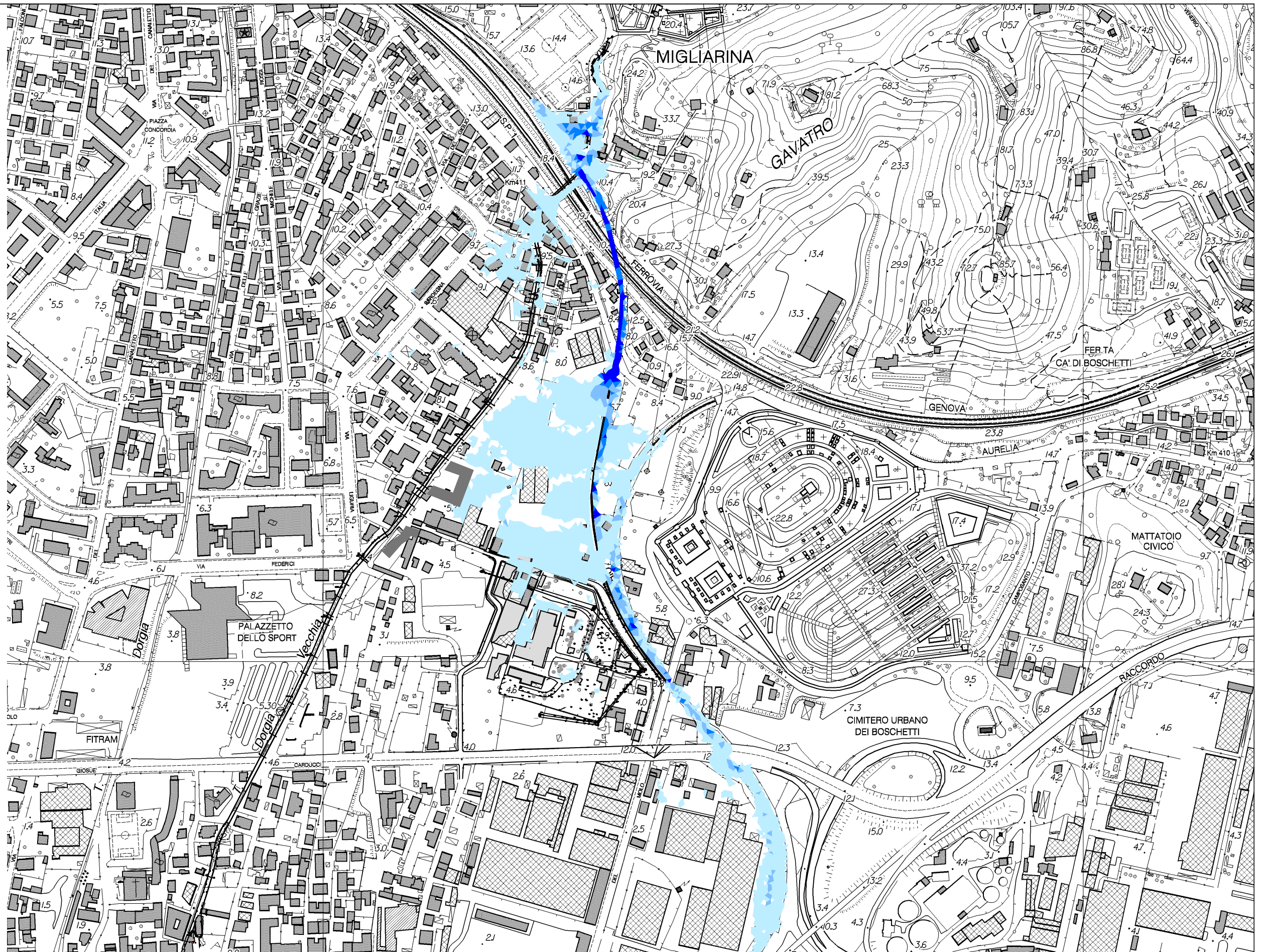
LEGENDA

- $v \leq 1.00 \text{ m/s}$
- $1.00 < v \leq 1.50 \text{ m/s}$
- $1.50 < v \leq 2.00 \text{ m/s}$
- $v > 2.00 \text{ m/s}$

ALLEGATO 2
 MAPPATURA VELOCITA' MASSIME
 EVENTO 50-ENNALE
 STATO ATTUALE
 scala 1:5000

LEGENDA



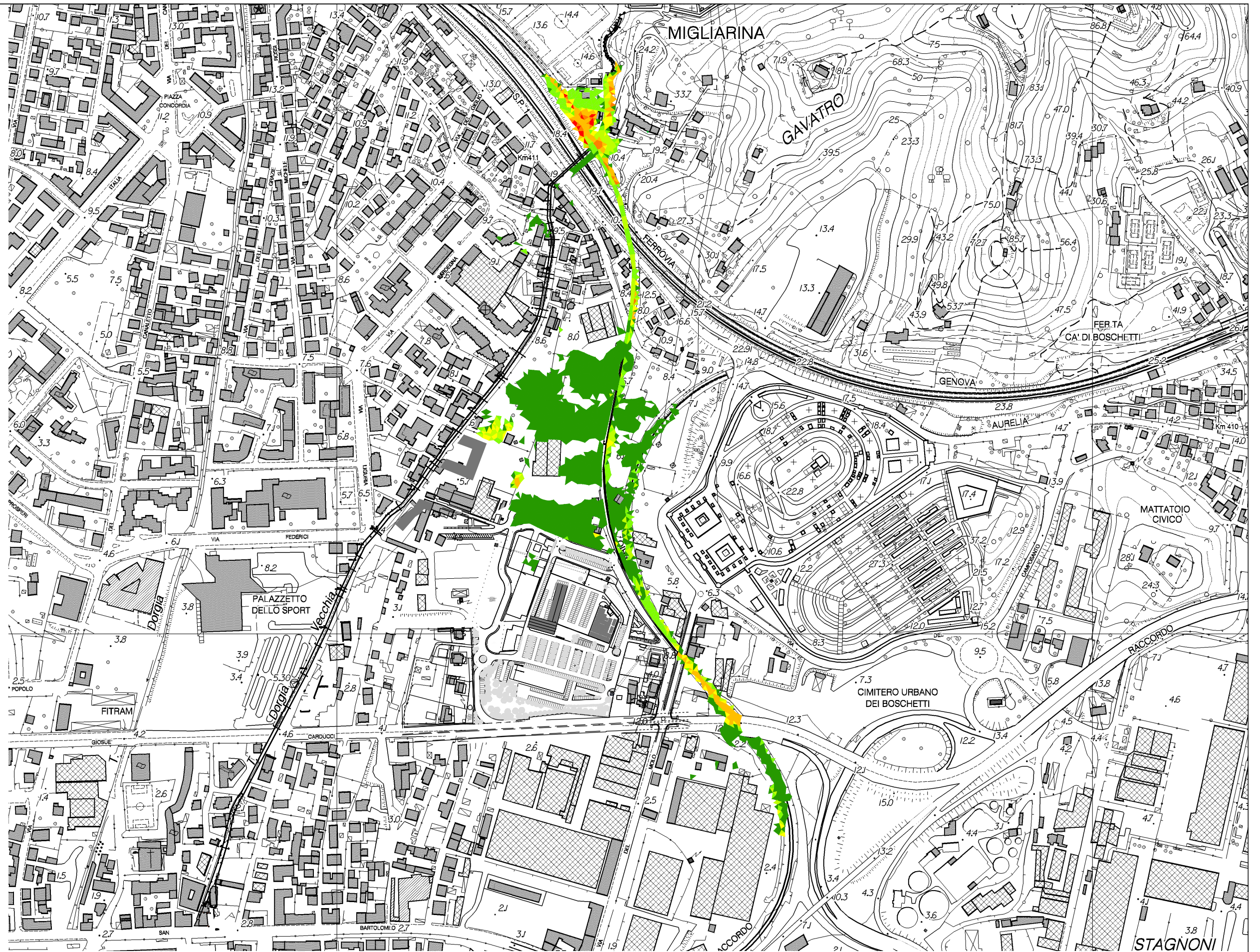
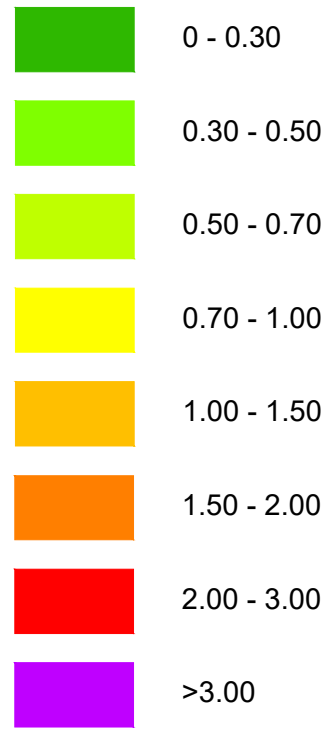


LEGENDA

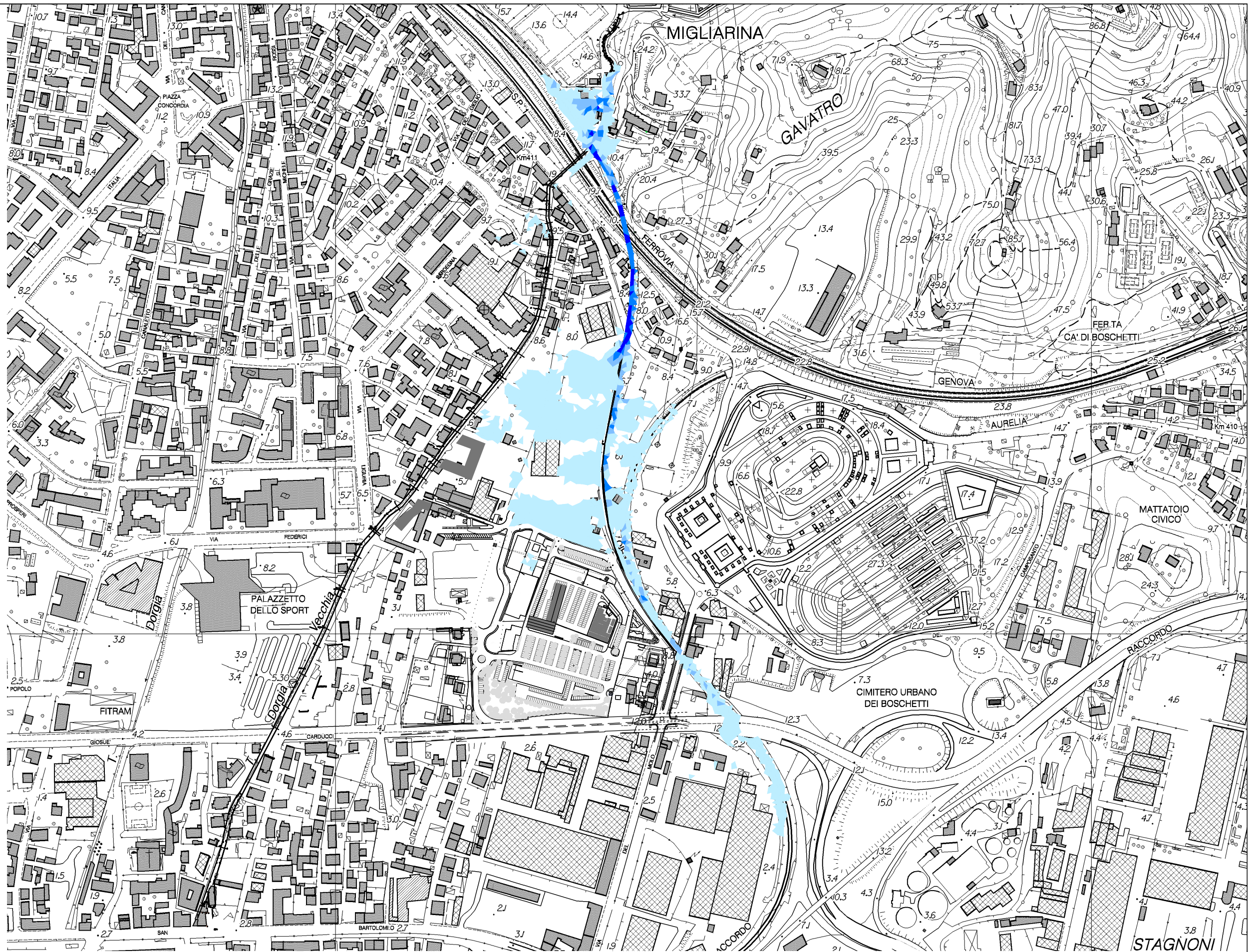
- $v \leq 1.00 \text{ m/s}$
- $1.00 < v \leq 1.50 \text{ m/s}$
- $1.50 < v \leq 2.00 \text{ m/s}$
- $v > 2.00 \text{ m/s}$

ALLEGATO 4
 MAPPATURA VELOCITA' MASSIME
 EVENTO 200-ENNALE
 STATO ATTUALE
 scala 1:5000

LEGENDA



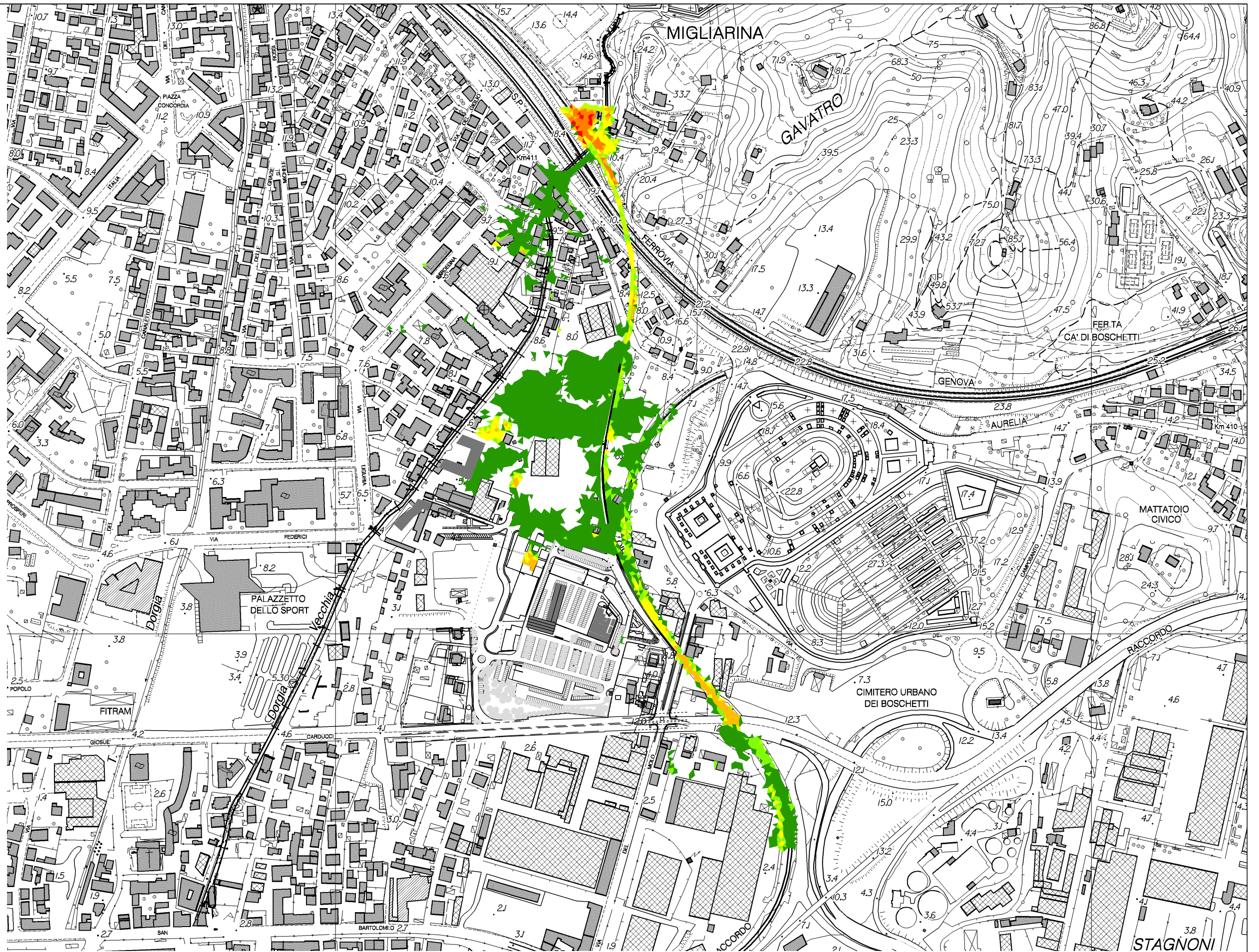
ALLEGATO 5
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000



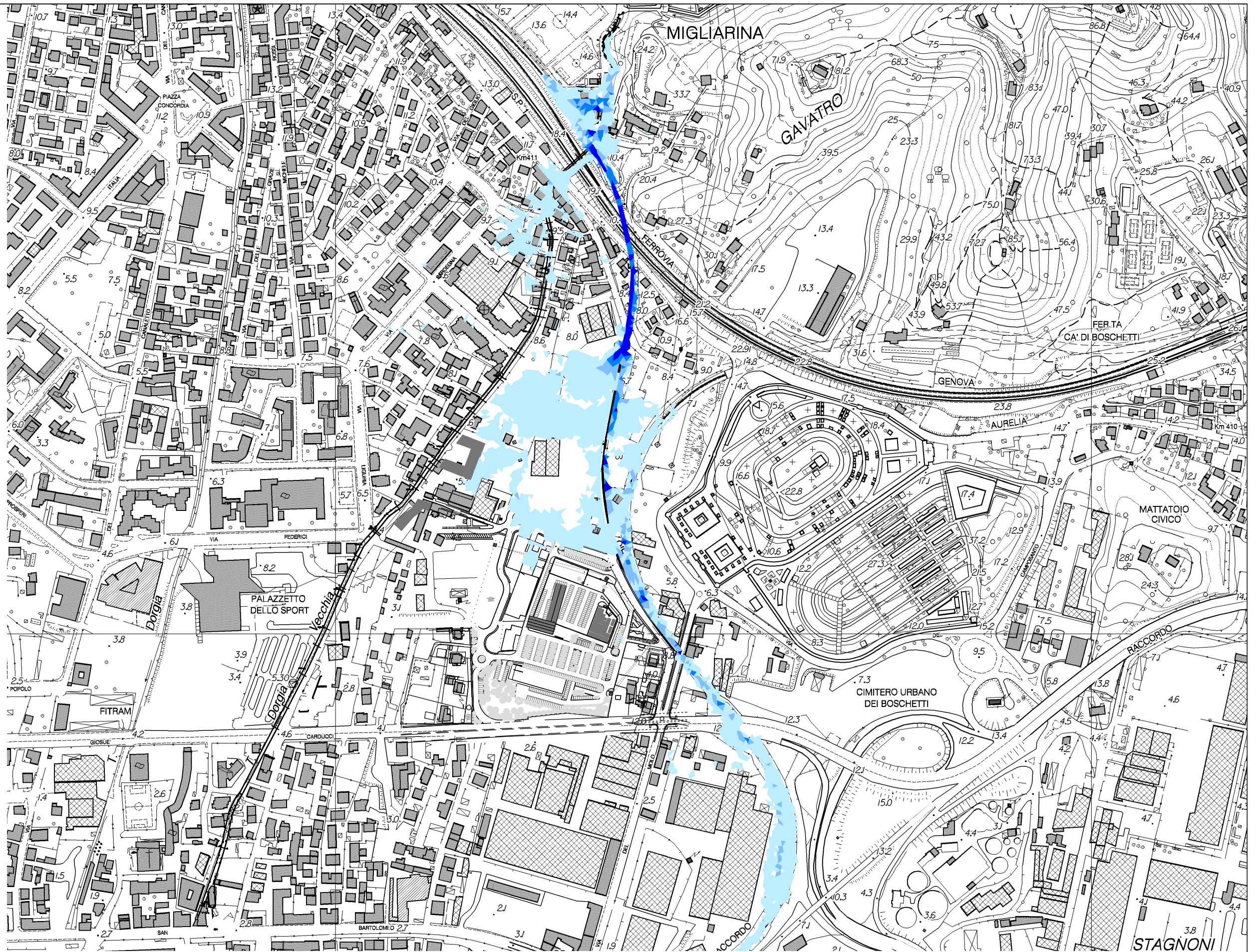
LEGENDA

- $v \leq 1.00 \text{ m/s}$
- $1.00 < v \leq 1.50 \text{ m/s}$
- $1.50 < v \leq 2.00 \text{ m/s}$
- $v > 2.00 \text{ m/s}$

