



STUDIO CONTI
ASSOCIATI
GEOLOGIA E INGEGNERIA

DOTT. GEOL. MICHELE CONTI DOTT. GEOL. ANTONIO CONTI DOTT. ING. FRANCESCO BOCCHIO

VIA BENAMATI, 61 . 25080 TOSCOLANO MADERNO (BS) . TEL. +39 0365 470036 . FAX +39 0365 470037 . INFO@STUDIOCONTIASSOCIATI.IT
WWW.STUDIOCONTIASSOCIATI.IT

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA BRESCIA

COMUNE TOSCOLANO MADERNO

TITOLO:

Demolizione corpo di fabbrica esistente con ricostruzione ed ampliamento Corpo F

OGGETTO:

Analisi di compatibilità idraulica

COMMITTENTE:

Soc. Speranza di Bellicini Regina & C. s.a.s.
via Religione n.88
Toscolano Maderno (BS)

DOCUMENTO

IA_RI

REV	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VISTO	APPROVATO
00	28/07/17	EMISSIONE	V.G.	A.C.	F.B.

COMMESSA 000605

COMMITTENTE C605

FILE X:\WORK\000605_17_TOSCOLANO MADERNO_COMPATIBILITA IDRAULICA

INDICE

1	Premessa	2
2	Ubicazione e inquadramento geografico	3
3	Normative di riferimento e software utilizzati	5
4	Documentazione e studi precedenti consultati	7
5	Brevi cenni sugli interventi di progetto	9
6	Cenni di carattere generale	10
6.1	<i>Vincoli inerenti gli aspetti geologici</i>	10
6.2	<i>Carta del dissesto</i>	12
6.3	<i>Fattibilità geologica</i>	13
6.4	<i>Scenari di pericolosità</i>	16
7	Cenni sull'assetto geologico e geomorfologico	18
7.1	<i>Inquadramento litologico e geomorfologico</i>	18
7.2	<i>Assetto idrogeologico</i>	21
8	Descrizione del bacino ed idrologia	22
9	Stima delle portate di progetto	22
10	Modello di calcolo ed approccio metodologico	24
10.1	<i>Modellazione in moto stazionario con HEC RAS</i>	26
10.2	<i>Modello numerico di riferimento</i>	29
10.3	<i>Scenari di simulazione</i>	32
10.4	<i>Risultati delle simulazioni e analisi delle condizioni di deflusso: piena di scarico della diga $Q=30m^3/s$</i>	33
10.5	<i>Risultati delle simulazioni e analisi delle condizioni di deflusso: portata ordinaria $Q=90m^3/s$</i>	36
10.6	<i>Risultati delle simulazioni e analisi delle condizioni di deflusso: piena centenaria $Q=170m^3/s$</i>	39
11	Considerazioni conclusive	42

1 Premessa

Su incarico del Dott. Geol. Daniele Gasparetti e per conto della Società Speranza di Bellicini Regina & C. s.a.s. di Toscolano Maderno, è stato eseguito uno studio di compatibilità idraulica con riferimento ai lavori di "Demolizione corpo di fabbrica esistente con ricostruzione ed ampliamento Corpo F". L'edificio è situato nel Comune di Toscolano Maderno, in via Religione n.53, in sinistra idrografica rispetto al torrente Toscolano.

Dalle norme tecniche del Comune di Toscolano Maderno, redatte con riferimento alla classe 2a, si osserva che è previsto *"parere favorevole all'edificabilità previa indagini e approfondimenti tecnici...omissis...valutazioni circa la presenza di sezioni critiche a monte dell'area con verifica delle sezioni idrauliche, analisi geomorfologica ed idraulica del corso del torrente esaminato"*.

La presente relazione di pone come obiettivo specifico l'analisi e le verifiche di compatibilità idraulica dei lavori di cui in oggetto. Nel complesso lo studio è stato articolato come segue:

- Sopralluoghi di campagna per l'identificazione delle criticità in sito
- Analisi preliminare: acquisizione di fonti bibliografiche e documentazione tecnica esistente, studio del materiale disponibile;
- Sintesi e valutazione: valutazione dei dati acquisiti, inquadramento geologico-geomorfologico e idrologico dell'area, definizione del modello di calcolo e studio idraulico, analisi delle eventuali situazione di criticità (reali e potenziali).

Nell'ambito del presente lavoro è stata consultata la documentazione della componente geologica del PGT e del RIM per componente idrogeologica.

2 Ubicazione e inquadramento geografico

L'area è ubicata in via Religione n.53 nel Comune di Toscolano Maderno (BS), in sinistra idrografica rispetto al torrente Toscolano. Nella cartografia regionale C.T.R. a scala 1:10.000, il sito è compreso nella sezione nella sezione n. E5a3 – *Toscolano Maderno* ed è posto ad una quota di circa 73 m s.l.m.

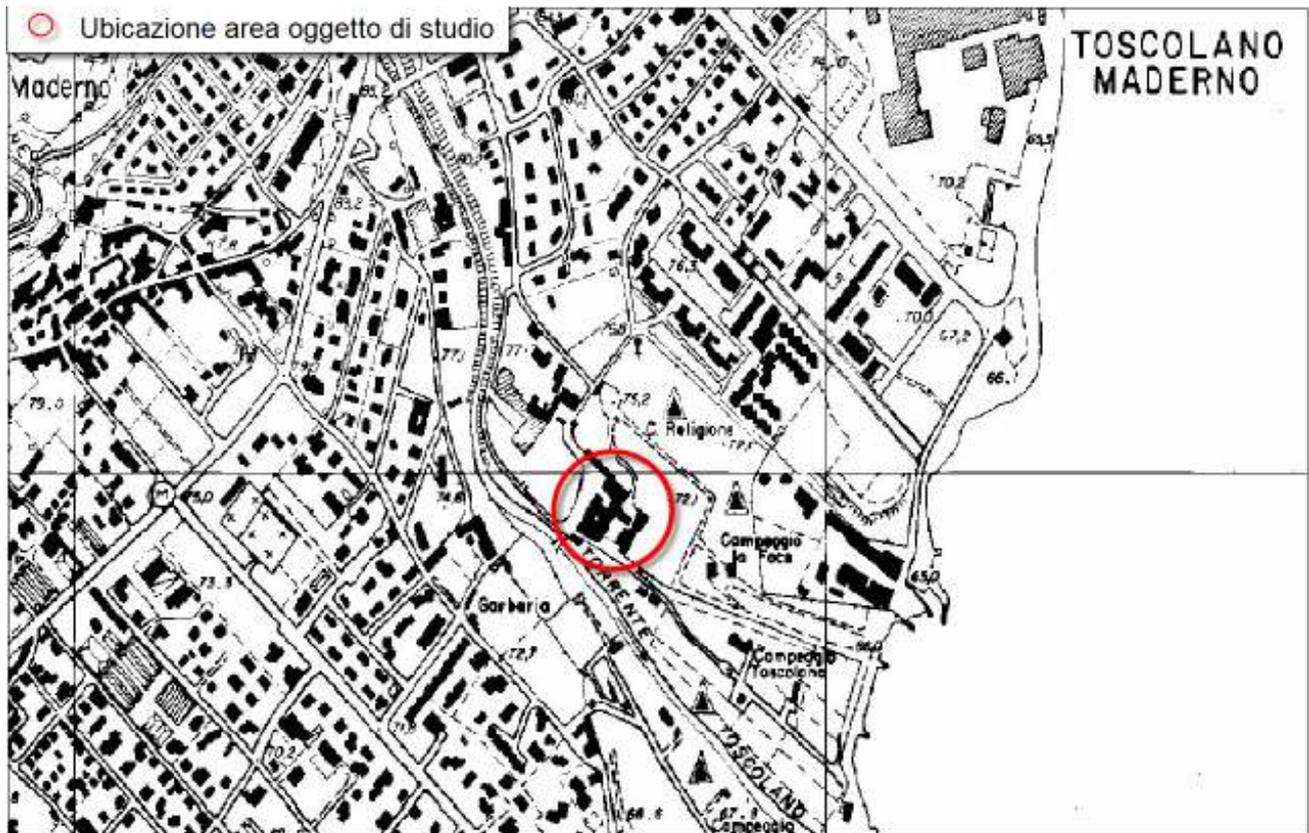


Figura 1 Stralci, non in scala, con individuazione dell'area oggetto di studio [CTR 1:10000 sez. E5a3 Toscolano Maderno]

In particolare il SUAP riguarda la demolizione del corpo di fabbrica esistente con ricostruzione ed ampliamento esclusivamente del **corpo F**.

Per una ubicazione di dettaglio si riporta di seguito uno stralcio dell'immagine satellitare (fonte Bing Maps) relativo all'area interessata dall'intervento:

Toscolano Maderno – Via Religione n.53 (BS)
WGS 84: lat. Nord: 45,63642 long. Est: 10,61242
X=625.668,33, Y=5.054.917,06



Figura 2 Immagine satellitare dell'area interessata da intervento con indicazioni coordinate geografiche [Bing Maps]

3 Normative di riferimento e software utilizzati

Nell'ambito del presente lavoro si è fatto riferimento alle principali normative vigenti in materia di pianificazione territoriale e tutela ambientale. Tra queste assumono una certa importanza le seguenti:

- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Interventi sulla rete idrografica e sui versanti Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001;
- Allegato A della D.G.R. n.7/7868 del 25/01/2002 per lo studio sul Reticolo Idrico Principale;
- Allegato B della D.G.R. n. 7/13950 del 1 agosto 2003 per la definizione del Reticolo Idrico Minore e regolamento di attuazione della legge 36/94;
- L.R. n. 12 del marzo 2005 e D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374: Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57;
- d.g.r. 4229 del 23 ottobre 2015 "Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione canoni";
- d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 - Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374;
- Legge regionale 15 marzo 2016 - n. 4 Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua.

I software utilizzati per l'analisi e l'interpretazione dei dati presentati in questo elaborato sono i seguenti:

SOFTWARE / MODULO DI CALCOLO E VERSIONE	PRODUTTORE	AMBITO DI APPLICAZIONE/ FINALITA'	LICENZA D'USO
Autocad 2011	Autodesk	Disegno tecnico	Studio Conti Associati 391-87243597
Hec Ras 5.0.3	U.S. Army Corps of Engineers	Idraulica fluviale	Studio Conti Associati

Tabella 1 Softwares utilizzati per la realizzazione dell'elaborato.

4 Documentazione e studi precedenti consultati

L'analisi idrologica ed idraulica è stata condotta consultando i seguenti elaborati/strumenti di riferimento:

- PGT del Comune di Toscolano Maderno (BS) - Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio secondo i criteri ed indirizzi dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n.12;
- Studio per l'individuazione del reticolo idrico minore di competenza comunale redatto dallo Studio Associato di Geologia Applicata ad Ambientale – Dott. Giovanni Bembo e Dott.ssa Loredana Zecchini con studio a Bogliaco di Gargnano (BS);
- Rapporti vari ENEL sulle verifiche idrauliche dagli anni '60 in poi;
- Dati di letteratura sul bacino (ingegneria idroelettrica 1968);
- Progetto per la “Realizzazione di due nuovi ponti sul torrente Toscolano – Comune di Toscolano Maderno – Relazione geologica e geotecnica in prospettiva sismica” redatto dagli scriventi in data 24/07/1998;
- Progetto per la “Sistemazione idraulica della foce del torrente Toscolano: relazione idrologica e geotecnica per il progetto esecutivo” redatto dagli scriventi in data 10/03/2003;
- Carta geologica delle Prealpi bresciane a sud dell'Adamello (1:50.000 - Università di Pavia);
- Carte inventario dei dissesti della Regione Lombardia (in scala 1:10.000);
- Studio del sistema informativo relativo all'inventario delle frane e dei dissesti in alcune aree del territorio regionale lombardo tra cui la Comunità del Parco Alto Garda (2000 - 2001 IRER);
- Norme di attuazione PAI ed ex 267/98;
- Geoportale della Regione Lombardia www.cartografia.regione.lombardia.it;
- Studio delle precipitazioni intense in provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente (dicembre 1985) contenente una raccolta di dati pluviometrici storici e le curve di possibilità climatica;
- ARPA Lombardia www.idro.arpalombardia.it;

- PAI: delibera n°18 del 26/04/2001 norme di attuazione “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Tabella 1. Curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura”;
- Dati bacino da archivio storico Ufficio Idrografico.

5 Brevi cenni sugli interventi di progetto

Come già accennato in precedenza, sono previsti i lavori di demolizione del corpo di fabbrica esistente con ricostruzione ed ampliamento del corpo F sito in via Religione n.53 nel Comune di Toscolano Maderno (BS), come da progetto a firma dell'arch. Monica Bettinelli di Limone sul Garda. L'edificio sarà adibito a struttura turistico ricettiva non residenziale.

Si riporta uno stralcio della planimetria fornita dal progettista architettonico:



Figura 3 Stralcio, non in scala planimetria di progetto con individuazione del corpo F oggetto di analisi di compatibilità idraulica

ANALISI PRELIMINARE

6 Cenni di carattere generale

In via preliminare è stato necessario procedere con una breve descrizione riguardante i vincoli e gli scenari di pericolosità, nonché l'assetto geologico, geomorfologico ed idrografico della zona.

