

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**ANALISI IDRAULICHE FUNZIONALI AL PIANO LOCALE
DI INTERVENTO PER RISCHIO IDRAULICO DEL
COMUNE DI BASSANO DEL GRAPPA**

Relatore: Chiar.mo PROF. DANIELE PIETRO VIERO

Laureando: TAMARA TEDESCO 1225585

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Ai miei genitori

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	7
1.1. PRESENTAZIONE ANALISI	7
1.2. INQUADRAMENTO DEL BACINO DEL FIUME BRENTA	8
2. ALLESTIMENTO E VERIFICA DEL MODELLO IDRODINAMICO	10
2.1. ALLESTIMENTO DEL MODELLO	10
2.2. DATI UTILIZZATI PER LA VERIFICA DEL MODELLO	15
3. CALIBRAZIONE E VERIFICA DEL MODELLO IDRODINAMICO.....	21
3.1. CALIBRAZIONE DEL MODELLO	21
3.2. VERIFICA DEL MODELLO	23
4. RISULTATI FINALI E CONCLUSIONI.....	29
5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	35

1. INTRODUZIONE

1.1. Presentazione Analisi

Il Ponte degli Alpini è situato nel centro storico di Bassano del Grappa, al di sotto del quale scorre il Fiume Brenta (Figura 1). Il Ponte collega il lato Bassano (sinistra idrografica) con il lato Angarano (destra idrografica) ed è circondato da strade ed edifici che, negli anni passati, sono stati parzialmente o totalmente allagati a causa degli eventi di piena del Fiume Brenta.



Figura 1: vista del Ponte degli Alpini e del Fiume Brenta da una delle terrazze di Via Volpato, in destra idrografica.

Per questo motivo, il Comune di Bassano del Grappa è dotato di un Piano Locale di Intervento per Rischio Idraulico (PLI), in cui vengono definiti dei livelli di criticità di portata transitante nel fiume e, in base a questa, vengono associati dei livelli di preallarme, allarme ed emergenza, e le azioni da intraprendere.

Nell'ambito dell'ultimo restauro del Ponte degli Alpini, nel 2020 il Dip. ICEA dell'Università di Padova ha eseguito uno studio idraulico volto ad aggiornare il PLI per rischio idraulico legato allo stato idrometrico e alla portata transitante nel Fiume Brenta, qui analizzato e ripercorso nei suoi aspetti principali. Per raggiungere questo obiettivo, è stato utilizzato un modello idrodinamico del corso del Fiume Brenta, allestito per le analisi funzionali ai lavori di sistemazione del Ponte degli Alpini, e successivamente esteso per

includere le aree potenzialmente allagabili dal fiume. Il modello è stato calibrato sulla base di dati ARPAV misurati nella stazione di Barzizza (a monte del Ponte degli Alpini, in destra idrografica), confrontando quindi i dati di livello idrometrico ottenuti forniti dal modello stesso con dati storici misurati nel corso di eventi di piena significativi.

Funzionale allo studio, è stato eseguito un rilievo topografico dell'area circostante al Ponte degli Alpini che ha consentito di ottenere una precisa e puntuale descrizione plano-altimetrica delle aree potenzialmente allagabili. Da una parte, questo ha consentito di descrivere in modo ottimale il territorio mediante il modello idrodinamico; dall'altra, la conoscenza della quota precisa di tutte le zone potenzialmente allagabili e di tutte le aperture (porte, finestre, varchi) che si affacciano sul fiume ha consentito di collegare il livello idrometrico di ogni singola apertura al valore di portata che corrisponde al suo allagamento.

1.2. Inquadramento Del Bacino Del Fiume Brenta

Il Fiume Brenta ha origine dalle acque del Lago di Caldonazzo, in Trentino: procedendo verso est, viene alimentato dal Lago di Levico e da vari torrenti (tra cui il Cismon, caratterizzato da un bacino idrografico molto esteso), per poi raggiungere la pianura e sfociare nei pressi di Chioggia (VE), percorrendo circa 174 chilometri.

Il corso principale del Fiume Brenta viene comunemente diviso in due parti: quella montana, che interessa il tratto di fiume compreso tra la sorgente e Bassano del Grappa, e quella di pianura, che interessa il tratto terminale, fino alla foce (Figura 2).

Per le analisi idrauliche di interesse verrà considerato solo il bacino montano del Fiume Brenta, chiuso a Bassano del Grappa, di estensione pari a 1567 km². È interessante osservare che le aree che compongono tale bacino sono molto diverse tra loro: nella prima parte vicino al lago di Caldonazzo la presenza di rocce eruttive e metamorfiche, molto impermeabili, ha contribuito alla formazione di una fitta rete idrografica che è però assente nella parte restante del bacino, caratterizzato da rocce sedimentarie, molto permeabili. Alcuni torrenti di modesta importanza cominciano però a ricomparire nel tratto compreso tra la confluenza del Fiume Brenta e il Torrente Cismon e Bassano del Grappa.

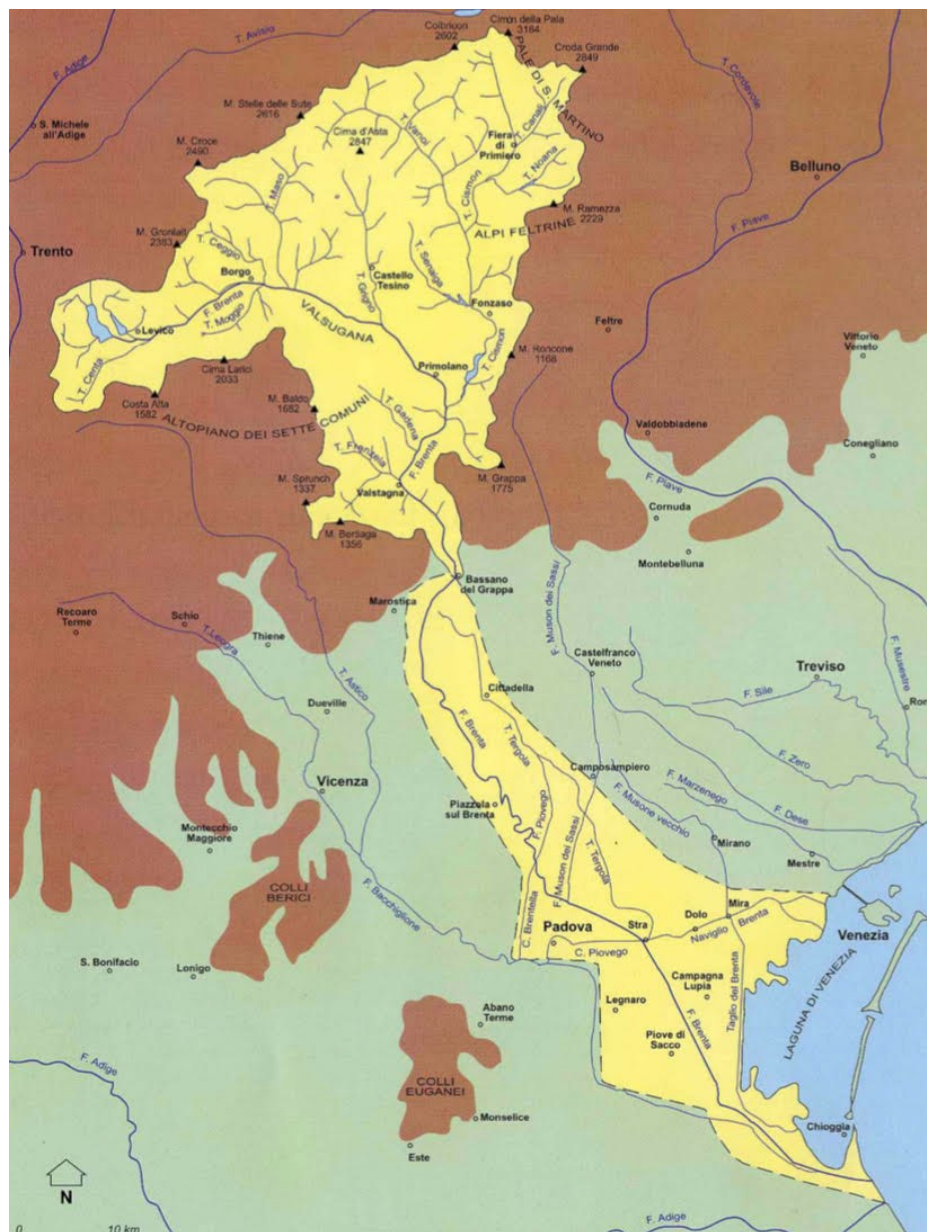


Figura 2: bacino idrografico del Fiume Brenta.

