

POLITECNICO DI TORINO

Corso di laurea Magistrale in Ingegneria civile

Tesi di Laurea Magistrale

Modellazione fisica di onde di collasso mediante stampa 3D



Relatore

Prof. Ing. Davide Poggi

Correlatore

Ing. Roberto Bosio

Candidato

Federico Antonio Gargano

Anno Accademico 2018-2019

ABSTRACT

Determinare il comportamento dell'onda dovuta al collasso improvviso del corpo diga (onda di dam break) è un argomento che desta tutt'oggi molte interpretazioni e non risulta facile il calcolo di una soluzione, in quanto il carattere tridimensionale e variabile nel tempo, unito a forti curvaturei del flusso nel tratto iniziale, comporta notevoli difficoltà nell'individuazione di soluzioni analitiche e numeriche adeguate. Per tentare di avere una soluzione il più possibile vicina alla realtà si realizzano dei modelli fisici equivalenti che presentino le stesse caratteristiche idrodinamiche e che quindi possa simulare l'evento.

La costruzione di tali modelli tuttavia, risulta dispendiosa e si necessita uno spazio adeguato all'edificazione dell'opera. Si tenta di conseguenza di trovare un metodo alternativo che impieghi meno denaro e riduca i tempi di costruzione. Per far ciò si utilizza la stampante 3D con l'obiettivo di riuscire a stampare dei modelli in scala molto ridotta sui quali applicare le simulazioni di dam-break.

Si sono effettuate le stampe di due modelli in due scale differenti, 1:1000 e 1:2000, del comune di Montalto Dora (To), paese sotteso al bacino del Lago Pistono. Le stampe sono composte rispettivamente da sei e da nove quadranti in PLA. Inoltre, avendo i dati batimetrici si è prodotto anche il lago in questione in modo da avere un serbatoio il più simile possibile all'originale. Dopo aver saldato tra loro i pezzi e averli posti su un piano che ne consentisse la perfetta planarità, si sono sviluppate delle prove di collasso verificando il comportamento dell'acqua su dei modelli fisici di così ridotta scala.

Sommario

1.	Introduzione	1
1.1	Modelli fisici.....	2
1.2	Il presente lavoro di tesi	4
1.3	Sito d'indagine – comune Montalto Dora	5
2.	Stato dell'arte	7
2.1	Distorted Physical Model to Study Sudden Partial Dam Break Flows in an Urban Area, (Guney, Tayfur, Bombar & Elci, 2014).....	8
2.2	Experiments on Urban Flooding Caused by a Levee Breach (Lindsey Ann LaRocque, Mohamed Elkholy, M. Hanif Chaudhry and Jasim Imran,2013).....	9
2.3	Case Study of the Big Bay Dam Failure: Accuracy and Comparison of Breach Predictions (Steven E. Yochum. Larry A. Goertz & Phillip H. Jones, 2008).....	10
2.4	Surface modification of polylactic acid (PLA) by air atmospheric plasma treatment (Jordá-Vilaplana, Fombuena, García-García, Samper, Sánchez-Nácher,2014).....	11
2.5	Surface tension in small hydraulic river models – the significance of the Weber number (J.Peakall, J.Warbuton,1996);.....	12
3	MOdellazione matematica	13
3.1	Modellazione idraulica	13
3.2	Stima dei parametri descrittivi della breccia.....	15
3.3	Analisi dei risultati	16
4	Stumenti utilizzati	23
4.1	Stampante Creality 3D CR10S5.....	23
4.2	Anycubic i3 Mega	24
4.3	Filamento.....	25
4.4	Supporti e incollaggio	26
4.5	Setup stampanti	27
4.6	Acqua colorata.....	30
4.7	Telecamera Nikon DSLR D810	31
5	Tensione superficiale.....	33
5.1	Bagnabilità	34
5.2	Numero di <i>Weber</i>	38
6	Test dam-break.....	41
6.1	Esecuzione della prova	41
6.2	Risultati modello 1:1000.....	42
6.3	Risultati modello 1:2000.....	44
6.4	Analisi dei dati ottenuti	45
7	Conclusioni e sviluppi futuri	53

8	Bibliografia.....	55
9	Riferimenti.....	56
9.1	Indice figure.....	56
9.2	Indice tabelle	57

1. INTRODUZIONE

Una diga si definisce come una barriera che si pone ad ostruire un corso d'acqua volta a creare un serbatoio o un lago, i quali possono avere molteplici scopi come per esempio l'uso energetico, nel caso di impianti idroelettrici, uso irriguo, ittico o per laminazione di grosse portate.

Le dighe possono essere di vario tipo e classificazione in base alla loro tipologia o dimensione, in particolare si distinguono quelle in terra e quelle in calcestruzzo. Quest'ultime sono quelle che possono presentare le grandezze maggiori e alle volte possono costituire delle costruzioni di grande entità e creare dei serbatoi di acqua di notevoli dimensioni.

Legate alla costruzione di una diga c'è un lungo processo di progettazione idraulica, ma anche una attenzione particolare verso la messa in sicurezza dell'opera e di tutto ciò presente a valle di essa dove spesso ci sono interi paesi o città che verrebbero spazzate via in caso di collasso.

Per questo ci sono numerosi sistemi di sicurezza che agiscono sul corpo diga, la maggior parte delle dighe presentano una sezione in sommità chiamata sfioratore, la quale entra in funzione nel momento in cui il livello idrico all'interno del serbatoio raggiunge il massimo consentito e pertanto, funge da sistema di sicurezza.

Nonostante ciò, talvolta è avvenuto che un collasso improvviso, determini una onda distruttiva che vada a interessare tutto ciò che è presente a valle di essa, creando ingenti danni e perdite di vite umane. Questo fenomeno è definito come onda di *dam-break*.

L'analisi del fenomeno *dam-break* consiste nel valutare le conseguenze in termini di aree di allagamento e di trasporto solido nel caso di collasso di una diga o rottura di un argine. L'onda di collasso può avere quindi differenti entità in base alla quantità di acqua presente nell'invaso e la tipologia di diga.

Uno sbarramento in terra presenterà una rottura graduale nel tempo, nella letteratura ci sono diverse formule che definiscono tempi di apertura della breccia che si presentano per tracimazione o per sifonamento nei casi più comuni. Nelle dighe in terra è determinante anche il trasporto solido che non può essere trascurato poiché incide gravosamente sulla portata.

Le dighe più comuni, soprattutto per invasi medio-grandi, sono costituite invece in calcestruzzo e sono progettate per resistere a ingenti carichi, ma portate alle condizioni ultime, si verificherà un collasso in maniera istantanea provocando quindi un'onda improvvisa e distruttiva che può portare a forti danni a tutto ciò presente a valle. In questo caso la rottura avviene quasi sempre per tracimazione.

Lo studio del fenomeno del *dam-break* risulta complicato per via delle molte variabili dovute al fatto che, l'onda si propaga in regime di moto vario e le variabili da prendere in considerazione sono molteplici. Lo studio perciò, può essere effettuato in via analitica con software specializzati che permettono di trovare una soluzione monodimensionale o bidimensionale con una buona approssimazione. Tuttavia, non vi è certezza che i software calcolino adeguatamente le aree inondate e gli effettivi tiranti e velocità del flusso nelle diverse zone prese in esame, dunque è necessario accoppiare questa tipologia di soluzione con quella che si può ottenere con dei modelli fisici, i quali possono in qualche modo emulare il comportamento reale, così da avere una soluzione più affidabile.

1.1 Modelli fisici

Con la parola modello si indica generalmente la riproduzione con dimensioni ridotte di un prototipo, cioè una struttura, un tratto di corso d'acqua o anche una parte limitata di un'opera.

I modelli fisici si suddividono essenzialmente in tre tipologie:

- Modelli fisici simili, caratterizzati da similitudine geometrica e meccanica;
- Modelli fisici distorti, affinità geometrica e similitudine meccanica;
- Modelli analogici, distinti dal fatto che sono retti dalle stesse equazioni che reggono il fenomeno nell'originale.

La geometria del modello può essere facilmente riprodotta in dimensioni ridotte rispetto all'originale, a differenza di altre quantità che non risultano immediatamente scalabili, quali la velocità, pressione o natura del fluido. Per mettere in relazione dunque queste grandezze occorre rispettare una similitudine meccanica che si raggiunge mantenendo costanti alcuni raggruppamenti di grandezze. I raggruppamenti indipendenti più noti sono il numero di *Froode* e il numero di *Reynolds*, entrambi adimensionali.

Il numero di *Reynolds*, non può essere trascurato nelle condizioni di moto laminare, mentre per il moto turbolento l'indice di resistenza è indipendente da tale numero. Perciò *Re* è legato ai fenomeni in cui le forze viscosive non sono trascurabili a fronte delle altre forze in gioco nel fenomeno idrodinamico.

$$Re = \rho \frac{\overline{u_n} d}{\mu}$$

Dove:

- ρ densità dell'acqua [0.998 g/cm^3]
- $\overline{u_n}$ velocità media del fluido [m/s]
- d dimensione caratteristica [m]

- μ viscosità dinamica dell'acqua [$8.94 \cdot 10^{-4} \text{ N s/m}^2$]

Dunque, esso descrive la tipologia di moto in cui si trova il fluido, che potrà essere laminare, di transizione o turbolento. Affinché il modello possa considerarsi simile all'originale bisogna mantenere lo stesso regime di moto.

L'indice di *Froode* è invece il parametro cui si fa riferimento in tutti quei fenomeni in cui predominano le trasformazioni di energia potenziale in cinetica e aumenta la sua importanza tanto più il numero di *Reynolds* cresce.

$$Fr = \frac{u_n}{\sqrt{gh}}$$

- u_n velocità media del fluido [m/s]
- g costante di gravità [9.81 m/s^2]
- d dimensione caratteristica [m]

Esso si caratterizzerà in corrente subcritica se $Fr < 1$, o corrente supercritica nel caso di $Fr > 1$.

L'unico modo per far coesistere entrambi i numeri è quello di utilizzare un fluido diverso dall'originale che abbia determinate caratteristiche di viscosità.

Si definisce la scala λ di riduzione delle grandezze geometriche, come rapporto della grandezza del modello e quello dell'originale.

Dunque, con le opportune relazioni di scala si può dire che l'utilizzo dei modelli fisici comporta notevoli vantaggi, in quanto si avrà una notevole chiarezza e verosimiglianza dei risultati, che avranno anche valore tridimensionale, è possibile inoltre riprodurre anche le geometrie più complesse e si possono rilevare i fenomeni turbolenti, perciò si avrà un valore predittivo elevato. A discapito però dei modelli risulta il problema di avere un laboratorio abbastanza grande e attrezzato alla costruzione di un modello, che può avere anche lunghi tempi di costruzione a fronte di ingenti spese per la costruzione e l'esercizio dell'opera. Molto importante è inoltre verificare i problemi dovuti all'effetto scala e a un efficace sistema di controllo e misurazione.

Nonostante quindi, i modelli fisici diano una risposta abbastanza veritiera sul fenomeno, si può affiancare uno studio con modelli matematici e confrontare poi le due soluzioni per avere un quadro completo del fenomeno. Questi ultimi infatti consentono di avere una soluzione in breve tempo e con grande flessibilità d'esercizio, non è necessario avere un laboratorio attrezzato e dunque i costi sono ridotti. Essendo però dei modelli matematici richiedono l'uso di ipotesi semplificative nelle formule e nella geometria, giungendo quindi a una simulazione

meno dettagliata. Inoltre, si deve effettuare una attenta taratura per non incorrere in errori molto elevati.