6.1 Vincoli inerenti gli aspetti geologici

Si prendono in considerazione le limitazioni d'uso inerenti gli aspetti geologici della zona, derivanti dalle disposizioni normative esistenti e dai piani sovraordinati vigenti, come i vincoli di polizia idraulica, le aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile e le aree di dissesto da perimetrazione PAI.

Nella *Carta dei Vincoli* (Tav. 1.3.2.a del PGT vigente), l'area oggetto di studio è classificata come *delimitazione di aree di ripermetrazione – vincolo P.A.I. conoidi del torrente Toscolano e del torrente Bornico (ai sensi dell'art. 18 comma 1 del N.d.A. del PAI)*: **Cn – area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta: corrispondente alle classi H2 e H1.**

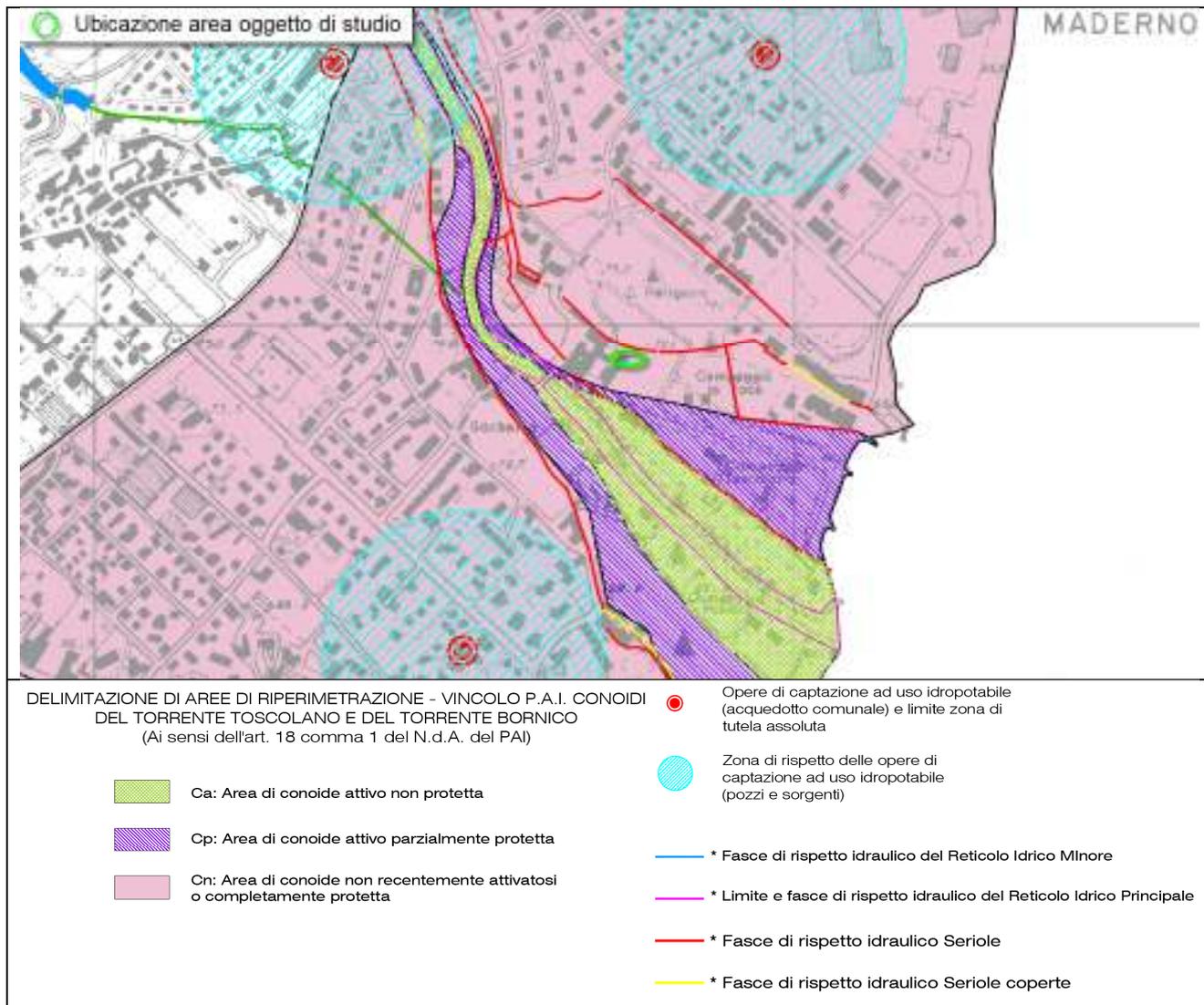


Figura 4 Stralcio carta dei vincoli geologici [tav. 1.3.2.a del PGT vigente]

Si propone uno stralcio dell'art.18, comma 1 del N.d.A. del PAI: "Le Regioni, nell'ambito di quanto disposto al precedente art. 5, comma 2, emanano le disposizioni concernenti l'attuazione del Piano nel settore urbanistico conseguenti alle condizioni di dissesto delimitate nella cartografia dell'Elaborato 2 del Piano "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo" di cui all'art. 8, comma 2, e alle corrispondenti limitazioni d'uso del suolo di cui all'art. 9 delle presenti Norme, provvedendo ove necessario all'indicazione dei Comuni esonerati in quanto già dotati di strumenti urbanistici compatibili con le condizioni di dissesto presente". Per quanto riguarda i vincoli e le prescrizioni da seguire in quest'area si rimanda alla lettura delle Norme Tecniche di Attuazione del PGT vigente riportate al capitolo §6.4 della presente relazione.

6.2 Carta del dissesto

Si vuole verificare la classificazione della pericolosità del conoide per completare la matrice dei vincoli e l'analisi della fattibilità.

Nella Carta del dissesto con legenda uniformata P.A.I. (tav. 09 di P.G.T. vigente) l'area oggetto di studio ricade all'interno di:

- Trasporto di massa su conoidi: area di conoide non recentemente attivatosi e completamente protetta (Cn).

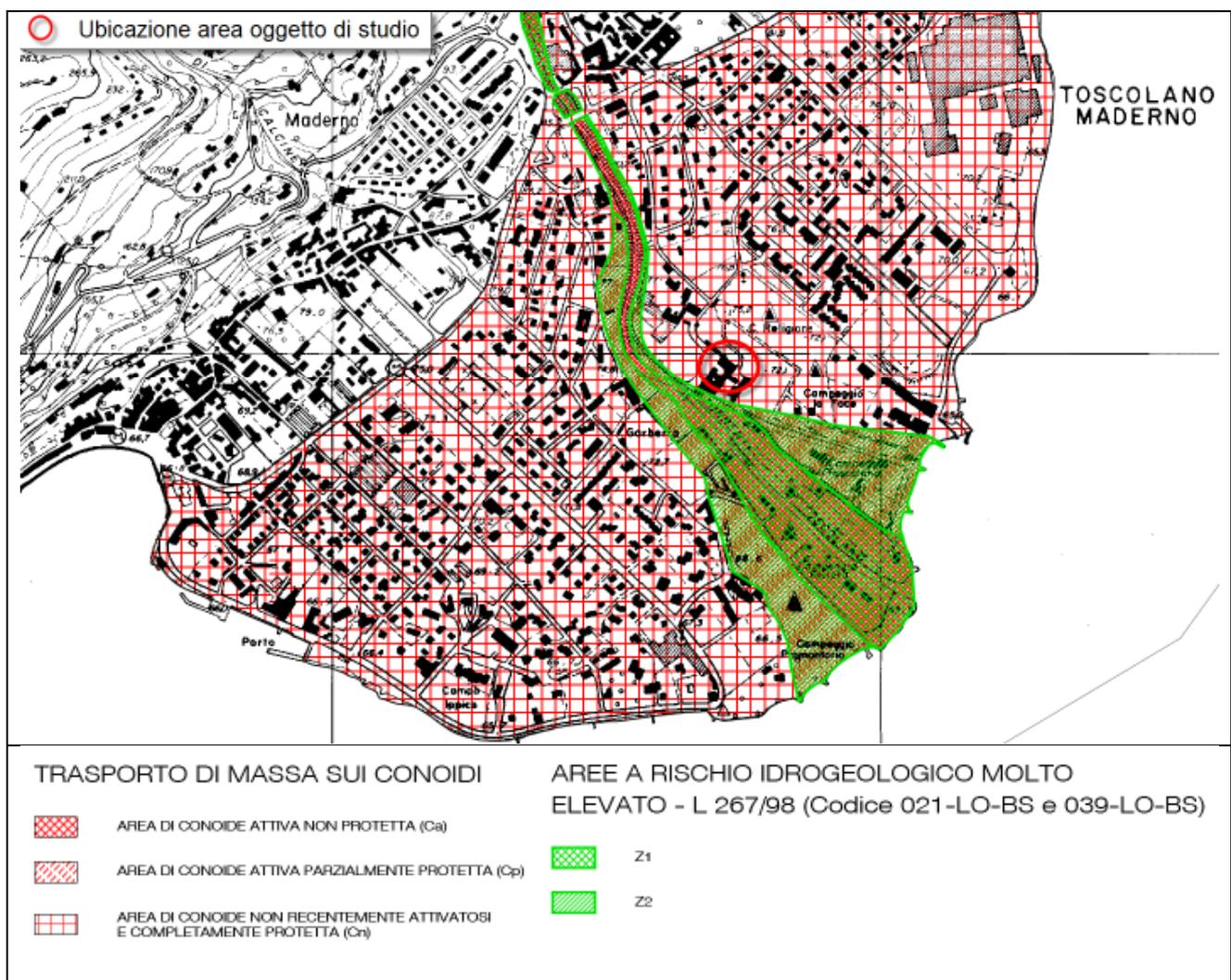


Figura 5 Stralcio carta del dissesto con legenda uniformata PAI [tav. 09 del PGT vigente]

6.3 Fattibilità geologica

La Carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano (L.R. n. 41 del 24 novembre 1997, DGR 29/10/01 n. 7/6645 e DGR n. 7/7365 11/12/01, L.R. 12/2005 e ss.mm.ii.) rappresenta uno strumento molto importante nell'ambito delle attività di pianificazione territoriale che scaturisce dalla valutazione incrociata degli elementi contenuti nella Carta di Sintesi e dei Vincoli con i fattori ambientali, territoriali ed antropici dell'area studiata.

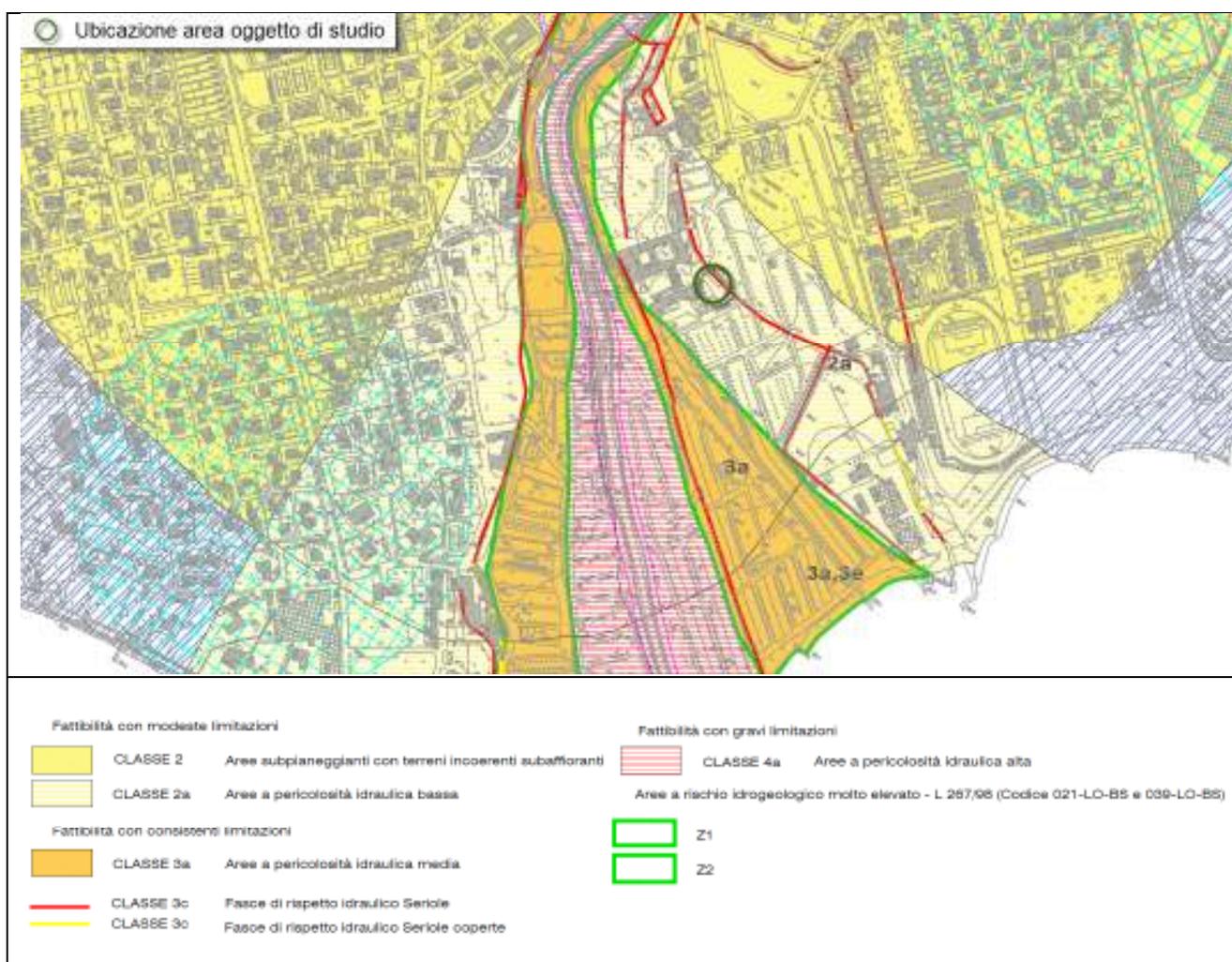


Figura 6 Stralcio Carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano [Tav.T08a SG del PGT vigente]