2. ALLESTIMENTO E VERIFICA DEL MODELLO IDRODINAMICO

In questo capitolo vengono presentati i dati di partenza che sono stati utilizzati e, dopo aver incluso la schematizzazione delle aree allagabili, vengono presentati i dati storici utilizzati per le verifiche e alcune considerazioni sul reticolo di calcolo.

2.1. Allestimento Del Modello

Come dati di partenza, sono stati ottenuti dall'Ufficio database geotopografico e reti geodetiche e centro documentazione per la cartografia, U.O. Pianificazione territoriale strategica e cartografica della direzione Pianificazione Territoriale della Regione del Veneto, i dati LiDAR del volo Etra del 2010.

La tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging) si basa sull'emissione e ricezione di un segnale Laser da un aeromobile che, riflettendo nella superficie terrestre e conoscendo la posizione dell'aereo, permette di ricavare la distanza e quindi le coordinate (x,y,z) dei punti. Questo sistema di misura 3D ha quindi permesso di rilevare con una risoluzione spaziale di 1 m il territorio di Bassano del Grappa restituendo modelli digitali del terreno e di superficie:

- Il DSM (Modello Digitale delle Superfici), comprendente il terreno spoglio, gli edifici, le chiome degli alberi e la vegetazione;
- Il terreno senza edifici e vegetazione;
- Il DTM (Modello Digitale del Terreno), dove i dati delle zone occupate da edifici e vegetazione sono interpolati con dati altimetrici circostanti.

I dati LiDAR forniscono rapidamente un'idea dell'andamento del terreno nelle zone limitrofe al Ponte degli Alpini e la disposizione degli edifici circostanti (Figura 3). È tuttavia importante ricordare che alcuni elementi di dimensioni modeste (quali, ad esempio, muretti) che possono influenzare notevolmente le dinamiche di esondazione non sono visibili nei dati LiDAR a causa della risoluzione di tale tecnologia e come tali dovranno essere integrati in un secondo momento.



Figura 3: Restituzione ombreggiata a colori del Modello delle Superfici (DSM) ottenuto dal volo LiDAR Etra del 2010.

Il secondo set di dati utilizzati sono le quote del fondo di alcune sezioni rilevate nel 2006 da Land Technology & Services per conto dell’Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione e alcune sezioni più recenti effettuate da Watersoil s.r.l. per conto di Arpav nel 2012, in prossimità della stazione di Barzizza, nel lato Angarano, in destra idrografica, di fronte all’omonima centrale idroelettrica (Figura 4).

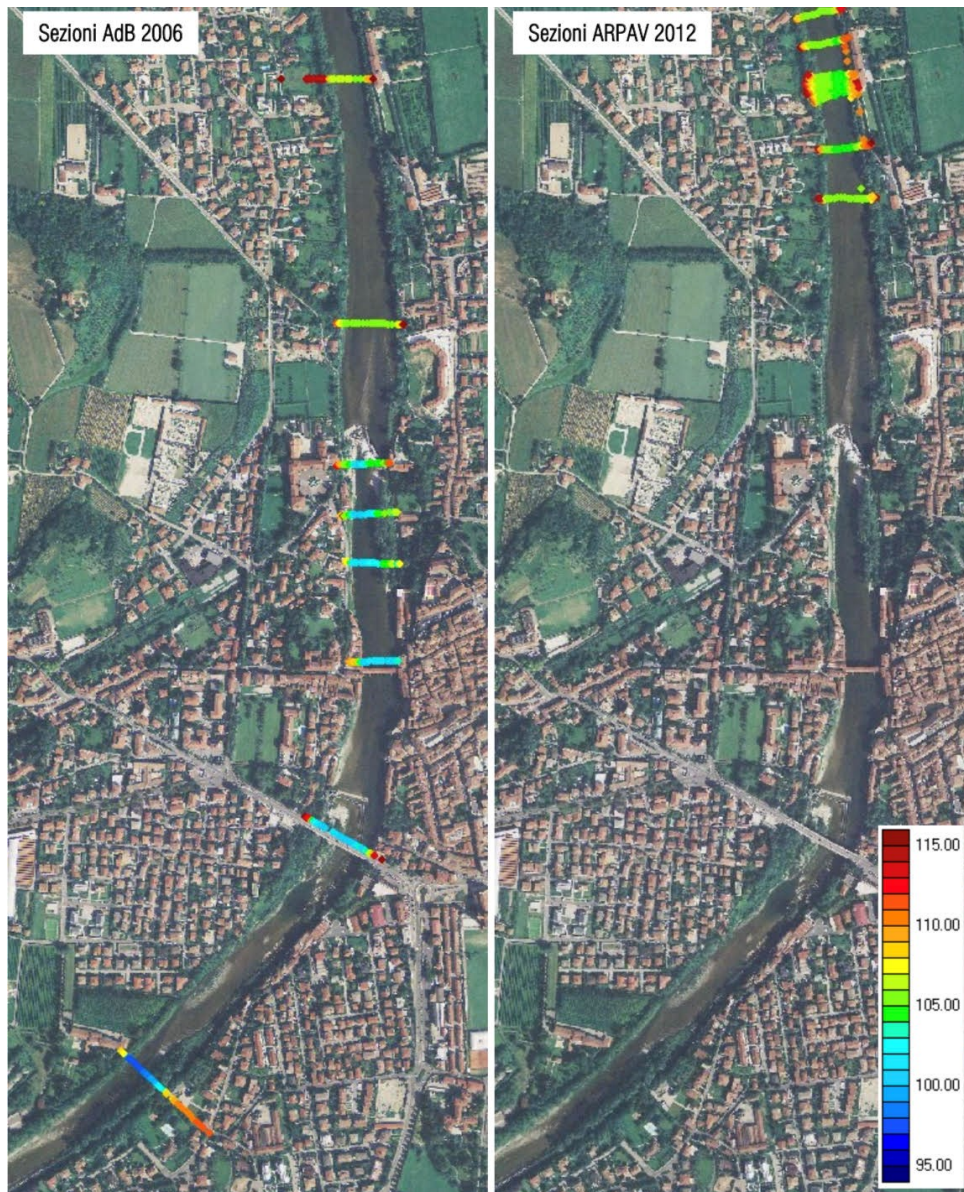


Figura 4: sezioni topo-batimetriche che verranno utilizzate nel reticolo di calcolo.

Il terzo set di dati è stato fornito da un rilievo topografico di dettaglio volto a quotare elementi di dimensioni più ridotte non compresi nei dati LiDAR e tutte le aperture degli edifici circostanti al Fiume Brenta, quali finestre, porte e davanzali (Figura 5).