LEGENDA



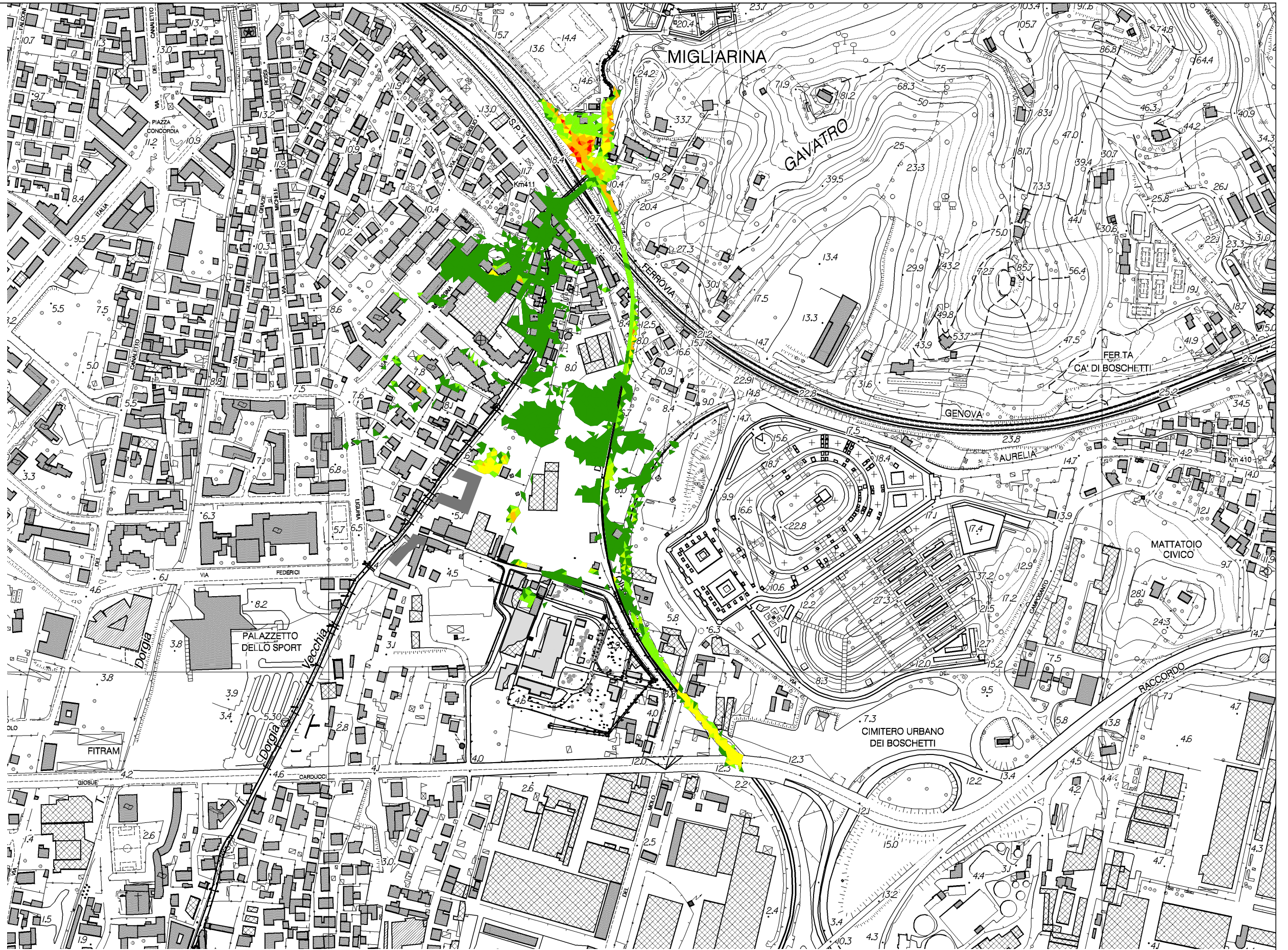
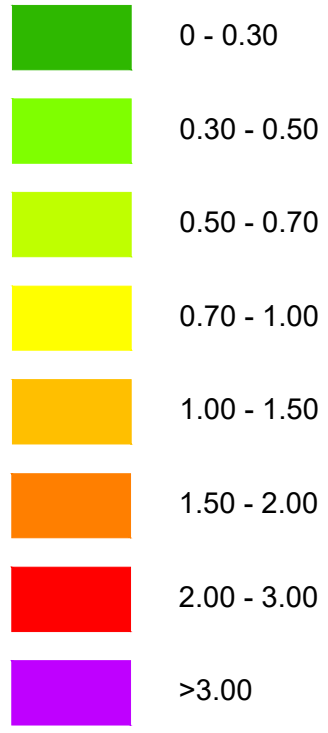
ALLEGATO 7
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000



LEGENDA

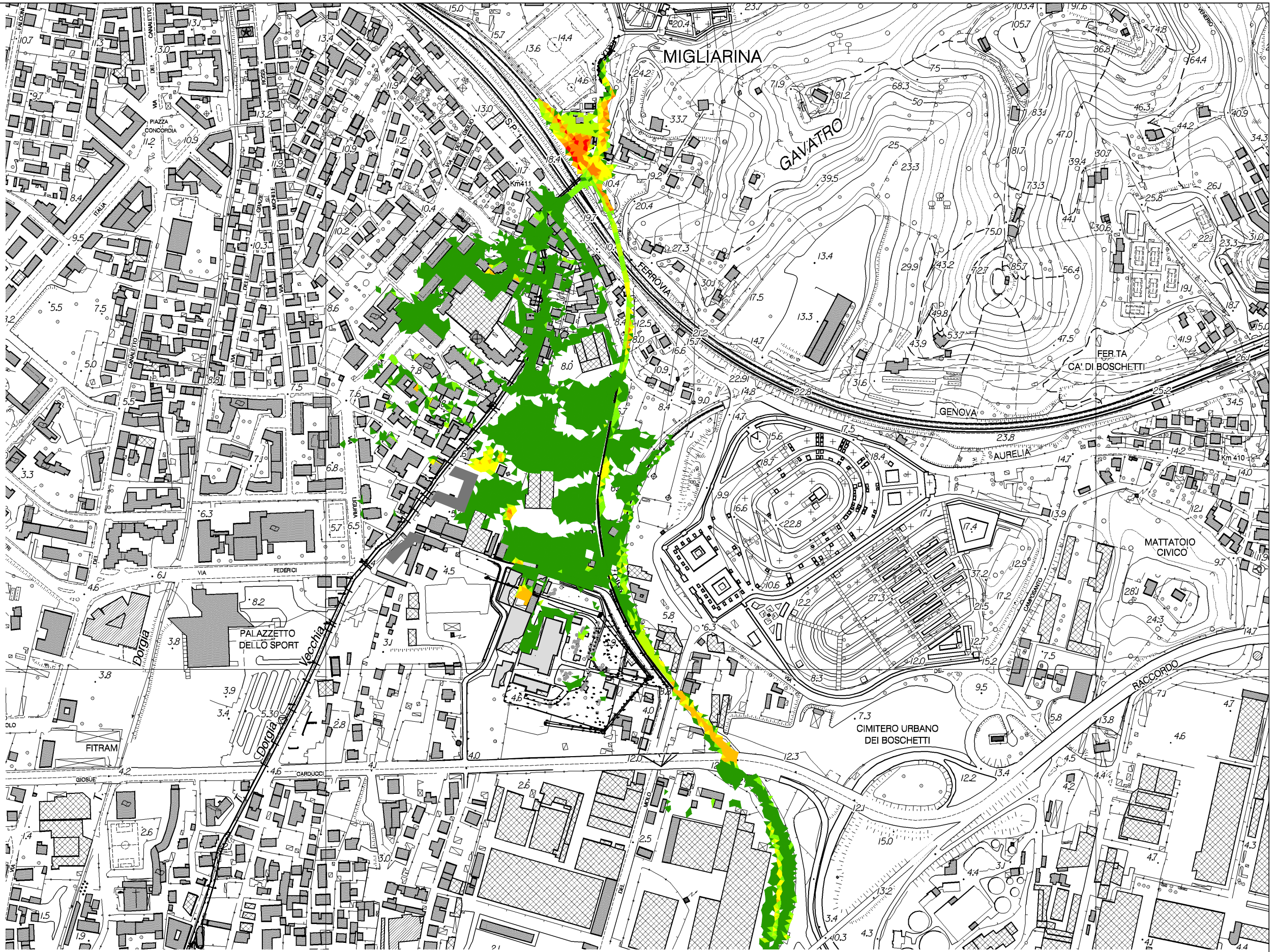
- $v \leq 1.00 \text{ m/s}$
- $1.00 < v \leq 1.50 \text{ m/s}$
- $1.50 < v \leq 2.00 \text{ m/s}$
- $v > 2.00 \text{ m/s}$

LEGENDA



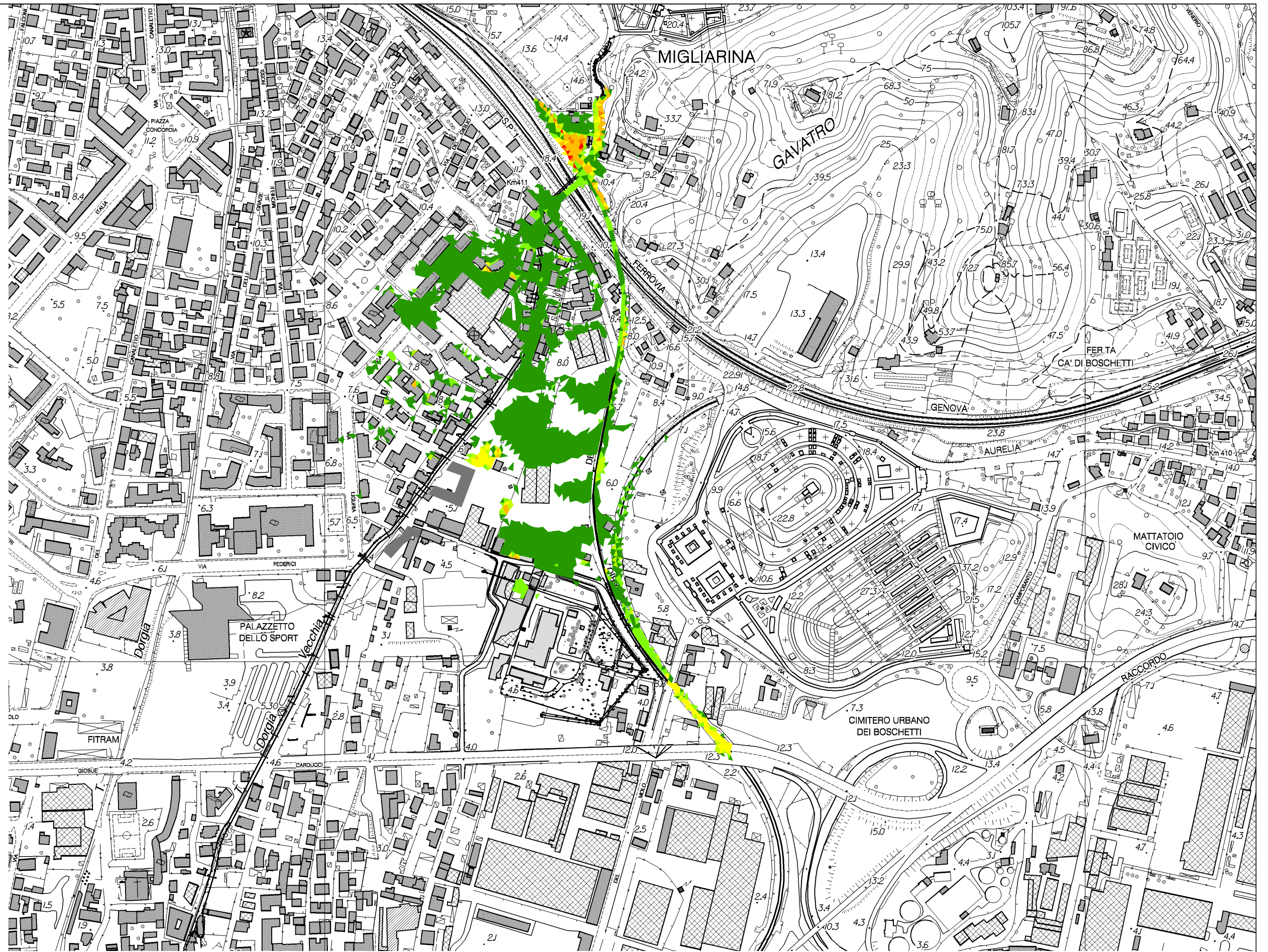
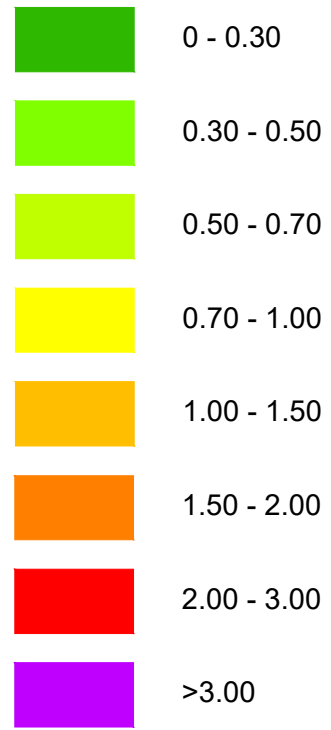
ALLEGATO 9
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO ATTUALE SENZA
MURETTO DI VALLE FS
scala 1:5000

LEGENDA

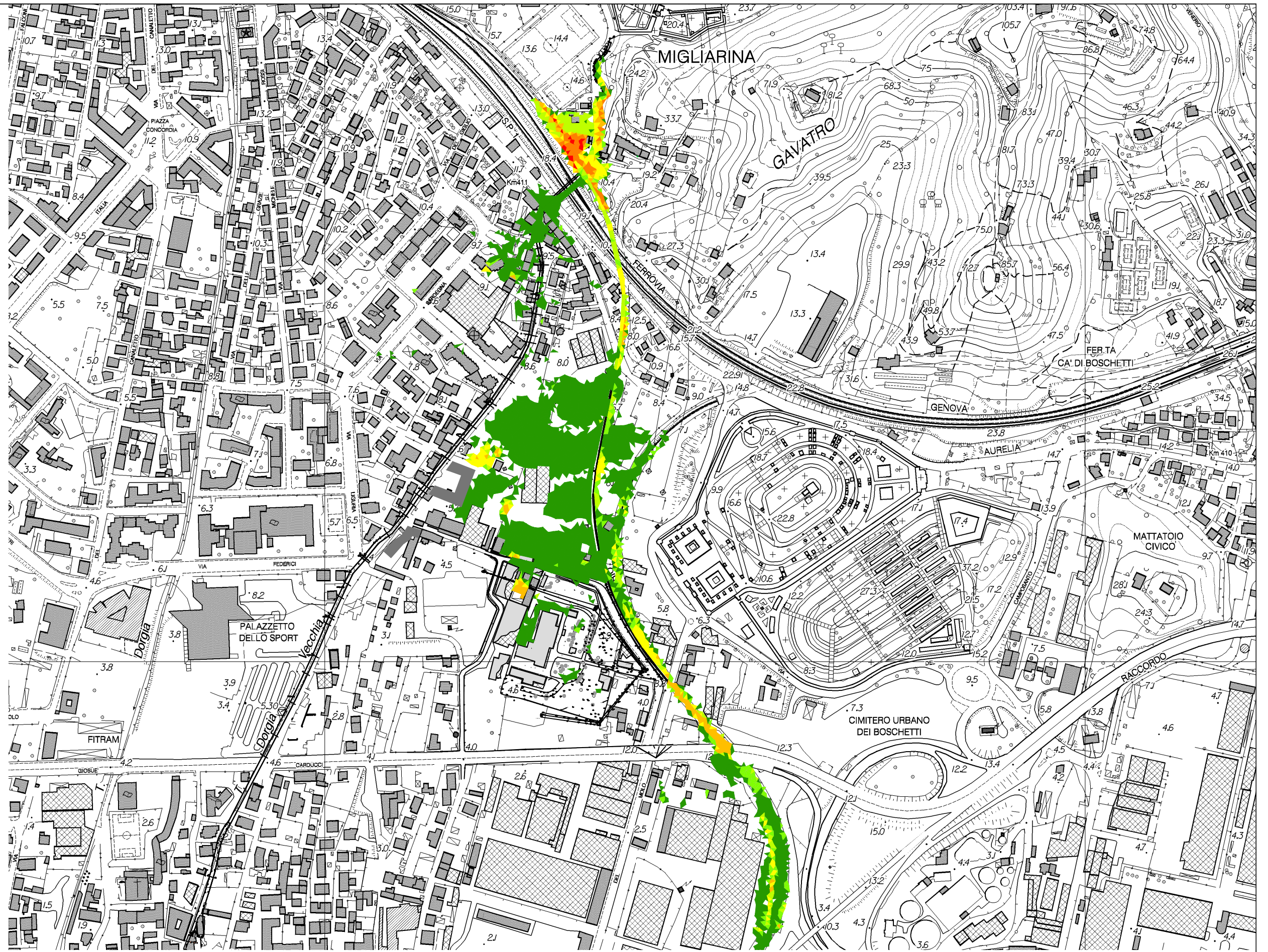


ALLEGATO 10
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO ATTUALE SENZA
MURETTO VALLE FS
scala 1:5000

LEGENDA



LEGENDA



ALLEGATO 12
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO ATTUALE SENZA MURI FS
scala 1:5000

ALLEGATO A

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
RELATIVA ALL'ISPEZIONE DELLA TOMBINATURA
DEL TORRENTE VECCHIA DORGIA**

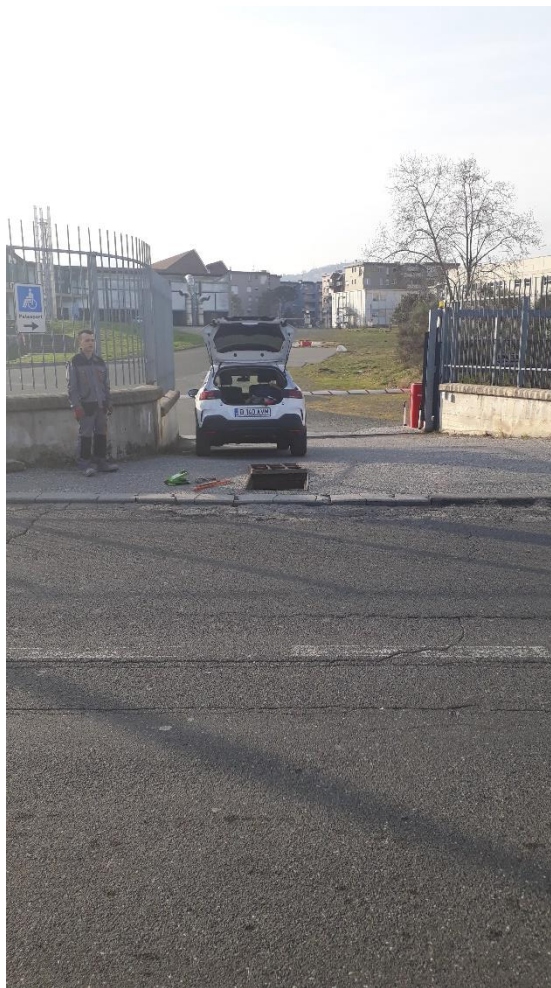


Foto 1-2: Tombinatura Vecchia Dorgia in corrispondenza Palazzetto dello Sport



Foto 3-4: Tombinatura Vecchia Dorgia in corrispondenza del civico 323 di Via della Pianta



Foto 5-6: tombinatura Vecchia Dorgia in corrispondenza del campo sportivo



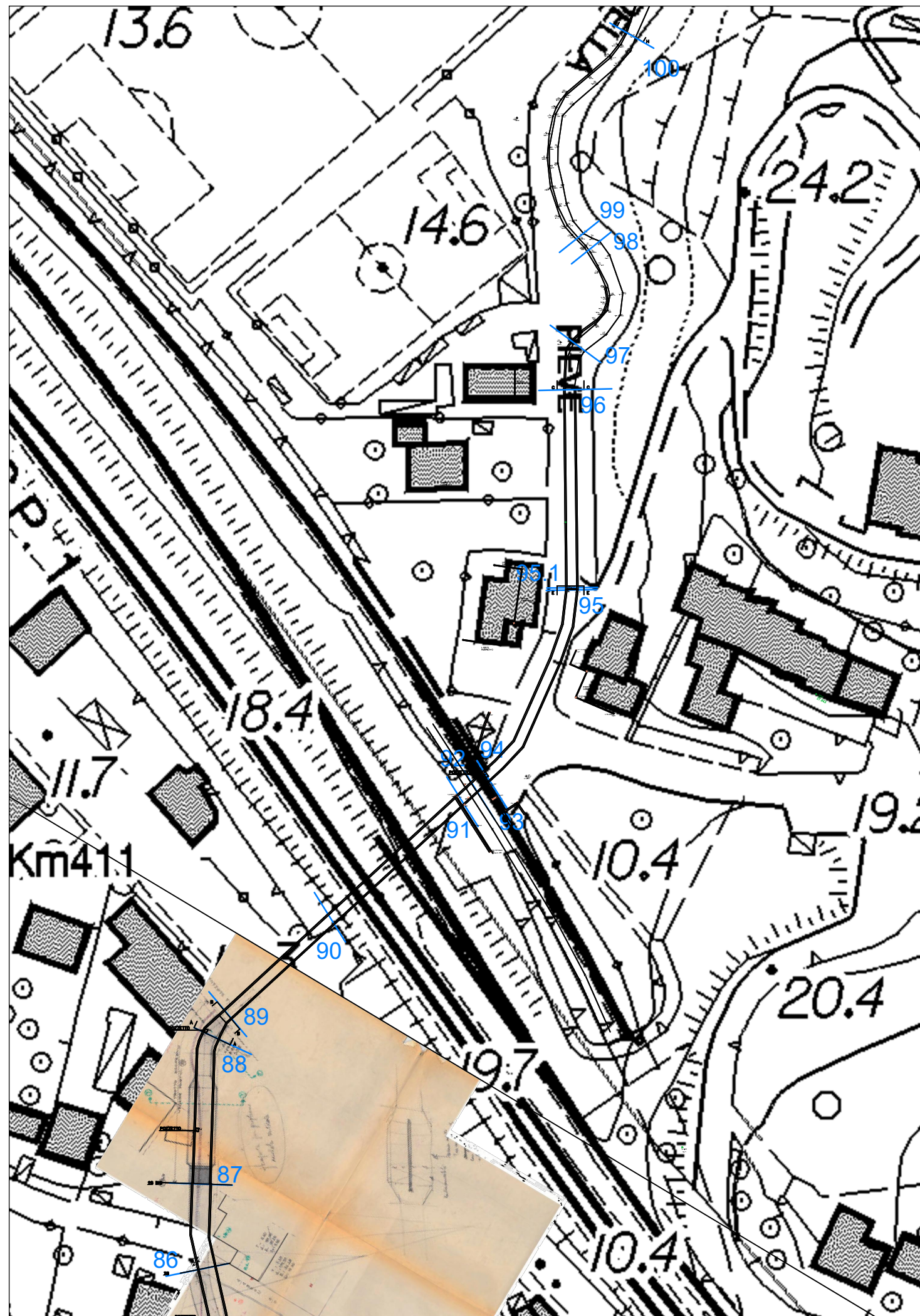
Foto 7: tombinatura Vecchia Dorgia in corrispondenza attraversamento ferroviario (valle)