Osservando lo stralcio cartografico della Carta di Fattibilità geologica del PGT (Tav.T08a SG) si nota che il lotto di interesse ricade in una zona con limitazioni dal punto di vista della fattibilità geologica: **classe 2a - area a pericolosità idraulica bassa.**

Si riporta di seguito uno stralcio delle norme tecniche e prescrizioni per la classe di fattibilità geologica individuata:

	CLASSE 2a	AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA (STUDIO DELLA RIPERIMETRAZIONE DEI CONOIDI DEI TORRENTI TOSCOLANO E BORNICO)
Descrizione	Rientrano in questa classe tutte quelle aree soggette a pericolosità bassa su conoide (H2-Cn conoide protetta) rappresentate da aree in prossimità dei punti critici e zone depresse.	
Zone	Alcune porzioni in aderenza al corso del Torrente Toscolano e Bornico	
PRESCRIZIONI	Si esprime parere favorevole all'edificabilità previa le indagini e gli approfondimenti tecnici di seguito esposti:	
Studi di fattibilità specifica e di compatibilità, piani generali di lottizzazione	<i>Rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio (alla scala idonea) con o senza una campagna di indagini geognostiche a maglia larga aventi la finalità di verificare il modello geologico preliminare (in dipendenza della entità dell'opera di progetto, o della vastità dell'area in studio); relazione geologica generale.</i>	
Progetto definitivo e progetto esecutivo	<p><i>e Relazione geologica in prospettiva sismica supportata da un rilevamento geologico geomorfologico di dettaglio (almeno scala 1:2.000), verifica della potenza delle coperture superficiali e caratterizzazione geotecnica (mediante analisi di laboratorio geotecnico e/o indagini geognostiche di tipo diretto/indiretto).</i></p> <p><i>Determinazione della capacità portante dei terreni di fondazione con stima dei cedimenti.</i></p> <p><i>Valutazioni circa la presenza di sezioni critiche a monte dell'area con verifica delle sezioni idrauliche, analisi geomorfologica ed idraulica del corso del torrente esaminato.</i></p> <p>Per l'analisi di valutazione degli effetti di amplificazione locale riferirsi alle prescrizioni relative allo scenario PSL in cui ricade l'area (Capitoli precedenti) . L'analisi sismica di II livello ha mostrato come in generale per le zone di conoide (terreni alluvionali/ fluvioglaciali con spessori superiori ai 20-25 m in particolare lo spettro di normativa non sia adeguato a tenere in considerazione eventuali fenomeni di amplificazione litologica. Si prescrive la declassazione della categoria di terreno o analisi di approfondimento di 3° livello.</p>	

Figura 7 Stralcio Norme tecniche e prescrizioni per la classe di fattibilità geologica 2a

Dalle norme tecniche redatte con riferimento alla classe 2a, si osserva che è previsto “parere favorevole all'edificabilità previa indagini e approfondimenti tecnici...omissis...valutazioni circa la presenza di sezioni critiche a monte dell'area

con verifica delle sezioni idrauliche, analisi geomorfologica ed idraulica del corso del torrente esaminato".

Ciò premesso e viste le prescrizioni individuate dalle Norme Tecniche di Attuazione del PGT vigente (per la componente geologica), nei prossimi capitoli si riporta una breve analisi geomorfologica dell'area e, a seguire, la verifica delle sezioni idrauliche del torrente Toscolano con particolare riferimento al tratto a monte rispetto all'area oggetto di studio.

6.4 Scenari di pericolosità

A titolo di completezza, nella ricostruzione dei vincoli gravanti sulle aree e degli scenari di pericolosità, si propone la classificazione delle aree come riportato *Carta di Sintesi della pericolosità geologica* (tav. 06). L'area è viene classificata come:

- Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico: aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici e tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza e aree soggette a pericolosità idraulica da media a bassa (H3-H2);
- Fascia di rispetto idraulico Seriole.

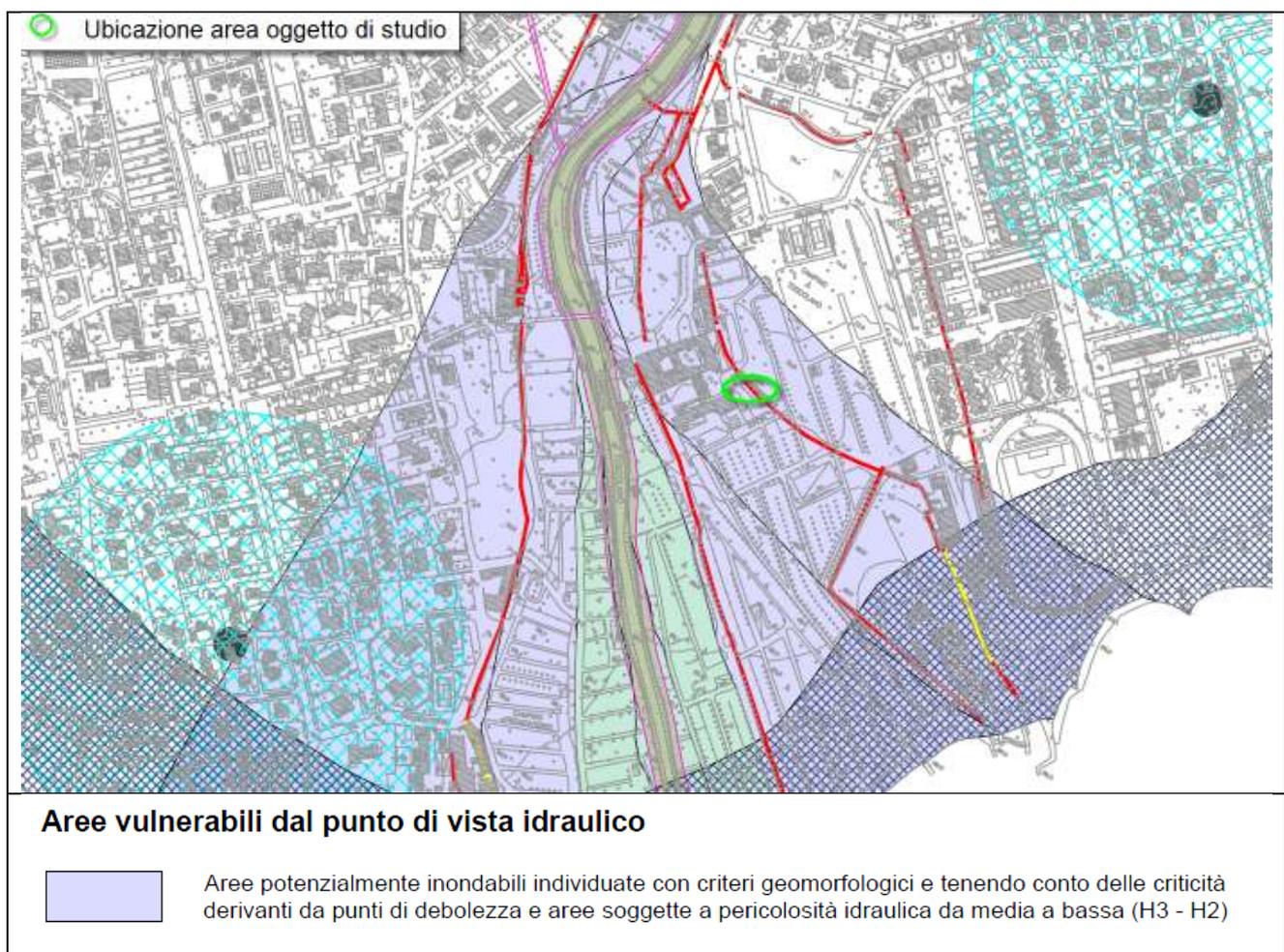


Figura 8 Stralcio carta di sintesi della pericolosità geologica [tav. 06 del PGT vigente]

Di seguito si riporta uno stralcio delle classi di pericolosità individuate per l'area in oggetto:

- **Pericolosità bassa H2:** area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto;
- **Pericolosità media H3:** area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazioni) e ad erosione di sponda. In particolare si possono avere deflussi di altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso ghiaiosi.

7 Cenni sull'assetto geologico e geomorfologico

Le caratteristiche salienti relative agli aspetti geologici del sito preso in esame sono tratte dalla documentazione dalla *Relazione geologica generale* del PGT vigente (relazione e relativi elaborati cartografici), dagli studi e dalle risorse disponibili citate nei capitoli precedenti. In questo capitolo si riportano solo brevi cenni riguardanti le caratteristiche litologiche e geomorfologiche dell'area in esame, nonché sull'assetto idrografico, mentre per una lettura completa ed approfondita si rimanda alla *Relazione geologica generale* del PGT vigente.

7.1 Inquadramento litologico e geomorfologico

La descrizione sull'assetto geomorfologico locale viene fatta tenendo conto delle informazioni contenute nella *Carta della dinamica geomorfologica* della componente geologica del PGT del Comune di Toscolano Maderno (Tavola 02), nella quale sono riportate le caratteristiche litologiche generali ed i lineamenti strutturali principali del territorio comunale.

Come si può osservare dallo stralcio riportato nella pagina seguente, la zona in esame insiste su un'area interessata dalla presenza di *conoide*.

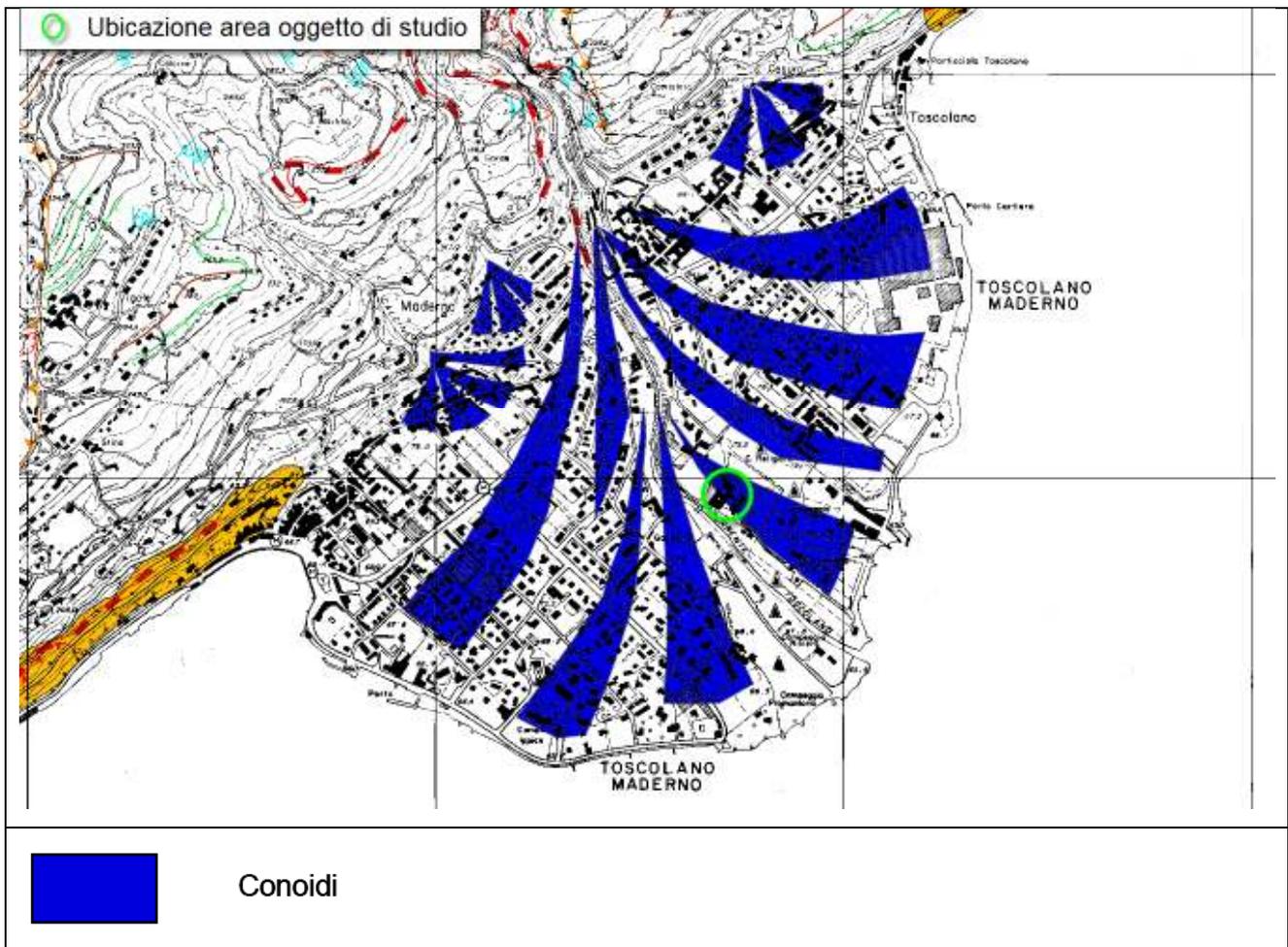


Figura 9 Estratto Carta della dinamica geomorfologica [Tav. 02]

L'area di studio si presenta in leggero peneplano ed è sostanzialmente pianeggiante, e tutta la zona rientra in un'area del conoide del Toscolano a valle del Ponte sulla SS 45 bis.