1.2 Il presente lavoro di tesi

Il seguente lavoro di tesi si occupa di trovare un metodo efficace che permetta di ottenere dei modelli fisici ricavati utilizzando la stampante 3D, i quali possano essere utilizzati per le simulazioni di *dam-break* e studi fluidodinamici con risultati affidabili quanto i modelli fisici canonici.

L'obiettivo finale pertanto, è quello di avere dei modelli in scala ridotta sui quali si possono verificare le conseguenze di un collasso del corpo diga, potendo visionare qualitativamente il fronte d'onda e valutare la corrispondenza di questi modelli fisici con un modello matematico in termini di aree allagate. Per la comparazione dei risultati raggiunti sul modello fisico con quelli conseguiti dal modello matematico si utilizza il software *Hec-Ras*, sul quale si è eseguita una simulazione bidimensionale utilizzando l'applicazione *Rasmap*, sulla quale è possibile avere una visione diretta della propagazione dell'onda di collasso ed avere dati su tiranti e velocità

Come sito di prova si è scelto l'invaso naturale di competenza regionale del Lago Pistono, situato presso il comune di Montalto Dora (TO), il quale si presta per grandezze e geometria all'esperimento.

Per la produzione dei modelli si sono utilizzate due stampanti 3D di differenti dimensioni situate all'interno del laboratorio di Idraulica del Politecnico di Torino. Per mezzo di queste si sono ottenuti due modelli in scala 1:1000 e 1:2000. Per il modello in scala più grande si sono riprodotti sei quadranti 40x40 mentre per quello in scala più ridotta si è scelto di avere nove quadranti 20x20.

I test vengono eseguiti all'interno di un box dotato di illuminazione a led e con una fotocamera che riprende l'intero svolgimento della prova registrando in full hd.

Dunque, in questo lavoro si prova ad avere una valida alternativa ai modelli fisici canonici trovando un metodo meno dispendioso sia dal punto di vista economico, che da quello di spazio e mano d'opera. Per verificare questo, sono state eseguite delle prove di *dam-break* sui campioni e delle ulteriori verifiche sulla bagnabilità dell'opera per confrontare il comportamento dei fluidi utilizzati sui modelli prodotti.

Una particolare attenzione è riposta nella caratterizzazione delle forze di tensione superficiali che si vanno a creare sui modelli in quanto, le scale con la quale sono prodotti sono molto

piccole e i fenomeni di capillarità uniti a una tensione superficiale troppo alta possono interferire con l'esito dell'esperimento.

Infine, si può avere un confronto tra i due modelli per valutare l'effetto scala generato.

1.3 Sito d'indagine – comune Montalto Dora

Per effettuare questa tipologia di studio si è scelto come luogo d'indagine l'invaso presente a monte al comune di Montalto Dora (TO) ovvero il lago Pistono. Questo sito è stato scelto poiché presenta una quantità d'acqua sufficiente affinché l'esperimento possa risultare soddisfacente, inoltre essendo posto in prossimità del centro abitato con una pendenza del suolo significativa, si può avere una stima diretta della propagazione dell'onda di dam-break nel paese.

Tale vaso è naturale e la sua funzione iniziale era quello di derivazione d'acqua a scopo idroelettrico ma, attualmente è utilizzato principalmente a scopo di laminazione delle portate del Rio Montesino, corso d'acqua immissario.

La tipologia di sbarramento presente è una struttura in calcestruzzo a gravità interamente sfiorante di altezza pari a 7 m con sfioratore *Creager*. Esso rientra nei parametri regionali in quanto, non supera i 15 m di altezza, pertanto risulta essere di competenza dell'ente sopracitato e classificato con il codice d'invaso TO00112.

La diga presenta come scarico di fondo due tubazioni metalliche con assi distanziati di 4 m, con un diametro di 1000 mm ciascuna, dotate di valvola a farfalla e fondo scorrevole.

Il territorio a valle dell'invaso caratterizzato dalla presenza del paese presenta una pendenza lungo il versante di circa il 4%.



Figura 1 – Vista frontale e laterale sbarramento Lago Pistono

Per elaborare lo studio sono stati forniti dalla Regione Piemonte le carte relative ai rilievi batimetrici del lago con i quali è stato possibile costruire una curva dei volumi dell'invaso e inoltre si è potuto usufruire delle curve di livello per costruire e stampare il fondo del lago da utilizzare poi come serbatoio nelle prove. Per quanto riguarda invece la geometria dell'area stampata, i dati sono stati forniti dal geoportale nazionale, dal quale è stato possibile ottenere i rilevamenti fatti con LIDAR, che consente di scansionare la superficie creando una nuvola di punti che discriminano i punti relativi al terreno (DTM) e quelli relativi agli "oggetti" presenti sul terreno (DSM).

Misurando la coltre vegetativa, penetrando fino al suolo, si ottengono informazioni sul terreno e sulle quote, con un'accuratezza centimetrica.

Si è scelto di utilizzare il DSM (Digital Surface Model) con una precisione di 1m, il quale ha consentito di avere oltre alle quote del terreno anche quelle degli edifici e della vegetazione per avere un contatto visivo diretto con le problematiche di un ipotetico allagamento nel centro abitato. Il DSM per essere correttamente stampato sarà suddiviso in quadranti aventi tutte le stesse dimensioni per assicurarne una corretta scala.

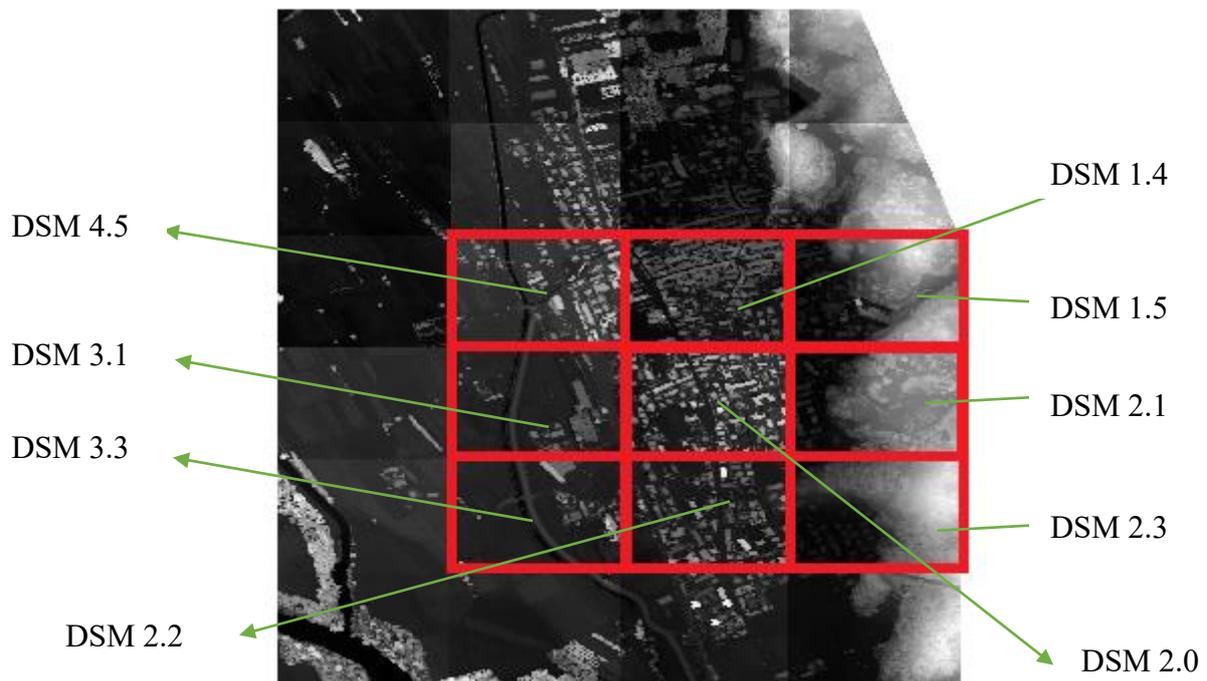


Figura 2 - Quadranti stampati

2. STATO DELL'ARTE

Lo studio del fenomeno del dam-break per mezzo di costruzione di modelli fisici è stato oggetto di indagini precedenti, anche se fino ad ora non sono presenti studi fatti con la stessa modalità della tesi presente. In questo capitolo si riportano alcuni tra gli articoli più significativi, di seguito elencati:

- Distorted Physical Model to Study Sudden Partial Dam Break Flows in an Urban Area, (Guney, Tayfur, Bombar & Elci, 2014);
- Experiments on Urban Flooding Caused by a Levee Breach (Lindsey Ann LaRocque, Mohamed Elkholy, M. Hanif Chaudhry and Jasim Imran,2013);
- Case Study of the Big Bay Dam Failure: Accuracy and Comparison of Breach Predictions (Steven E. Yochum. Larry A. Goertz & Phillip H. Jones, 2008);
- Surface modification of polylactic acid (PLA) by air atmospheric plasma treatment (Jordá-Vilaplana, Fombuena, García-García, Samper, Sánchez-Nácher,2014);
- Surface tension in small hydraulic river models – the significance of the Weber number (J.Peakall, J.Warbuton,1996);

2.1 Distorted Physical Model to Study Sudden Partial Dam Break Flows in an Urban Area, (Ganey, Tayfur, Bombar & Elci, 2014)

In questo articolo si indaga sulla costruzione di un modello fisico distorto basato sulla Ürkmez Dam situata a Izmir in Turchia, nei quali si sono studiati gli effetti di un collasso improvviso del corpo diga.

Il modello in questione è realizzato in una scala distorta, con caratteristiche 1:150 in scala orizzontale e 1:30 in scala verticale. La peculiarità di questo studio è che la presente diga si trova immediatamente a monte della città di Ürkmez e pertanto si possono studiare il propagarsi delle onde di dam-break nell'area urbana in similitudine al modello studiato nella presente Tesi. Nel modello si sono riportati gli elementi che rappresentano una scabrezza non trascurabile, come edifici ponti e strade. Per quanto concerne la modalità di collasso invece si è optato per un collasso parziale improvviso simulato tramite una frattura di tipo trapezoidale sul corpo diga.



Figura 3 - Modello fisico Ürkmez dam

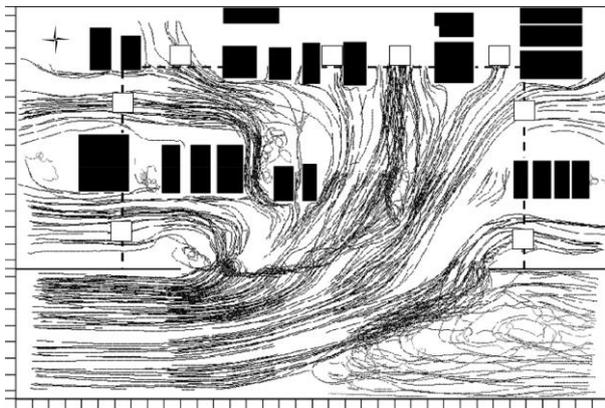
In questo studio si è proceduto al rilevamento dei tiranti del flusso idrodinamico in diverse postazioni all'interno del modello per mezzo di sensori *e+ WATER*, mentre quello delle velocità tramite dei trasduttori a ultrasuoni (UVP).