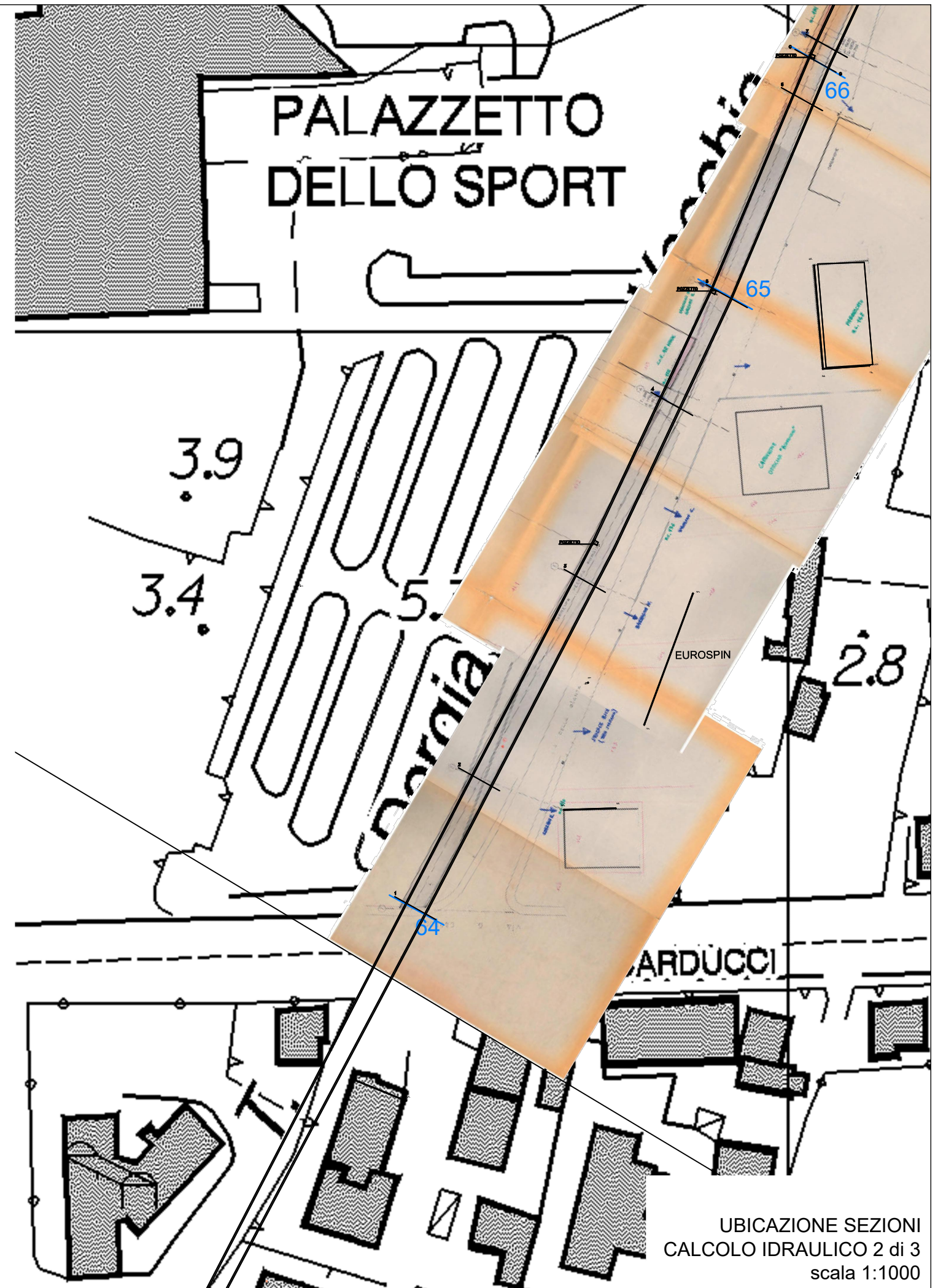
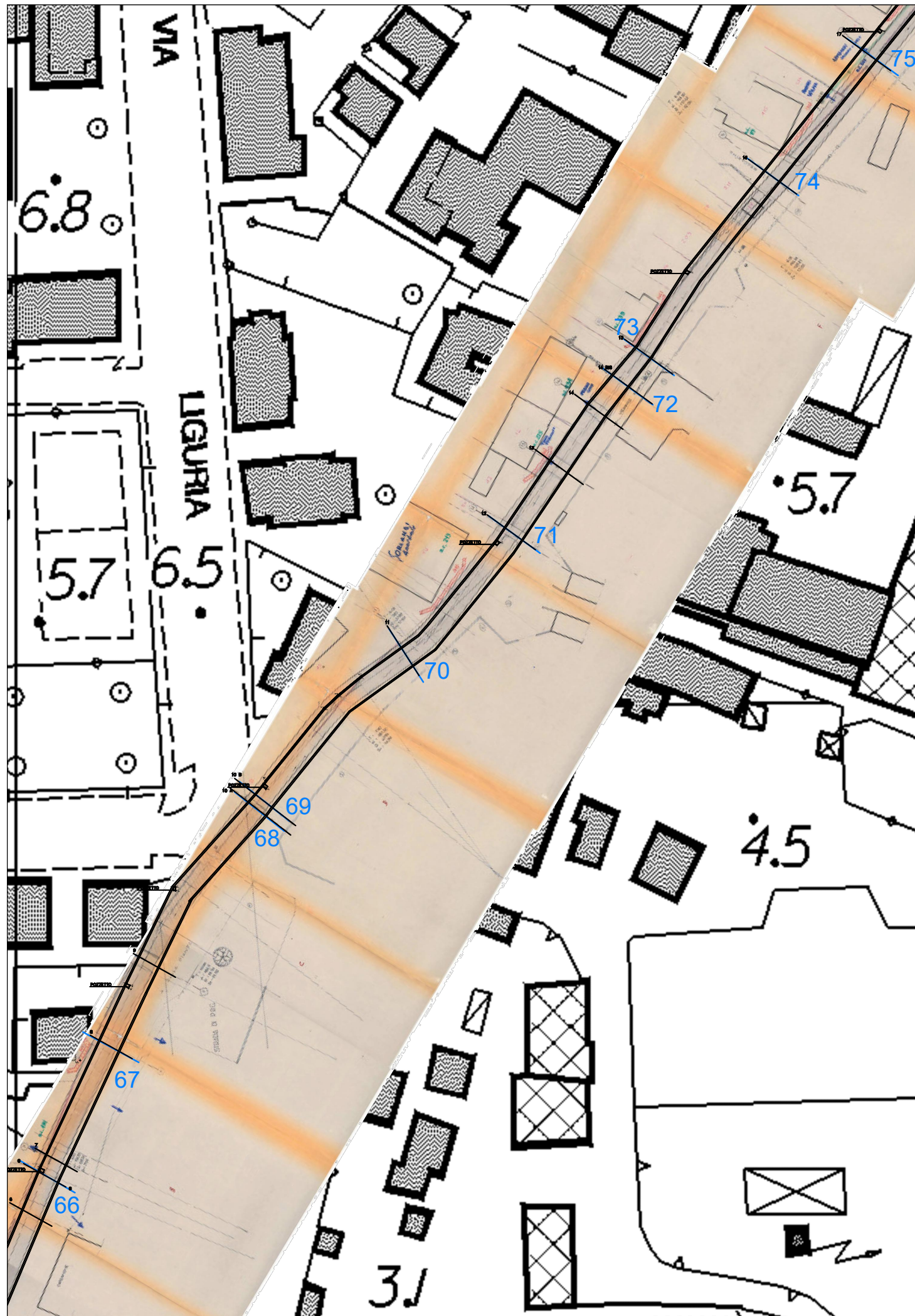
Foto 8: tombinatura Vecchia Dorgia a valle attraversamento ferroviario

ALLEGATO B

**VERIFICHE IDRAULICHE
TORRENTE VECCHIA DORGIA**

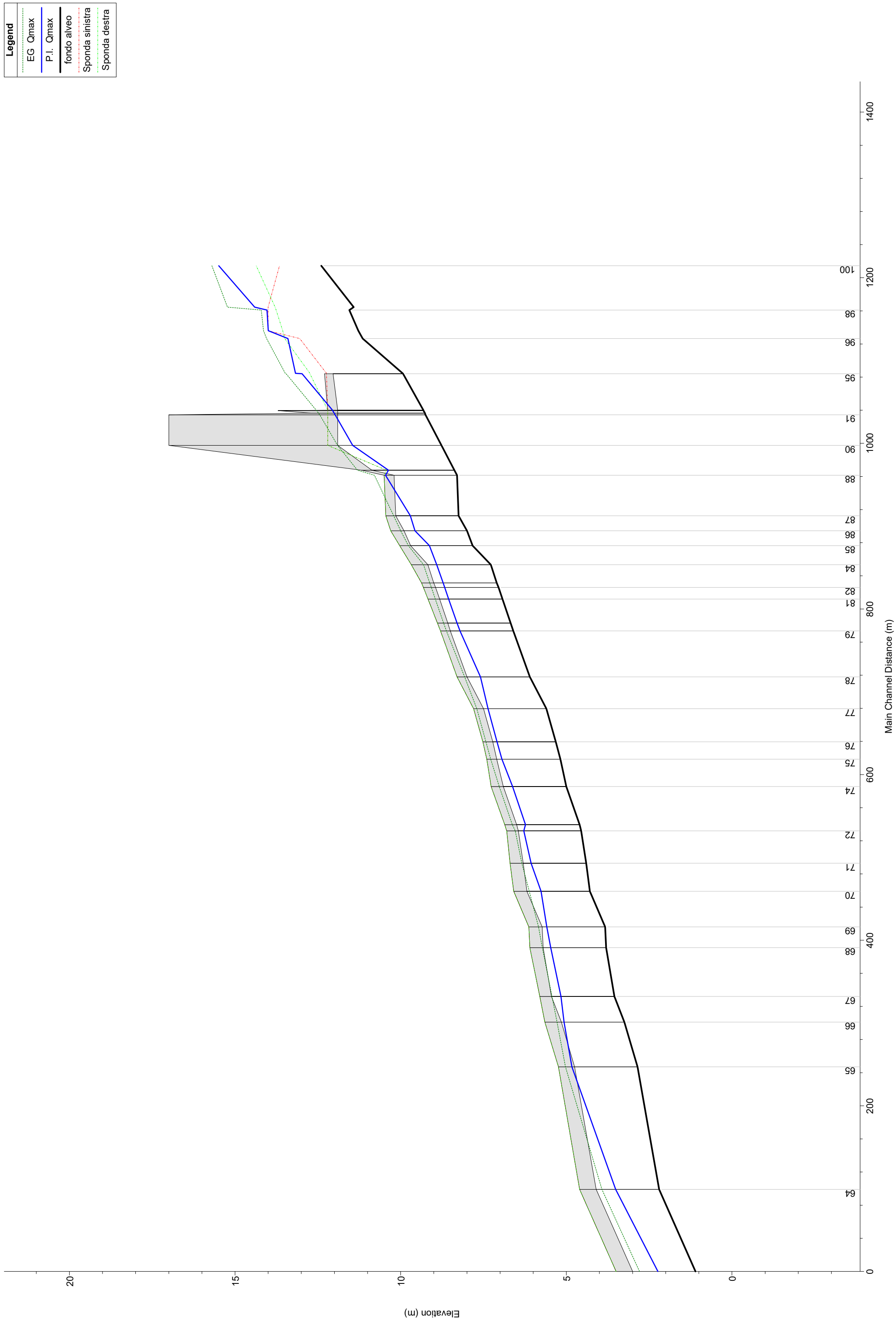


UBICAZIONE SEZIONI
CALCOLO IDRAULICO 1 di 3
scala 1:1000





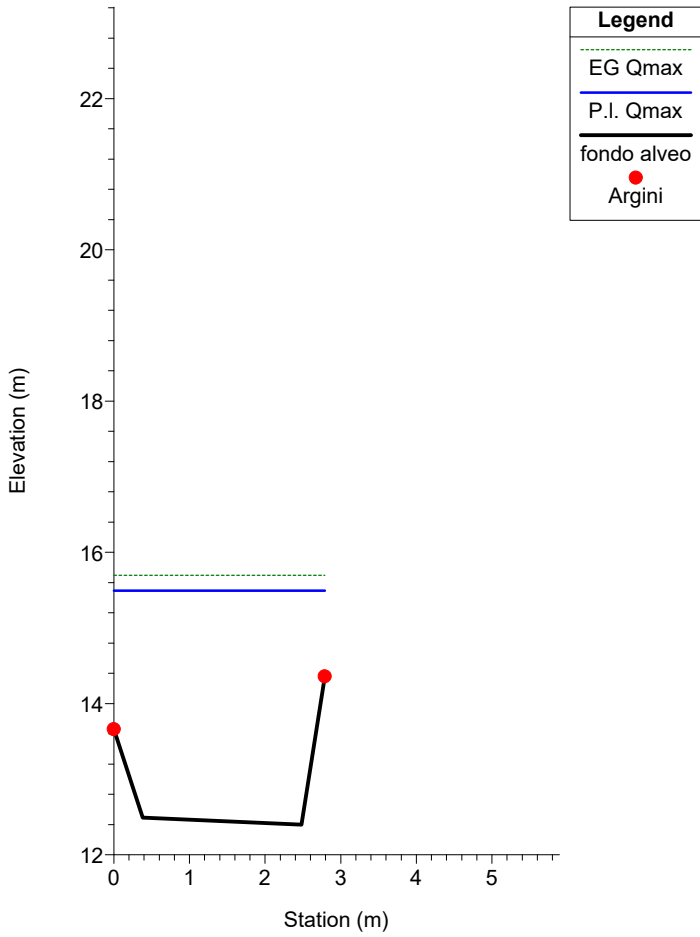
Vecchia Dorgia



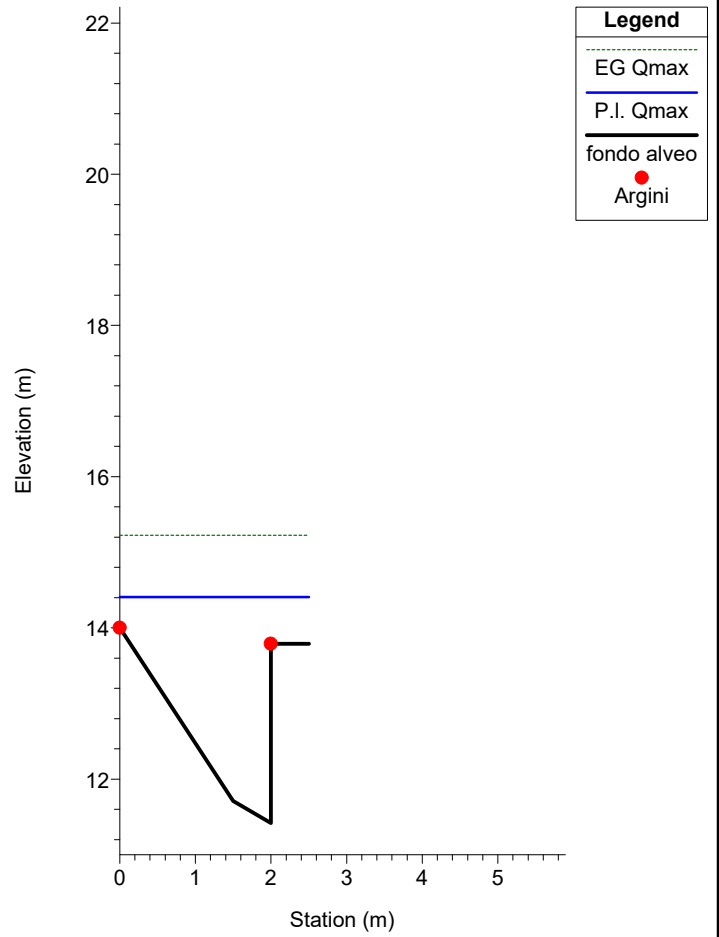
1 cm Horiz. = 40 m 1 cm Vert. = 1 m

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	Hydr Depth (m)	Max Chl Dpth (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Vecchia Dorgia	100	Qmax	1214.50	16.00	12.40	13.66	14.36	15.49	15.70	2.86	3.09	2.01	7.97	2.79	0.38
Vecchia Dorgia	99	Qmax	1164.50	16.00	11.42	14.00	13.79	14.41	15.23	1.62	2.99	4.07	4.06	2.50	0.95
Vecchia Dorgia	98	Qmax	1161.00	16.00	11.55	14.00	13.76	14.03	14.21	1.93	2.48	1.86	8.70	4.50	0.41
Vecchia Dorgia	97	Qmax	1136.00	16.00	11.28	14.00	13.56	14.00	14.14	2.34	2.72	1.67	9.68	4.13	0.34
Vecchia Dorgia	96	Qmax	1126.50	16.00	11.15	13.05	13.50	13.40	14.05	2.24	2.26	3.55	4.51	2.01	0.76
Vecchia Dorgia	95.991		Lat Struct												
Vecchia Dorgia	95.1	Qmax	1084.50	16.00	9.94	12.24	12.74	13.17	13.48	2.86	3.23	2.46	6.61	2.31	0.44
Vecchia Dorgia	95	Qmax	1084.00	16.00	9.93	12.04	12.04	12.97	13.46	2.27	3.04	3.08	5.24	2.31	0.56
Vecchia Dorgia	94	Qmax	1040.00	16.00	9.31	11.90	11.90	12.06	12.55		2.74	3.09	5.17		0.60
Vecchia Dorgia	93	Qmax	1039.50	16.00	9.31	11.90	11.90	12.05	12.54		2.74	3.09	5.18		0.60
Vecchia Dorgia	92	Qmax	1036.50	16.00	9.27	11.90	11.90	12.01	12.48		2.74	3.04	5.26		0.59
Vecchia Dorgia	91	Qmax	1034.50	16.00	9.25	11.90	11.90	11.98	12.44		2.73	3.02	5.30		0.58
Vecchia Dorgia	90	Qmax	997.50	16.00	8.77	11.90	11.90	11.45	11.90	2.68	2.68	2.99	5.36	2.00	0.58
Vecchia Dorgia	89	Qmax	967.50	16.00	8.38	10.43	10.43	10.37	11.30	1.87	1.99	4.28	3.74	2.00	1.00
Vecchia Dorgia	88	Qmax	961.50	16.00	8.30	10.20	10.20	10.46	10.79		2.16	2.55	6.27		0.56
Vecchia Dorgia	87	Qmax	912.50	16.00	8.25	10.15	10.15	9.71	10.21	1.42	1.46	3.13	5.10	3.60	0.94
Vecchia Dorgia	86	Qmax	894.50	16.00	8.00	9.90	9.90	9.57	10.00	1.53	1.57	2.91	5.50	3.60	0.75
Vecchia Dorgia	85	Qmax	876.50	16.00	7.83	9.70	9.70	9.13	9.77	1.26	1.30	3.52	4.54	3.60	1.00
Vecchia Dorgia	84	Qmax	853.50	16.00	7.28	9.18	9.18	8.91	9.31	1.59	1.63	2.79	5.73	3.60	0.71
Vecchia Dorgia	83	Qmax	831.50	16.00	7.10	9.00	9.00	8.72	9.12	1.58	1.62	2.82	5.67	3.60	0.72
Vecchia Dorgia	82	Qmax	826.00	16.00	7.05	8.94	8.94	8.67	9.07	1.59	1.63	2.80	5.71	3.60	0.71
Vecchia Dorgia	81	Qmax	812.00	16.00	6.93	8.82	8.82	8.55	8.95	1.59	1.63	2.80	5.71	3.60	0.71
Vecchia Dorgia	80	Qmax	783.00	16.00	6.68	8.58	8.58	8.30	8.70	1.58	1.62	2.82	5.68	3.60	0.72
Vecchia Dorgia	79	Qmax	773.50	16.00	6.60	8.50	8.50	8.21	8.62	1.57	1.61	2.84	5.64	3.60	0.72
Vecchia Dorgia	78	Qmax	718.00	16.00	6.10	8.00	8.00	7.59	8.07	1.45	1.49	3.06	5.23	3.60	0.81
Vecchia Dorgia	77	Qmax	679.50	16.00	5.60	7.50	7.50	7.36	7.70	1.72	1.76	2.59	6.19	3.60	0.63
Vecchia Dorgia	76	Qmax	639.50	16.00	5.32	7.22	7.22	7.09	7.43	1.73	1.77	2.57	6.22	3.60	0.62
Vecchia Dorgia	75	Qmax	618.50	16.00	5.18	7.10	7.10	6.94	7.28	1.72	1.76	2.58	6.20	3.60	0.63
Vecchia Dorgia	74	Qmax	585.50	16.00	5.00	6.90	6.90	6.62	7.03	1.58	1.62	2.81	5.69	3.60	0.71
Vecchia Dorgia	73	Qmax	539.50	16.00	4.60	6.50	6.50	6.23	6.63	1.59	1.63	2.79	5.73	3.60	0.71
Vecchia Dorgia	72	Qmax	532.00	16.00	4.55	6.45	6.45	6.28	6.54	1.70	1.73	2.24	7.13	4.20	0.55
Vecchia Dorgia	71	Qmax	493.00	16.00	4.40	6.30	6.30	6.06	6.30	1.63	1.66	2.34	6.84	4.20	0.59
Vecchia Dorgia	70	Qmax	459.00	16.00	4.29	6.19	6.19	5.76	6.12	1.44	1.47	2.65	6.03	4.20	0.71
Vecchia Dorgia	69	Qmax	416.00	16.00	3.83	5.73	5.73	5.59	5.84	1.72	1.76	2.21	7.24	4.20	0.54
Vecchia Dorgia	68	Qmax	391.00	16.00	3.80	5.70	5.70	5.47	5.72	1.64	1.67	2.22	7.20	4.40	0.55
Vecchia Dorgia	67	Qmax	332.00	16.00	3.55	5.45	5.45	5.16	5.43	1.58	1.61	2.31	6.93	4.40	0.59
Vecchia Dorgia	66	Qmax	301.00	16.00	3.25	5.15	5.15	5.07	5.28	1.78	1.82	2.04	7.84	4.40	0.49
Vecchia Dorgia	65	Qmax	247.00	16.00	2.85	4.75	4.75	4.83	5.03		1.98	1.95	8.21		0.44
Vecchia Dorgia	64	Qmax	99.00	16.00	2.20	4.10	4.10	3.51	3.93	1.28	1.31	2.84	5.63	4.40	0.80
Vecchia Dorgia	63	Qmax		16.00	1.10	3.00	3.00	2.24	2.79	1.10	1.14	3.29	4.86	4.40	1.00