Nel territorio di Toscolano Maderno, in epoca quaternaria (Pleistocene Superiore) ha agito il modellamento glaciale accompagnato, e sostituito successivamente, da processi erosivi legati all'idrografia e agli agenti morfogenetici e morfotettonici (abbassamento del livello di base e ringiovanimento morfologico con una ripresa dell'attività erosiva dei torrenti e movimentazione delle coltri detritiche attraverso processi gravitativi).

Proprio a causa del modellamento glaciale, a monte, dove affiora la Scaglia lombarda, facilmente erodibile per l'intenso clivaggio e la litologia, si ha un esteso ripiano in quota (Gaino- Monte Maderno).

La valle del Toscolano è una valle sospesa (abbassamento pleistocenico) e il raccordo con il lago avviene attualmente mediante una forra (Valle delle Cartiere) che improvvisamente dopo la stretta delle Garda si apre in un'ampia conoide subpianeggiante che degrada verso il lago. Allo sbocco della Valle delle Cartiere si rinvengono sia depositi morenici e di conoide che occupano la zona pedemontana e l'ampia area che si estende fino al lago.

Si tratta in generale di terreni dalle caratteristiche variabili anche a breve distanza e caratterizzati dalla presenza di terreno agrario superficiale, misto a riporti (sono possibili piccoli accumuli da vecchie attività di scavo, non note ma probabili, per cui si consiglia un attento esame degli scavi e del terreno di posa) seguiti da ghiaie sabbioso limose, con tenori di fine variabili e in alcuni casi elevato. Indagini eseguite nelle vicinanze mostrano presenza di ciottolate grossolane e trovanti anche di grosse dimensioni.

7.2 Assetto idrogeologico

Come si può osservare dalla *Carta idrologica e idrogeologica* (tav.03 del PGT vigente), dal punto di vista idrogeologico, il sito oggetto di studio ricade in una zona caratterizzata dall'affioramento di terreni con permeabilità primaria con valori molto elevati,

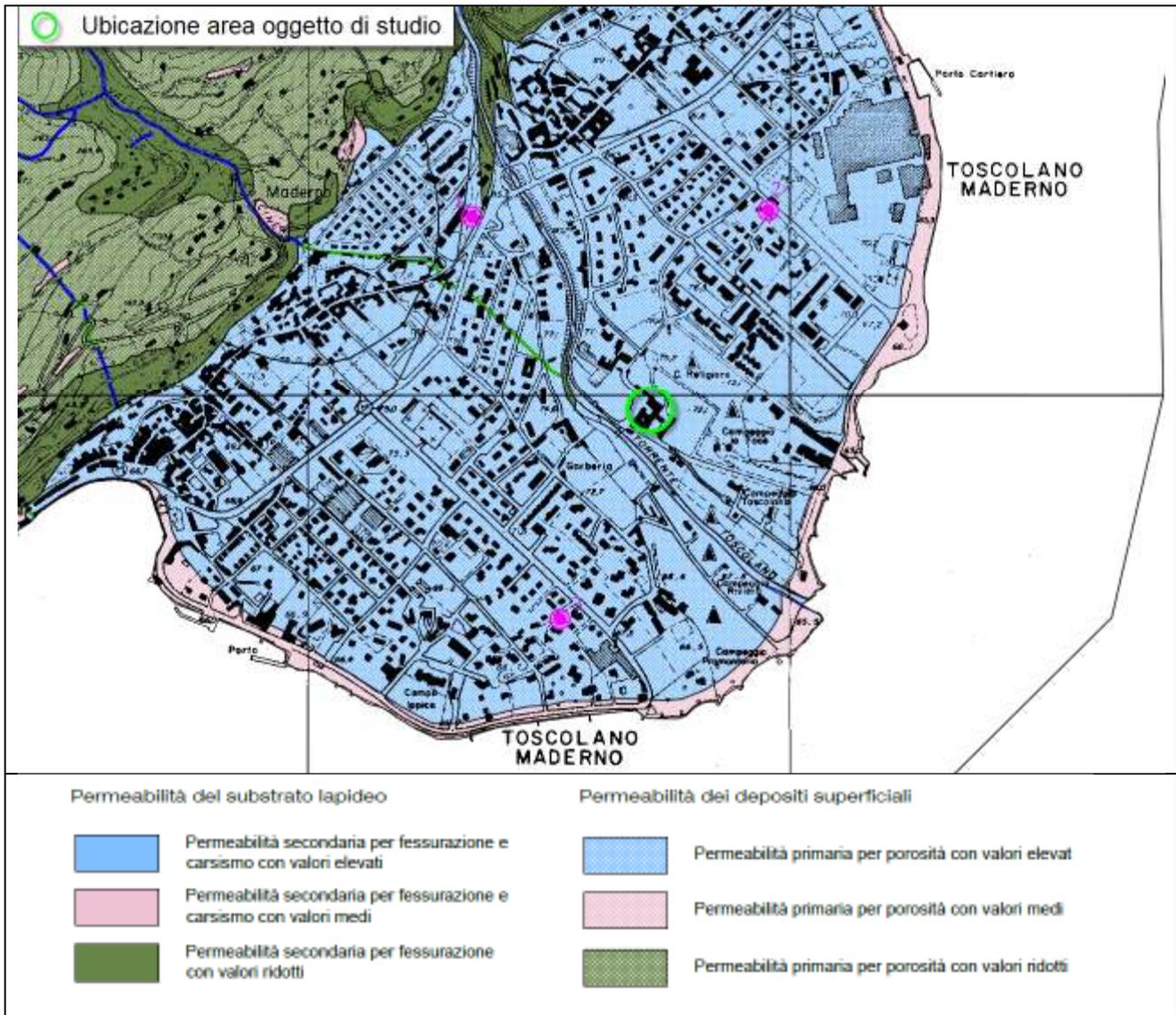


Figura 10 Estratto PGT vigente, Carta idrologica e idrogeologica [Tav. 03]

ANALISI IDRAULICA

8 Descrizione del bacino ed idrologia

Il torrente Toscolano, tributario di destra del Lago di Garda, sbocca in prossimità dell'abitato di Toscolano Maderno dopo un percorso di circa 23km che si sviluppa fra una quota massima di 1947 m s.l.m. (Cima Tombea) e una minima di 66 m s.l.m. (quota a lago).

All'interno del territorio comunale il corso d'acqua è caratterizzato da un'asta idrica di circa 7.8 km di lunghezza suddivisibile in tre tratte significative: quella che scorre in corrispondenza dell'estesa conoide alluvionale in prossimità dello sbocco a lago (dove si trova il sito in oggetto del presente studio), quella incassata nel fondovalle delle Camerate-Cartiere ed infine quella nell'estremo settore nord orientale allo sbocco degli estesi ed articolati sottobacini impostati nella Valle di Archesane, Campiglio e Rilo.

Il bacino idrografico interessato dalla presente relazione appartiene alla valle del torrente Toscolano: il torrente è sbarrato in località Santa Maria di Valvestino (Ponte Cola) da una diga ad arco a doppia curvatura, a circa 9.0km dalla foce (quota 390m s.l.m. con coronamento a quota 505m s.l.m.), che ne diminuisce l'area di alimentazione in quanto si suppone che tutta la portata a monte sia derivata.

9 Stima delle portate di progetto

Per la stima delle portate di progetto si è fatto esplicito riferimento ai contenuti delle relazioni redatte da ENEL per la diga di Ponte Cola. Pertanto nel presente elaborato si è ritenuto opportuno riportare esclusivamente i risultati ottenuti dal sopracitato studio.

Facendo riferimento alle stesse tecniche del servizio idrografico per la determinazione della massima piena alla sezione sbarrata dalla diga, l'ENEL (vedi documentazione consultata) ha effettuato le seguenti valutazioni:

- 1) Trascurando l'effetto di laminazione che la presenza del serbatoio di Ponte Cola potrebbe determinare, allo sbocco nel lago di Garda del torrente Toscolano risulterebbe:

$$Q(\text{tr}=100\text{anni; no laminazione})=330 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q(\text{tr}=4\text{anni; no laminazione})=170 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 2) Considerando invece che il serbatoio di ponte Cola invasi integralmente l'evento affluente, gli eventi di piena possibili allo sbocco del Garda, dovuti al bacino imbrifero residuo a valle della diga, risulterebbero:

$$Q(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})=170 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})=90 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tenendo conto delle quote medie a cui lavora il serbatoio che consentono di disporre di un non trascurabile volume di laminazione, l'ipotesi di invaso completo di eventi di piena con tempi di ritorno fino anche a 100 anni appare ragionevolmente realistico. L'effetto moderatore sulle piene esercitato dal serbatoio è confermato da cinquant'anni di esercizio della diga.

- 3) Inoltre ENEL mediante il modello afflussi/deflussi ha validato sperimentalmente una portata durante la prova di scarico di deflusso controllato della diga stimata pari a:

$$Q(\text{prova scarico diga})=30 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nelle successive verifiche di compatibilità idraulica si è fatto riferimento ai seguenti valori delle portate:

- $Q(\text{prova scarico diga})=30 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})=90 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})=170 \text{ m}^3/\text{s}$

10 Modello di calcolo ed approccio metodologico

Lo studio dell'idrodinamica e dell'evoluzione morfometrica è in generale un problema accoppiato che richiede la simultanea determinazione di tutte le incognite (come la quota della superficie libera h e quella del fondo z_b). Se però il numero di Froude della corrente si mantiene sufficientemente lontano dall'unità per tutto il tratto in considerazione, la velocità di propagazione di una piccola perturbazione del fondo è molto minore di quella in corrispondenza della superficie libera. Ciò significa che il fondo cambia il suo assetto molto più lentamente del pelo libero e questo consente due importanti semplificazioni:

- il disaccoppiamento del sistema di equazioni e la determinazione in un primo momento del profilo della corrente e solo in seguito della quota del fondo;
- la possibilità di considerare stazionarie le condizioni al contorno delle equazioni della corrente.

Quest'ultimo fatto, in aggiunta all'ipotesi di trattare l'onda di piena con un modello cinematico (e quindi di considerare che la funzione che lega portata a tirante idrico sia univoca), permette di trattare il moto vario come una successione di moti permanenti.

In seguito alle considerazioni riportate precedentemente per la semplificazione del problema, l'idrodinamica del corso d'acqua è stata studiata utilizzando uno schema unidimensionale di moto permanente, integrando l'equazione dei profili:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\beta \frac{F_R^2}{b} \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_h - j}{1 - \beta F_R^2}$$

dove β è il coefficiente di Coriolis della quantità di moto ed è espresso dall'equazione:

$$\beta = \frac{\oint_A u^2 dA}{U^2 A}$$

mentre j è il termine di attrito sul fondo ed è espresso dalla seguente equazione:

$$j = \frac{\tau_0}{\rho g R_H} = \frac{Q^2}{A^2 C^2 R_H}$$

Quest'ultimo termine è stato valutato con l'espressione di Engelund, imponendo:

$$C^2 R_H = \frac{1}{A^2} \left(\int_0^b \frac{Ks}{\sqrt{g}} r_H^{5/3} dy \right)^2$$

dove il raggio idraulico locale r_h è espresso della seguente relazione:

$$r_H = \frac{d A}{d B}$$

Si ottiene pertanto l'espressione a cui si voleva pervenire per il termine di resistenza al fondo:

$$j = \frac{Q^2}{g} \left(\int_0^b \frac{Ks}{\sqrt{g}} r_H^{5/3} dy \right)^{-2}$$

Il termine dissipativo viene dunque calcolato come se a livello locale il moto fosse uniforme.