Dalle prove sperimentali si è dunque rilevato che l'area urbana subisce un allagamento nel giro di pochi minuti, con il fronte d'onda che può raggiungere la zona residenziale in 2 minuti e la costa in 4 minuti, con velocità molto elevate in prossimità della breccia (70.9 km/h) che vanno via via a diminuire nelle zone più densamente occupate da edifici.

2.2 Experiments on Urban Flooding Caused by a Levee Breach (Lindsey Ann LaRocque, Mohamed Elkholy, M. Hanif Chaudhry and Jasim Imran,2013)

In questa pubblicazione si descrivono principalmente gli effetti del flusso nelle aree residenziali e dunque un'analisi sulle zone cittadine che subiscono un allagamento maggiore.

Nell'articolo si analizza come la modellazione numerica non sia sufficiente per lo studio di collasso di argini e dunque sia necessario condurre degli esperimenti su modelli in scala per determinare con maggiore precisione l'entità dei danni. Le profondità del flusso e le velocità stazionarie sono state misurate in una serie di punti utilizzando una velocimetria digitale di



tracciamento delle particelle.

Dalle analisi si evince infine che gli edifici ravvicinati si comportano come un unico ostacolo e con poco flusso tra di essi. Inoltre, i risultati mostrano come ci sia maggiore potenza del flusso nella zona di prebreach e che una compagine importante nell'analisi dei dati sia dedicata alla topografia locale.

Figura 4 - Andamento del flusso

Questo documento pertanto, può risultare utile alla causa dello studio nella presente tesi in quanto, può essere confrontato con il problema degli edifici presenti nella topografia di Montalto Dora, che in piccola scala possono creare un vero e proprio muro e impedire lo scorrimento della corrente.

2.3 Case Study of the Big Bay Dam Failure: Accuracy and Comparison of Breach Predictions (Steven E. Yochum, Larry A. Goertz & Phillip H. Jones, 2008)

L'articolo in questione è stato stilato in conseguenza alla frattura parziale della Big Bay Dam, contea Lamar (Mississippi), che ha provocato notevoli danni alle strutture ed edifici a valle di essa, ma fortunatamente con nessuna vita umana persa.

Il documento desta interesse poiché introduce l'uso del software *Hec-Ras* nello studio e previsione di onde di collasso come nel presente lavoro di tesi, anche se lo si sviluppa in maniera monodimensionale differentemente dal bidimensionale studiato nella tesi qui presente.

La rottura della diga avvenne il 12 marzo 2004, rilasciando 17500000 m³ di acqua, che ha portato a danneggiare 104 strutture. Si è sviluppato dunque un modello con *Hec-Ras* in moto vario impostando la geometria della breccia.

Dai risultati della simulazione si nota come i tiranti ottenuti siano molto simili a quelli reali, così come la portata massima di rottura.

Le equazioni tengono a sottostimare invece il tempo di formazione della breccia e il flusso di picco. Qui di seguito si riportano i dati relativi ad alcune sezioni prese in esame in questo articolo.

River station	Downstream distance		Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak (hrs)	Time of rise (min)	Peak water elevation (m)	Measured HWM (m)	Model prediction departure (m)	Maximum water depth (m)	Energy grade slope (m/m)	Average channel velocity (m/s)	Top width (m)	Channel Froude number
	River (km)	Valley (km)											
500000	0.0	0.0	4,160	1309	49	79.70	—	—	8.3	0.0003	1.5	448	0.20
498022	0.6	0.6	4,080	—	—	77.17	—	—	7.8	0.0052	5.4	592	0.64
496453	1.1	1.0	4,030	1316	30	75.61	—	—	7.0	0.0054	5.2	762	0.64
496048 ^a	—	—	4,030	—	—	75.08	75.07	0.01	7.1	0.0051	5.1	678.8	0.62
495418	1.4	1.2	4,020	1317	28	74.33	74.92	-0.59	7.2	0.0037	4.3	640	0.52
495360	1.4	1.2	—	—	—	—	Columbia-Purvis Roadway Bridge						
495304	1.4	1.3	4,000	1317	28	73.77	—	—	6.7	0.0058	5.1	613	0.64
494615	1.6	1.5	3,950	1319	28	72.99	—	—	6.9	0.0022	3.2	1091	0.41
494416 ^a	—	—	3,940	—	—	72.91	73.49	-0.58	6.8	0.0019	2.4	1108	0.31
493821	1.9	1.7	3,930	1321	26	72.60	—	—	6.5	0.0030	1.2	1068	0.16
493621 ^a	—	—	3,930	—	—	72.43	73.03	-0.60	6.5	0.0034	2.3	1137	0.30
493222	2.1	1.8	3,900	1322	24	71.90	—	—	6.4	0.0062	5.1	1179	0.67
490312	3.0	2.6	3,060	1336	28	70.19	—	—	7.3	0.0010	2.3	861	0.28
489003	3.4	2.9	3,020	1341	29	69.81	69.19	0.62	9.0	0.0009	2.4	845	0.26
488950	3.4	2.9	—	—	—	—	Salt Dome Roadway Bridge						
488893	3.4	2.9	3,010	1341	29	69.75	—	—	8.9	0.0009	2.4	841	0.27
487483	3.8	3.3	2,920	1347	32	68.81	—	—	8.2	0.0031	4.4	723	0.50
485728	4.4	3.7	2,510	1350	31	67.86	—	—	7.8	0.0022	3.7	705	0.42
482760	5.3	4.4	2,440	1359	33	67.27	—	—	8.4	0.0006	2.0	912	0.23
481305	5.7	4.7	2,340	1413	43	66.88	—	—	8.7	0.0019	3.5	1003	0.39
480714	5.9	4.9	2,290	1411	40	66.52	66.45	0.07	9.3	0.0015	3.2	846	0.35
480665	5.9	4.9	—	—	—	—	Chaney Church Roadway Bridge						
480601	5.9	4.9	2,550	1411	40	65.54	65.86 ^b	-0.32	8.4	0.0045	5.2	657	0.60
479214	6.3	5.3	2,480	1417	42	64.81	—	—	7.8	0.0036	4.6	893	0.54
475828	7.4	6.0	2,110	1424	41	63.61	—	—	7.8	0.0016	3.1	785	0.36
474299	7.8	6.2	2,100	1440	53	63.46	63.09	0.37	8.0	0.0007	2.1	1300	0.23
472007	8.5	6.6	2,100	1447	53	63.14	—	—	9.8	0.0022	1.3	943	0.14
471950	8.5	6.6	—	—	—	—	Luther Saucier Roadway Bridge						
471891	8.6	6.7	1,970	1447	53	62.34	62.36	-0.02	9.0	0.0048	1.8	876	0.20
471001	8.8	6.9	1,870	1450	53	61.90	—	—	8.3	0.0019	3.1	824	0.37
466767	10.1	7.9	1,560	1511	61	60.54	—	—	8.1	0.0011	2.5	961	0.29
464073	11.0	8.4	1,500	1535	76	60.05	—	—	8.5	0.0003	1.3	1448	0.14
461687	11.7	8.8	1,500	1543	76	59.72	—	—	10.0	0.0027	1.4	1172	0.15
461620	11.7	8.8	—	—	—	—	Pinebur Roadway Bridge (upper)						
461552	11.7	8.8	1,470	1543	76	59.12	59.04	0.08	9.3	0.0077	2.3	908	0.25
456875	13.1	10.0	1,300	1613	86	57.25	—	—	8.7	0.0013	3.0	812	0.33

Figura 5 - Risultati analisi Hec-Ras

2.4 Surface modification of polylactic acid (PLA) by air atmospheric plasma treatment (Jordá-Vilaplana, Fombuena, García-García, Samper, Sánchez-Nácher,2014)

L'obiettivo principale di questo studio sperimentale è la convalida della tecnica di plasma atmosferico, con l'obiettivo di implementare l'energia superficiale dell'acido polilattico (PLA) per migliorarne la bagnabilità.

Il documento quindi, desta interesse in quanto studia un metodo per far si che le forze di adesione tra liquido e PLA siano maggiori di quelle di coesione all'interno del fluido.

Si utilizza quindi il trattamento chimico con plasma atmosferico sul PLA, il quale garantisce buoni risultati in termini di adesione. Lo studio è effettuato utilizzando la scansione al microscopio elettronico (SEM) per analizzare la superficie e le microscabrezze del PLA. In seguito, la bagnabilità si è misurata confrontando campioni prima e dopo il trattamento a plasma atmosferico valutando il cambiamento dell'angolo di contatto dei liquidi su di esso, si sono utilizzati acqua, formammide, diiodoetano e glicerolo.

Nozzle-substrate distance (mm)	Advance (mm·s ⁻¹)	% atomic C	% atomic O	% atomic N	Rate O/C	Rate N/C
Untreated		76.1	18.9	0.4	0.25	0.005
10	100	66.6	32.6	0.7	0.49	0.010
	300	67.9	31.2	0.8	0.46	0.012
	700	71.5	27.4	1.1	0.38	0.016
	1000	75.6	23.6	0.8	0.31	0.010
14	100	70.8	27.8	1.4	0.39	0.019
	300	76.9	22.7	0.4	0.29	0.005
	700	77.3	22.6	0.1	0.29	0.001
	1000	81.6	17.9	0.4	0.22	0.005
	100	69.3	30.3	0.4	0.44	0.005
	300	69.1	30.5	0.4	0.44	0.005
20	700	79.6	20.1	0.3	0.25	0.004
	1000	81.8	17.8	0.4	0.22	0.002

Tabella 1 - Valori tensione superficiale prima e dopo il trattamento

2.5 Surface tension in small hydraulic river models – the significance of the Weber number (J.Peakall, J.Warbuton,1996);

Questo documento mette in relazione la tensione superficiale di piccoli corsi d'acqua con il numero di Weber, il che rappresenta una delle principali problematiche della tesi in questione. In questo studio si sottolinea l'importanza del numero di *Weber* e come questo vari di quasi tre ordini di grandezza e non risulta facile definire una condizione critica. È necessario prestare attenzione nell'interpretazione di questi valori perché rappresentano una varietà di condizioni idrauliche.

Il numero di *Weber* è comunemente espresso in due forme, come rapporto o come radice quadrata del rapporto.

Si affronta inoltre la problematica di definire un numero *Weber* critico basato sull'equazione dell'energia e le onde capillari superficiali, ma questi producono risultati spuri, perciò la potenziale influenza della tensione superficiale nei modelli di piccoli fiumi dovrebbe essere valutata in tutti gli esperimenti.

Si consiglia che, finché le profondità e le larghezze del canale sono superiori a 0.025-0.05 m, la capillarità può essere ignorata. Lo studio suggerisce tre condizioni operative minime per ridurre la tensione superficiale:

- La lunghezza di un'onda di superficie sul modello sia maggiore di 0.017 m.
- La velocità sulla superficie dell'acqua del modello sia maggiore di 0.23 m/s in modo che le onde gravitazionali siano libere di svilupparsi.
- La profondità di flusso nel modello sia maggiore di 0.015 m.