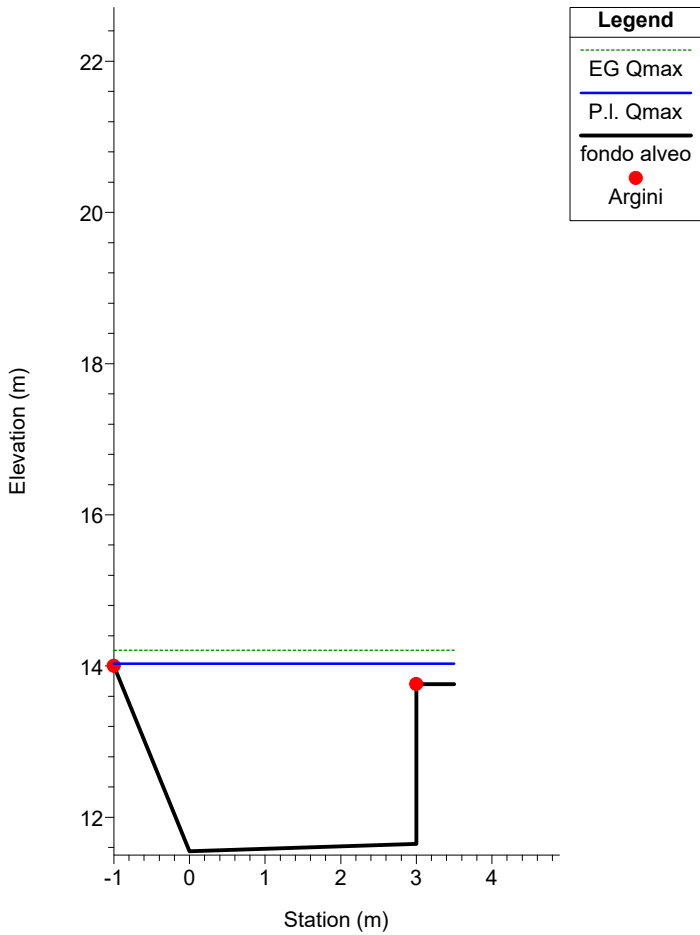
Vecchia Dorgia



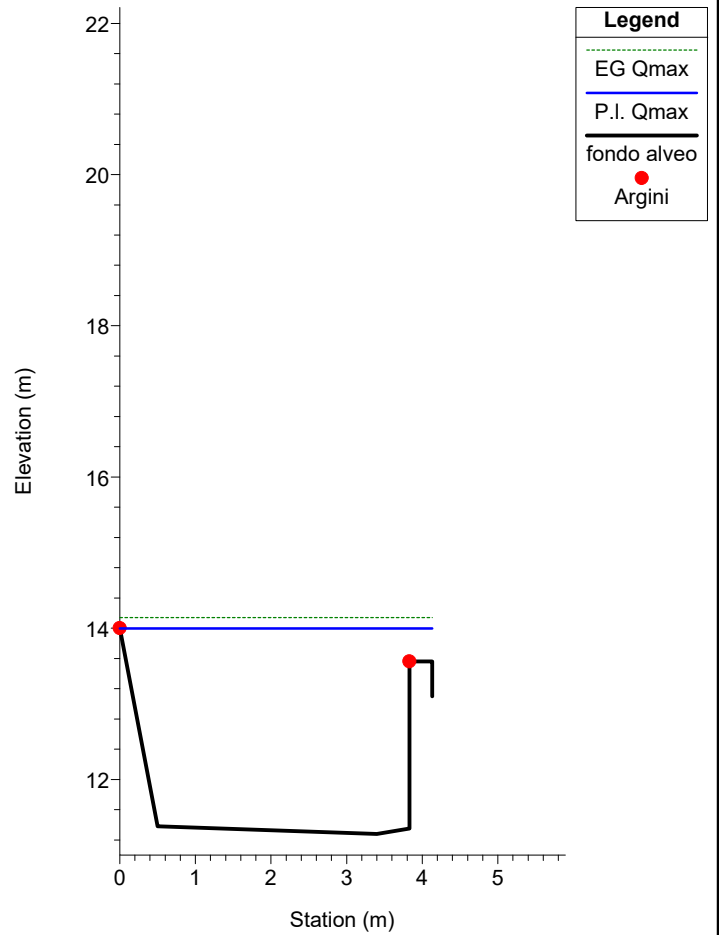
Vecchia Dorgia



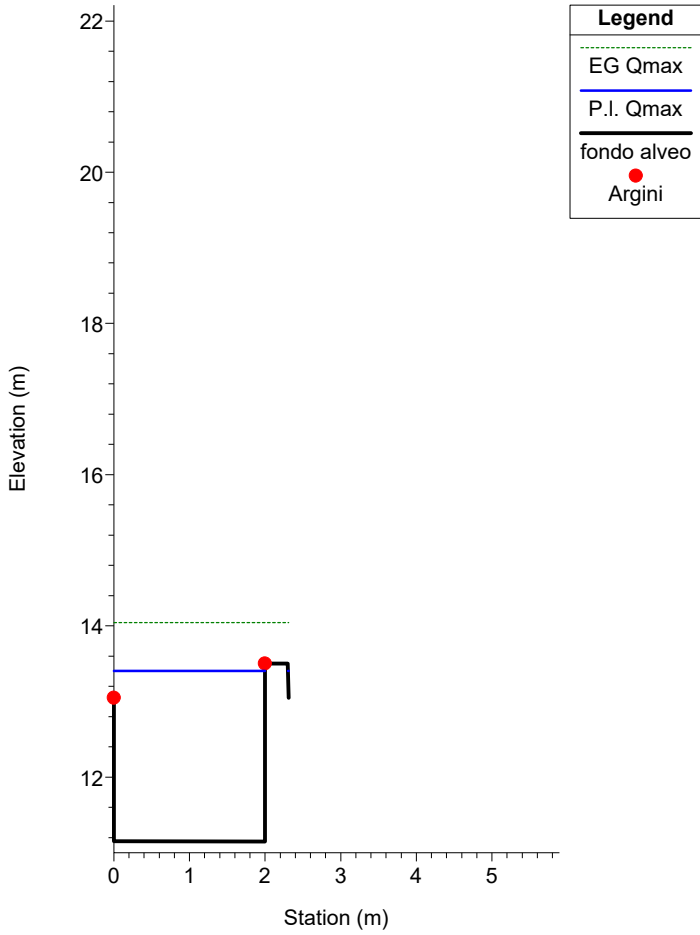
Vecchia Dorgia



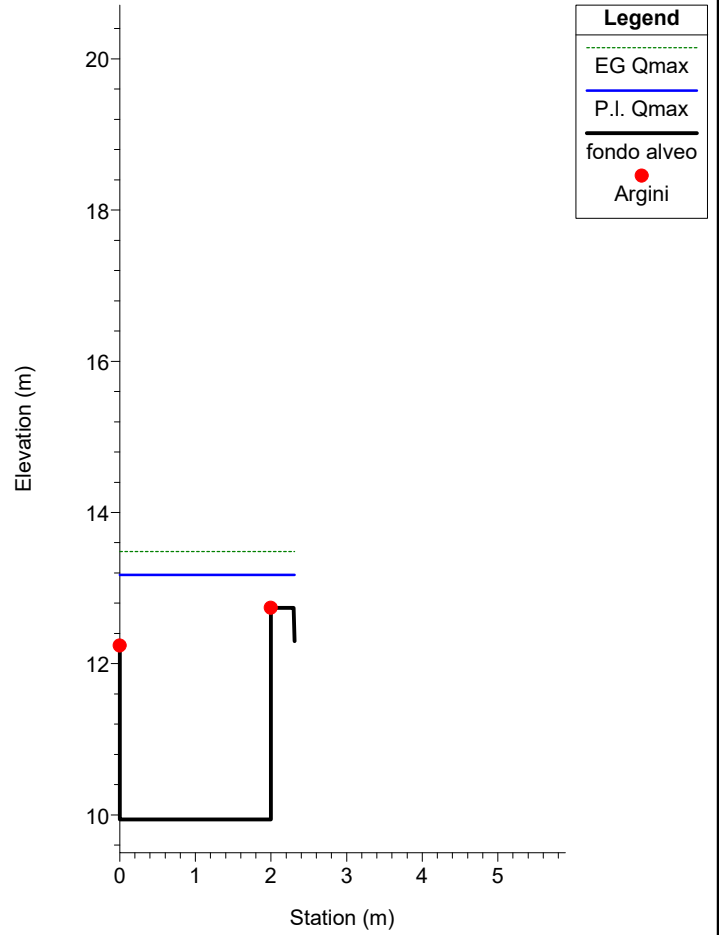
Vecchia Dorgia



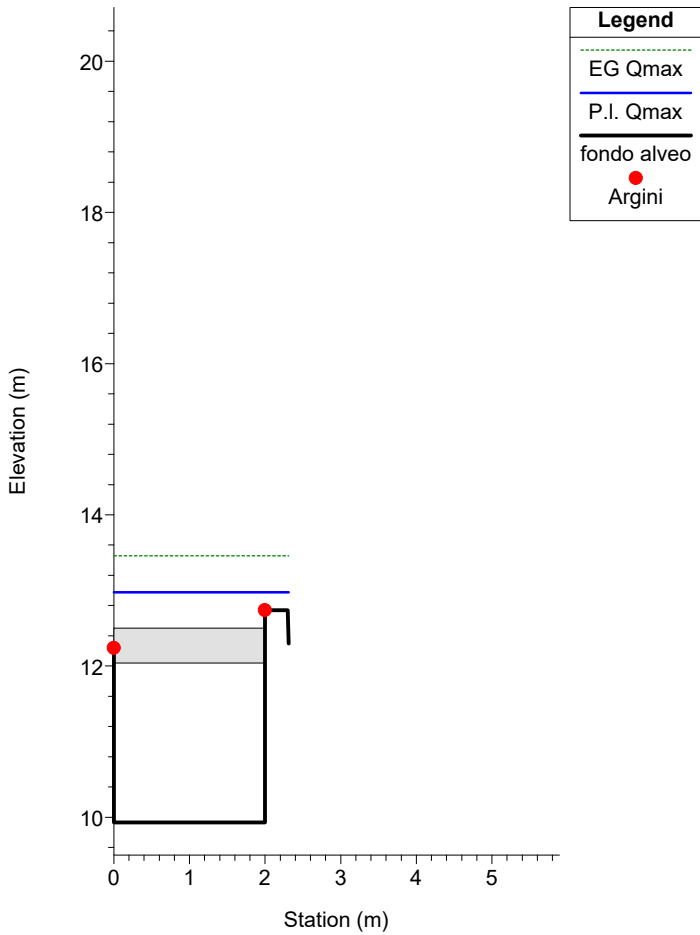
Vecchia Dorgia



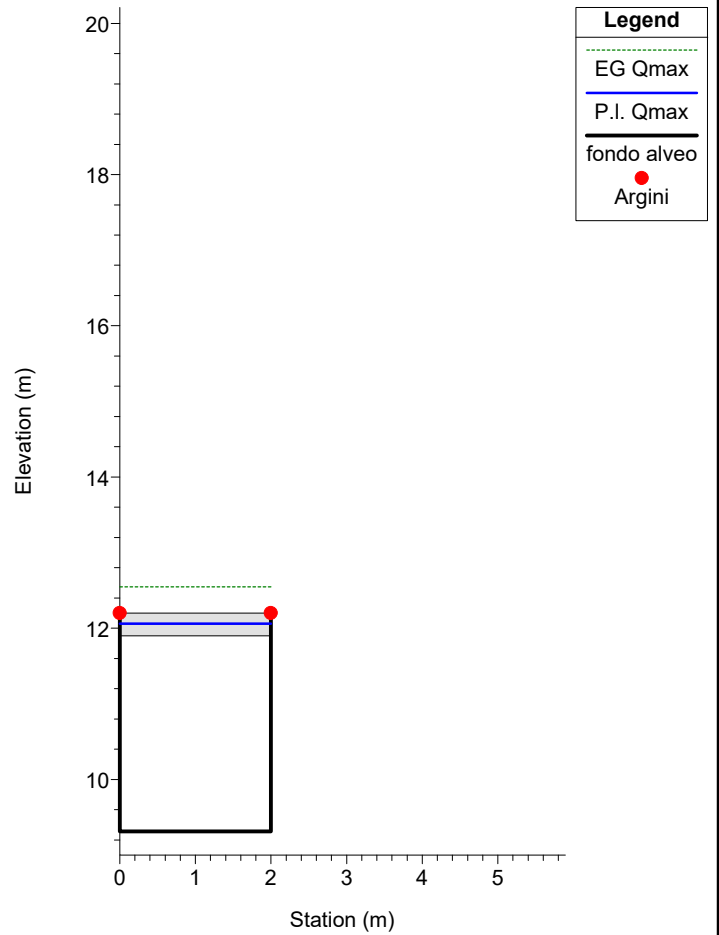
Vecchia Dorgia



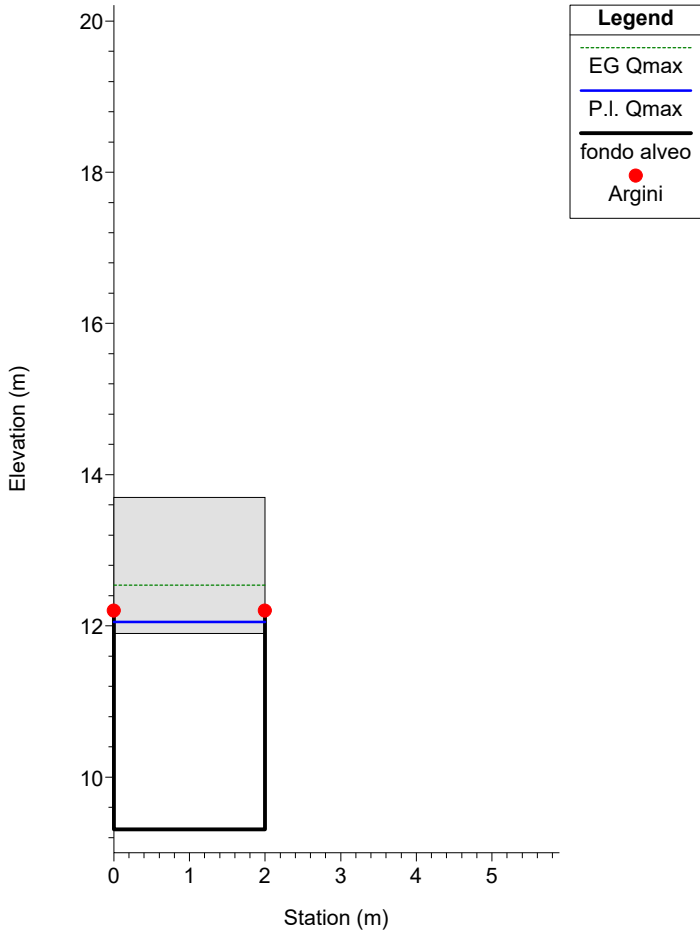
Vecchia Dorgia



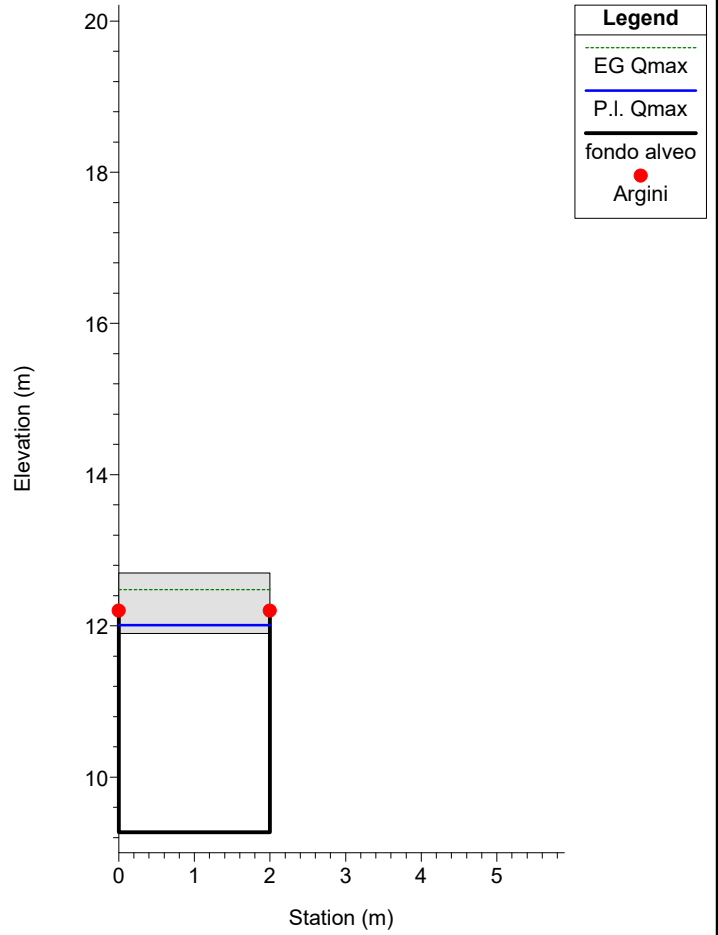
Vecchia Dorgia



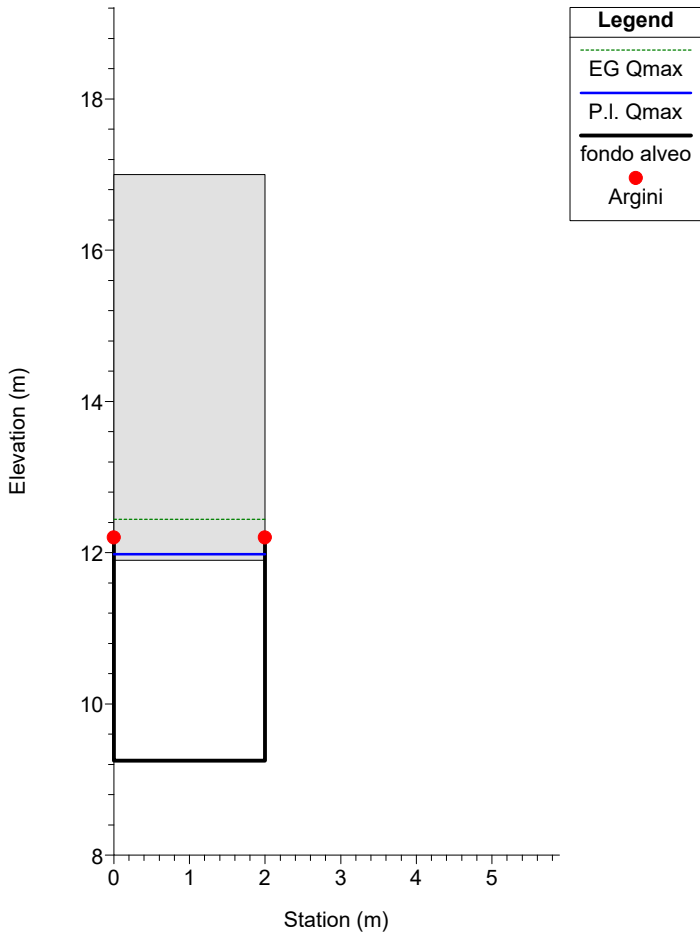
Vecchia Dorgia



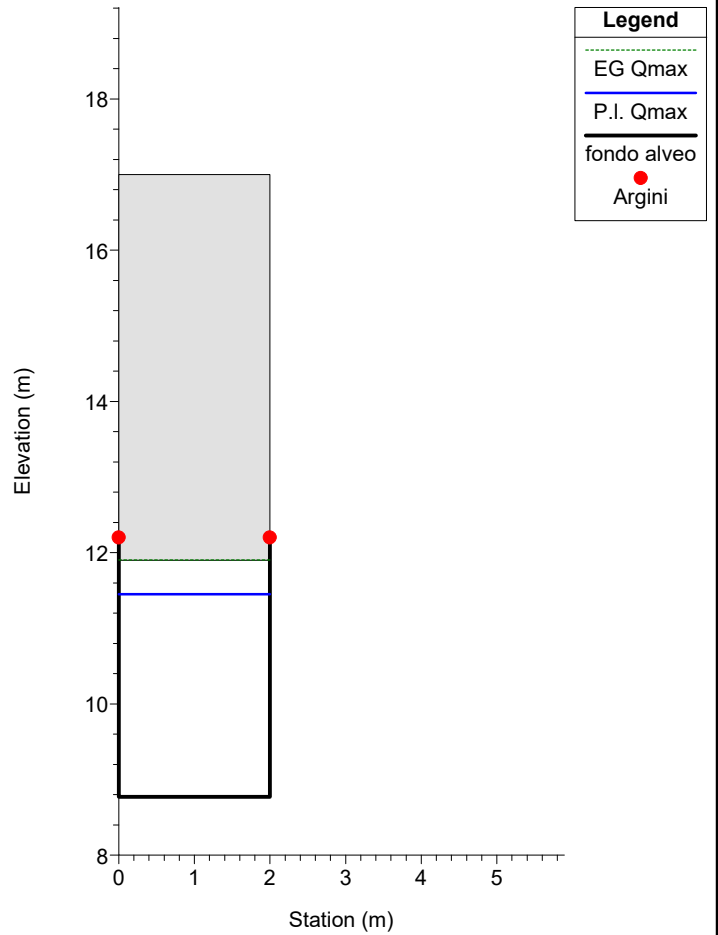
Vecchia Dorgia



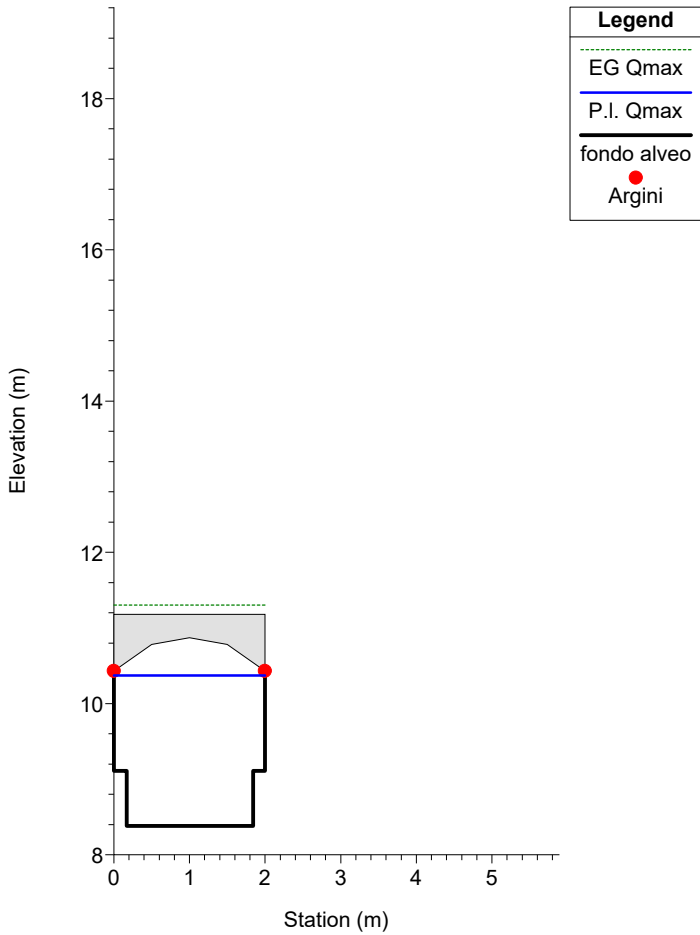
Vecchia Dorgia



Vecchia Dorgia

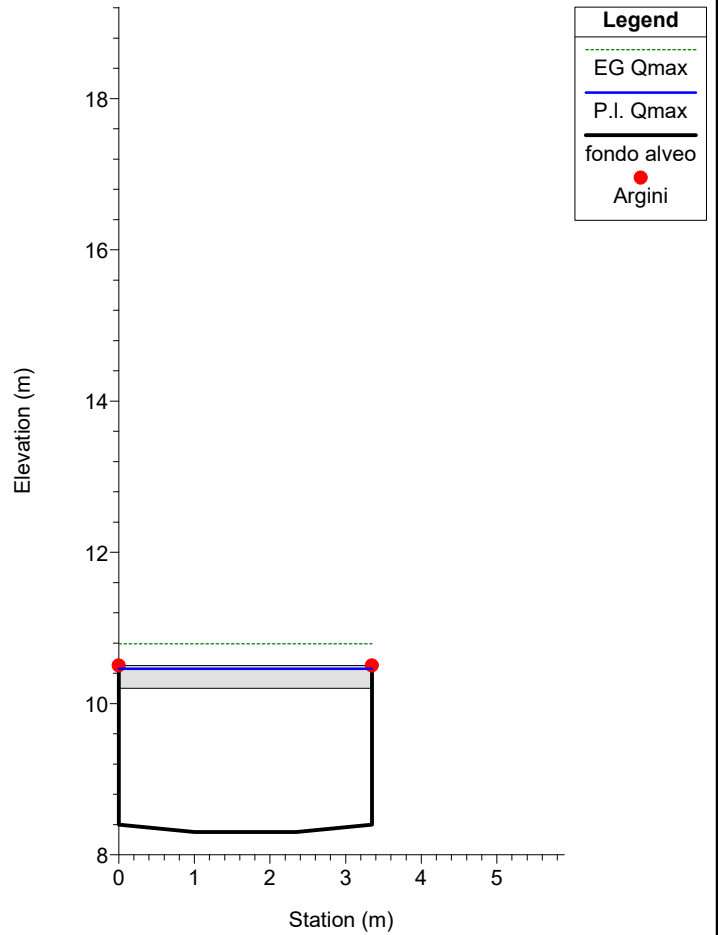


Vecchia Dorgia

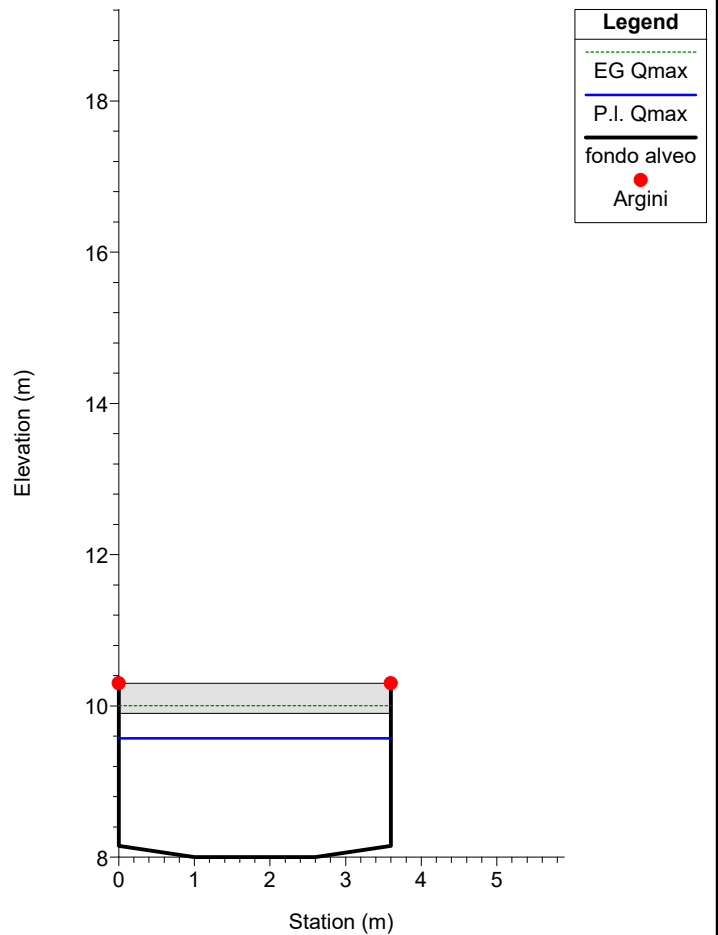
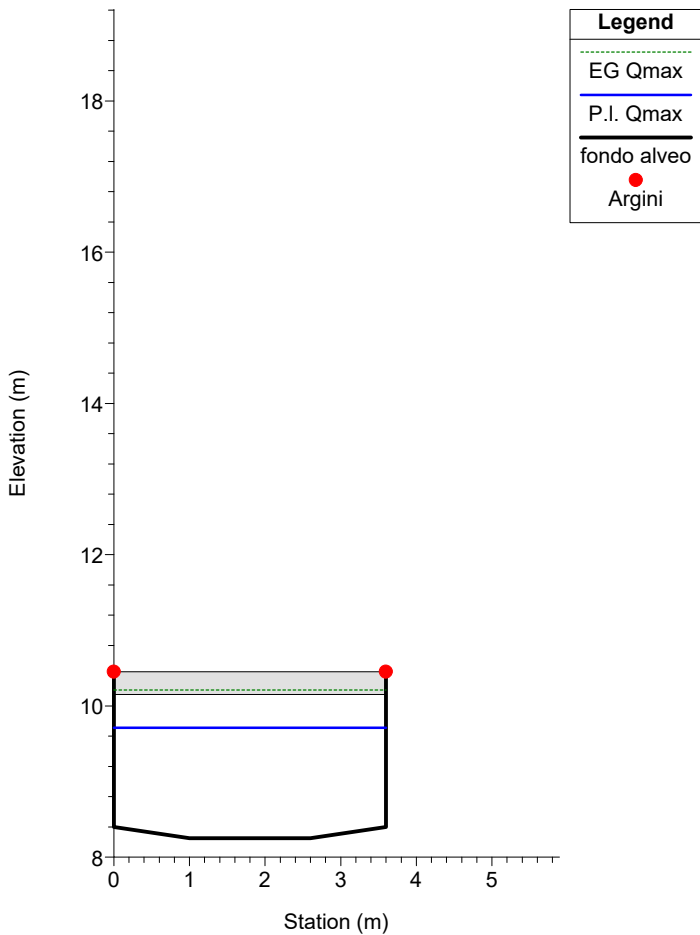