Viste le precedenti considerazioni è stato valutato opportuno effettuare l'analisi con un modello disaccoppiato mediante l'utilizzo del software HEC-RAS con l'ipotesi di fondo fisso.

La scelta del programma HEC RAS è stata dettata principalmente dall'estrema affidabilità del codice stesso (attestata dalle numerose applicazioni effettuate in tutto il mondo) e dalla sua larga disponibilità nell'ambito della geologia e dell'ingegneria ambientale, garantendo così la riproducibilità e la verificabilità delle elaborazioni effettuate nel presente studio.

10.1 Modellazione in moto stazionario con HEC RAS

La modellazione idraulica in moto stazionario ha come obiettivo la valutazione del profilo di corrente in condizioni di piena e la determinazione dei livelli della superficie libera.

Per tale analisi è stato utilizzato il software HEC RAS (versione 5.0.3) sviluppato dalla U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERING; il River Analysis System utilizza un modello che calcola il profilo della corrente imponendo il principio di conservazione dell'energia tra due sezioni successive.

Il software permette di modellare la propagazione di un corso d'acqua utilizzando uno schema unidimensionale in condizioni di moto permanente ed è concepito per la determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazione del fiume.

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia la quale considera le perdite di carico dovute all'attrito (calcolate con l'equazione di Manning) e quelle causate dalla espansione/contrazione delle sezioni (valutate attraverso un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica).

L'equazione della quantità di moto è usata nelle sezioni in cui il profilo della corrente è sottoposto a brusche variazioni, quindi in condizioni di regime misto, nei passaggi da corrente veloce a lenta, in corrispondenza dei ponti e nelle zone di confluenza.

Per poter girare HEC - RAS necessita della conoscenza della geometria dell'alveo, della portata di progetto, delle varie condizioni al contorno imposte a monte e a valle del bacino e infine del coefficiente di scabrezza di Manning.

Nella tabella sottostante sono invece indicati alcuni valori tipici del coefficiente di Strickler (coefficiente di scabrezza) per le varie tipologie di corsi d'acqua:

Tipologia del corso d'acqua	$k_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
Corsi d'acqua minori (raggio idraulico $\cong 2$ m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
• alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45 + 40
• alvei regolari con vegetazione erbacea	30 + 35
• alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25 + 30
• alvei fortemente irregolari	25 + 15
Torrenti montani	
• fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi	30 + 25
• alveo in roccia regolare	30 + 25
• fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20 + 15
• alveo in roccia irregolare	20 + 15
Corsi d'acqua maggiori (raggio idraulico $\cong 4$ m; larghezza in piena > 30 m)	
• sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45 + 40
• sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	25 + 30
• sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	35
• in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20 + 25

Tabella 2 Coefficiente di Strickler in funzione della tipologia del corso d'acqua

Si ricorda che il coefficiente di scabrezza k_s di Strickler è l'inverso del coefficiente di Manning n (coefficiente utilizzato dal software HEC-RAS):

$$k_s = \frac{1}{n}$$

La determinazione dei parametri di scabrezza da associare alle varie sezioni di calcolo presenta svariate criticità a causa della significativa influenza di tali valori sui livelli di corrente. Generalmente la scabrezza caratteristica di un tratto di corso d'acqua è funzione di molteplici fattori tutti indipendenti tra loro, quali:

- morfologia e planimetria dell'alveo;
- materiale del fondo dell'alveo e delle golene;
- irregolarità delle sezioni trasversali;
- presenza di ostruzioni, attraversamenti e ponti;
- presenza di vegetazione.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone alle quali assegnare un diverso valore del parametro n ; in particolare si possono individuare tre zone fondamentali:

- la zona centrale dell'alveo inciso (*main channel*);
- due zone laterali golenali (*right e left overbank*).

Per l'intera sezione di deflusso HEC RAS calcola il valore di alcune grandezze idrauliche, tra le quali:

- portata;
- velocità media sulla sezione;
- quota della superficie libera;
- tensioni tangenziali;
- tirante idraulico;
- numero di Froude (numero che indica lo stato della corrente).

10.2 Modello numerico di riferimento

Schematizzazione geometrica. Per la definizione della geometria del tratto di corso del torrente Toscolano sono stati condotti alcuni sopralluoghi. Le sezioni trasversali invece sono basate sull'aerofotogrammetrico con scala 1:2.000 del territorio comunale di Toscolano Maderno e sulle sezioni del rilievo topografico del lavoro "Realizzazione di due nuovi ponti sul torrente Toscolano" redatto dagli scriventi in data luglio 1998.

Le sezioni utilizzate sono ubicate all'altezza dell'area di intervento e si sviluppano longitudinalmente per un tratto lungo circa 40m. Nel complesso sono state elaborate n.4 sezioni trasversali all'alveo, numerate in ordine crescente a partire da valle (sezione n.1.000 con alveo posto a 68.20 m s.l.m.) verso monte (sezione n.3.100 – alveo posto a 68.5 m s.l.m.). Essendo in prossimità della foce la pendenza dell'asta torrentizia nel tratto considerato è molto bassa, pari a circa $p=1-2\%$.

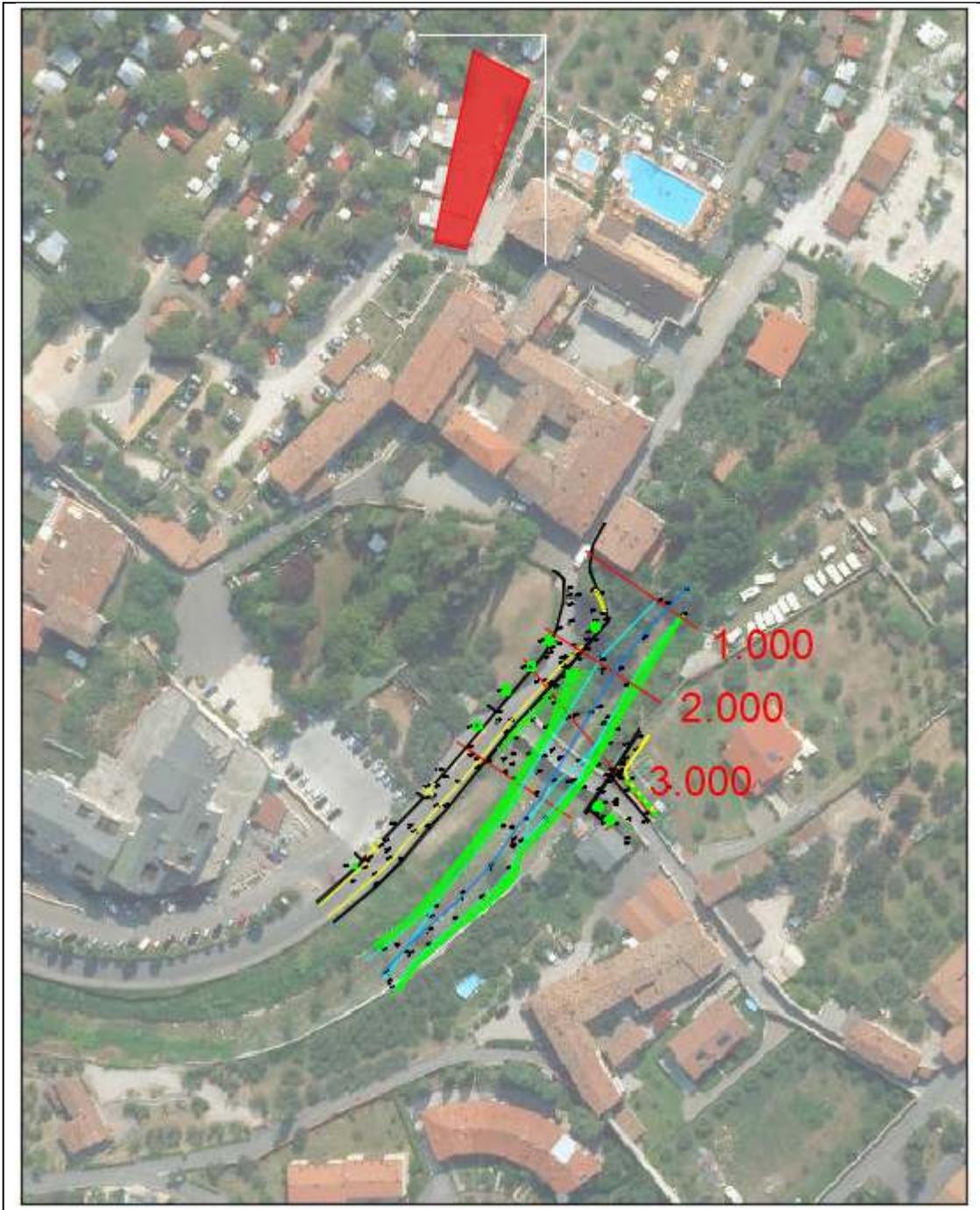


Figura 11 Schematizzazione del tratto di torrente Toscolano e relative sezioni verificate con Hec Ras

Vista la morfologia del territorio a ridosso del torrente e del tratto oggetto di analisi, le sezioni dell'alveo sono state prolungate volutamente alle zone limitrofe. Si è prestata particolare attenzione alla sezione n.1.000 (sezione di valle) che presenta un restringimento dell'alveo.

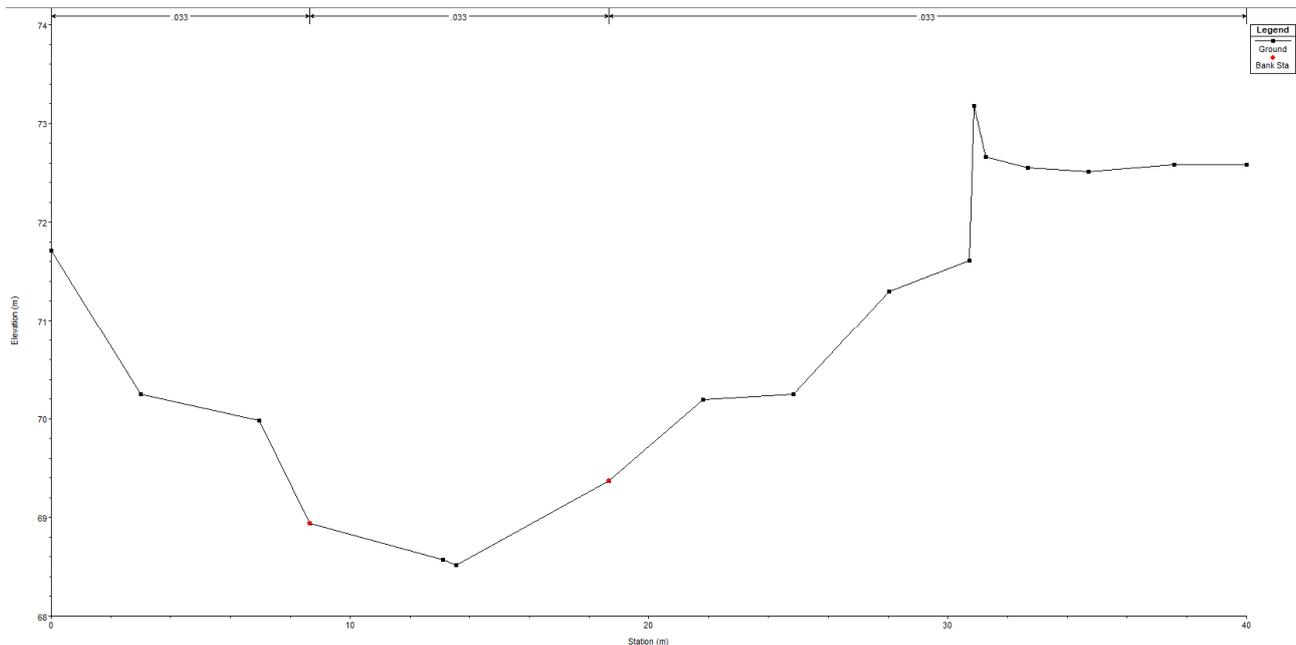


Figura 12 Profilo tipo dell'alveo con Hec Ras - sezione n.3.000 con coefficiente di Manning $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$

In figura è stato riportato solo il profilo di una sezione tipo, nello specifico si tratta della sezione n.3.000 posta a monte. Per la visione di tutte le sezioni individuate e studiate si rimanda ai capitoli successivi.

Coefficienti di scabrezza e condizioni al contorno. In questo caso l'alveo è stato modellato utilizzando un coefficiente di scabrezza di Manning $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (corrispondente ad un coefficiente di Strickler K_s di circa $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$). Si tratta di un valore tipico per corsi d'acqua minori con alvei caratterizzati dalla presenza di ciottoli e irregolarità modeste quali presenza di vegetazione di tipo erbaceo (si rimanda alla Tabella 2).