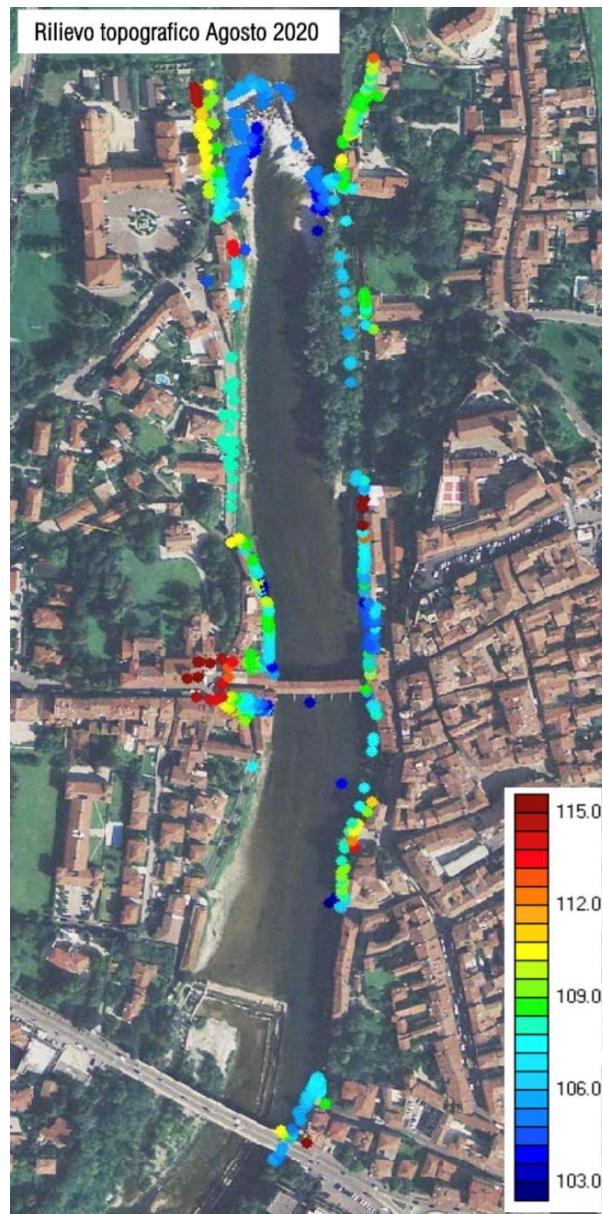


Figura 5: punti battuti durante il rilievo topografico eseguito ad Agosto 2020.

Tale rilievo è stato eseguito da Geostat s.r.l. nell'agosto 2020, utilizzando una strumentazione GPS e il teodolite. Ciò che si ottiene da un rilievo GPS è la rappresentazione di un punto della superficie terrestre in coordinate cartesiane (rispetto a un sistema cartesiano geocentrico WGS84) oppure in coordinate elissoidiche, rispettivamente latitudine, longitudine e quota elissoidica (rispetto ad un ellissoide geocentrico associato al sistema geocentrico WGS84). Tali quote sono state poi convertite da Geostat s.r.l. in quote ortometriche (ovvero riferite alla superficie del geoida) con un errore di circa 15 cm. Facendo uso del caposaldo che si trova nella piccola terrazza subito a monte del Ponte degli Alpini in Via Volpato (destra idrografica) si sono poi affinate le misure delle quote ortometriche in modo da ottenere dei valori più precisi (Figura 6).

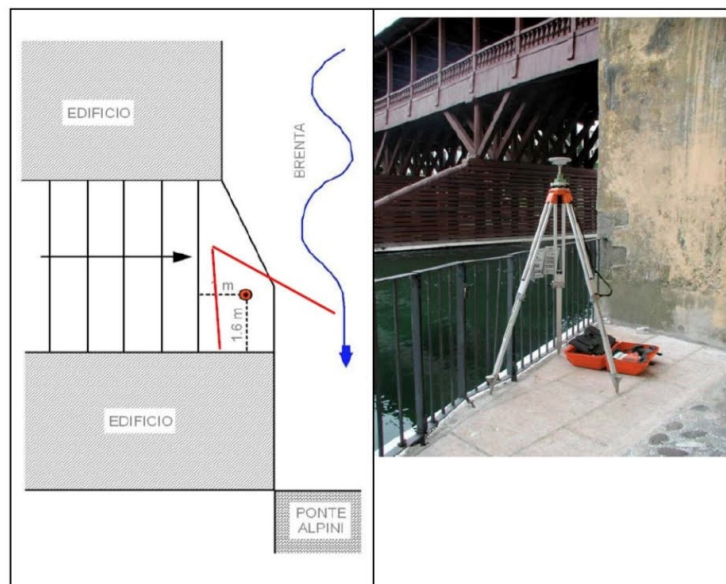


Figura 6: caposaldo con chiodo presente nel terrazzo subito a monte del Ponte del Alpini, in Via Volpato (destra idrografica). Con livellazione rispetto al medio mare, la quota determinata è pari a 103.96 m slm.

Il rilievo topografico è stato poi esteso anche ad alcune vie limitrofe al Ponte degli Alpini e le quote sono state confrontate con i valori LiDAR: si è visto che questi ultimi erano delle sottostime e si è applicata una correzione di +25 cm.

2.2. Dati Utilizzati Per La Verifica Del Modello

Per la verifica di un modello idrodinamico è necessario conoscere i livelli idrometrici di punti specifici del dominio di calcolo corrispondenti a valori di portata per la quale si hanno stime molto affidabili. Per il caso in esame sono stati considerati due eventi di piena del Fiume Brenta, il primo relativo al 4 Novembre 1966 e il secondo, più recente, relativo al 28-30 Ottobre 2018.



Figura 7: Ponte degli Alpini durante la piena del 1966 visto da Via Macello, in destra idrografica.

L'alluvione del 3-4 Novembre 1966 è stata la peggiore del secolo scorso per la regione Veneto: i deflussi hanno superato in tutte le stazioni idrometriche i colmi idrometrici osservati precedentemente (Figura 7). Nel caso del Fiume Brenta a Bassano del Grappa, il colmo del 1966 ha superato quello storico del 1882 di 0.85 m.

A seguito di questo evento, sono state posizionate tre lapidi marmoree in corrispondenza del livello massimo raggiunto dell'acqua in determinati punti del centro storico di Bassano del Grappa.

La prima lapide è affissa al muro di un'abitazione di Via Pusterla, in sinistra idrografica, a monte del Ponte degli Alpini: la quota è risultata pari a 109.91 m slm a seguito di una campagna topografica svolta nel 2006 da parte dell'Autorità di Bacino (Figura 8).



Figura 8: lapide situata in Via Pusterla, all'incrocio con Riva Margnan, in sinistra idrografica.

La seconda lapide marmorea è infissa in un edificio a monte del Ponte degli Alpini vicino alla piccola terrazza accessibile da Via Volpato, in destra idrografica, dove è presente anche il caposaldo usato nel rilievo del 2020 (Figura 9). Il livello indicato dalla lapide è di 109.18 m slm.



Figura 10: lapide marmorea situata in edificio di Via Volpato (in destra idrografica) a monte del Ponte degli Alpini.



Figura 9: lapide marmorea infissa nel muro di Palazzo Sturm, in sinistra idrografica. A sinistra si può notare anche un'asta idrometrica, utilizzata in passato per la misura del livello del Fiume Brenta.

La terza e ultima lapide è situata nel muro di Palazzo Sturm, in Via Porto di Brenta, e indica un livello di 108.00 m slm (Figura 10).

A titolo riassuntivo, la Figura 11 riporta la localizzazione delle tre lapidi marmoree che segnalano il livello massimo raggiunto dall'acqua in occasione della piena del 1966.



Figura 11: localizzazione delle tre lapidi marmoree relative all'evento di piena del 1966.

Il secondo evento di piena considerato è quello del 28-30 Ottobre 2018: per questo evento sono disponibili alcune foto del Fiume Brenta attraverso le quali è stato possibile risalire al livello dell'acqua in diversi punti significativi dell'area di interesse. Ciò non sarebbe stato possibile senza un rilievo LiDAR delle facciate degli edifici che si affacciano sul Fiume Brenta (Figura 12 e 13): una volta geo-riferiti, forniscono immediatamente la quota di elementi quali finestre e terrazze che si affacciano sul Fiume. In particolare, per il lato Angarano (destra idrografica) si è utilizzato il caposaldo a cui si era fatto riferimento per il rilievo topografico del 2020, situato nella terrazza in Via Volpato, e per il lato Bassano (sinistra idrografica) si sono usate le quote di alcune finestre che si affacciano sul Fiume Brenta, battute nel rilievo del 2020.

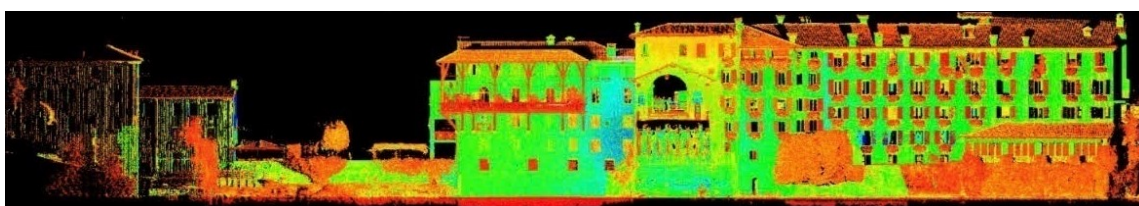


Figura 12: rilievo LiDAR delle facciate degli edifici in sinistra idrografica, lato Bassano.