Vecchia Dorgia
28 bis

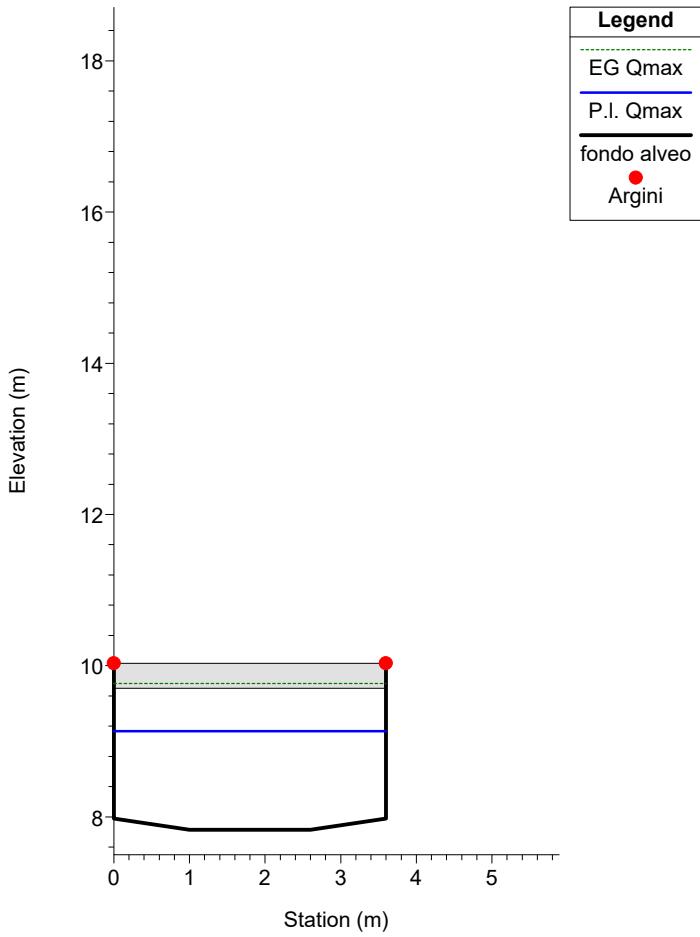
Vecchia Dorgia



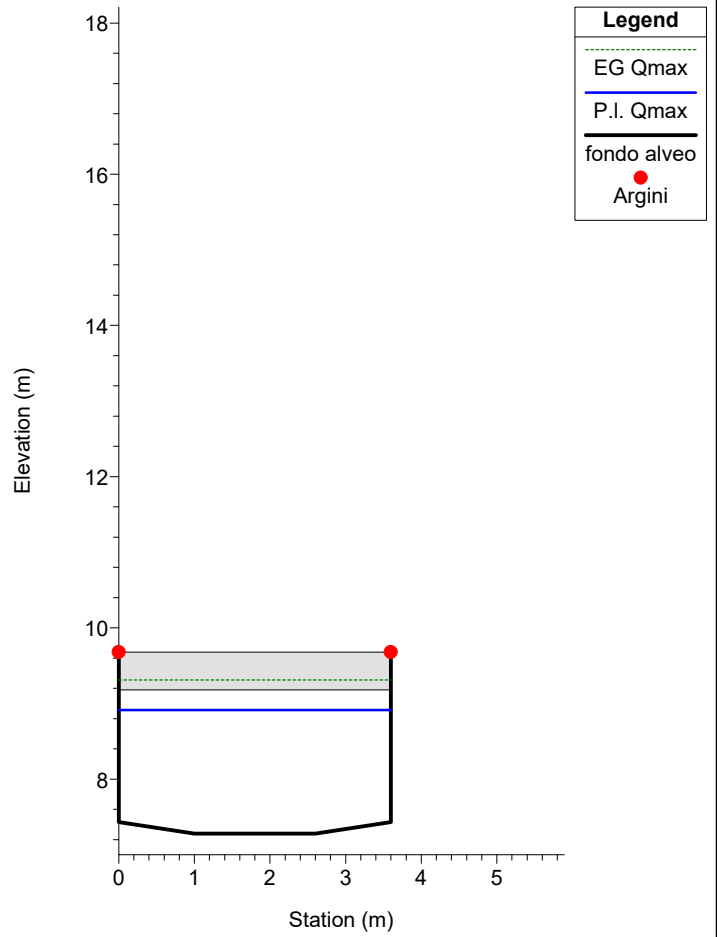
Vecchia Dorgia
28



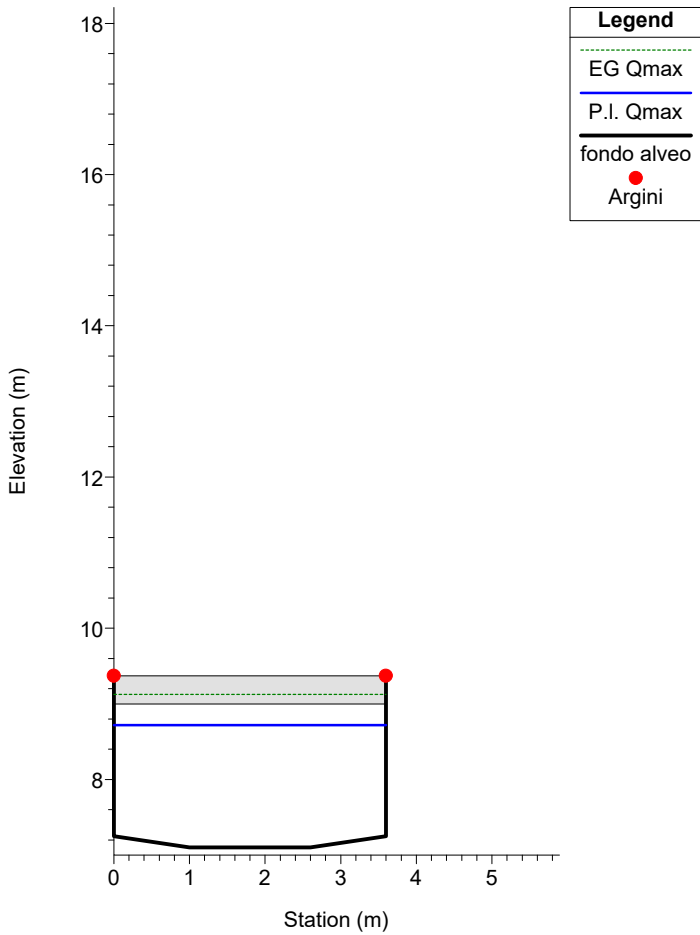
Vecchia Dorgia
27



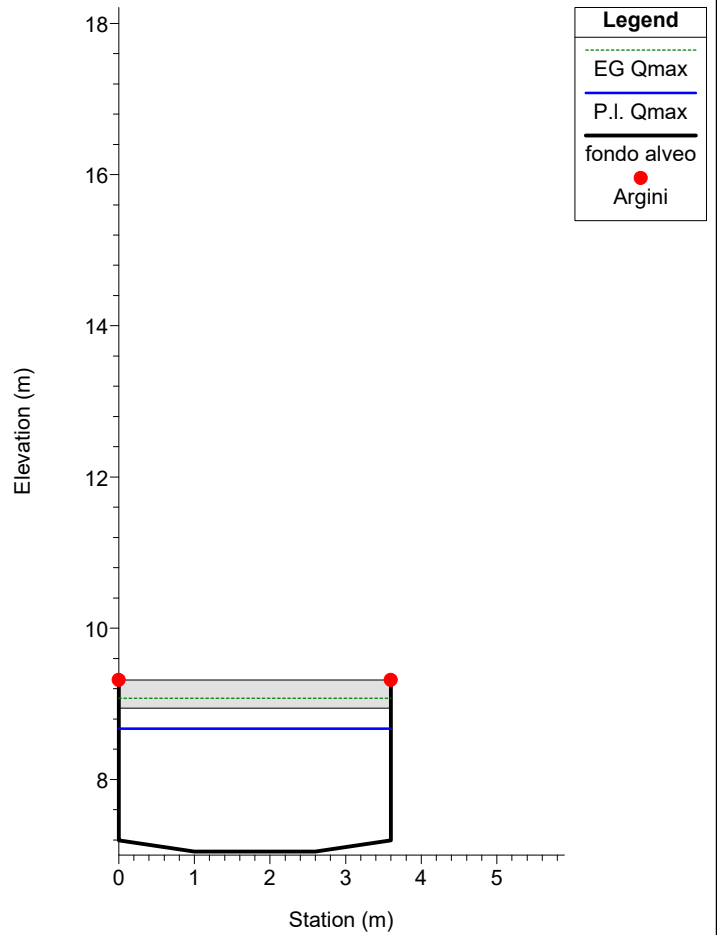
Vecchia Dorgia
26



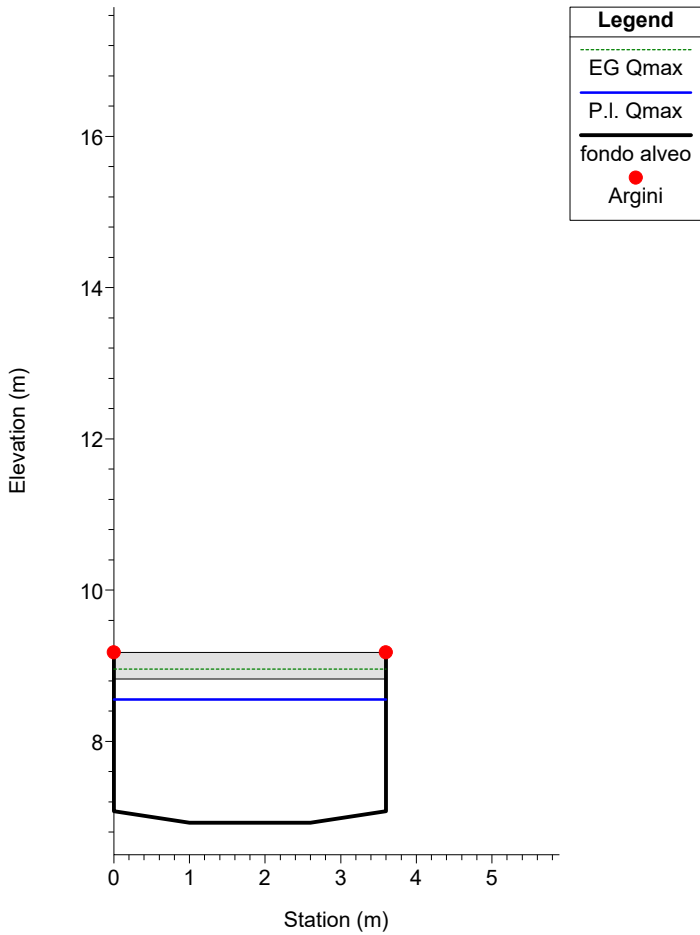
Vecchia Dorgia
25



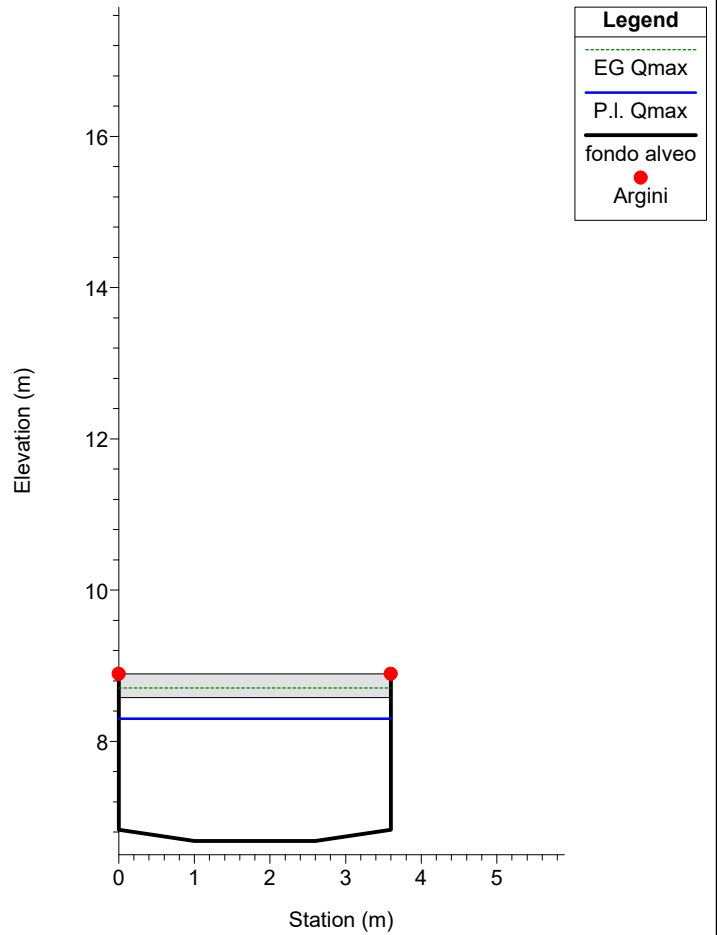
Vecchia Dorgia
24



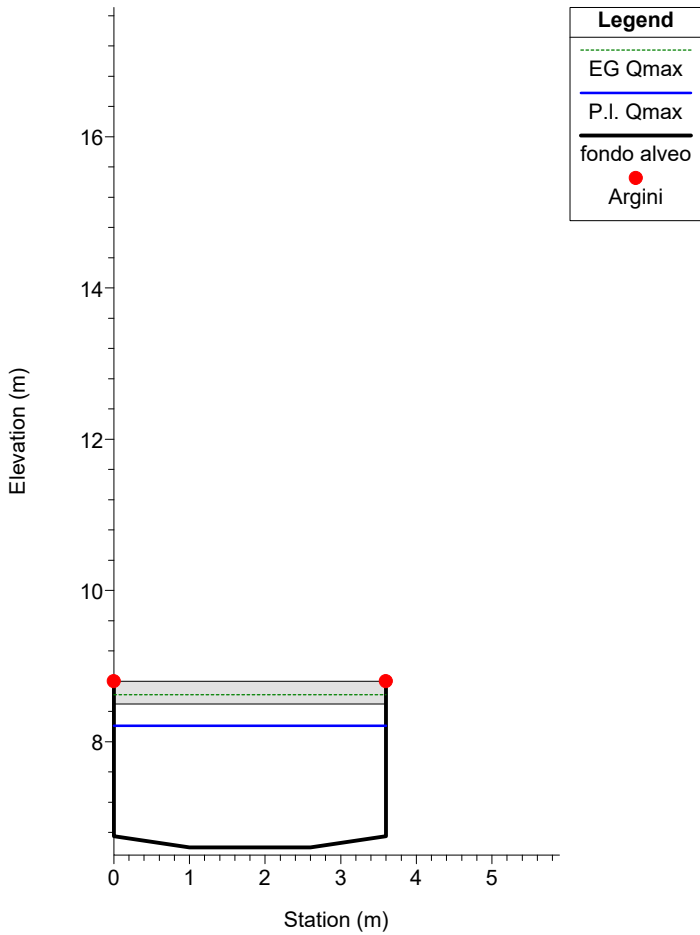
Vecchia Dorgia
23



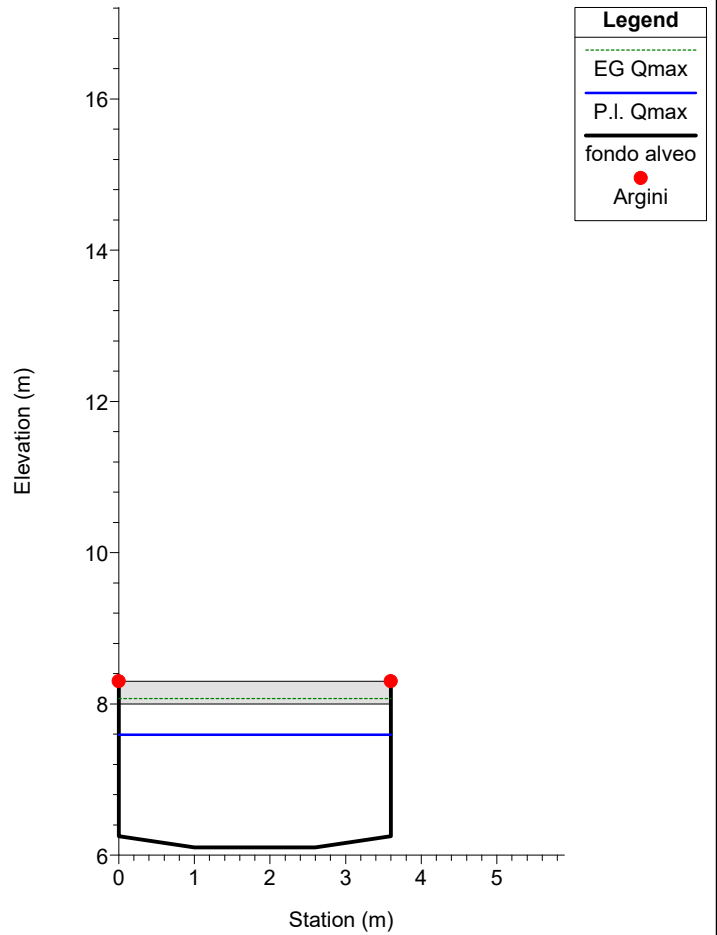
Vecchia Dorgia
22



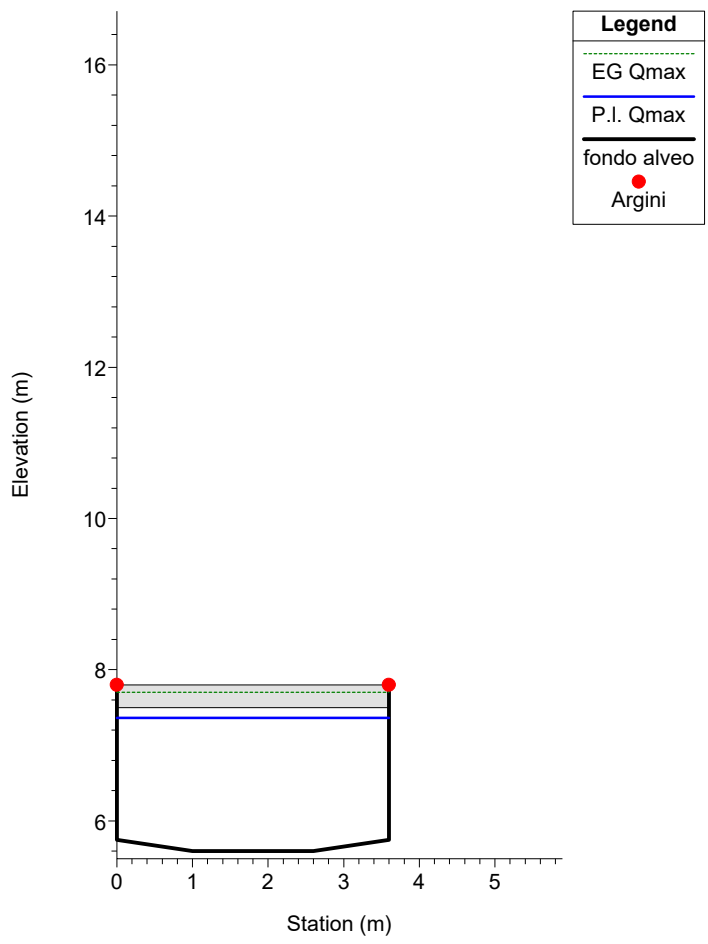
Vecchia Dorgia
21



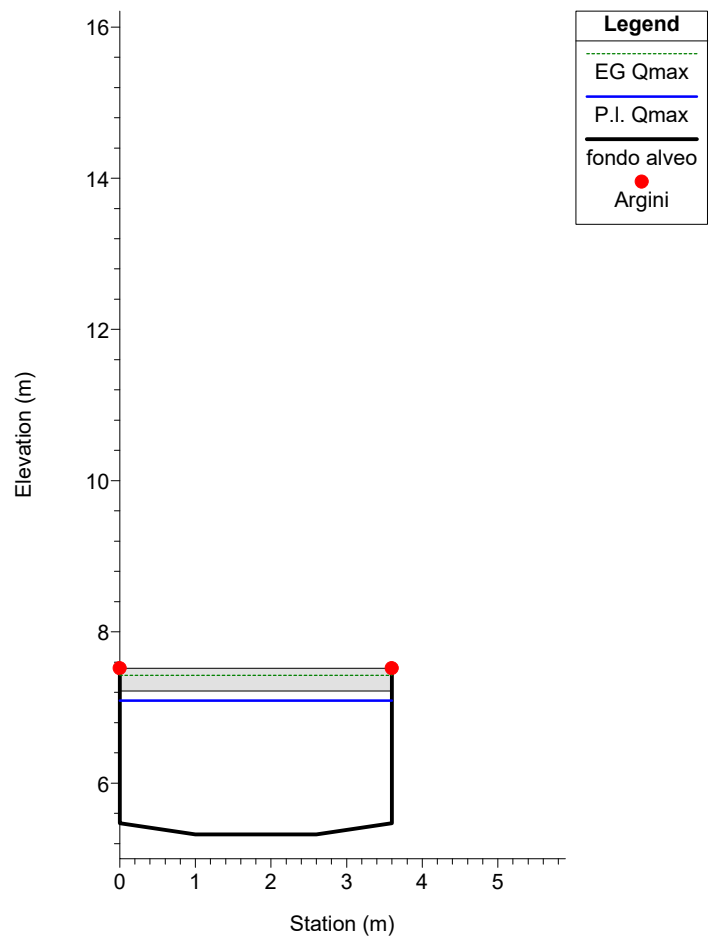
Vecchia Dorgia
20



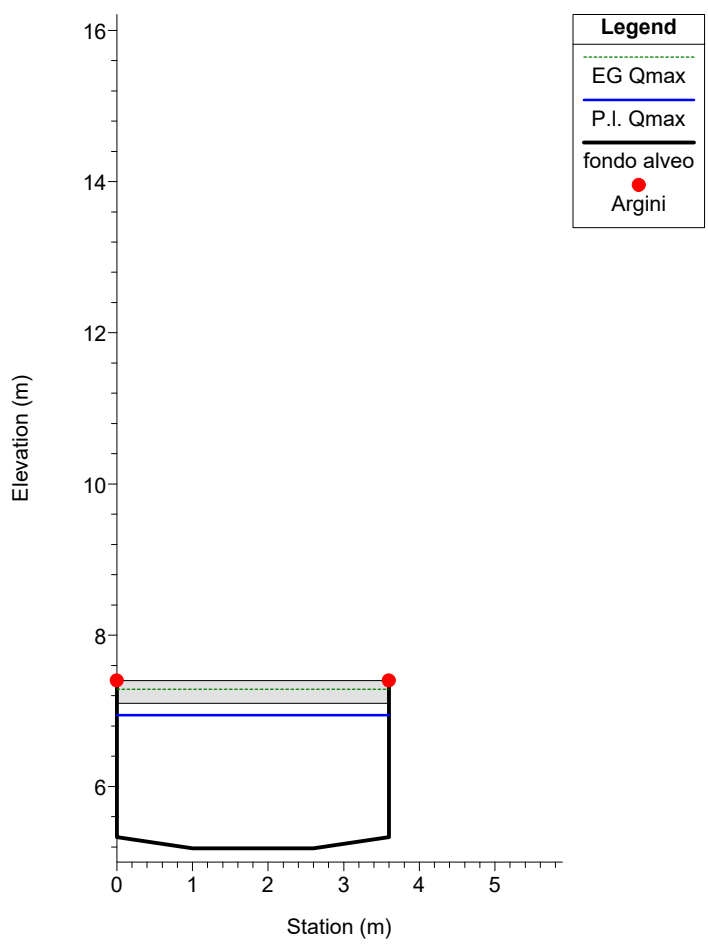
Vecchia Dorgia
19 - sez FF



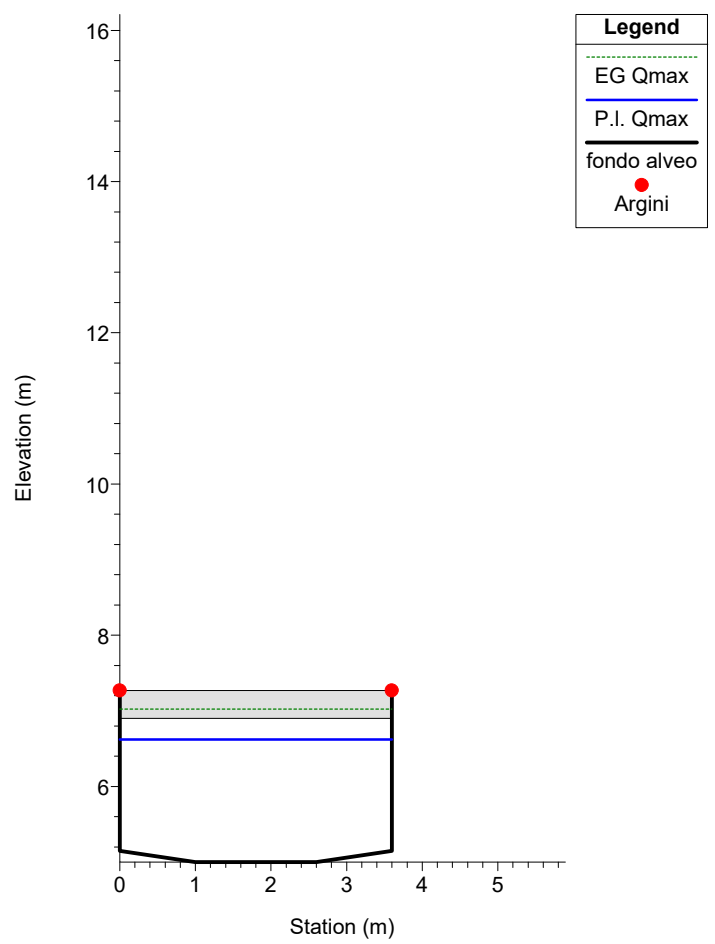
Vecchia Dorgia
18



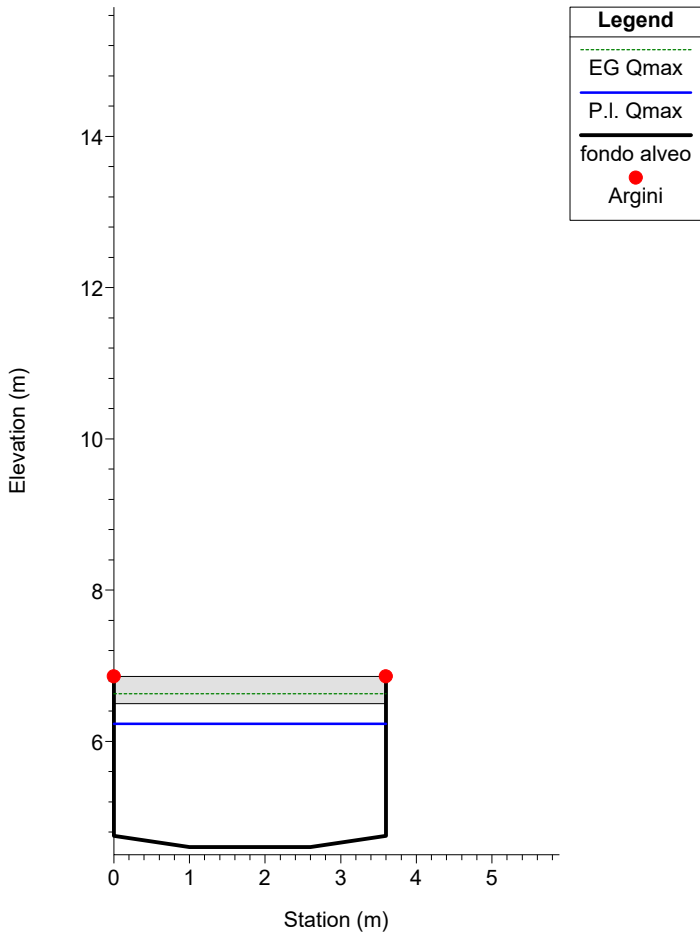
Vecchia Dorgia