3 MODELLAZIONE MATEMATICA

Un primo studio è stato effettuando la simulazione di dam-break utilizzando *Hec-Ras 5.0.6*, il quale permette di avere un approccio bidimensionale in moto vario. Su tale software è possibile caricare il DSM con dimensione caratteristica delle celle pari a un metro (rif. Regione Piemonte, base BDTRE 2015), in quanto si è in possesso dei rilevamenti LIDAR dotati di tale precisione, con l'apposita funzione *Ras-map* è possibile andare a definire un'area bidimensionale dove effettuare la simulazione creando una *storage area* (serbatoio) e un *mesh 2D* (zona di studio del *dam-break*).

3.1 Modellazione idraulica

L'analisi è stata effettuata con riferimento alle condizioni di moto vario imposte dall'idrogramma in uscita dalla breccia in condizioni di collasso, lo schema di calcolo adottato, come già anticipato, è quello bidimensionale di moto vario recentemente implementato dal codice HECRAS "River Analysis System" Versione 5.0.6 (U.S. ArmyCorps of EngineersHydrologic Engineering Center).

Il modello in questione risolve le equazioni costitutive dei fluidi note come equazione di continuità e della quantità di moto (equazione dei momenti).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

L'equazione di conservazione della massa (equazione di continuità) assume la seguente forma differenziale:

(Dove H il carico totale, h è il tirante locale, u e v le velocità mediate sull'altezza lungo una delle direzioni x o y , t il tempo, q l'intensità degli eventuali afflussi o sottrazioni).

L'equazione dei momenti assume la forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \end{aligned}$$

Dove g è l'accelerazione di gravità, v_t rappresenta il coefficiente dell'eddy viscosity orizzontale e C_f rappresenta coefficiente d'attrito di fondo ed f il parametro di Coriolis.

La bidimensionalità è data dal fatto che le variabili sono calcolate su due dimensioni cartesiane x e y e mediate sulla profondità, mentre le componenti lungo z delle grandezze idrauliche vettoriali sono trascurate.

Il modello 2d adottato infine risulta a fondo fisso senza componenti di trasporto solido. Nella configurazione adottata il risolutore numerico utilizza uno schema di risoluzione esplicito ai volumi finiti comprendendo l'eddy viscosity e trascurando f il parametro di Coriolis.

Il modello è caratterizzato da un dominio di calcolo, implementato sulla base del DSM descritto in precedenza, e caratterizzato da una mesh con celle prevalentemente quadrate con lato 6 metri. Quest'ultima risoluzione risulta frutto di più prove di calcolo con lo scopo di arrivare alla massima precisione consentita dal software evitando che la soluzione diventi instabile. Il dominio pertanto è così caratterizzato:

2D Flow Area Computation Points	
Mesh contains:	105979 cells
max cell (1471) =	71.57 (m ²)
min cell =	27.71 (m ²)
avg cell =	36.12 (m ²)

Figura 6 - Dominio mesh 2D

L'invaso è stato modellato al contorno della mesh 2d mediante una *Storage Area* alla quale è stata assegnata la curva d'invaso costruita in riferimento al rilievo batimetrico fornito dalla Regione Piemonte. Con questi dati si è potuto costruire una curva Altezze Volumi dell'invaso.

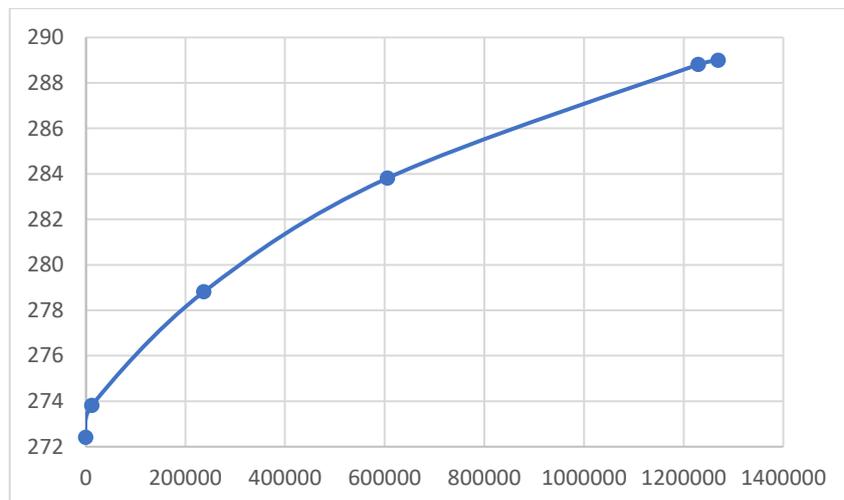


Figura 7 - Curva altezze-volumi Lago Pistono

La quota del fondo dell'invaso risulta pari a 272.41 mslm, mentre il livello di massimo invaso si attesta ad una quota media pari a 289,5 mslm alla quale corrisponde un volume pari a 1269651 m³ sulla base della sola ricostruzione geometrica basata sulla Carta tecnica BDTRE, delle piante e del volume calcolato come sommatoria di tronchi di cono.

La connessione tra la *Storage Area* di monte e la *2D Flow Area* a valle è stata realizzata mediante un'apposita connessione idraulica che simula lo sbarramento dell'invaso. Su tale argine sono state imposte le condizioni di rottura.

3.2 Stima dei parametri descrittivi della breccia

Il collasso di una diga può essere causato da diversi meccanismi: eventi di piena significativi, sifonamento e infiltrazione, azione sismica, cedimento delle fondazioni e molteplici altre cause.

La stima della breccia in questa occasione è effettuata sotto l'ipotesi di collasso istantaneo dovuto a una rottura per tracimazione, in quanto questa modalità di rottura risulta essere la più comune per le dighe in calcestruzzo. Pertanto, al suo ultimo stadio, la superficie di rottura dello sbarramento si assume con la seguente configurazione.

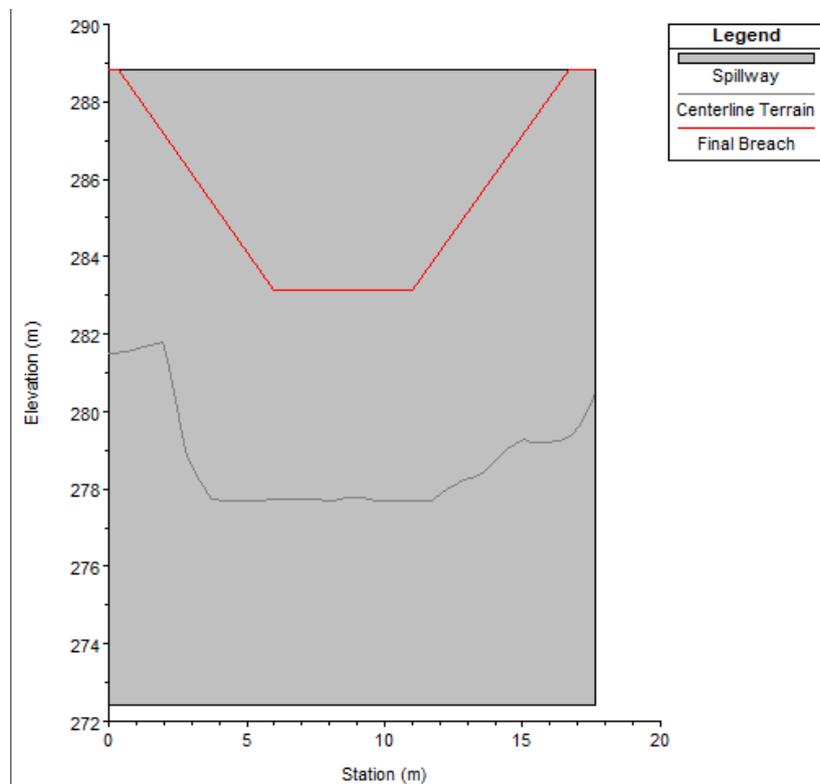


Figura 8 - Configurazione ultima della breccia

Il coefficiente di deflusso associato all'argine collassato è stato posto pari a 0.5, mentre alle modalità di collasso è stato associato un andamento progressivo di tipo sinusoidale.

In relazione alla presente analisi è stato necessario associare delle condizioni iniziali all'invaso considerato; in particolare si è scelto di imporre come livello iniziale all'interno dell'invaso un tirante corrispondente alla massima altezza d'invaso, dunque pari a:

$$h_i = 289.5 \text{ mslm}$$

Corrispondente in termini relativi a:

$$h_i = 17.09$$

Questa scelta è giustificata dal fatto che la modalità di collasso considerata è relativa ad un collasso per tracimazione.

In relazione alle condizioni al contorno è stata impostata una condizione di pendenza (*Normal Depth*) in corrispondenza dell'estremità di valle dell'area di inondazione 2D; tale pendenza è stata posta pari a 1%.

Per meglio caratterizzare il flusso di piena nell'area di valle si è scelto di adottare un diverso coefficiente di *Manning* in base alla categoria del suolo:

Categoria	Coefficiente di <i>Manning</i>
reti ferroviarie e spazi accessori	0.014
reti stradali e spazi accessori	0.011
robinieti	0.022
seminativi semplici in aree indifferenziate	0.022
seminativi semplici in aree irrigue	0.022
seminativi semplici in aree non irrigue	0.025
aree verdi artificiali non agricole indifferenziate	0.03

Tabella 2 - Coefficienti di *Manning*

3.3 Analisi dei risultati

I risultati ottenuti dalla modellazione possono essere analizzati in termini di velocità, profondità ed idrogrammi risultanti.

È inoltre possibile analizzare la propagazione dell'onda di piena e le traiettorie delle particelle fluide in corrispondenza di ostruzioni al deflusso significative.

Di seguito sono illustrati i valori massimi in termini di tiranti e velocità.

- Profondità della corrente (*Depth*) [m]:

I valori di profondità massima rilevati nell'area a valle dell'invaso sono generalmente maggiori al metro; di conseguenza la scala di rappresentazione mostra differenti tonalità di azzurro corrispondenti a valori di profondità della corrente che variano dal valore zero ad un valore di 3m, si può inoltre notare delle zone in blu scuro che indicano quelle zone dove il livello d'acqua

arriva a valori più elevati. Vengono inoltre indicati con un colore violetto le altezze d'acqua inferiori ai 10 cm.

Le immagini seguenti mostrano l'area inondata con riferimento alla visualizzazione del modello digitale del terreno (DSM) ed a *Google Satellite*.