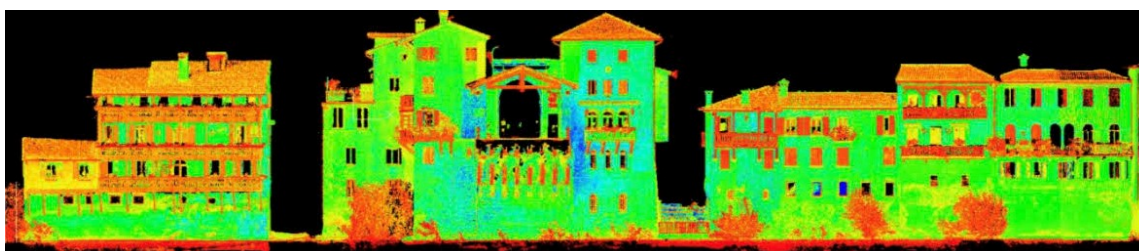


Figura 13: rilievo LiDAR delle facciate degli edifici in destra idrografica, lato Angarano.

Le analisi idrodinamiche sviluppate con i dati fin ora presentati sono state realizzate con un modello idrodinamico bidimensionale 2DVF ai volumi finiti. Tale modello risolve le equazioni di De Saint Venant¹ che descrivono il moto di una corrente a superficie libera con delle ipotesi semplificative, quali distribuzione idrostatica delle pressioni, moto bidimensionale e velocità uniformemente distribuite lungo la verticale. Le equazioni vengono risolte adottando uno schema numerico agli elementi finiti su una griglia di elementi triangolari, utilizzando anche elementi uni o bidimensionali per rappresentare correttamente il comportamento reale del canale.

¹ Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant (1797–1886) è stato un matematico e ingegnere francese. I suoi studi di maggior rilievo riguardano l'idraulica, la resistenza dei materiali e della teoria dell'elasticità, di cui è considerato uno dei fondatori.

Il reticolo di calcolo di tale modello è compreso tra una sezione posta un chilometro a nord della stazione di Barzizza e Nove (Figura 14) e include anche le aree limitrofe al fiume che potrebbero essere interessate da un'eventuale esondazione (Figura 15 A). Come accennato in precedenza, queste aree sono state schematizzate con elementi triangolari di dimensioni comprese tra 1 e 10 m a seconda della tipologia degli elementi in esse contenuti e il loro comportamento in relazione ad un'eventuale esondazione del fiume. Il reticolo è formato da 30.200 nodi e 58.000 elementi triangolari (Figura 15 B).

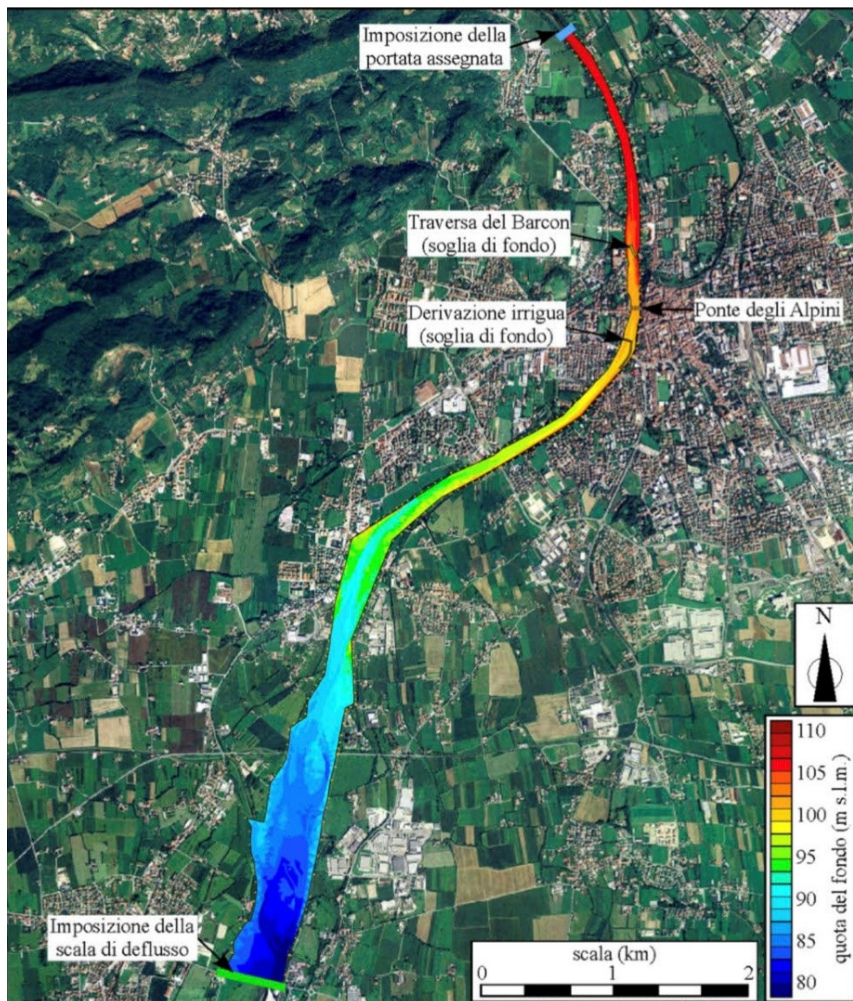


Figura 12: Reticolo di calcolo, da monte di Bassano del Grappa a Nove.

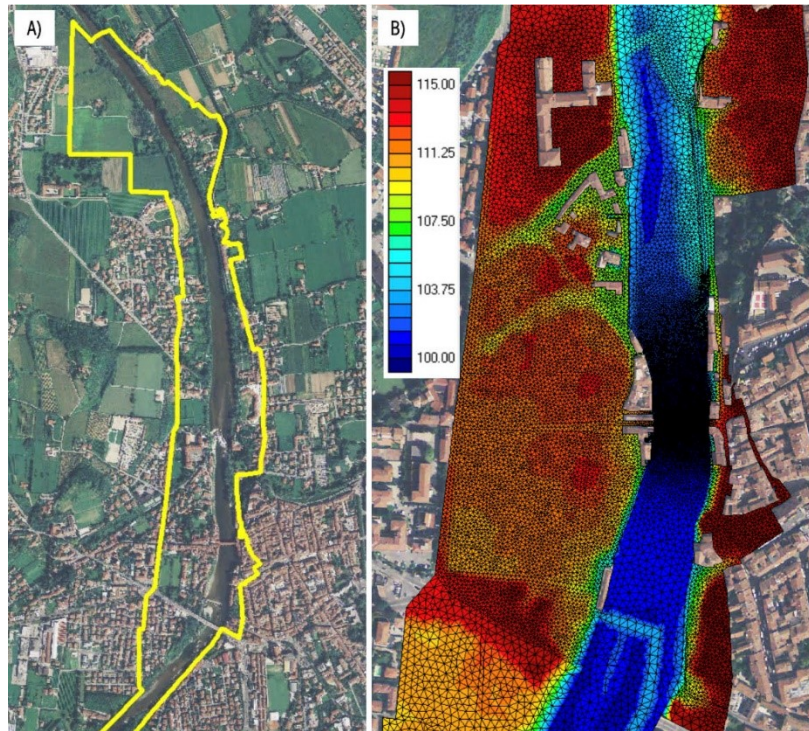


Figura 13: A) Perimetro dell'area esterna al Fiume inclusa nella griglia di calcolo in quanto area soggetta ad allagamento da parte del Fiume Brenta. B) Particolare degli elementi triangolari del reticolo di calcolo.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno da imporre, la portata viene immessa a monte del reticolo di calcolo, ad una distanza che permette di non generare disturbi nel tratto da analizzare. Nella sezione a valle (anche questa sufficientemente distante dal tratto di interesse) viene imposta una scala di deflusso, ovvero una relazione portata-livello dedotta da precedenti studi idraulici. Si deve inoltre tenere presente che nell'alveo del Fiume Brenta sono presenti alcune soglie di fondo ² che hanno un ruolo importante nella configurazione del campo di moto e del regime idrometrico del fiume.