17



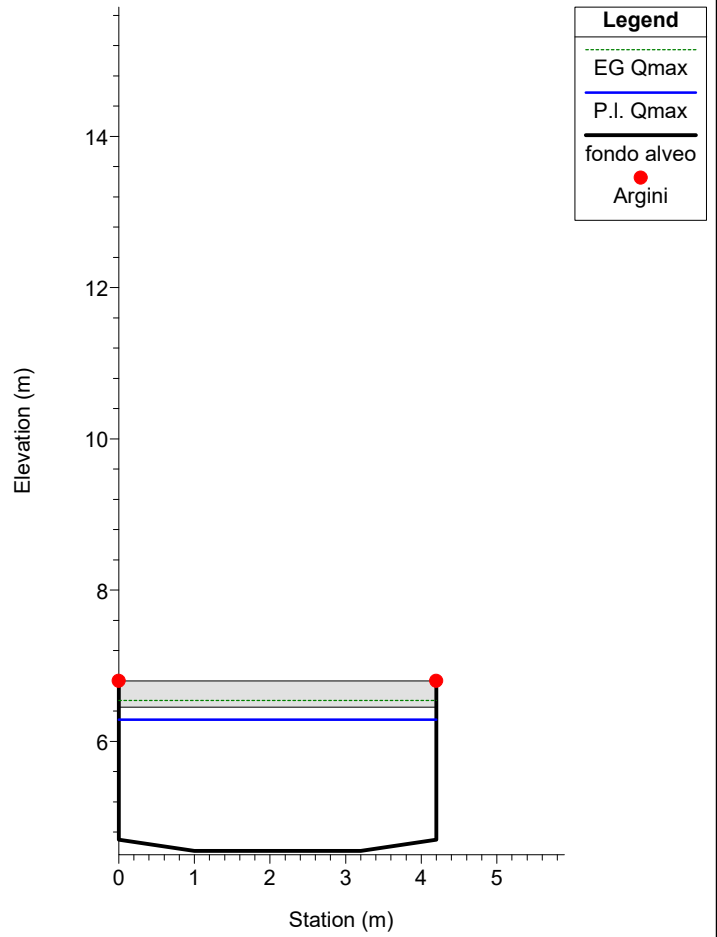
Vecchia Dorgia
16



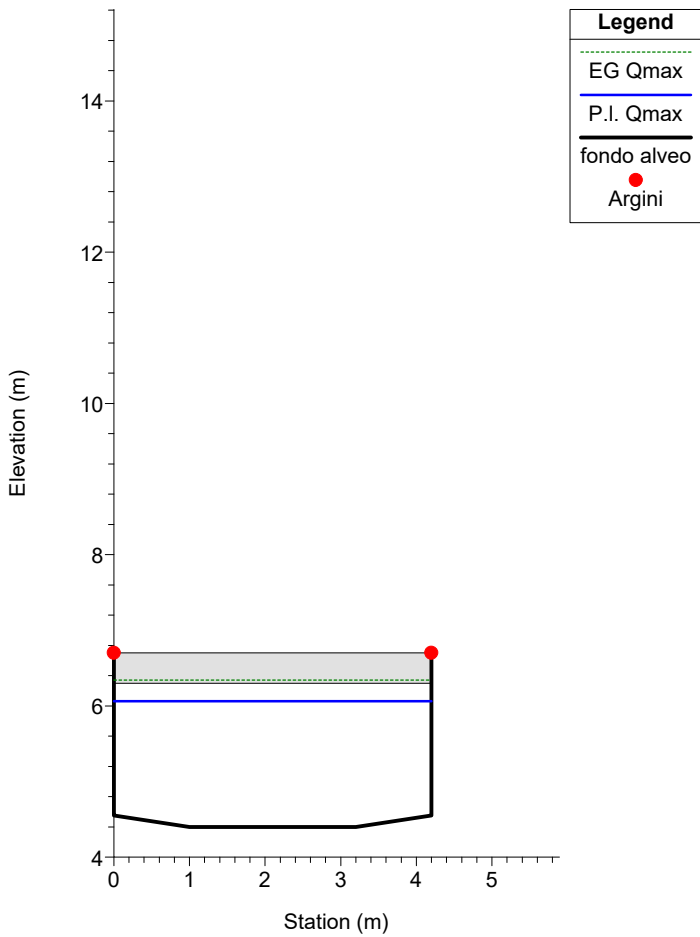
Vecchia Dorgia
15



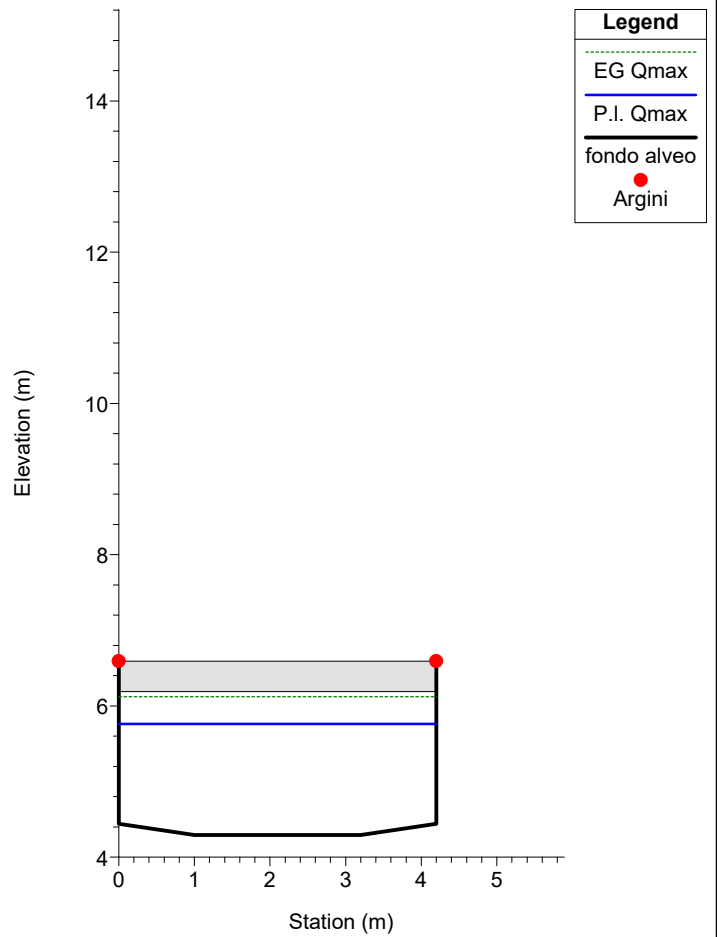
Vecchia Dorgia
14 bis



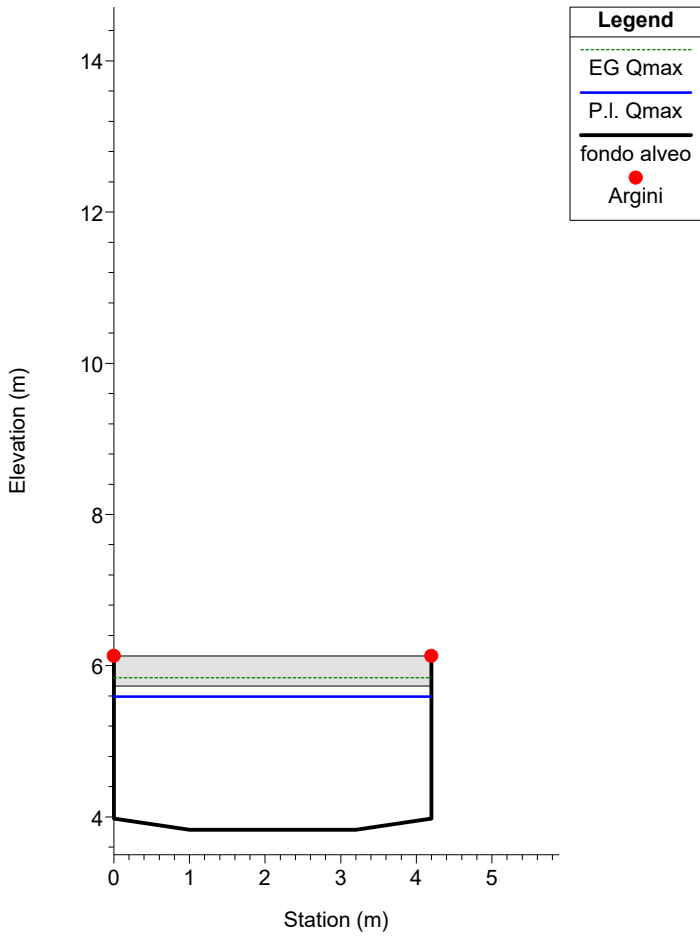
Vecchia Dorgia
12



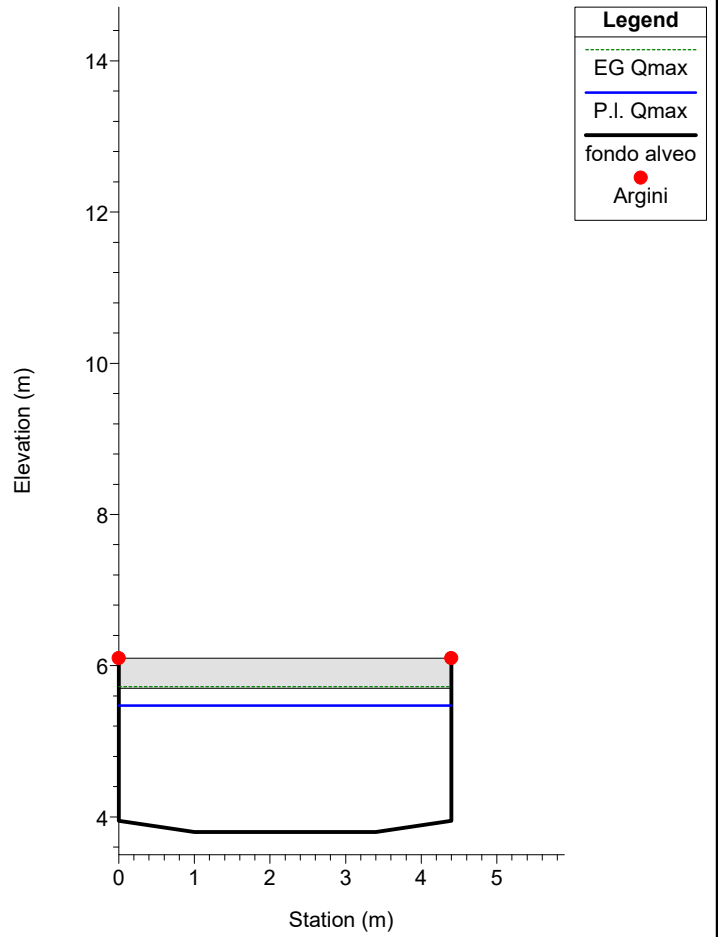
Vecchia Dorgia
11



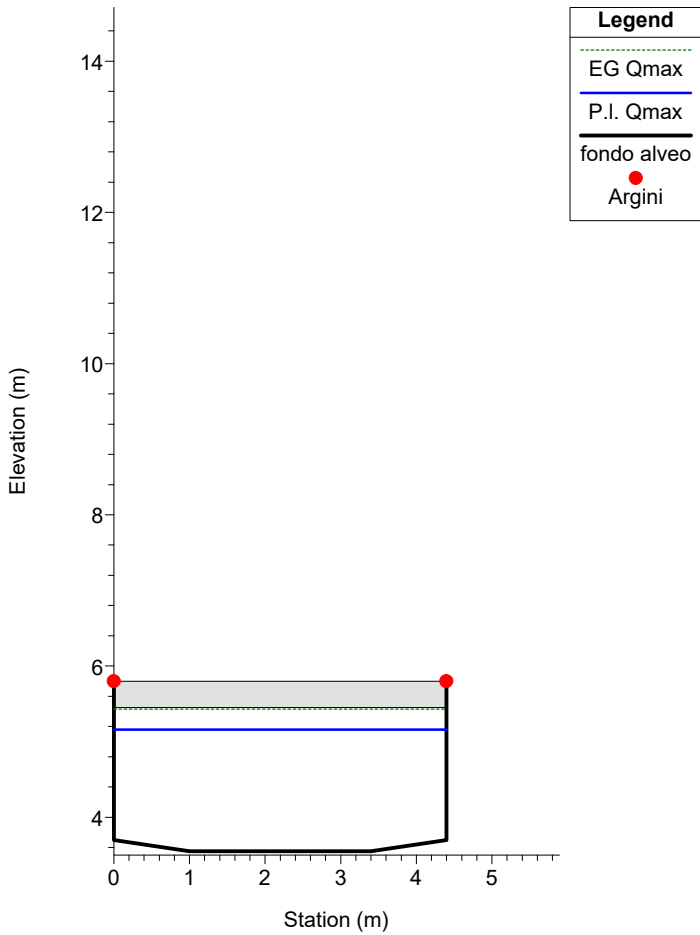
Vecchia Dorgia
10 B



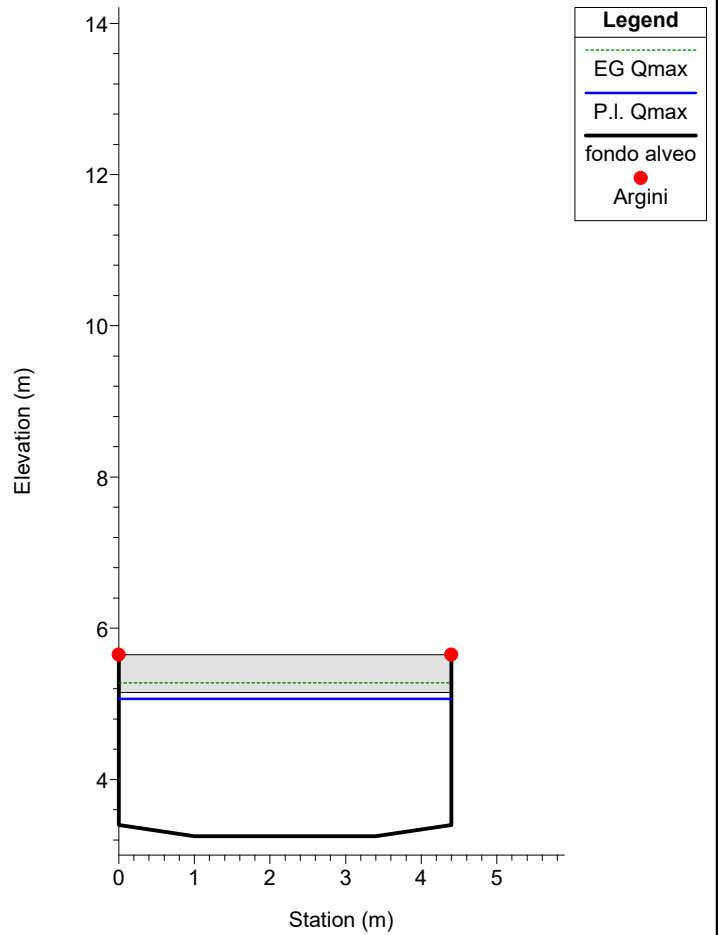
Vecchia Dorgia
10 A



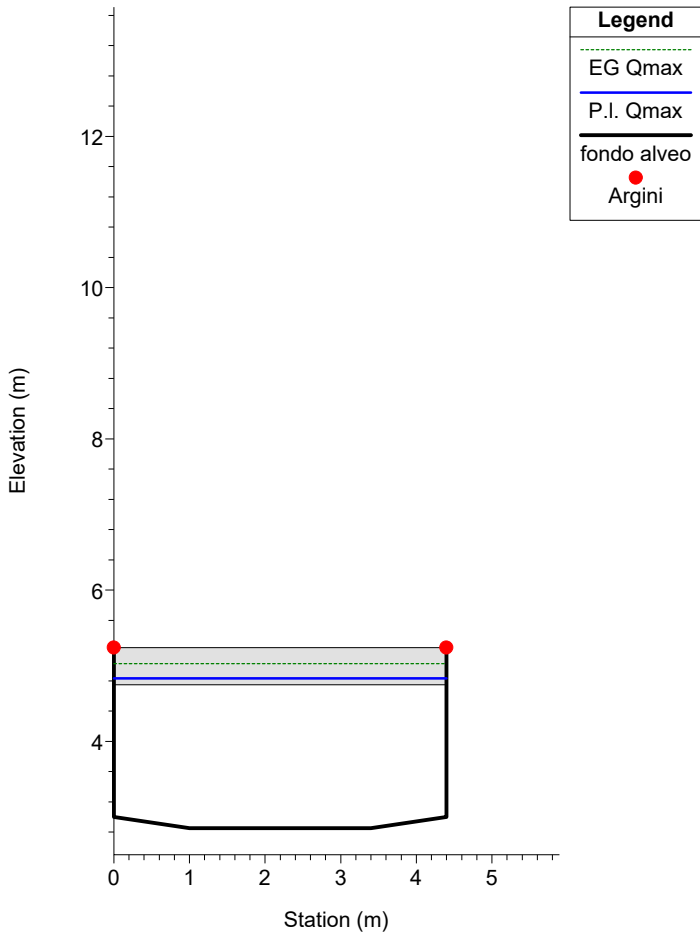
Vecchia Dorgia
8



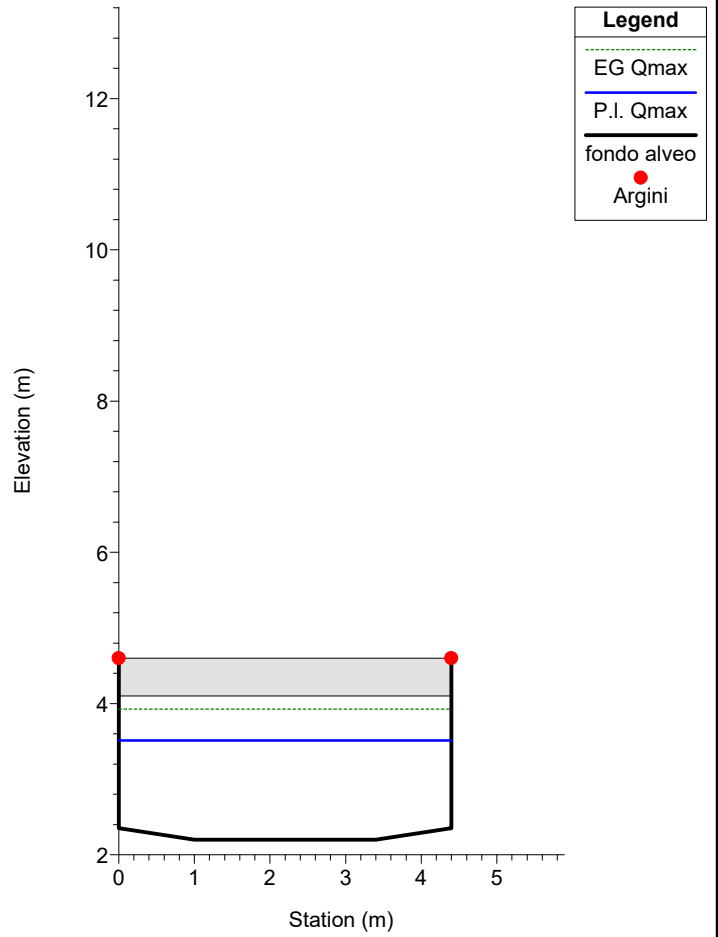
Vecchia Dorgia
G



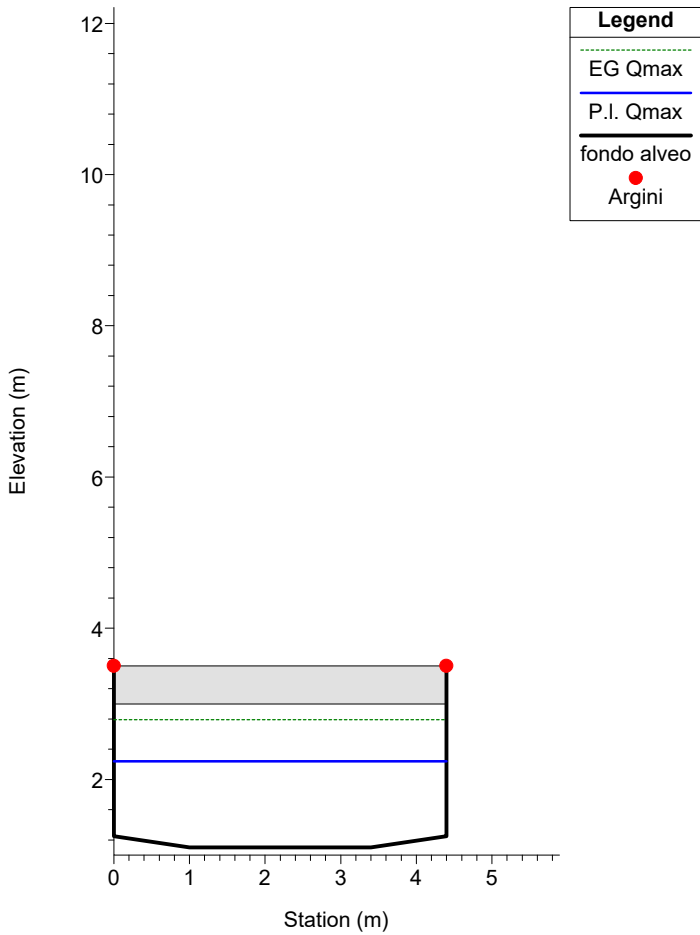
Vecchia Dorgia
5



Vecchia Dorgia
1



Vecchia Dorgia



APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.5