Portate idrologiche in ingresso. Come accennato nei capitoli precedenti, viste le verifiche idrauliche eseguite in passato per il torrente Toscolano, si è valutato opportuno eseguire le analisi con riferimento ai seguenti valori di portata di piena (da studio ENEL – diga ponte Cola):

- $Q_{(\text{prova scarico diga})} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$

10.3 Scenari di simulazione

Per l'analisi del tratto di torrente Toscolano di cui in oggetto si è valutato opportuno utilizzare il modello di simulazione che considera il moto permanente.

Dopo aver inserito i valori delle portate (portata ricorrente e portata centenaria) necessarie alla caratterizzazione idraulica del corso d'acqua considerato, sono state definite le condizioni al contorno necessarie per stabilire il livello iniziale della superficie libera (per poter quindi avviare la successiva fase di modellazione) ed è stata utilizzata la *condizione di corrente mista*

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, tra le varie opzioni si è scelto di utilizzare l'altezza critica (*Critical Depth*), la quale pone la condizione al contorno uguale alla profondità critica calcolata dal programma per ogni singolo profilo.

Infine per l'avvio dell'analisi di *moto permanente (Steady Flow Analysis)* con le caratteristiche della corrente compatibili con il regime idraulico (*Flow Regime*) scelto.

Il problema nella zona considerata riveste una particolare importanza poiché occorre fare riferimento ad un profilo idrico che tenga conto della possibilità che parte del deflusso vada ad occupare le zone limitrofe al corso d'acqua. A tal riguardo si possono verificare due scenari di assetto idraulico:

- assenza di deflusso: l'altezza delle sponde risulta sufficiente al contenimento delle portate;
- presenza di deflusso: lo schema considera le condizioni di moto che potrebbero interessare le zone di piano campagna limitrofe allagate fino al raggiungimento di un limite morfologico che riesca a contenere l'inondazione.

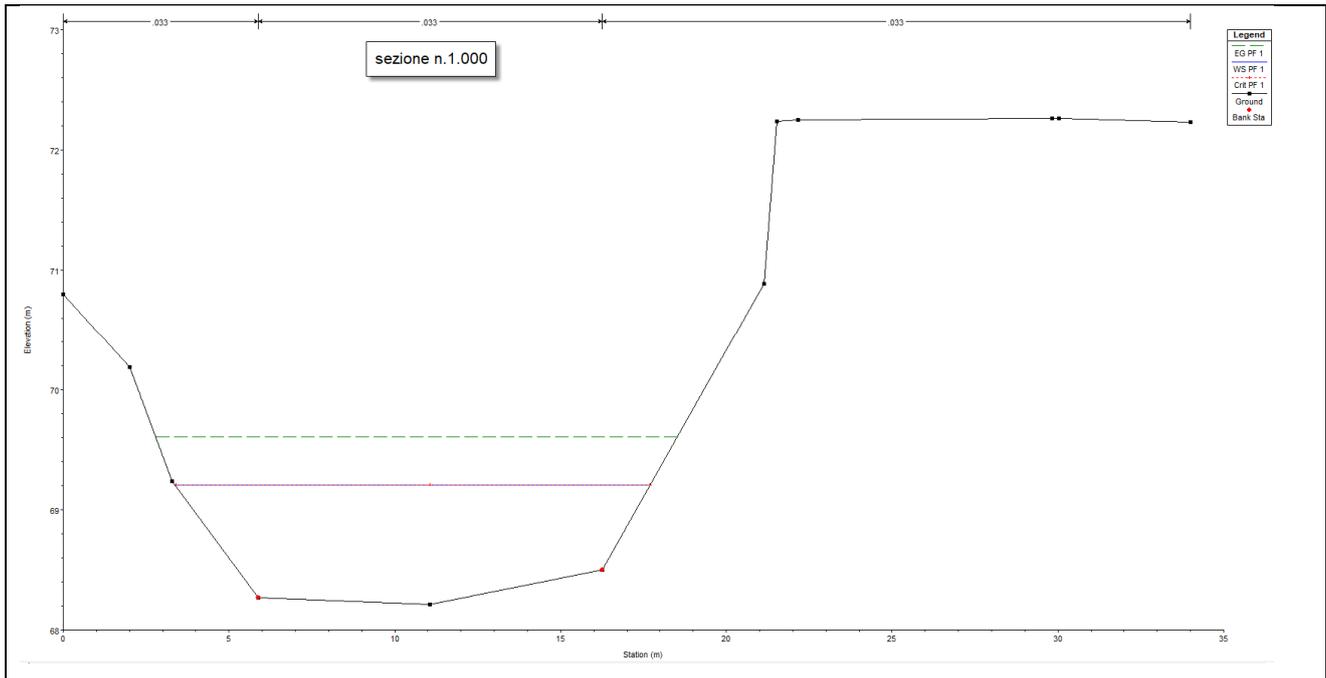


Figura 13 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del tirante idraulico per $Q(\text{scarico diga})=30\text{m}^3/\text{s}$

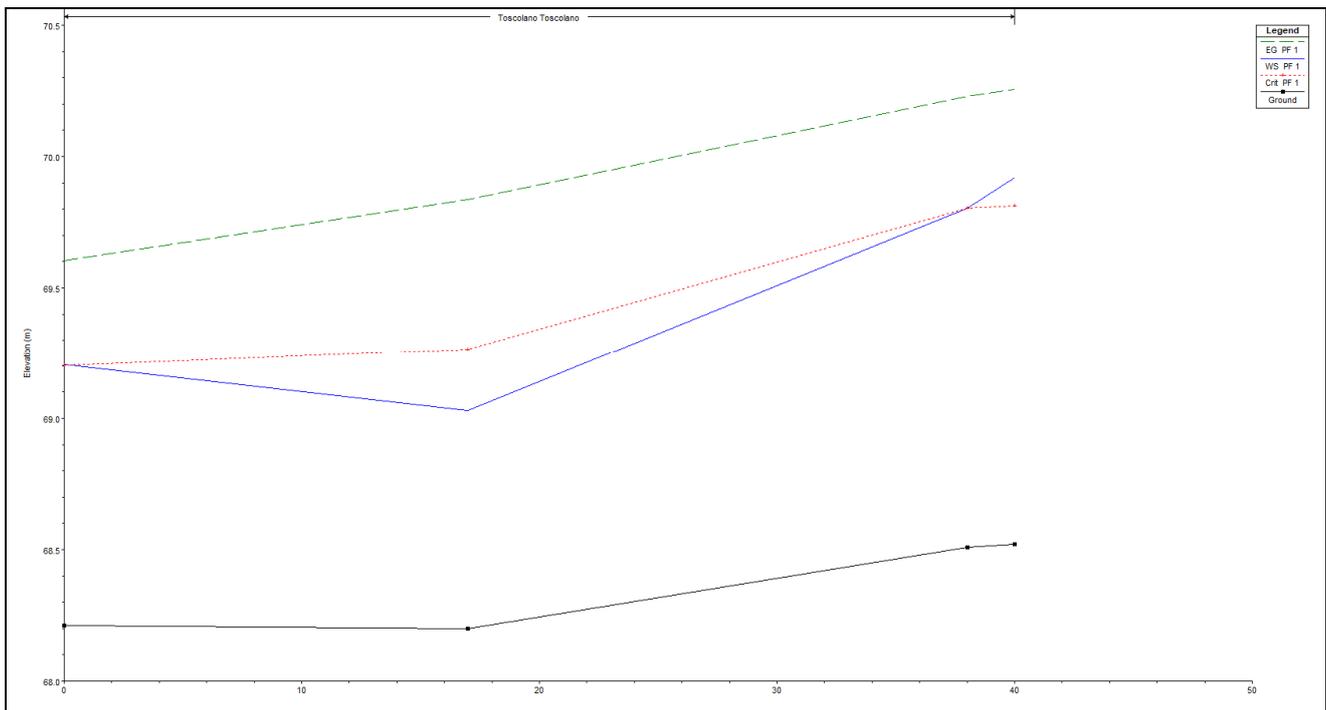


Figura 14 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(\text{scarico diga})=30\text{m}^3/\text{s}$

Si propongono infine le tabelle con i risultati delle simulazioni effettuate. Per ciascuna sezione sono indicati:

- River Station (sezione);
- Q Total (portata defluente);

- Min Ch El (quota minima dell'alveo);
- W.S. Elev (quota idrica stimata);
- Crit W.S (quota altezza critica);
- E.G. Elev (linea dell'energia);
- Vel Chnl (velocità media della corrente in alveo);
- Flow Area (area totale della sezione interessata dal deflusso);
- Froude # Chl (numero di Froude).

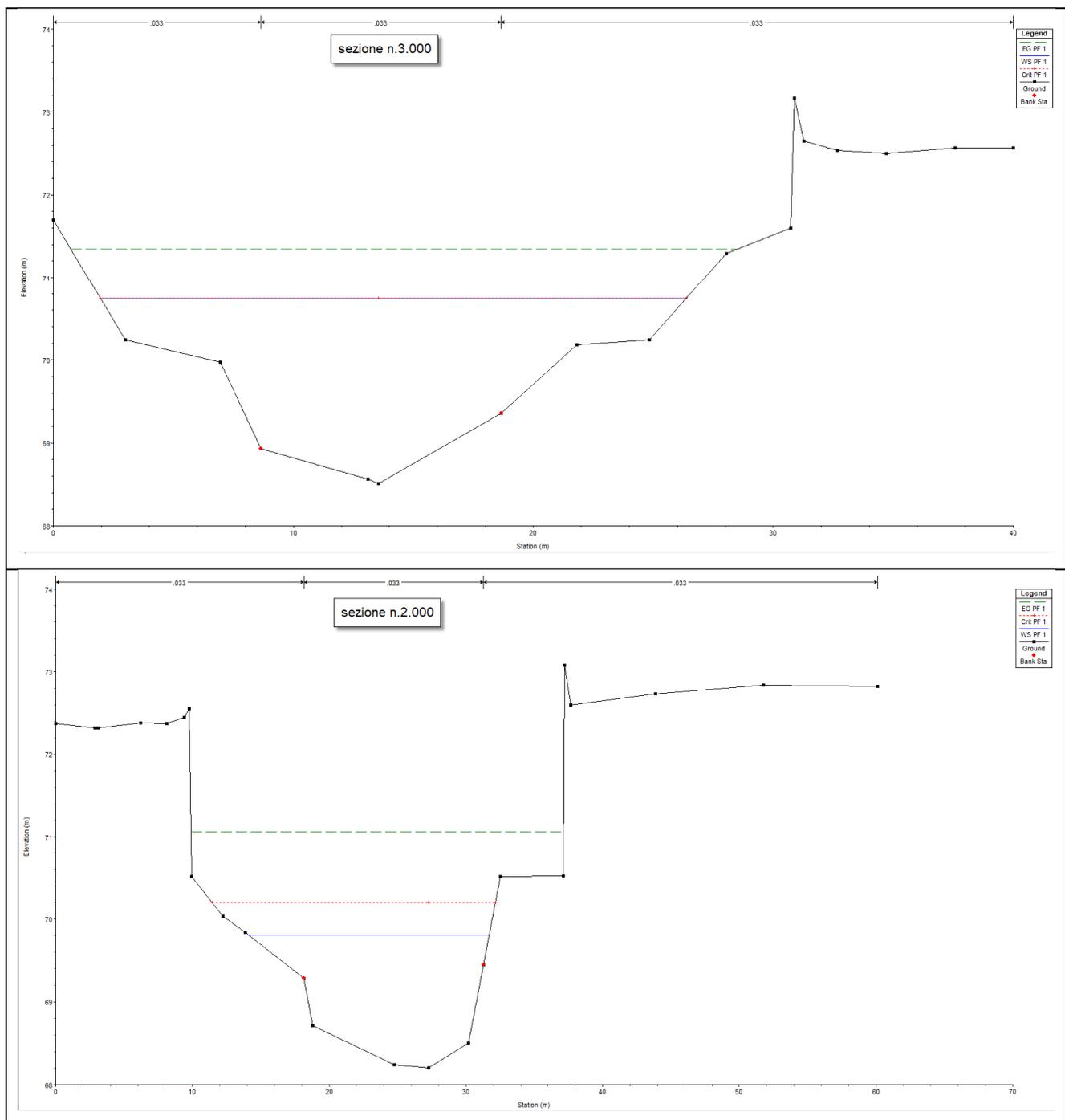
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Toscolano	3.100	PF 1	30.00	68.52	69.92	69.81	70.26	0.006897	2.63	12.13	13.70	0.81
Toscolano	3.000	PF 1	30.00	68.51	69.80	69.80	70.23	0.006954	2.95	10.71	13.12	0.96
Toscolano	2.900	PF 1	30.00	68.20	69.03	69.27	69.84	0.034757	3.98	7.53	12.39	1.63
Toscolano	1.000	PF 1	30.00	68.21	69.20	69.20	69.60	0.010405	2.89	11.07	14.30	0.97

Tabella 3 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - Q(scarico diga)=30 m³/s

10.5 Risultati delle simulazioni e analisi delle condizioni di deflusso: portata ordinaria $Q=90\text{m}^3/\text{s}$

Dall'analisi delle condizioni di deflusso e con riferimento a $Q(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})=90\text{m}^3/\text{s}$, si osserva che la portata di piena ordinaria transita all'interno dell'alveo senza creare allagamenti delle aree limitrofe nel rispetto dei franchi di sicurezza.