Le analisi sono state eseguite partendo da un valore di portata di 10 m³/s fino a quello massimo di 2800 m³/s che è la portata stimata per l'evento di piena del 4 Novembre 1966, in un tempo di 18 ore. È importante precisare che, data l'estensione delle aree allagabili e la presenza di notevoli soglie di fondo, gli effetti del moto vario (il cappio di piena³) sono trascurabili.

² Usate per la stabilizzazione del fondo alveo, le soglie di fondo fissano localmente l'altimetria in modo che non possa abbassarsi e quindi, nel caso che nel tratto a monte si verificasse erosione, questa diminuirà la pendenza. (Politecnico di Milano, "Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali", 1994).

³Rappresentando graficamente il tirante in funzione della portata in una determinata sezione (x fissata) si può individuare la differenza tra colmo e massimo locale; il grafico che si ottiene prende il nome di cappio di piena. (G. Pelagatti, P. Di Tolla, U. Gallina, "Moto vario", 2017/2018)

3. CALIBRAZIONE E VERIFICA DEL MODELLO IDRODINAMICO

La seconda parte della presente relazione analizza la calibrazione del modello idrodinamico nel tratto a monte della traversa del Barcon, confrontando le due scale di deflusso disponibili, quella ARPAV e quella DICEA, per poi verificare i risultati ottenuti confrontandoli con i valori storici misurati negli eventi di piena del 1966 e del 2018 che hanno caratterizzato il Fiume Brenta.

3.1. Calibrazione Del Modello

Per la calibrazione del modello idrodinamico si è fatto uso della scala di portata ARPAV, la scala di portata DICEA e i valori di livello misurati alla stazione idrometrica di Barzizza, a monte della traversa del Barcon. Quello che si vuole verificare è che il modello, una volta inserito come input un valore di portata compreso tra $10 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2800 \text{ m}^3/\text{s}$, fornisca un valore di livello coerente con i valori ottenuti, per lo stesso valore di portata, con le due scale di deflusso e le misurazioni effettuate a Barzizza. I risultati ottenuti sono riportati in Figura 16.

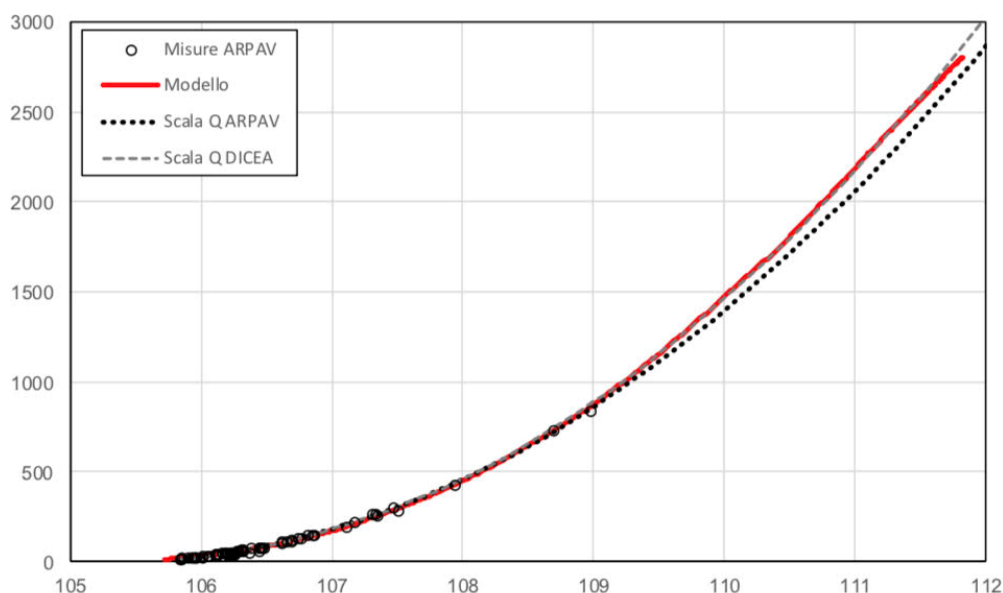


Figura 14: relazione livello-portata presso la stazione di Barzizza: misure di portata e livello eseguite da ARPAV negli anni 2010-2019 (cerchi neri), valori ottenuti dalla scala di deflusso ARPAV (linea punteggiata nera), dalla scala di deflusso DICEA (linea tratteggiata nera), e dal modello idrodinamico

La scala di deflusso ARPAV utilizzata per la stazione di Barzizza è ricavata tramite l'interpolazione dei valori di portata e livello misurati con mulinello e pesce zavorrato e con un teleidrometro (Figura 17), rispettivamente.



Figura 15: storica stazione di misura di Barzizza, in destra idrografica, situata di fronte all'omonima centrale idroelettrica. La misura di livello viene eseguita con un teleidrometro ad ultrasuoni. In passato, le misure di livello erano effettuate con un idrometrografo a galleggiante con registratore a penna e un'asta idrometrica.

A partire dal 2016, la scala di deflusso ARPAV è la seguente:

se $h < 3.02$, allora

$$Q = 79,15 * (h - 0,14)^{1,873}$$

se $h \geq 3.02$, allora

$$Q = (0,99 * h - 0,217) * (65,066 * h + 10,472)$$

con h misurato in metri e riferito allo zero idrometrico locale, 105.31 m slm. Quello che si nota nel grafico riportato in Figura 16 è che la scala di deflusso ARPAV tende a sottostimare la portata per i livelli più alti. È tuttavia fondamentale ricordare che, essendo la scala di deflusso determinata per interpolazione con dati misurati in un certo intervallo temporale, oltre al valore massimo misurato quello che si ha è una scala ottenuta per estrapolazione, che quindi non è rappresentativa della fisica del fenomeno. Ciò invece non accade per il modello idrodinamico, in quanto il legame livello-portata è ottenuto risolvendo le equazioni di De Saint Venant che descrivono il moto di una corrente a superficie libera, ossia fisicamente basato.

La seconda scala di deflusso utilizzata è la scala DICEA e, come si vede in Figura 16, i dati del modello idrodinamico sono quasi coincidenti:

se $h < 2.76$, allora scala di deflusso ARPAV

$$Q = 79,15 * (h - 0,14)^{1,873}$$

se $h \geq 2.76$, allora

$$Q = 69,403 * h^2 - 9,46 * h - 21,96$$

L'ultimo confronto è tra i valori ottenuti dal modello idrodinamico e le misure eseguite nella stazione di Barzizza: da Figura 16 si nota che il modello riproduce correttamente i valori misurati, con un errore modesto (dell'ordine di 10 cm) per portate superiori a 900 m³/s. Inoltre, poiché il tratto tra la stazione di Barzizza e la traversa del Barcon misura circa 700 m si può affermare in questo tratto il modello idrodinamico approssimi con buona precisione il reale comportamento idraulico del Fiume Brenta.

Un'importante considerazione riguarda lo zero idrometrico della stazione di Barzizza: prima era assunto pari a 105.83 m slm ed è stato poi modificato in 105.31 m slm. Per la piena del 1966, il livello del Fiume Brenta misurato è pari a 5.6 m rispetto al riferimento locale, che risulta quindi essere 110.91 m slm oppure 111.43 m slm a seconda dello zero idrometrico utilizzato, misurato sempre nella stazione di Barzizza. Utilizzando il modello idrodinamico e trascurando le variazioni di sezione del Fiume nel tratto in esame, si ottiene una stima della portata della piena del 1966 pari a 2080 m³/s usando lo zero idrometrico attuale e 2520 m³/s con lo zero idrometrico precedente (più coerente). Negli Annali Idrologici viene invece riportato il valore di 2800 m³/s.

3.2. Verifica Del Modello

La verifica del modello idrodinamico proposto si basa sul confronto dei risultati forniti con i valori di livello misurati negli eventi di piena del Fiume Brenta nel 1966 e nel 2018. Le analisi di seguito illustrate sono eseguite in ipotesi di moto vario.

Per l'evento del 4 Novembre 1966, come osservato nel paragrafo 3.1, non si conosce con precisione il valore di portata transitata nel Fiume Brenta: negli Annali Idrologici viene riportato il valore di 2800 m³/s mentre il valore che si ottiene con la scala di portata DICEA è di 2520 m³/s (valore da ritenere più ragionevole). Inserendo questi due valori di portata

nel modello idrodinamico, si ottengono valori riportati in Tabella 1 (i valori di livello sono da intendersi in m slm).