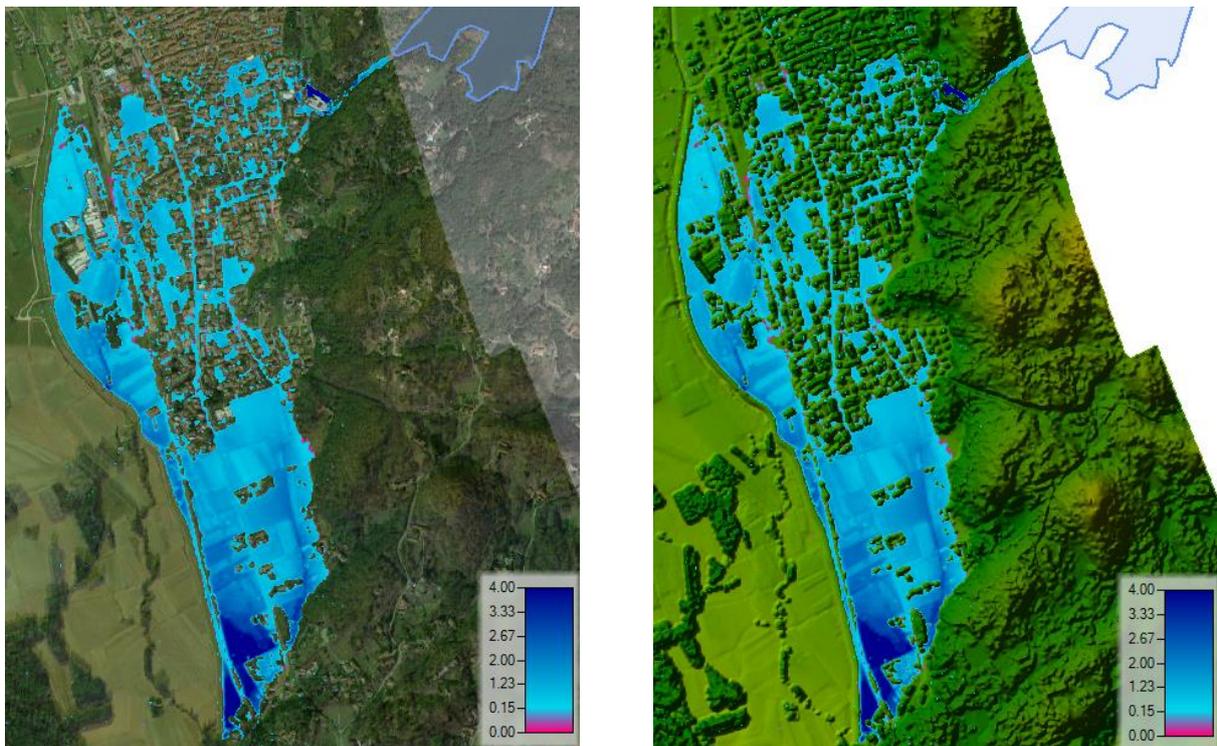


Figura 9 – Profondità del flusso

- Velocità della corrente (*Velocity*) [m/s]:

I valori di velocità massima della corrente sono localizzati in prossimità del cambio di pendenza poco a valle della breccia in prossimità del mulino, sono presenti velocità superiori ai 20 m/s. Tali valori decrescono progressivamente lungo il versante.

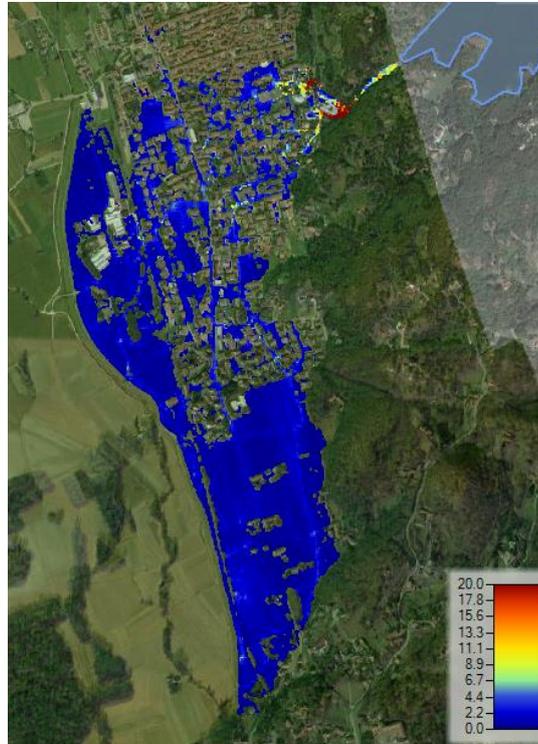


Figura 10 – Velocità della corrente

- Propagazione dell'onda di dam break

È possibile osservare la propagazione del fronte d'onda nel tempo.

- $t=0$ minuti: situazione iniziale antecedente al collasso dell'invaso;



Figura 11 - Condizione iniziale

- $t=1$ minuti: condizione immediatamente successiva all'apertura della breccia;



Figura 12 - Inizio collasso diga

- *t=6 minuti*: condizione di collasso totale dello sbarramento e coinvolgimento di parte del comune di Montalto Dora;

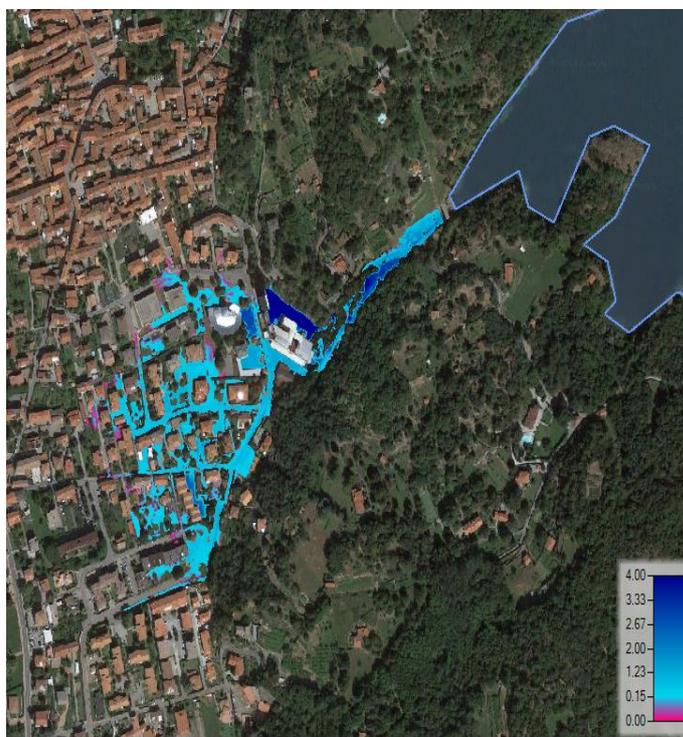


Figura 13 - Collasso totale

- *t=30 minuti*: condizione di completo allagamento del paese di Montalto Dora.

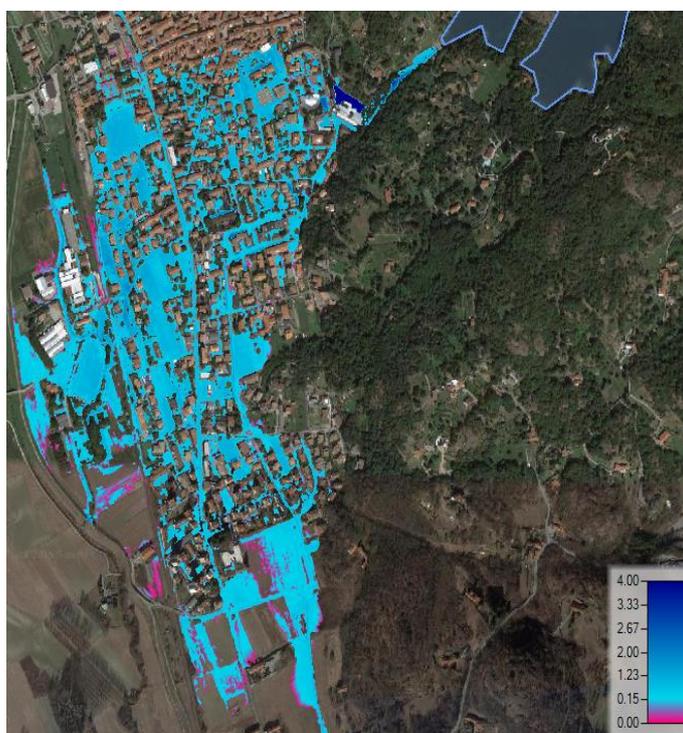


Figura 14 - Allagamento totale Montalto Dora

- Idrogramma breccia

Un ulteriore risultato conseguente all'analisi tramite modello numerico è dato dagli idrogrammi in corrispondenza di alcune sezioni significative appartenenti all'area analizzata:

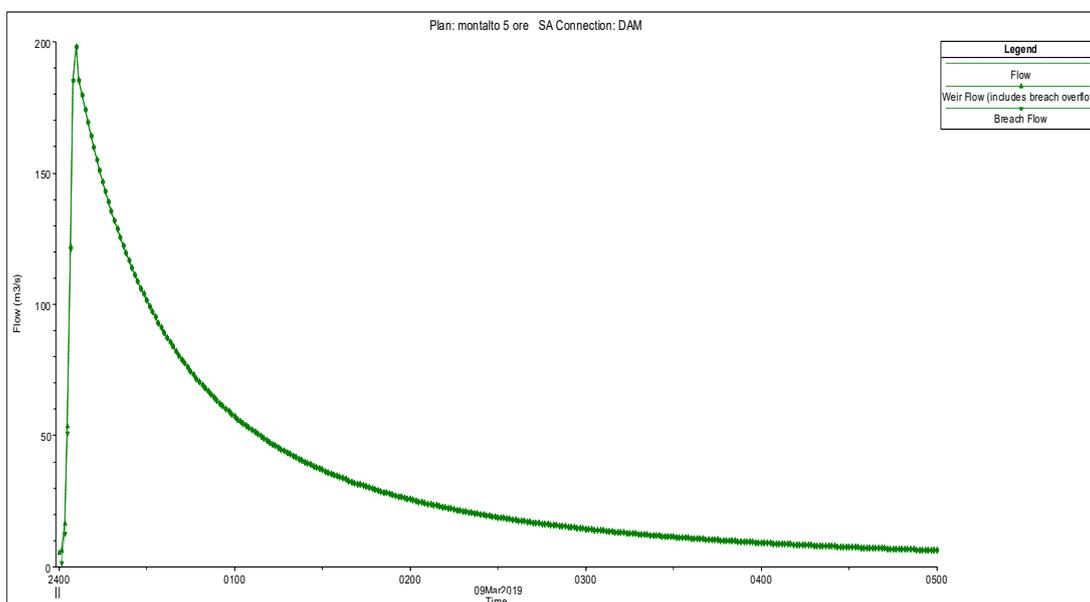


Figura 15 - Idrogramma breccia

Si può notare che la portata di picco pari a $198 \text{ m}^3/\text{s}$, è verificata al momento di massima apertura della breccia, ovvero dopo 6 minuti. Successivamente il bacino tende a svuotarsi e a diminuire sempre più la portata in uscita. Si può notare come dopo 3 ore il flusso in uscita tende asintoticamente alla portata nulla.

Il volume totale in uscita dalla breccia si attesta pari a 643 m^3 a fronte di un volume totale del Lago Pistono di 120000 m^3 .

4 STUMENTI UTILIZZATI

Per la realizzazione dei modelli si sono utilizzate due differenti stampanti 3D di diverse dimensioni in modo tale da lavorare in parallelo sfruttandone a pieno le dimensioni di ognuna. Su entrambe si è utilizzato come materiale di stampa il PLA. A fine stampa i pezzi sono stati uniti tra loro e posti su dei supporti che potessero garantirne la monoliticità e la corretta messa in piano.