Il software di calcolo *Hec-Ras* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3} s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e $V_2 [m/s]$ sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge and culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.

APPENDICE 2

SOFTWARE DI CALCOLO INFOWORKS ICM

A1. GENERALITA'

Il codice di calcolo InfoWorks ICM di HR Wallingford - Innovyze nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane.

Il modulo InfoWorks ICM costituisce un sistema di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

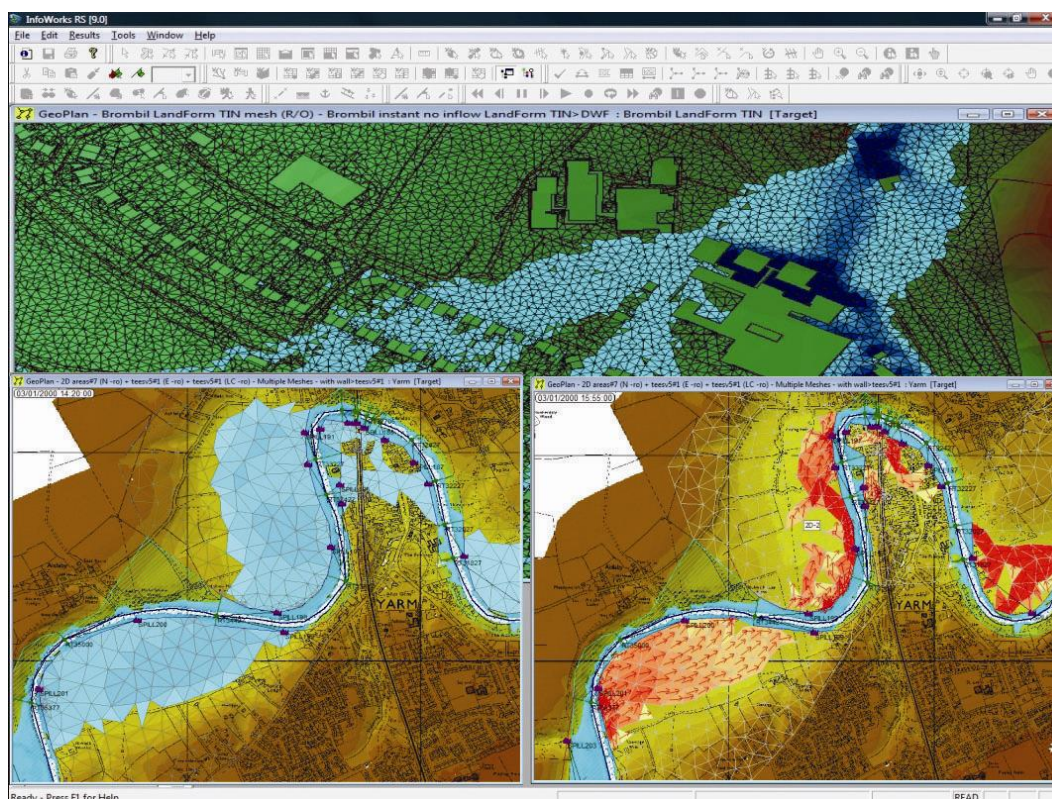
Il software consente di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali dei corsi d'acqua anche quando sono presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un'unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

E' ovviamente anche possibile modellare le aste fluviali con tradizionali rappresentazioni 1D.