Si riportano di seguito le sezioni con individuazione del tirante idrico:



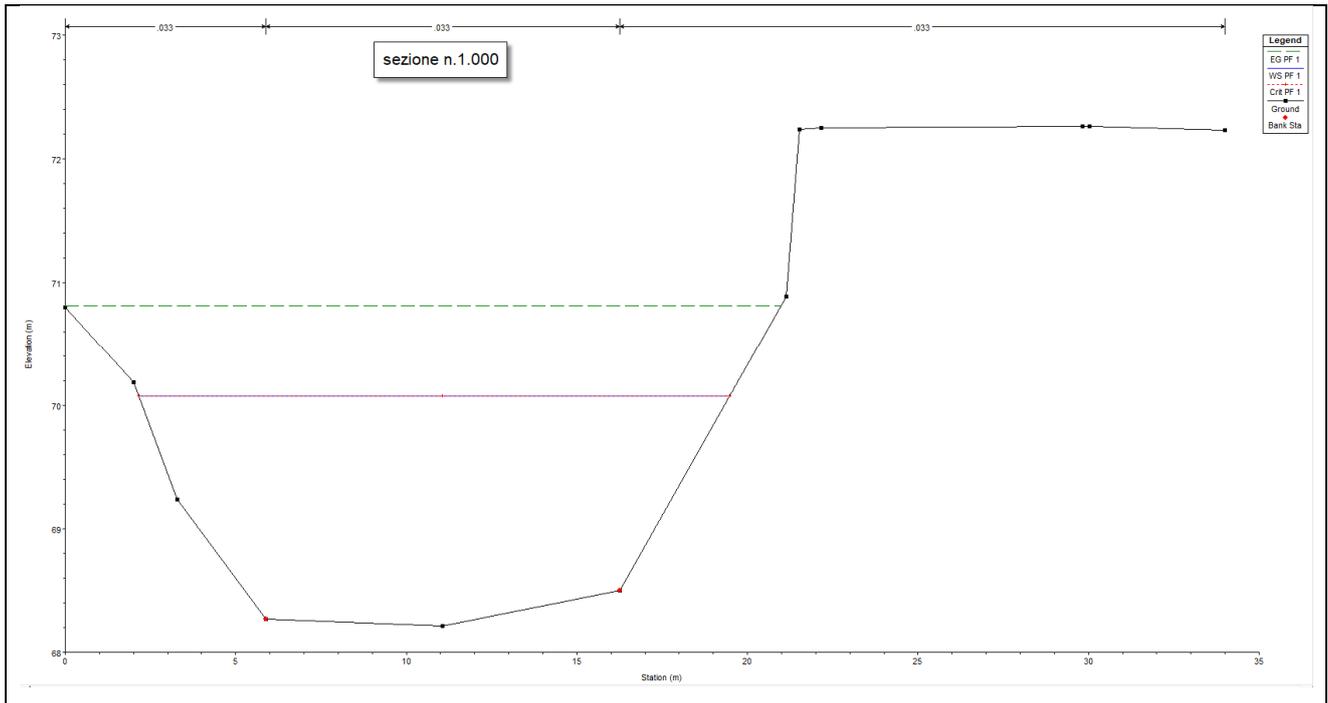


Figura 15 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del firante idraulico per $Q(\text{Tr}=4\text{anni})=90\text{m}^3/\text{s}$

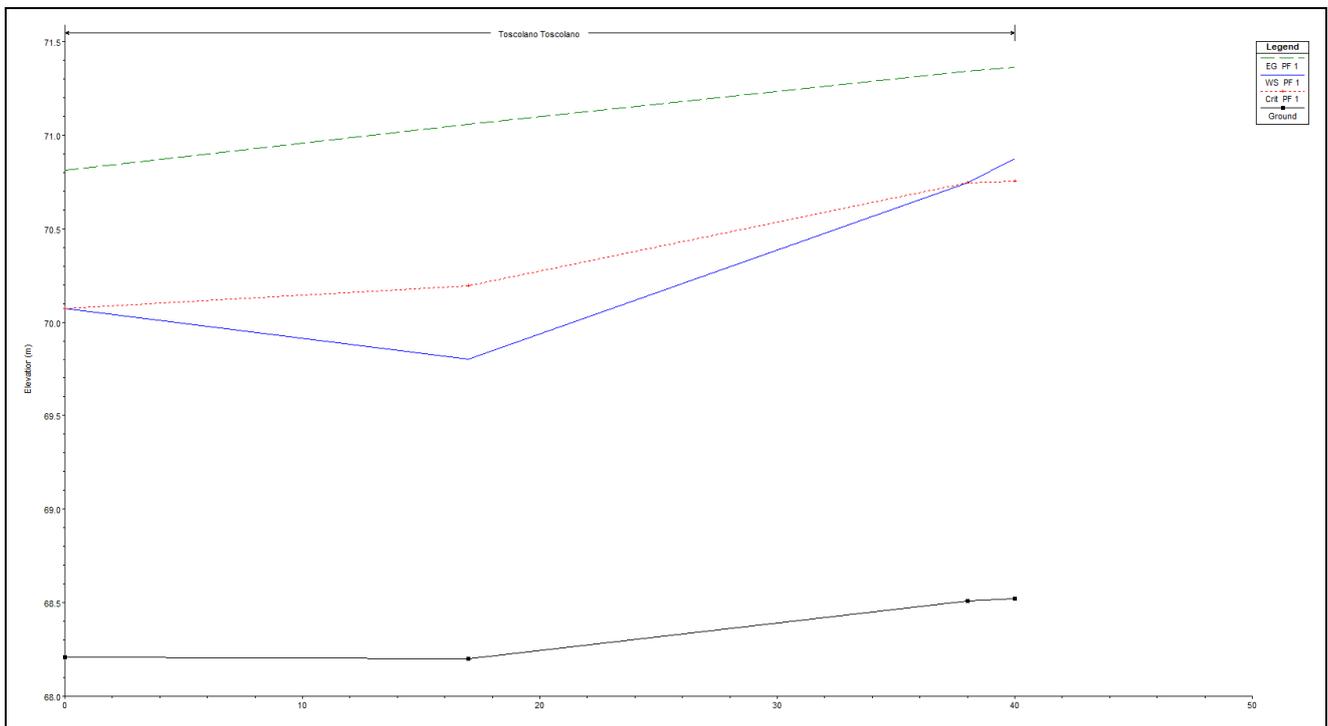


Figura 16 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(\text{Tr}=4\text{anni})=90\text{m}^3/\text{s}$

Si propongono infine le tabelle con i risultati delle simulazioni effettuate. Per ciascuna sezione sono indicati:

- River Station (sezione);
- Q Total (portata defluente);
- Min Ch El (quota minima dell'alveo);
- W.S. Elev (quota idrica stimata);
- Crit W.S (quota altezza critica);
- E.G. Elev (linea dell'energia);
- Vel Chnl (velocità media della corrente in alveo);
- Flow Area (area totale della sezione interessata dal deflusso);
- Froude # Chl (numero di Froude).

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Toscolano Reach: Toscolano Profile: PF 1

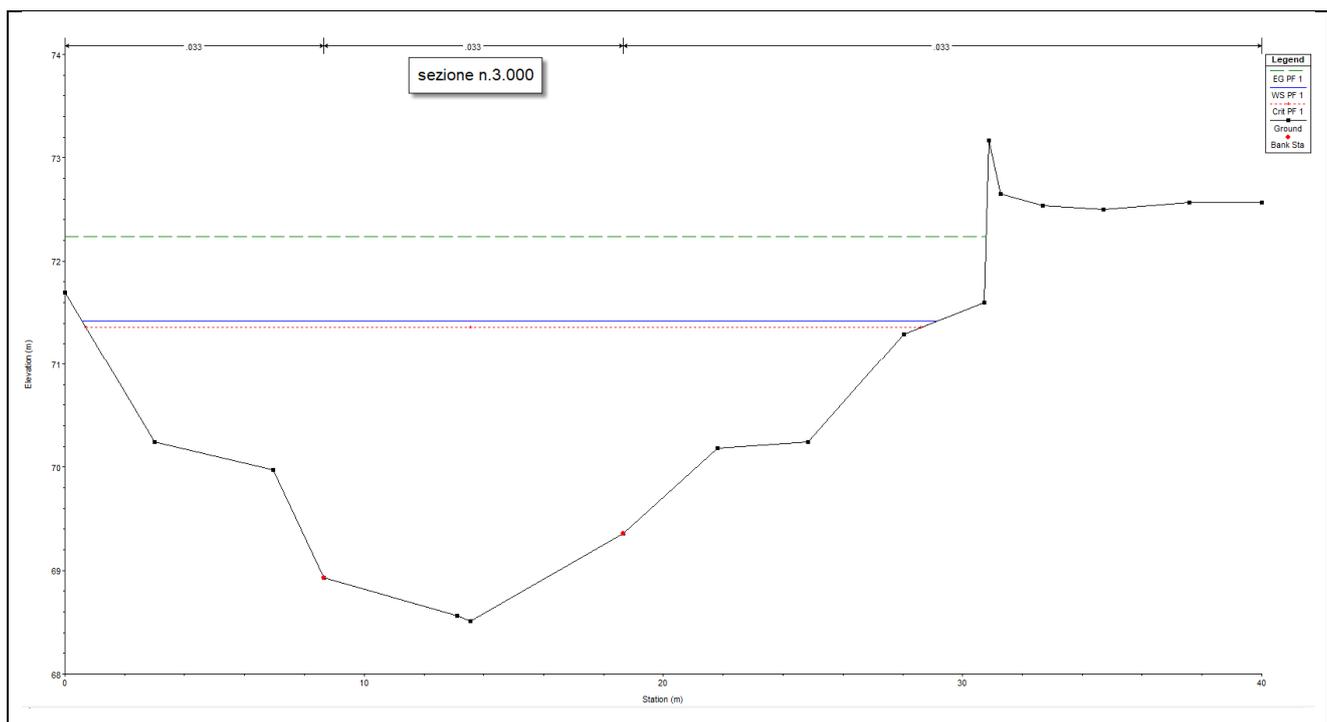
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Toscolano	3.100	PF 1	90.00	68.52	70.88	70.75	71.36	0.004829	3.40	32.19	25.03	0.76
Toscolano	3.000	PF 1	90.00	68.51	70.74	70.74	71.34	0.006443	3.73	29.19	24.41	0.86
Toscolano	2.000	PF 1	90.00	68.20	69.81	70.20	71.06	0.019584	5.00	18.74	17.57	1.38
Toscolano	1.000	PF 1	90.00	68.21	70.08	70.08	70.81	0.008211	4.03	24.87	17.31	0.96

Tabella 4 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - Q(Tr=4anni)=90m³/s

10.6 Risultati delle simulazioni e analisi delle condizioni di deflusso: piena centenaria $Q=170\text{m}^3/\text{s}$

Dall'analisi delle condizioni di deflusso e con riferimento a $Q(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})=170\text{ m}^3/\text{s}$, si osserva che la portata di piena centenaria impegnerebbe significativamente i franchi spondali per le sezioni di valle e creerebbe allagamenti delle aree limitrofe. Infatti dalla figura 17 si osserva che il tirante idrico non è verificato per la sezione posta a valle (sezione n.1.000) la quale presenta un restringimento dell'alveo nel tratto finale considerato. Pertanto tale sezione risulta insufficiente a trattenere le piene centenarie. Preme sottolineare che tali risultati erano emersi anche nei lavori precedenti eseguiti dagli scriventi con riferimento al tratto finale del torrente Toscolano.