Tabella 1: Confronto tra i livelli della piena del 1966 simulati dal modello idrodinamico e i livelli indicati dalle lapidi marmoree situate nel centro storico di Bassano del Grappa.

Lapide marmorea	Livello misurato	Livello simulato Q = 2520 m³/s	Livello simulato Q = 2800 m³/s
A (Via Pusterla)	109.91	109.33 (-58 cm)	109.80 (-11 cm)
B (Ponte degli Alpini)	109.18	108.60 (-58 cm)	109.03 (-15 cm)
C (Porto di Brenta)	108.00	108.10 (+10 cm)	108.45 (+45 cm)

Da un primo confronto delle misure riportate in Tabella 1, quello che si nota è che in generale i valori misurati e i valori ottenuti dal modello per le diverse portate considerate sono simili e permettono di confermare l'ipotesi che la portata transitata nel 4 Novembre 1966 a Bassano del Grappa sia compresa tra i 2520 m³/s e i 2800 m³/s.

Considerando le lapidi marmoree di Via Pusterla e quella nei pressi del Ponte degli Alpini, quello che si nota è una quasi perfetta corrispondenza tra i valori di livello misurati e i valori ottenuti dal modello idrodinamico per una portata di 2800 m³/s. Vi è invece una differenza più accentuata tra i valori misurati e i valori ottenuti con portata 2520 m³/s, in particolare il modello idrodinamico sottostima di circa 60 cm le misure di livello. Ciò può essere tuttavia giustificato considerando che negli eventi di piena la superficie libera dell'acqua è irregolare a causa delle onde superficiali e quindi quello che si misura è una sovrastima del valore effettivo.

Per quanto riguarda invece la lapide marmorea di Via Porto di Brenta, entrambi i valori simulati sovrastimano il valore di livello misurato. Bisogna però considerare la particolarità di questa sezione, situata a monte della traversa di derivazione del canale Medoaco, caratterizzata dalla presenza di una soglia di fondo. Quando il tirante della corrente è modesto rispetto alle dimensioni della soglia, anche nel caso reale si ha distribuzione idrostatica delle pressioni; questo non accade invece nel caso in cui il tirante sia sensibilmente maggiore delle dimensioni della soglia, poiché quello che si verifica nel caso reale è una curvatura delle linee di corrente nel piano verticale in prossimità della soglia, che porta ad una locale diminuzione della pressione e conseguente aumento della velocità.

Questo corrisponde a una maggiore efficienza per quanto riguarda il deflusso sopra una soglia, e maggiori valori del coefficiente di portata: in conclusione, usando l'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni, a monte della soglia si ottengono valori di livello maggiori di quelli reali. Ciò tuttavia comporta solo una leggera sovrastima del rischio di esondazione in prossimità di questa sezione, ovvero per Via Macello e Via Porto di Brenta, in destra e sinistra idrografica, rispettivamente.

Il secondo evento di riferimento per la verifica del modello idrodinamico è l'evento di piena del 28-30 Ottobre 2018. Si sono utilizzati i valori di livello misurati nella stazione di Barzizza e la scala di portata ARPAV e DICEA per ottenere la misura della portata di picco transitata. Il livello massimo misurato è 3.74 m sul riferimento locale (109.05 m slm) registrato alle 4.30 del 30 Ottobre 2018: ciò si traduce in una portata di 885 m³/s con la scala di deflusso ARPAV e 913 m³/s con la scala di deflusso DICEA (Figura 18). La verifica è stata poi fatta con quest'ultima.

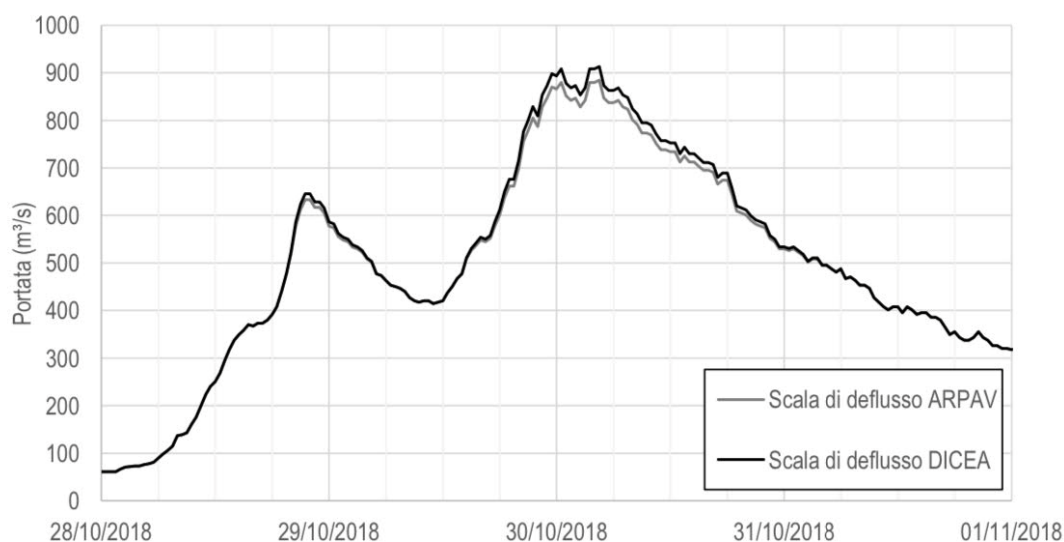


Figura 16: idrogramma presso Barzizza ottenuto con la scala di deflusso ARPAV (linea grigia) e DICEA (linea nera).

Per ricavare le misure di livello in prossimità del Ponte degli Alpini si sono utilizzate delle foto che riprendono il lato Bassano (sinistra idrografica) e il lato Angarano (destra idrografica), alle 6.35 del 29/10/2018 e alle 8.17 del 29/10/2018, rispettivamente.

La Figura 19 ritrae il Fiume Brenta il 30/10/2018 alle ore 6.35 in sinistra idrografica (lato Bassano): avendo in precedenza quotato gli elementi degli edifici che si affacciano sul fiume, si conosce l'altezza della finestra (130 cm) e la distanza tra il davanzale di questa e la superficie libera dell'acqua viene stimata pari a 80 cm, ricavando quindi la quota della superficie libera, pari a 105.65 m slm circa (tolleranza di 10 cm). Come si nota dalla Figura 20, il modello idrodinamico stima, per lo stesso punto, la quota di 105.65 m slm, in ottimo accordo con il valore misurato.



Figura 18: Fiume Brenta il giorno 30/10/2018 alle ore 6.35: l'immagine ritrae gli edifici situati in sinistra idrografica, a monte del Ponte degli Alpini.

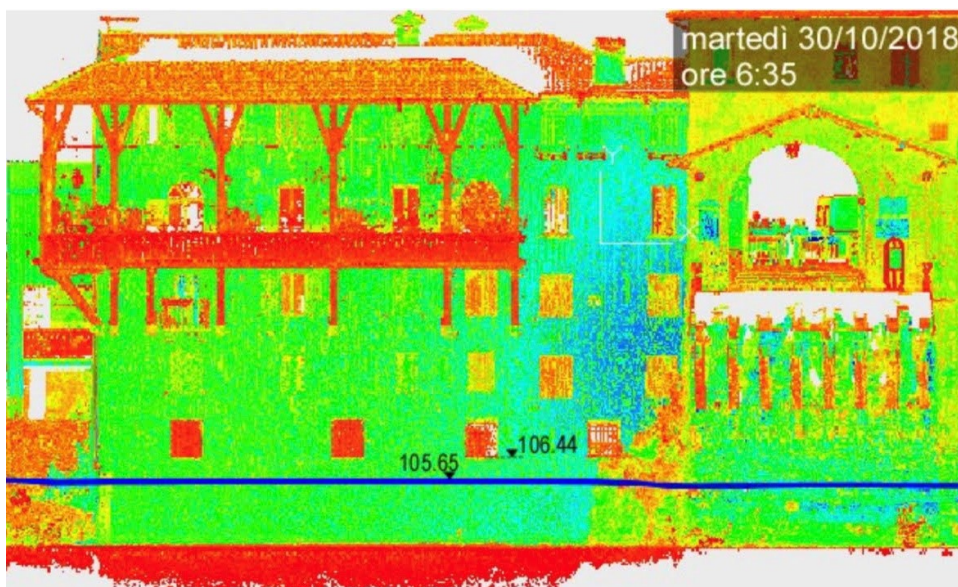


Figura 17: rilievo LiDAR del lato Bassano a monte del Ponte degli Alpini. La linea blu rappresenta la quota della superficie libera ottenuta dal modello idrodinamico relativa al 30/10/2022 ore 6.35.