Per quanto riguarda invece la rappresentazione di reti di drenaggio urbano la tecnica oramai consolidata è quella di rappresentare il reticolo interrato con elementi 1D e l'eventuale esondazione con domini 2D.



A2. APPROCCIO NUMERICO PER LA COMPONENTE 1D

A2.1. Equazioni di governo

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

Le equazioni sono le seguenti:

Continuità (conservazione della massa):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Moto (conservazione della quantità di moto):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

q eventuale portata in ingresso (lateral inflow)

$A[m^2]$ area della sezione liquida

$Q[m^3/s]$ portata

$x[m]$ ascissa lungo l'asse del singolo tratto

$t[s]$ tempo

$g[m/s^2]$ costante gravitazionale

$H[m]$ carico piezometrico dato da $z+h$

$z[m]$ quota di scorrimento

$h[m]$ livello idrico

$S_f [m/m]$ pendenza motrice definita come: $S_f = \frac{Q \cdot |Q|}{K^2}$

dove K è un termine denominato "conveyance" definito, in accordo con l'equazione di Manning:

$$K^2 = \frac{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}}{n^2} \quad \text{e} \quad R = \frac{A}{P}$$

dove:

$R[m]$ raggio idraulico

$P[m]$ perimetro bagnato

n coefficiente di scabrezza di Manning

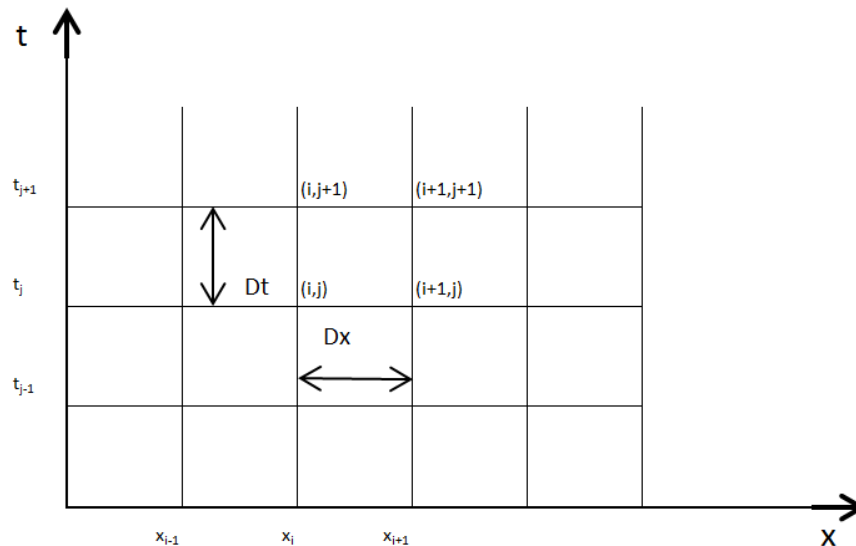
Per la definizione della conveyance il programma consente l'utilizzo di diverse formulazioni oltre a quella di Manning, quali ad esempio Colebrook-White e Strickler. Ai fini della loro integrazione queste equazioni vengono opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann e il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

InfoWorks simula anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) mediante la tecnica dello *slot* per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. In tal modo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandata, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello *slot*).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

A2.3 Discretizzazione delle equazioni di governo

Ai fini della discretizzazione delle equazioni di de Saint Venant, InfoWorks utilizza lo schema implicito di Preissmann riportato nella figura seguente:



Il valore della funzione f o delle sue derivate continue nel tempo e nello spazio può essere discretizzato come segue:

$$f(x, t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1} \right) + (1 - \vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j + f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{Dx} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1} \right) + (1 - \vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j - f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot Dt} \cdot \left[\left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j \right) + \left(f_i^{j+1} - f_i^j \right) \right]$$

Dove:

ϑ è un coefficiente che varia da 0.5 a 1

f_i^j è il valore della funzione f valutata al punto (x_i, t_j)

In base a tali assunti entrambe le equazioni di De Saint Venant possono essere trasformate nella forma lineare:

$$a \cdot Q_i^{j+1} + b \cdot H_i^{j+1} + c \cdot Q_{i+1}^{j+1} + d \cdot H_{i+1}^{j+1} = e$$

I valori a , b , c , d ed e sono calcolati per ciascuna iterazione e ciascun nodo del canale aperto e dipendono dalle variabili calcolate all'iterazione precedente. La matrice dei coefficienti che comprende gran parte dei valori di a, b, c, d , ed e viene invertita per risolvere il set di differenti equazioni simultanee per Q ed H alle iterazioni successive.

A2.2 Condizioni al contorno

Condizioni esterne

Le condizioni al contorno sono costituite da una relazione portata-tempo, livello-tempo o livello-portata (scala di deflusso). Al fine di una corretta risoluzione delle equazioni (stabilità di calcolo) risultano più significative le seguenti condizioni:

- idrogramma delle portate a monte e curva dei livelli a valle
- idrogramma delle portate a monte e scala di deflusso a valle

Condizioni interne

Nello schema monodimensionale di un corso d'acqua i singoli tratti sono separati da condizioni interne che possono essere sezioni di controllo, serbatoi, perdite concentrate o nodi (biforcazioni o confluenze).

Tali condizioni impongono la determinazione di una relazione tra livelli e portate.

Sezioni di controllo

Una gran varietà di strutture può essere usata come sezione di controllo in canali aperti, ciascuna delle quali impone una differente relazione tra portata e livello. Per il moto a pelo libero la forma generale dell'equazione risulta:

$$Q = a \cdot h^b$$

dove:

h è la profondità dell'acqua

a è un coefficiente dipendente dal tipo di sezione di controllo (structure)

b è un coefficiente generalmente maggiore o uguale a 1.5 per gli stramazzi e maggiore o uguale a 0.5 per efflusso sotto luci a battente

InfoWorks è in grado di modellare una serie di tipologie di stramazzo usando equazioni empiriche o semiempiriche ricavate dalla letteratura. Tali strutture possono essere simulate nelle condizioni di assenza di portata (es. paratoia chiusa), oppure con flusso libero o rigurgitato.

La paratoia mobile può essere simulata per diverse condizioni di flusso come quelle di stramazzo, quando è totalmente chiusa e sormontabile dall'acqua, o di luce di fondo con efflusso libero o rigurgitato quando è parzialmente aperta, o per la combinazione di entrambe le condizioni. Il programma consente di regolare automaticamente l'apertura di una paratoia durante la simulazione nei modi seguenti:

- secondo una funzione del tempo prestabilita;
- in funzione dei livelli del pelo libero a monte o a valle.

I tipi di paratoia mobile disponibili in InfoWorks sono quelle verticali o radiali.

Il modello consente inoltre di impostare per le sezioni di controllo una generica scala di deflusso al di fuori delle equazioni standard associate ad una determinata struttura.

Serbatoi

I serbatoi sono definiti come aree più o meno vaste di immagazzinamento ove la superficie dell'acqua risulta orizzontale, senza alcun effetto dinamico.

Il calcolo delle portate entranti e uscenti è legato alla variazione del carico piezometrico come segue (in forma semplificata):

$$\frac{h_{new} - h_{old}}{Dt} = \frac{Q_{net}}{A}$$

Con h_{new} e h_{old} livelli negli istanti successivo e precedente, Dt passo temporale, Q_{net} differenza tra portata entrante e portata uscente e A area del serbatoio.

Il modulo serbatoio unito alla modalità di deflusso laterale consentono la schematizzazione e la risoluzione di sistemi naturali complessi con funzionamento a pelo libero.

Perdite localizzate

Le perdite di carico concentrate causate da una repentina variazione delle condizioni geometriche quali ad esempio un brusco restringimento o allargamento delle sezioni di deflusso sono schematizzate mediante l'applicazione dell'equazione di Bernoulli che lega le perdite al carico cinetico di monte:

$$DH = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove k è un coefficiente empirico funzione del tipo di variazione.

I ponti sono simulati usando il metodo dell'US Bureau of Public Road (US BPR Bridge) oppure l'Arch Bridge Method sviluppato da HR Wallingford.

Nodi (biforcazioni e confluenze)

In InfoWorks i nodi (junctions) vengono risolti imponendo l'uguaglianza dei carichi e la conservazione della massa (equilibrio tra portate entranti e uscenti) applicando la legge di Kirchoff alle portate.

A3. APPROCCIO NUMERICO DELLA COMPONENTE 2D

Le principali caratteristiche della componente 2D sono:

- formulazione del volume limitato (finite volume)
- risoluzione numerica basata sullo schema di Godunov e sulla soluzione di Riemann (Shockcapturing scheme)
- uso di una maglia non strutturata (unstructured mesh)

A3.1 Equazioni di governo

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D} \cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D} \cdot v_{1D}$$

Dove:

h *altezza dell'acqua*

u e v *velocità nelle direzioni x e y*

$S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ *pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y*

$S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ *gli attriti nelle direzioni x e y*

q_{1D} *portata per unità di area*

u_{1D} e v_{1D} *componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y*

Tale formulazione dell'equazione è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia ed impostando la velocità a zero se la profondità ricade sotto tale valore di soglia.

Tale criterio evita la generazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate e/o asciutte.

Il valore di default per la profondità di soglia è 1mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

La descrizione di un flusso localizzato in ambito urbano è ottenuta senza modificare il modello matematico che è sempre basato sulla risoluzione dell'equazioni in acqua bassa (SWE).

A3.2 Produzione della maglia 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Ogni maglia, di forma triangolare, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale.

Una volta creato il dominio 2D di calcolo, è possibile assegnare i seguenti parametri relativi alla maglia:

- *Area (m^2)*: l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria.
- *Massima Area Triangolo (Maximum Triangle Area)*: questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura (diminuendo questo valore si infittisce la magliatura).
- *Area minima elementi (Minimum Element Area)*: durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo).
- *Magliatura dipendente dal terreno*: consente di creare una magliatura nella quale, all'interno di ogni triangolo, la variazione di quota tra i tre vertici non superi un valore definito dall'utente. Utilizzando questa opzione è possibile infittire la magliatura in zone nelle quali si hanno notevoli pendenze del terreno ed allargarla in zone pianeggianti.
- *Massima variazione altezza (m)*: Consente all'utente di specificare la massima variazione di quota consentita tra i vertici dei triangoli che verranno generati nel processo di magliatura.
- *Angolo Minimo (Minimum Angle)*: durante il processo di magliatura evita la creazione di triangoli di forma molto irregolare e cunei troppo stretti.
- *Scabrezza Manning (Roughness)*: la scabrezza è attribuita a tutti i triangoli che vengono creati durante il processo di magliatura. Il programma consente di modificare localmente tale valore generando delle zone di magliatura a differente scabrezza.

Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri ecc).

L'effetto della presenza di edifici o ostacoli è simulata mediante l'introduzione di pareti impermeabili o porose che richiede una precisa calibrazione della rete in ambiente urbano.

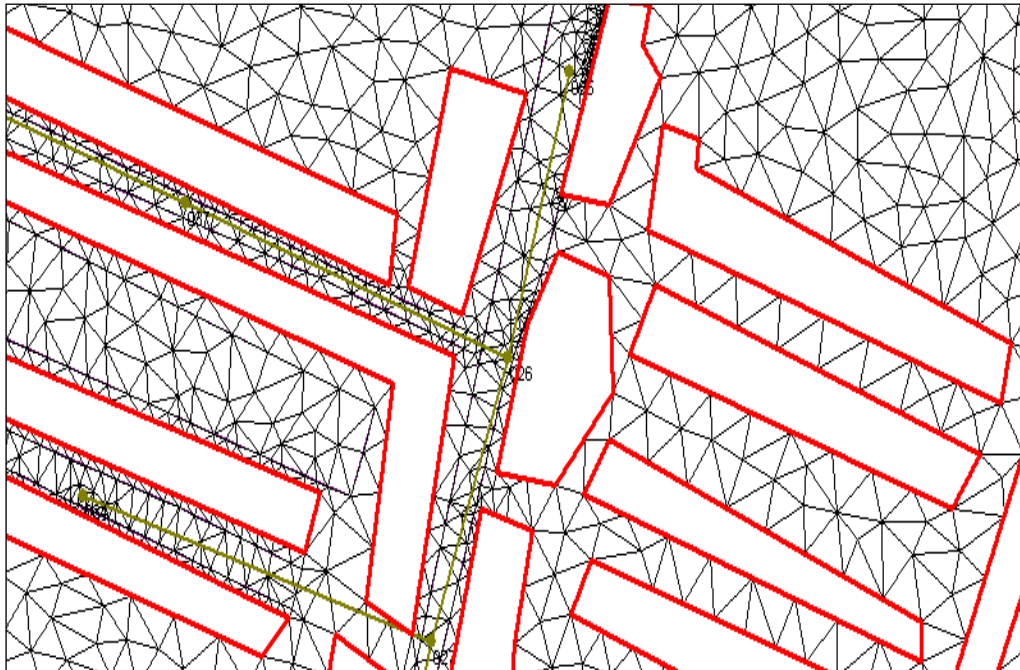


Fig. A2.1 Esempio di maglia non strutturata con edifici in ambito urbano

All'interno del dominio di magliatura, il software permette di considerare eventuali aree a maggiore o minore capacità di invaso dei blocchi introducendo il concetto di porosità degli edifici ossia il fatto che le aree occupate dagli edifici assorbano o meno parte dei volumi esondati durante il processo di allagamento.

A3.3 Condizioni al contorno e parametri di simulazione

Condizioni al contorno della maglia

Le condizioni al contorno sono costituite da input idraulico-idrologico (idrogramma, ietogramma) in ingresso al sistema e da condizioni sul perimetro del dominio di calcolo.

In particolare le condizioni al contorno sul perimetro del dominio di calcolo sono le seguenti:

- *Vertical wall*: indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta dove non è presente flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D. Questa è l'unica opzione che trattiene l'acqua all'interno del poligono 2D qualora in simulazione si determini presenza d'acqua al suo perimetro.
- *Critical condition*: presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;
- *Supercritical condition*: presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica ($Froude > 1$) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile. Questa opzione è utile nelle

aree in cui è noto che il flusso è uscente dal poligono 2D senza alcun effetto di rigurgito all'interno del poligono stesso;

- *Dry*: prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- *Normal condition*: si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme). L'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

Parametri di simulazione della maglia

Il software consente la modifica dei seguenti parametri della simulazione 2D:

- *Timestep*: definisce il passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo.
- *Moltiplicatore del timestep ordinario*: è un moltiplicatore del timestep che consente di definire il timestep di salvataggio dei risultati. E' consigliato non utilizzare timestep di salvataggio molto ridotti al fine di ridurre le dimensioni del file dei risultati.
- *Durata simulazione*: consente all'utente di decidere quanto far durare la simulazione.
- *Depth*: rappresenta la soglia che discrimina una maglia triangolare asciutta da una bagnata. Gli elementi della magliatura con un'altezza d'acqua inferiore a questo valore vengono considerati asciutti e un'altezza pari a zero viene restituita come risultato. Negli elementi con altezza d'acqua inferiore a questa soglia viene considerata solamente la conservazione della massa. Il valore tipico per questo campo è di 0.001 m.
- *Momentum*: rappresenta la soglia utilizzata per determinare se considerare o meno il momento in una maglia triangolare. Il moto dell'acqua non viene calcolato per gli elementi della magliatura in cui l'altezza dell'acqua è al di sotto di questo valore; solo la conservazione della massa viene considerata in questo caso. Valori tipici per questo campo sono 0.001 - 0.01 m, il valore di default è 0.001 m.
- *Velocity*: per le maglie triangolari in cui la velocità calcolata dell'acqua risulta inferiore a questo valore, viene impostata una velocità pari a zero per il calcolo del momento. Il valore tipico per questo campo è 0 m/s.
- *Timestep Stability Control*: garantisce che il timestep interno utilizzato dal motore di calcolo 2D ricada entro il range di stabilità fornito dalla condizione di Courant Friedrichs Lewy (CFL). Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.95.
- *Maximum Velocity*: soglia di velocità che limita le velocità che possono essere raggiunte in una maglia durante una simulazione 2D. Per gli elementi della magliatura in cui la velocità calcolata risulta superiore a questo valore, verrà impostata una velocità pari alla massima qui specificata. Questo aiuta a ridurre eventuali instabilità dovute alle alte velocità corrispondenti ad altezze d'acqua ridotte, il che rappresenta una situazione non realistica. Un valore tipico per questo campo è 10 m/s.
- *Theta*: rappresenta un fattore di peso per il parametro semi-implicito. Attribuisce un peso alle parti esplicite e semi-implicite dello schema numerico. Al crescere di questo valore, aumenta il peso dato alla parte semi-implicita. Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.9
- *Ignore rain falling on dry elements*: ignora la pioggia che cade sugli elementi asciutti della magliatura; si utilizza per rendere più rapida la simulazione quando vengono utilizzati poligoni di pioggia (2D rainfall polygons).
- *Adjust element ground levels adjacent to spills*: modifica automaticamente la quota delle maglie triangolari adiacenti agli spill, dove necessario; si utilizza per evitare le instabilità

che si verificano quando la quota degli spill risulta inferiore alla quota delle maglie su cui gli spill insistono.

A4. INTERAZIONE DELLA COMPONENTE 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello mono e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempio:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D.
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa).
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando di rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

A5. INTERFACCIA DEL SOFTWARE

InfoWorks ICM ha un'interfaccia di ultima generazione in grado di interagire con diversi programmi e fonti disponibili sul mercato.

In tal modo si riescono a importare ed integrare dati provenienti da vari formati per costituire un modello geometrico del sistema da studiare.

In particolare, il software supporta:

- Dati in formato AutoCAD (2D e 3D)
- Dati in formato TIN di ArcView
- Dati in formato shape (SHP) o Geodatabase
- Rilievi topografici con coordinate x,y e z
- Dati in formato tabulare (XLS, ASC, TXT e altri)
- Dati in formato Database (Access, Oracle e altri)
- Dati in formato HEC-RAS

InfoWorks ICM sfrutta un'architettura basata su un Database centralizzato dove vengono salvati tutti i progetti. Il sistema gestisce accessi multipli, anche contestuali.

APPENDICE 3

**CALCOLO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA
SECONDO I CRITERI DELLA DGR 357/2008**

Di seguito si riporta una descrizione delle procedure per la determinazione dell'idrogramma corrispondente all'evento tipico secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

La metodologia di calcolo fa riferimento al *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzata alla valutazione dell'idrogramma di riferimento condizionato dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, come da normativa, pari al valore della portata indice.

Il metodo di valutazione dell'idrogramma di riferimento consiste in sintesi nel ricercare l'idrogramma di piena equivalente che fornisca la portata massima al colmo pari alla portata indice.

Tale problema è risolvibile a partire dalle curve di probabilità pluviometrica dell'area in esame nella forma $h(T)=a(T)\cdot t^n$ nell'ipotesi di invarianza di scala, per cui si assume che l'esponente caratteristico n rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi dell'area in esame.

L'ipotesi implica che la portata T -ennale di progetto $Q(T)$ sia prodotta da una precipitazione $h=a(*)\cdot t^n$ dove n è l'esponente caratteristico del bacino in esame, $a(*)$ rappresenta il valore di a che con il metodo dell'evento critico produce una portata pari a $Q(T)$ e che, in genere, è differente dal valore di $a(T)$ proprio della linea segnalatrice T -ennale.

Nella formulazione del metodo a è esprimibile come $a(T)= w_T a_i$, dove w_T è il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno (T) e a_i è un valore costante caratteristico della stazione pluviometrica considerata corrispondente al valore indice di precipitazione (*pioggia indice*).

Nell'Appendice II della DGR sopra menzionata sono riportati il valore della pioggia indice a_i ed i parametri caratteristici di una serie di stazioni della Regione Liguria per il versante Padano e quello tirrenico, necessari per la determinazione del fattore di crescita w_T .

Assunto un modello afflussi-deflussi di riferimento, il problema si riduce alla ricerca di tutte le possibili coppie di valori a e t che producono una portata al colmo $Q(T)$ e, tra queste, la coppia $\{a(*), t_{CR}\}$ che ha il minimo valore di a .

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli idrogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove h_n [mm] è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, h_r [mm] è il volume specifico affluito, S [mm] è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre I_a [mm] rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di S viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Dove CN è un parametro adimensionale variabile da 1 a 100 che esprime la capacità di ritenzione del bacino in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e all'uso del suolo.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi del grado di umidità del terreno in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato: molto asciutto (I), standard (II) e molto umido (III).

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa(B), moderatamente alta (C) e molto alta (D).

La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece terreni coltivati con e senza trattamento di conservazione, terreni da pascolo in buone o cattive condizioni, praterie, terreni boscosi o forestati con diverse tipologie di sottobosco, spazi aperti con prati rasati o parchi con diverse percentuali di copertura erbosa, aree commerciali, distretti industriali, aree residenziali, strade, parcheggi ecc.

Quale valore di I_a , si è adottata la relazione suggerita dal Soil Conservation Service $I_a=0.2 \cdot S$.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di n serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}}$$

dove k è la costante caratteristica dei serbatoi e n il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto: $n = 3$ e $K=0.5 \cdot t_c/(n-1)$, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente $Q(t)$ all'intensità della pioggia netta $p(t)$.