Si riportano di seguito le sezioni con individuazione del tirante idrico:



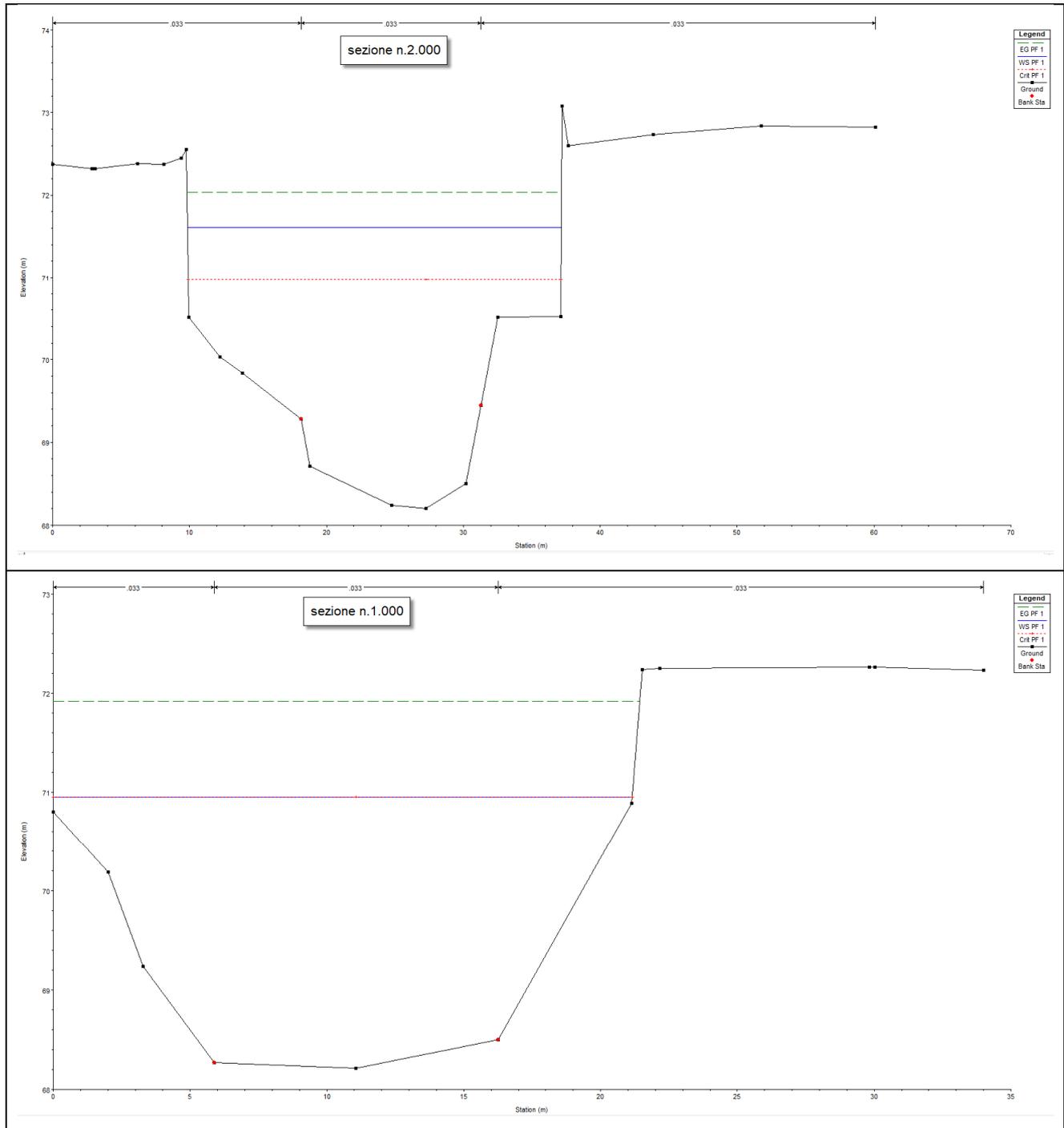


Figura 17 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del firante idraulico per $Q(T_r=100 \text{ anni})=170\text{m}^3/\text{s}$

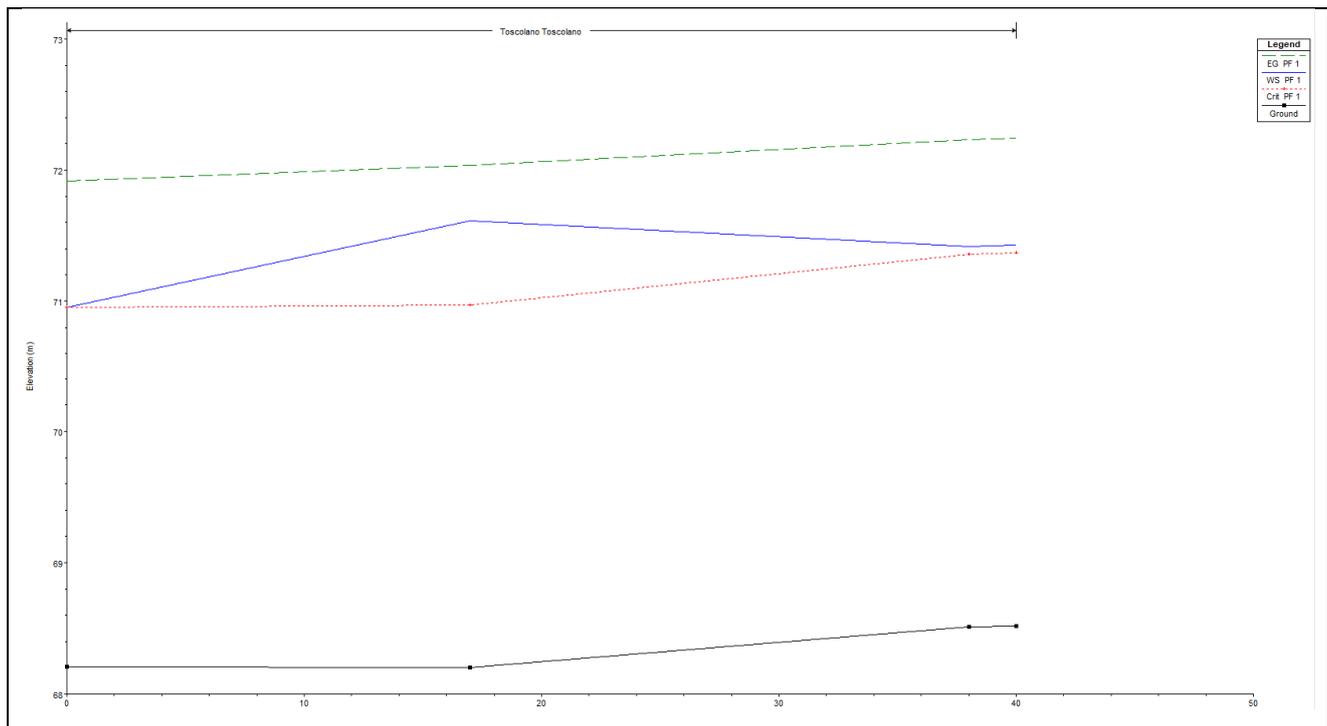


Figura 18 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(Tr=100\text{anni})=170\text{m}^3/\text{s}$

Si propongono infine le tabelle con i risultati delle simulazioni effettuate. Per ciascuna sezione sono indicati:

- River Station (sezione);
- Q Total (portata defluente);
- Min Ch El (quota minima dell'alveo);
- W.S. Elev (quota idrica stimata);
- Crit W.S (quota altezza critica);
- E.G. Elev (linea dell'energia);
- Vel Chnl (velocità media della corrente in alveo);
- Flow Area (area totale della sezione interessata dal deflusso);
- Froude # Chl (numero di Froude).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Toscolano	3.100	PF 1	170.00	68.52	71.43	71.37	72.24	0.005304	4.51	46.89	28.59	0.89
Toscolano	3.000	PF 1	170.00	68.51	71.42	71.36	72.23	0.005330	4.51	46.81	28.56	0.90
Toscolano	2.000	PF 1	170.00	68.20	71.61	70.97	72.04	0.002478	3.14	63.04	27.31	0.57
Toscolano	1.000	PF 1	170.00	68.21	70.95	70.95	71.92	0.005645	4.73	41.86	21.15	0.93

Tabella 5 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - $Q(Tr=100\text{anni})=170\text{m}^3/\text{s}$

11 Considerazioni conclusive

Su incarico del Dott. Geol. Daniele Gasparetti e per conto della Società Speranza di Bellicini Regina & C. s.a.s. di Toscolano Maderno, è stato eseguito uno studio di compatibilità idraulica con riferimento ai lavori di "Demolizione corpo di fabbrica esistente con ricostruzione ed ampliamento Corpo F". L'edificio è situato nel Comune di Toscolano Maderno, in via Religione n.53, in sinistra idrografica rispetto al torrente Toscolano.

Dalle norme tecniche del Comune di Toscolano Maderno, redatte con riferimento alla classe 2a, si osserva che è previsto *"parere favorevole all'edificabilità previa indagini e approfondimenti tecnici...omissis...valutazioni circa la presenza di sezioni critiche a monte dell'area con verifica delle sezioni idrauliche, analisi geomorfologica ed idraulica del corso del torrente esaminato"*.

La presente relazione di pone come obiettivo specifico l'analisi e le verifiche di compatibilità idraulica dei lavori di cui in oggetto. Nel complesso lo studio è stato articolato come segue:

- Sopralluoghi di campagna per l'identificazione delle criticità in sito
- Analisi preliminare: acquisizione di fonti bibliografiche e documentazione tecnica esistente, studio del materiale disponibile;
- Sintesi e valutazione: valutazione dei dati acquisiti, inquadramento geologico-geomorfologico e idrologico dell'area, definizione del modello di calcolo e studio idraulico, analisi delle eventuali situazione di criticità (reali e potenziali).

Nell'ambito del presente lavoro è stata consultata la documentazione della componente geologica del PGT e del RIM per componente idrogeologica.

Si è valutato opportuno eseguire le analisi idrauliche con riferimento ai seguenti valori di portata di piena (da studio ENEL – diga ponte Cola):

- $Q_{(\text{prova scarico diga})}=30 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})}=90 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})}=170 \text{ m}^3/\text{s}$

Dalle valutazioni effettuate è emerso che le verifiche idrauliche sono soddisfatte per:

- Per $Q_{(\text{prova scarico diga})}=30 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata di piena rilasciata dalla diga posta a monte transita con un franco superiore ai minimi di sicurezza all'interno delle sezioni considerate e non creerebbe allagamenti delle aree limitrofe;
- Per $Q_{(\text{tr}=4\text{anni, con laminazione})}=90 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata di piena ordinaria transita all'interno dell'alveo senza creare allagamenti delle aree limitrofe nel rispetto dei franchi minimi di sicurezza;

Ulteriori approfondimenti eseguiti con i dati idrologici a disposizione evidenziano che l'alveo del torrente non risulta verificato nella seguente condizione:

- Per $Q_{(\text{tr}=100\text{anni, con laminazione})}=170 \text{ m}^3/\text{s}$, si osserva che la portata impegnerebbe significativamente i franchi spondali per le sezioni di valle e creerebbe allagamenti nell'area a valle del comparto di studio.

Preme sottolineare che tali risultati (riferiti alla portata centenaria) erano emersi anche nei lavori precedenti eseguiti sempre con riferimento al tratto finale del torrente Toscolano.

Studio Conti Associati

Dott. Geol. Antonio Conti



Antonio Conti

Dott. Ing. Francesco Bocchio



Francesco Bocchio

Indice tabelle e immagini

Tabelle

Tabella 1 Softwares utilizzati per la realizzazione dell'elaborato.....	6
Tabella 2 Coefficiente di Strickler in funzione della tipologia del corso d'acqua	27
Tabella 3 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - $Q(\text{scarico diga})=30 \text{ m}^3/\text{s}$	35
Tabella 4 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - $Q(\text{Tr}=4\text{anni})=90\text{m}^3/\text{s}$	38
Tabella 5 Risultati delle simulazioni eseguite con Hec Ras - $Q(\text{Tr}=100 \text{ anni})=170\text{m}^3/\text{s}$	41

Figure

Figura 1 Stralcio, non in scala, con individuazione dell'area oggetto di studio [CTR 1:10000 sez. E5a3 Toscolano Maderno]	3
Figura 2 Immagine satellitare dell'area interessata da intervento con indicazioni coordinate geografiche [Bing Maps]	4
Figura 3 Stralcio, non in scala planimetria di progetto con individuazione del corpo F oggetto di analisi di compatibilità idraulica	9
Figura 4 Stralcio carta dei vincoli geologici [tav. 1.3.2.a del PGT vigente].....	11
Figura 5 Stralcio carta del dissesto con legenda uniformata PAI [tav. 09 del PGT vigente]	12
Figura 6 Stralcio Carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano [Tav.T08a SG del PGT vigente]	13
Figura 7 Stralcio Norme tecniche e prescrizioni per la classe di fattibilità geologica 2a.....	14
Figura 8 Stralcio carta di sintesi della pericolosità geologica [tav. 06 del PGT vigente].....	16
Figura 9 Estratto Carta della dinamica geomorfologica [Tav. 02]	19
Figura 10 Estratto PGT vigente, Carta idrologica e idrogeologica [Tav. 03].....	21
Figura 11 Schematizzazione del tratto di torrente Toscolano e relative sezioni verificate con Hec Ras	30
Figura 12 Profilo tipo dell'alveo con Hec Ras - sezione n.3.000 con coefficiente di Manning $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$	31
Figura 13 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del tirante idraulico per $Q(\text{scarico diga})=30\text{m}^3/\text{s}$	34
Figura 14 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(\text{scarico diga})=30\text{m}^3/\text{s}$	34
Figura 15 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del tirante idraulico per $Q(\text{Tr}=4\text{anni})=90\text{m}^3/\text{s}$	37
Figura 16 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(\text{Tr}=4\text{anni})=90\text{m}^3/\text{s}$	37
Figura 17 Sezioni n.3.000, n.2.000 e n.1.000 con individuazione del tirante idraulico per $Q(\text{Tr}=100 \text{ anni})=170\text{m}^3/\text{s}$	40
Figura 18 Tratto torrente Toscolano - Hec Ras profilo della superficie libera - $Q(\text{Tr}=100\text{anni})=170\text{m}^3/\text{s}$	41