4.1 Stampante Creality 3D CR10S5

Per stampare un modello che avesse le dimensioni per una scala pari a 1:1000 si è utilizzato la stampante 3D “Creality 3D CR10S5”. Questo modello è il più grande della gamma CR10 che consente stampe massime di 500x500x500 mm. Essa è dotata di telaio in alluminio e doppio asse Z per la massima precisione, presenta un ugello da 0,4 mm e un sensore per monitorare il filamento collegato. È presente l’interfaccia con uno schermo LCD.



Figura 16 - Stampante CR10S5

Sul piano d’appoggio si è posto un vetro delle stesse dimensioni del piatto della stampante in modo da migliorare la planarità del modello e favorire l’adesione del PLA sul piano di stampa. Si è notato che il vetro risulta essere un buon piano d’appoggio ma a fine stampa la fase di distacco ha creato notevoli problemi, anche dopo qualche ora e a piatto completamente freddo. Per ovviare il problema si è deciso di porre delle strisce di nastro blu, il quale garantisce una buona adesione in fase di stampa ma anche una più facile rimozione del pezzo una volta finito.

Su di essa dunque, si è proceduto alla stampa di 6 quadranti partendo da quello immediatamente a valle del lago Pistono, estendendosi fino alla fine del centro abitato. In più si è potuto riprodurre il lago dividendolo in due pezzi da stampare.

4.2 Anycubic i3 Mega

Questa stampante è stata utilizzata per la produzione dei pezzi più piccoli, come il modello in scala 1:2000 e il canale per la prova di dam-break monodimensionale. La Anycubic i3 Mega è capace di stampare in formati delle dimensioni di 210x210x205 mm. È costituita da una base in metallo che consente una fermezza e una solidità maggiori. Il dispositivo è dotato inoltre di un sensore di prossimità per il livellamento del piatto e di TFT touch screen da 3,5 pollici. In questo modo è possibile stampare gli oggetti in maniera più precisa e semplice. I file possono essere caricati con l'uso di una scheda SD o collegandola direttamente al computer tramite cavo USB.

Il piano d'appoggio è costituito dal piatto ULTRABASE che consiste in un vetro di 5mm di spessore la cui superficie è stata trattata per favorire l'adesione ottimale delle stampe senza l'uso di colla, lacca o nastro, e inoltre, risulta molto facile il distacco a fine stampa una volta raffreddato

L'estrusore consente un buon dettaglio di stampa con dimensione dell'ugello di 0,4 mm.

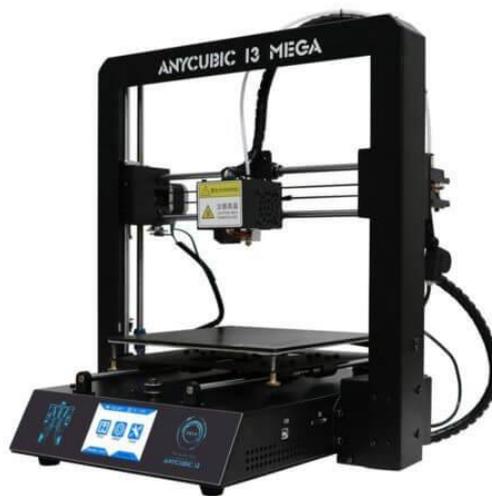


Figura 17 - Anycubic i3 Mega

Su questa si sono riprodotti nove pezzi rappresentati la geometria del paese di Montalto Dora, più due per il lago Pistono.

4.3 Filamento

Il corretto impiego delle stampanti 3D è legato alla qualità del filamento utilizzato, in quanto in base al prodotto finale che si vuole raggiungere si può scegliere il materiale più adatto. I più utilizzati sono i filamenti in ABS (Acrilnitrile butadiene stirene) e in PLA (acido polilattico).

Il primo è un prodotto termoplastico derivato dal petrolio, si presenta mediamente flessibile e quindi dotato di una buona resistenza agli urti, ma presenta una scarsa resistenza ai raggi UV, difatti se esposto a lungo tende a ingiallire e a deteriorarsi. Il materiale fonde a temperature molto alte, per cui necessita una temperatura di lavorazione superiore ai 220° e un piano costantemente riscaldato ad almeno 100° per ridurre la deformazione termica dovuta al ritiro, che in fase di raffreddamento può distorcere il modello in maniera irrimediabile e dunque compromettere il risultato finale. Esso è disponibile in una vasta gamma di colori ed è presente sul mercato ad un basso costo.

Il secondo è un materiale biodegradabile e quindi più ecologico rispetto all'ABS in quanto lo si ricava da mais e patate, da questo ne deriva che durante la stampa non ci siano emanazioni di fumi tossici o sgradevoli odori di plastica bruciata, per questo può anche essere utilizzato per contenitori per uso alimentare. Le parti stampate in PLA hanno una finitura leggermente lucida e sono dotate di una buona rigidità e resistenza meccanica, anche se manifestano la tendenza a scheggiarsi e a rompersi se sottoposte a urti. Con un indice di ritrazione piuttosto basso, che si attesta intorno al 2-3%, il PLA è più indicato dell'ABS per la realizzazione di oggetti di grandi dimensioni in quanto soffre molto meno dei problemi di deformazione. Inoltre, il PLA ha una temperatura di fusione più bassa, ovvero circa 180° e non necessita di un piano riscaldato. Anch'esso come il primo lo si può trovare in una grande varietà di colori e un costo ridotto.

A fronte di quanto detto nello studio di questa tesi si è scelto di utilizzare il PLA poiché risulta essere più vantaggioso visto il risultato finale che si vuole ottenere. Difatti, presentando una deformazione dovuta al ritiro più bassa, e date le dimensioni dei pezzi da stampare, è più appropriato rispetto al filamento in ABS che necessita maggiori attenzioni durante le fasi di stampa. Esso inoltre garantisce una buona precisione dimensionale, il che risulta essenziale nella stampa dei DSM che presentano una notevole quantità di dettagli come edifici, alberi e strade.



Figura 18 - Bobina da 1kg di PLA

In vista della quantità di materiale da stampare si sono utilizzate bobine da 1kg di PLA bianco ϕ 1.75 mm, in modo tale da ridurre al minimo il passaggio tra una bobina e l'altra durante le fasi di stampaggio. Si è scelto di utilizzare un filamento di colore bianco a ragione del fatto che in vista delle prove di luminosità da applicare ai campioni, questo colore risultava il più adatto.

4.4 Supporti e incollaggio

Per mantenere insieme i vari pezzi dei modelli si necessita di una colla che garantisca una buona presa senza però andare a rovinare il PLA. Dalle ricerche fatte si è arrivati alla soluzione di utilizzare il Super Attack Professional, un adesivo in Etilo Cianocrilato in formulazione liquida. Esso si presenta liquido e trasparente ed è una tipologia di colla di tipo comune e indicato anche per uso domestico in quanto crea forti incollaggi tra i componenti più comuni tra i quali i materiali in questione, ovvero plastica legno e vetro. La forza stimata di incollaggio è di 20 N/mm².



Figura 19 - Super Attack

Per quanto concerne invece i supporti si è usato vetro e legno. Nel modello di più piccole dimensioni si è scelto come supporto una lastra di vetro di dimensioni 600x600x3 mm in modo da poter contenere tutti i quadranti stampati e siccome in vetro mantenere facilmente la planarità dell'opera. Inoltre, nella scelta del supporto si è tenuto conto anche del fatto che nell'incollaggio dei modelli sul vetro si è potuto utilizzare la stessa resina che tiene insieme i quadranti.

Per il modello in scala più grande una lastra in vetro come illustrato nel modello di più ridotte dimensioni, sarebbe sconvenevole poiché il peso diventerebbe gravoso e inoltre, data la fragilità del vetro risulterebbe rischioso spostare il modello. Perciò si è optato per una lastra in legno lamellare che possa rendere più stabile la struttura e mantenerla in piano. La lastra è stata trattata procedendo con la stesura di due mani di *flattig*, una vernice lucida che garantisce l'impermeabilizzazione del legno.

Per quanto riguarda il serbatoio stampato esso è posto su un supporto in legno il quale potesse portare alla quota desiderata la breccia. Esso sarà di 2 cm di spessore per il modello 1:2000 e di 4 cm per quello 1:1000

Per procedere dunque all'assemblaggio si è dapprima carteggiato i bordi di ogni quadrante per levigare la superficie e renderla il più possibile combaciante con quelle adiacenti, in modo da poter rimuovere le imperfezioni. Si è usata una carta abrasiva con grana da 320 mm per le prime carteggiate per poi usare una da 240 per ultimare, in modo da evitare di graffiare troppo

la plastica e lasciarla liscia e favorire così il contatto tra le due parti. Dopo di che si è potuto procedere con l'incollaggio, la resina scelta oltre a tenere uniti i pezzi funge anche da riempimento per i vuoti che possono rimanere anche dopo il carteggiamento. Una volta legati i pezzi tra loro li si dispongono sulla base e applicando una leggera flessione su di essi li si mette in piano. Soprattutto nei campioni con una minore estensione verso l'alto occorre imprimere maggiore sforzo.

4.5 Setup stampanti

Una fase molto importante per la creazione dei modelli è stata il settaggio delle stampanti, avvenuta in base ai materiali utilizzati, pertanto si sceglie di applicare una temperatura dell'estrusore di 200° in modo da garantire un filamento morbido e abbastanza malleabile. Il piano d'appoggio per favorire l'adesione è mantenuto a una temperatura costante di 60°, questo poiché le stampanti non sono dotate di una camera chiusa e quindi per non indurre deformazioni nel PLA durante le fasi di stampa e ridurre il ritiro si sceglie di mantenere il piatto riscaldato.

Entrambe le stampanti sono messe in piano con l'ausilio di quattro viti poste ognuna in ogni angolo del piatto di stampa. Utilizzando le funzioni di auto livellamento si controlla la messa in bolla del piatto e per un ulteriore controllo si procede a una stampa preliminare di rettangoli dello spessore di un layer nei quattro vertici e al centro, in modo da avere un migliore riscontro sulla verifica della planarità, requisito fondamentale per la corretta riuscita.

I quadranti stampati sono stati ritagliati dal DSM BDTRE fornita dal Geoportale Nazionale, rilevati con LIDAR con precisione 1m. Quindi, i file in formato raster sono successivamente importati sul software QGIS 3.6.2, dove i DSM sono suddivisi in quadranti della stessa dimensione in modo da facilitarne la stampa, in seguito utilizzando il plugin di QGIS 3.6.2 "DEMto3D" si è potuto esportare il quadrante ritagliato nel formato richiesto dalle stampanti

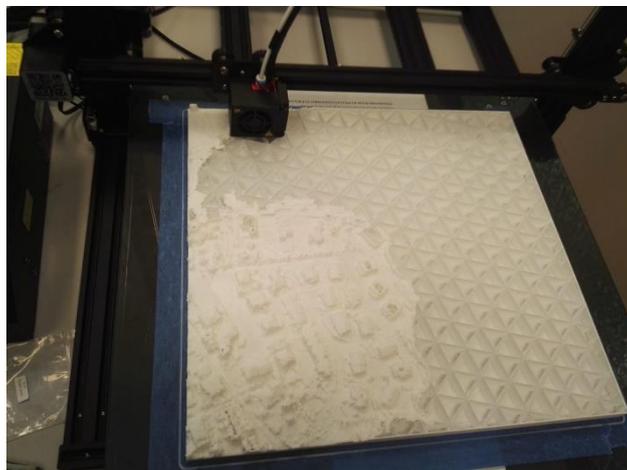


Figura 20 - Quadrante in fase di stampa

(.stl.). Il file può essere modellato ed esportato sulla stampante 3D con il software “Ultimaker Cura 4.0.0” dove si controlla che le dimensioni siano quelle corrette, infatti dall’esportazione da QGIS, il file subisce una variazione lungo l’asse y, pertanto si deve stirare in quella direzione per riportarlo alle corrette dimensioni. Su questo programma si possono impostare inoltre le direttive generali da inviare alla stampante. Si è optato per un’altezza di ogni layer pari a 0,2 mm e un riempimento dello scheletro del 5% con forma triangolare. Le temperature, come già detto, sono state impostate pari a 200° all’estrusore e 60° sul piano d’appoggio, la velocità di stampa è 60 mm/s.