La Figura 21 ritrae invece il terrazzino in prossimità del Ponte degli Alpini il 30/10/2018 alle ore 8.17 in destra idrografica (lato Angarano): il terrazzino è situato alla fine della scalinata che parte da Via Volpato e non è allineato con gli edifici che lo delimitano, ma in una posizione leggermente più interna. Ciò fa sì che in prossimità del terrazzino si formi una zona di ricircolo, alla quale segue una zona di restringimento del Fiume (sempre a monte del Ponte degli Alpini), causata da un edificio e dalla prima stilata. È ragionevole ipotizzare che in prossimità della zona di ricircolo il livello della superficie libera dell'acqua sia leggermente superiore rispetto a quelli che si misurerebbero più lontano dalla sponda e invece in prossimità del restringimento, poiché le velocità aumentano, sia leggermente inferiore. Tale ipotesi è confermata dalla Figura 22. Come visto in precedenza, utilizzando le immagini LiDAR si è in grado di affermare che la quota della superficie libera in prossimità dei gradini della scalinata è di 105.52 m slm mentre la quota ottenuta dal modello idrodinamico è pari a 105.55 m slm, mostrando nuovamente un'ottima corrispondenza. Si nota inoltre che, come mostra Figura 22, anche il modello idrodinamico riproduce l'abbassamento della superficie libera dell'acqua in prossimità del restringimento.



Figura 19: Fiume Brenta il giorno 30/10/2018 alle ore 8.17: l'immagine ritrae gli edifici situati in destra idrografica, a monte del Ponte degli Alpini.

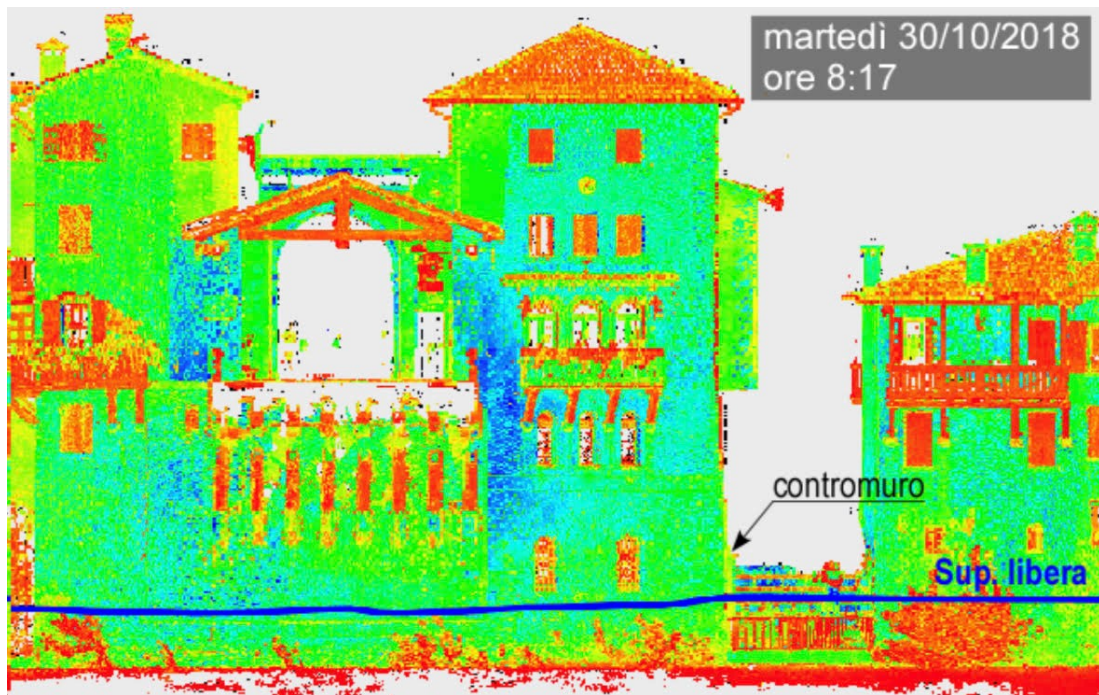


Figura 20: rilievo LiDAR del lato Angarano monte del Ponte degli Alpini. La linea blu rappresenta la quota della superficie libera ottenuta dal modello idrodinamico relativa al 30/10/2022 ore 8.17.

4. RISULTATI FINALI E CONCLUSIONI

Come visto in precedenza, il modello idrodinamico illustrato è in grado di fornire il valore di livello per ogni punto della griglia di calcolo in relazione alla portata transitata: quindi, una volta note le quote delle vie limitrofe al Ponte degli Alpini e delle aperture (finestre, porte...) degli edifici che si affacciano sul Fiume Brenta, si è in grado di confrontare le due quote ottenute e valutare il valore di portata che porta all'allagamento di quella determinata strada o apertura.

Prima di passare alla presentazione dei risultati ottenuti, si ripercorre brevemente il processo che permette di valutare una condizione di criticità del Fiume Brenta. In primis, la stazione di Barzizza fornisce il valore di profondità istantanea relativa a quella sezione: attraverso poi la scala delle portate, si converte la misura di profondità in una portata. Avendo precedentemente ricavato dal modello idrodinamico i valori di livello del Fiume Brenta relativi a ciascun valore di portata, si è in grado di conoscere le aree di rischio relative a quell'evento e poter quindi attuare un piano di allertamento per la cittadinanza.

È oltre rilevante precisare che nella simulazione verrà utilizzata la scala DICEA per valori superiori a 2.76 m sul riferimento locale. Il valore massimo di portata preso in analisi è 2800 m³/s, relativo ad un tempo di ritorno di 100 anni, che si ritiene essere il valore limite da considerare nel Piano Locale di Intervento per Rischio Idraulico del comune di Bassano Del Grappa.

Si procede quindi ad analizzare i risultati ottenuti dal modello idrodinamico riportati in Tabella 2.

Tabella 2: elenco delle vie interessate dai fenomeni di piena e corrispondenti valori di portate e livelli presso Barzizza.

Località	Portata che porta all'allagamento [m³/s]	Livello dell'idrometro a Barzizza (m sul rif. locale)
Via Pusterla	1000	3.90
Percorso pedonale a monte di Via Volpato	1000	3.90
Via Porto di Brenta	1100	4.10
Percorso ciclo-pedonale sotto al Ponte Nuovo	1100	4.10
Via Macello	1200	4.26
Via Volpato (da monte)	1250	4.35
Via Lungobrenta Ernest Hemingway	1420	4.63
Accesso privato Via Pusterla	1450	4.68
Via Volpato (da valle)	1600	4.75

Come si vede da Tabella 2, Via Pusterla (in sinistra idrografica) è la prima ad essere interessata da fenomeni di allagamento, già per valori di portata pari a 1000 m³/s (Figura 23). Per lo stesso valore, si ha l'allagamento anche del percorso pedonale che inizia a monte di Via Volpato (in destra idrografica, Figura 24): si specifica però che, poiché la quota del percorso diminuisce procedendo verso nord, l'allagamento di parte di esso è previsto già con una portata di 500 m³/s (per precisione, il tratto di fronte all'Istituto Scalabrini).



Figura 22: parte di Via Pusterla, in sinistra idrografica.



Figura 21: percorso pedonale a monte di Via Volpato, in destra idrografica.

Con una portata di $1100 \text{ m}^3/\text{s}$, la piena interessa Via Porto di Brenta (Figura 25) e il percorso ciclopedonale che inizia in corrispondenza del Ponte Nuovo (Figura 26), entrambi in sinistra idrografica.



Figura 23: Via Porto di Brenta, in sinistra idrografica.