Figura 21 - CR10S5 in fase di stampa

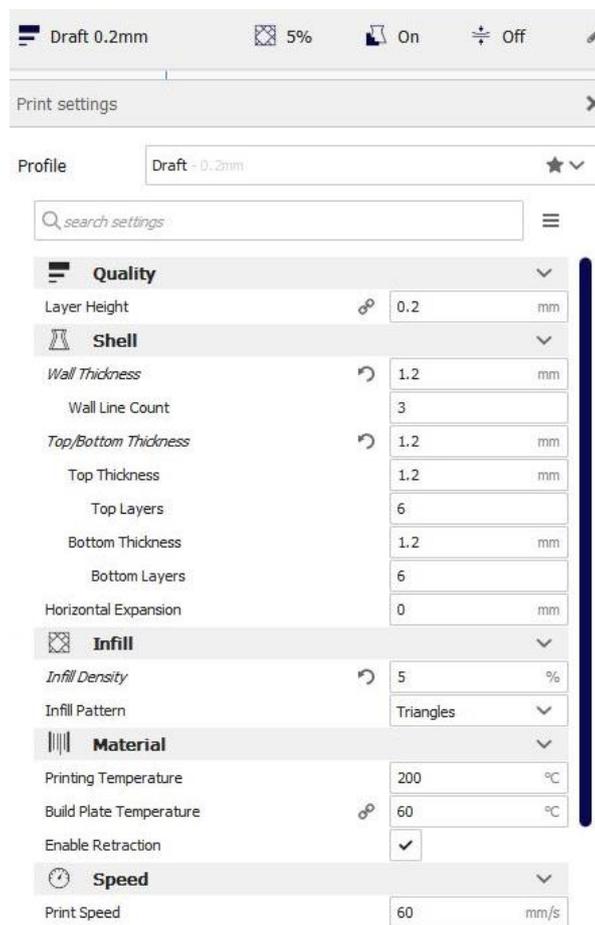


Figura 22 - Setup di stampa

Nelle tabelle seguenti si riportano i dettagli su dimensioni, tempo di stampa e quantità di materiale utilizzato per i singoli pezzi per ognuna delle stampati utilizzate.7

Nome quadrante	Dimensioni (x/y/z) [mm]	Tempo di stampa	Quantità di materiale
DSM 1.4	389.85/370.77/39.97	2g 22h 6m	702 g
DSM 1.5	389.85/370.77/96.96	3g 21h 50m	1026 g
DSM 2.0	389.85/370.77/25.73	3g 1h 7m	681 g
DSM 2.1	389.85/370.77/49.59	4g 12h 31m	1101 g
DSM 2.2	389.85/370.77/35.11	2g 20h 57m	649 g
DSM 2.3	389.85/370.77/118.96	4g 17h 29m	1128 g
PIST 1	435/416/19.8	1g 23h 53m	546 g
PIST 2	480/232/19.8	1g 0h 53m	294 g
BRECCIA	20.1/19.9/8.9	8 m	1 g

Tabella 3 - Dettagli stampe su CR10S5

Nome quadrante	Dimensioni (x/y/z) [mm]	Tempo di stampa	Quantità di materiale
DSM 1.4	194.93/185.38/19.98	22h 6m	158 g
DSM 1.5	194.93/185.38/48.48	1g 2h 46 m	208 g
DSM 2.0	194.93/185.38/12.81	22h 10m	150 g
DSM 2.1	194.93/185.38/49.79	1g 5h 59m	219 g
DSM 2.2	194.93/185.38/17.55	21h	144 g
DSM 2.3	194.93/185.38/59.48	1g 6h 41m	220 g
DSM 4.5	194.93/185.38/12.91	21h 1m	154 g
DSM 3.1	194.93/185.38/17	19h 10m	141 g
DSM 3.3	194.93/185.38/16.65	18h 55m	137 g
PIST 1	217/208/8.9	10h 58m	118 g
PIST 2	240/116/8.9	5h 55m	65 g
BRECCIA	10.1/9.9/8.9	1m	0.18 g

Tabella 4 - Dettagli stampe cu Anycubic i3 Mega

4.6 Acqua colorata

Per la simulazione l'uso di acqua trasparente sarebbe sconsigliato poiché sul bianco dei modelli sarebbe difficile osservare con nitidezza il suo movimento, pertanto si utilizza acqua colorata rossa.

Si è utilizzato il colorante alimentare E124, con concentrazione.....

Per valutare il suo corretto impiego ed evitare che il colorante vada a macchiare il modello compromettendo un suo riutilizzo, si è effettuato un test su un campione stampato, sul quale si sono definite tre zone:

- 1 Tal quale, ovvero senza alcun tipo di verniciatura;
- 2 Applicazione di un filler trasparente;
- 3 Applicazione di filler e verniciatura bianca;

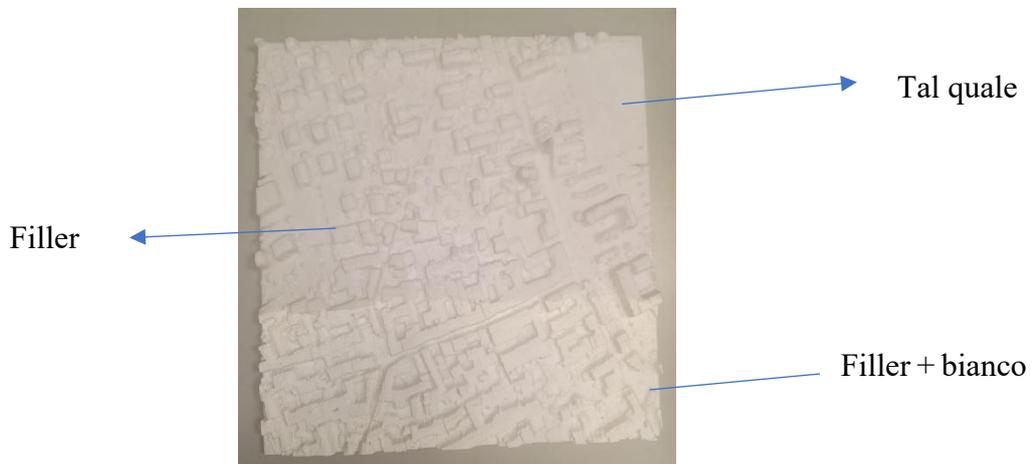


Figura 23 - Quadrante per test acqua colorata

Successivamente si è investito il campione con l'acqua colorata con E124, per verificare l'eventuale assorbimento del colore da parte del modello.



Figura 24 - Quadrante bagnato/dopo risciacquo immediato/ risciacquo dopo una notte

Si è notato come il PLA non si imbibisce minimamente dal colorante sia dopo un risciacquo immediato sia dopo aver lasciato il campione per tutta una notte bagnato, con e senza verniciatura, perciò si sceglie di non aggiungere nessuna pittura al modello e lasciarlo col suo bianco naturale.

4.7 Telecamera Nikon DSLR D810

Per la ripresa del *dam-break* si è fatto uso della fotocamera Nikon DSLR D810 avente un obiettivo AF-S Nikkor 24-120 mm f/4G ED. Registra video a 60 fps a 1080p (1920x1080) con un intervallo dinamico di 8 bit (0 – 256) per ognuno dei tre canali cromatici (RGB). Per tutte le acquisizioni è stato utilizzato un rapporto focale f/4, ISO 200 e temperatura 3000 K con registrazione in full hd



Figura 25 - Fotocamera utilizzata

La fotocamera sarà posta perpendicolare al piano del modello in modo da poter rièrendere dall'alto l'avanzare dell'onda.

5 TENSIONE SUPERFICIALE

Nello studio in questione un fattore di notevole rilevanza è dato dalla conoscenza della tensione superficiale e della bagnabilità del modello in PLA. Infatti, è necessario verificare che il fluido scorra sulla superficie del modello stampato in maniera verosimile a come accadrebbe nella realtà su strade e terreni. Pertanto, affinché un liquido riesca a spandersi sulla superficie di un solido è necessario che la sua tensione superficiale sia inferiore alla tensione superficiale del solido.

La superficie che separa un liquido e un altro fluido non miscibile con esso si comporta, a causa delle forze di attrazione molecolare, come una membrana elastica in stato di tensione uniforme. Questa caratteristica si definisce appunto tensione superficiale.

Se si tagliasse la superficie di una goccia d'acqua di una lunghezza L , servirebbe una forza F per mantenere i lembi a contatto tra loro. Si misura perciò la tensione superficiale come il rapporto tra una forza e una lunghezza.

$$\tau = \frac{F}{L} \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

Il valore che τ assume varia in base alla natura dei fluidi a contatto con la temperatura. Normalmente essi sono calcolati alla temperatura di 20°, andando ad aumentare la condizione termica i valori tendono a diminuire, qui di seguito vengono riportati alcuni valori per fluidi di uso comune.

Acqua	0.073 [N/m]
Mercurio	0.559 [N/m]
Olio d'oliva	0.319 [N/m]
Etanolo	0.022 [N/m]

Tabella 5 - Valori caratteristici tensione superficiale

Questa proprietà è la causa della caratteristica forma pseudosferica che assumono le gocce di un liquido, questo poiché essa tende a minimizzare l'area della superficie di contorno a parità di volume.

Come mostrato nella *tabella 3* i valori tendono a essere di scarsa entità e pertanto se ne palesa l'importanza solamente quando la superficie di separazione tra i fluidi mostra curvature particolarmente marcate, il che si verifica per un considerevole sbalzo di pressione.

Questo comportamento è di considerevole rilevanza allorquando si instaurano i cosiddetti fenomeni di capillarità. L'esempio più comune è fornito dal cosiddetto *menisco*. Difatti quando

si immerge un tubo di piccolo diametro aperto superiormente in un liquido, si osserva come la superficie libera all'interno di esso tenda a curvarsi e ad abbassarsi o innalzarsi rispetto al liquido circostante.