Figura 24: percorso ciclopedonale sotto il Ponte Nuovo, in sinistra idrografica.

Con portate di 1200 e $1250 \text{ m}^3/\text{s}$ rispettivamente, il Fiume Brenta raggiunge la quota di due vie situate in destra idrografica, Via Macello (Figura 27) e Via Volpato.



Figura 27: Via Macello, in destra idrografica.



Figura 28: Vicolo Volpato, in destra idrografica.

Per Via Macello, l'allagamento parte da un varco nel muretto che costeggia il Fiume, in corrispondenza del vecchio macello; per Via Volpato, invece, parte dal varco a monte della via stessa, in prossimità dell'inizio del percorso pedonale. È interessante osservare che, una volta che l'acqua entra e percorre Vicolo Volpato (Figura 28), esce poco più a valle, dove la strada costeggia il Fiume. L'allagamento di Via Volpato da sud avviene invece con valori di portata pari a $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ e si nota che i livelli sono leggermente superiori perché la corrente viene lievemente deviata da un edificio situato tra il Fiume Brenta e Via Volpato.

Con valori di portata pari a $1420 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1450 \text{ m}^3/\text{s}$ rispettivamente, il fenomeno di piena interessa Via Lungobrenta Ernest Hemingway (in prossimità della Villa Ca' Erizzo, a valle della stazione idroelettrica di Barzizza, Figura 29) e l'accesso privato a monte di Via Pusterla: qui sono ancora visibili i gargami⁴ utilizzati in passato per impedire all'acqua di entrare nel sottopasso (Figura 30).



Figura 25: Via Lungobrenta Ernest Hemingway, in sinistra idrografica.



Figura 26: accesso privato di Via Pusterla, in sinistra idrografica.

Oltre allo studio dei fenomeni di allagamento delle Vie limitrofe al Fiume Brenta in prossimità del Ponte degli Alpini, un'altra parte importante delle analisi svolte ha riguardato il rischio di allagamento degli edifici che si affacciano sul Fiume. Come esposto nei paragrafi precedenti, avendo quotato le aperture principali degli edifici, si è in grado di determinare con una certa precisione la portata che determina un livello idrometrico tale da eguagliare o superare tale quota. Ciò permette quindi di definire il valore di portata che determina ogni criticità e di poter quindi fare delle previsioni sulle zone ed edifici interessati dai fenomeni di allagamento, così da poter eventualmente organizzare un programma di allertamento dei cittadini.

⁴Supporti laterali entro i quali scorre la paratoia.



Figura 27: la foto riporta la facciata di Palazzo Sturm, in sinistra idrografica. Si vedono le quote delle finestre ottenute dal rilievo di Agosto 2020 (colore rosso), la quota rispetto al medio mare (in verde), e il valore di portata che, secondo il modello idrodinamico, porta al raggiungimento di tale livello. Questo è un esempio di applicazione combinata di rilievo topografico e dati ottenuti dal modello.

In battuta finale si è fatto un confronto tra i risultati ottenuti dal modello idrodinamico e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico (molto elevato) riportate nel P.A.T. del Comune di Bassano del Grappa, riscontrando notevoli differenze. Il modello segnala come aree a rischio Vicolo Volpato, parte di Via Colombare (in destra idrografica), il tratto finale di Riva Margnan (in sinistra idrografica) e Via Porto di Brenta (in sinistra idrografica), aree che invece non compaiono nel P.A.T., come si vede da Figura 32.

Viceversa, nel P.A.T. vengono segnalate a rischio allagamento aree che non risultano tali dal modello idrodinamico, quali il Convento del Padri Cappuccini e l'edificio a sud di esso, in Via San Sebastiano (sinistra idrografica), nemmeno per una portata di 2800 m³/s. Per la stessa portata, la piena interessa gli edifici in prossimità del Fiume ma non presso il Ponte (in quanto la quota è maggiore) e interessa un unico edificio in Via Macello, quello collocato al lato del Fiume.

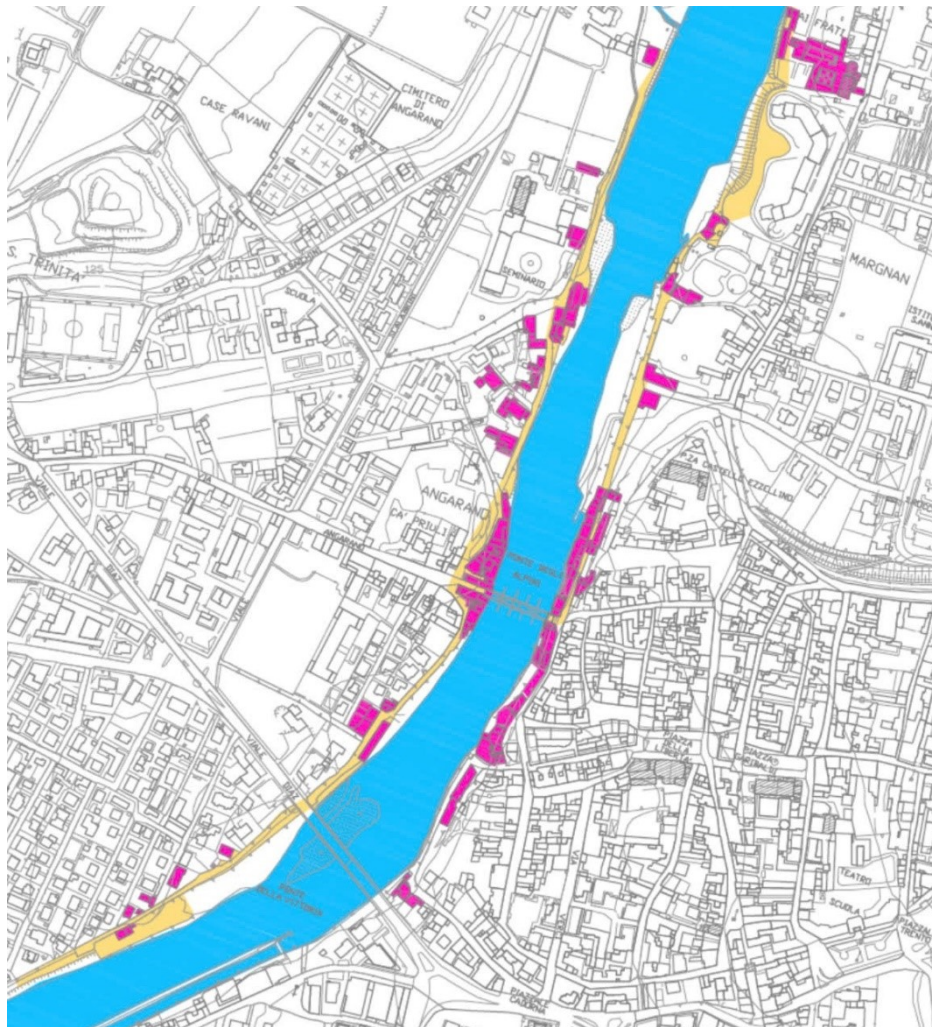


Figura 28: estratto della Tavola 25 del P.A.T. del Comune di Bassano del Grappa, redatto nel 2005.

5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Prof. Ing. Daniele Pietro Viero, Dr. Ing. Anna Gnesotto, “Analisi idrodinamiche al supporto dell’aggiornamento del piano locale di intervento per rischio idraulico relativo al tratto di Fiume Brenta in prossimità del Ponte degli Alpini”, 2020

Loris Lunardi, “Utilizzo di dati LiDAR per la correzione del database Topografico della regione Veneto”, 2011

https://www.topoprogram.it/normativa-catasto/terreni/html/Il_sistema_di_riferimento_del_GPS_il_WGS84.htm

Comune di Bassano del Grappa, “Ripristino e consolidamento del Ponte Degli Alpini, Bassano Del Grappa, Progetto Esecutivo, Relazione Idraulica”, 2015

Elena Crestani et al., “Sistema integrato di previsione delle piene in tempo reale nel Brenta-Bacchiglione”, 2018

Egiatti Gianmario, “Livelli e portate medie giornaliere del Fiume Brenta a Barzizza negli anni 2014-15”, 2016

Luigi Da Deppo, “L’alluvione del 3-4 Novembre 1966 nelle Tre Venezie”