Questo accade in base al fatto che la pressione nel liquido siano maggiori o inferiori di quella del gas a contatto con esso

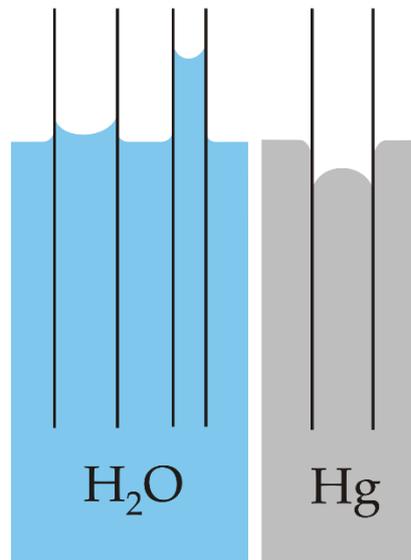


Figura 26 - Differente comportamento di un menisco di acqua e di mercurio

5.1 Bagnabilità

Nel caso in cui il fluido sia a contatto con una superficie solida, per effetto delle forze di attrazione molecolare la superficie di separazione liquido-gas forma con la superficie solida un angolo di contatto β , definito come l'angolo formato dalla tangente all'interfaccia liquido-fluido e dalla tangente alla superficie solida in corrispondenza della linea di contatto tra le fasi. Al variare di questo angolo si dirà che la superficie risulta essere bagnata o non bagnata. Con il termine bagnabilità si indica, appunto per questo, l'abilità che ha un liquido di mantenere il contatto con una superficie solida e dunque, la capacità di un liquido di stendersi completamente su una superficie piana e orizzontale.

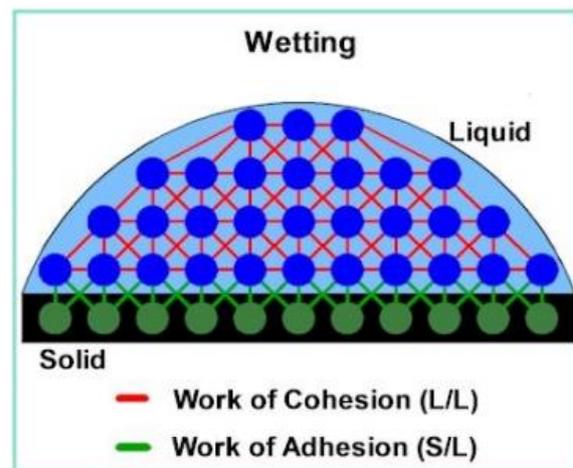


Figura 27 - Forze di adesione e coesione in una particella di liquido a contatto con un solido

Per individuare il grado di bagnabilità di un materiale è necessario determinare l'angolo di

contatto β delle gocce del liquido con la superficie del solido. Si dice pertanto che il liquido bagna o meno la parete a seconda che β sia maggiore o minore di 90° . Questo varierà a seconda che a prevalere siano le forze di coesione dentro il liquido o di adesione tra liquido e solido.

Ha una completa bagnabilità quando l'angolo di contatto avrà valori bassi, $\beta < 90$ e il liquido risulta completamente "disteso", in questo caso si parla di materiali idrofili, mentre si ha invece una scarsa bagnabilità quando, $\beta > 90$ e il liquido si divide in goccioline, il solido in questione sarà allora definito come idrofobo. Affinché il materiale solido risulti dunque più bagnabile occorre che le forze di adesione prevalgano su quelle coesive del liquido.

Si può modificare favorevolmente le caratteristiche di bagnabilità di un materiale può essere attraverso l'uso di tensioattivi, ovvero una sostanza capace di diminuire la tensione in superficie ed aumentarne la bagnabilità. In genere queste sostanze sono composti organici formati da una parte polare e una non polare. Queste sostanze diminuiscono la tensione all'interfaccia tra solido e liquido adsorbendosi con la loro catena idrocarburica (lipofila) sulla superficie idrofobica delle particelle, mentre la loro porzione polare è orientata verso la fase acquosa.

A fronte di quanto detto dunque, occorre andare a verificare il grado di bagnabilità del PLA in modo tale che il liquido su di esso si comporti come dovrebbe fare in realtà l'acqua sul terreno in esame.

Per fare ciò, si procede con un test visivo andando a porre con una siringa delle gocce d'acqua sulla superficie di alcuni campioni di PLA e verificare il loro comportamento. Si sono utilizzati pertanto dei quadrati di soli due layer di spessore stampati in PLA e in ABS.

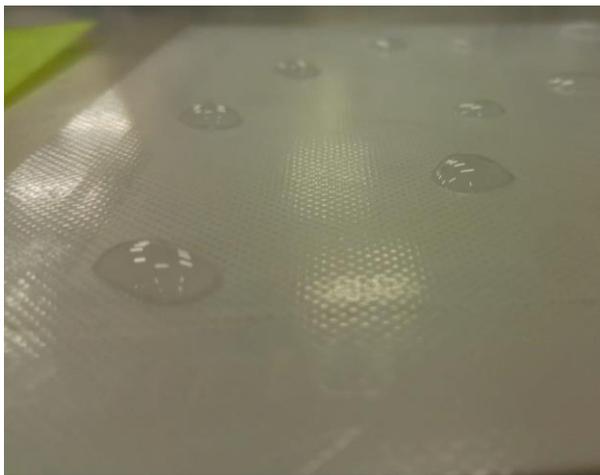


Figura 28 - Gocce d'acqua su PLA

Nella figura a lato si nota come le gocce d'acqua sulla superficie del PLA formano un angolo di poco inferiore a 90° , pertanto, bagnano solo in parte la superficie, il che fa pensare che la tensione superficiale del materiale solido sia inferiore a quella dell'acqua. Si nota inoltre, che siccome la superficie non risulta completamente piana ma presenta delle microscabrezze dovute alla

irregolarità del piatto di stampa (poiché i campioni in questione sono stati stampati sulla stampante Anycubic i3 Mega dotata di Ultrabase come spiegato nell'apposito paragrafo), queste aiutino l'acqua a spandersi più facilmente di quanto farebbe se il piano fosse completamente liscio.

Per fare in modo che l'acqua riesca a bagnare in maniera più efficace la superficie si cerca dunque di abbassare la tensione superficiale eliminando la carica presente sullo spazio in questione. Per fare ciò si decide di operare con un tensioattivo.

Si è deciso di utilizzare dell'acqua saponata, la quale a contatto con il PLA lo rende più propenso ad essere bagnato creando pertanto maggiore aderenza tra liquido e solido. Dunque, passando la suddetta soluzione sul plastico e successivamente altra acqua per eliminare possibili residui di sapone, si può notare che la carica tensionale sull'area risulta abbassarsi notevolmente e il solido presenta una bagnabilità all'acqua accettabile. Per mantenere la validità del test e fare in modo che non ci sia già presenza di acqua sul piano, lo si asciuga con della carta assorbente, in questo modo la carica tensionale rimane invariata, mentre l'asciugatura mediante aria calda genera una reazione che fa sì che la tensione superficiale torni ad essere quella originaria e quindi renda il PLA non bagnabile a sufficienza.

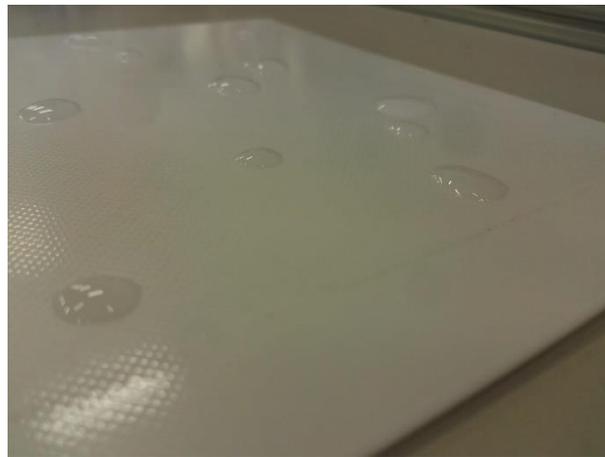


Figura 29 – Gocce d'acqua dopo l'applicazione di acqua saponata

Un'ulteriore prova è effettuata utilizzando un fluido con una tensione superficiale inferiore a quella dell'acqua, ovvero dell'alcool etilico denaturato il quale presenta un valore di τ di circa tre volte inferiore a quello dell'acqua. Si sono riprodotte diverse soluzioni variando la quantità di alcol mischiata con l'acqua, effettuando dunque 4 prove con il 10% - 50% - 75% - 100% di alcol etilico. Da questo test si evince, come mostrato nella *figura 29*, che l'etanolo ha una capacità spandersi molto più facilmente sulla superficie, bagnandola maggiormente già con una miscela al 50%, portando l'angolo di contatto molto prossimo allo 0.



Figura 30 - Miscela alcol etilico da sinistra a destra: 100%-75%-50%-25%

Per verifica si effettua il medesimo test su una superficie stampata in ABS (*figura 32*). Su questa area l'angolo di contatto risulta molto vicino a 90° e pertanto il liquido non bagna la superficie, dunque, si ha un effetto peggiore rispetto a quello ottenuto sul PLA. Per questo motivo, oltre alle maggiori difficoltà di stampa, si è preferito l'utilizzo di PLA all'ABS, il quale non garantisce alcun beneficio sotto il piano della bagnabilità.



Figura 31 - Gocce d'acqua su ABS

5.2 Numero di *Weber*

Nella presente tesi si cerca di favorire la bagnabilità del modello e per ottenere ciò si vuole che a prevalere siano le forze di adesione con la superficie solida a discapito di una rottura dei legami di coesione all'interno del fluido. La rottura di una struttura fluida avviene per l'instaurarsi all'interfaccia tra liquido lubrificante e gas (aria) di oscillazioni ondose che, in particolari condizioni, possono amplificarsi fino a portare alla disgregazione della struttura stessa o comunque, favoriscono il distacco di porzioni di liquido da essa.

Alla base del meccanismo di rottura delle gocce ci sono delle distribuzioni non uniformi delle pressioni sulle gocce stesse a causa della pressione dinamica dell'aria. Per poter studiare i vari meccanismi di rottura delle gocce, che influenzano a loro volta la deposizione del film lubrificante, è bene prendere in considerazione il numero di Weber, una grandezza adimensionale, che rappresenta il rapporto tra forze aerodinamiche che provocano la rottura e la forza stabilizzante dovuta alla tensione superficiale.

$$We = Ca \cdot Re$$

- We ; è il numero di Weber;
- Ca ; è il numero di capillarità, un numero adimensionale che rappresenta l'effetto relativo delle forze viscosse rispetto alla tensione superficiale all'interfaccia tra una fase liquida e una fase gassosa o tra fluidi non miscibili;
- Re ; è il numero di Reynolds che identifica un gruppo adimensionale usato in fluidodinamica, proporzionale al rapporto tra le forze d'inerzia e le forze viscosse;

Così come il numero di *Froude* nel flusso di un canale indica il rapporto tra la velocità del flusso e la velocità di un'onda gravitazionale, il numero di *Weber* rappresenta il rapporto tra la velocità del flusso e la velocità di un'onda capillare.

Dunque, questa grandezza adimensionale, mette in relazione le forze d'inerzia con la forza di tensione superficiale. Quindi si può riscrivere la formulazione del numero di Weber come rapporto di queste due forze.

La prima (F_i) la si scrive seguendo il secondo principio della dinamica, come prodotto di massa per accelerazione, la seconda (F_s) come prodotto tra la tensione superficiale e un parametro di lunghezza.

In questo modo si potrà scrivere:

$$F_i = \frac{\rho l^4}{t^2} \quad F_s = \tau l$$
$$We = \frac{F_i}{F_s} = \frac{\rho l^3}{\tau t^2} = \frac{\rho v^2 l}{\tau}$$

- ρ è la massa volumica [kg/m^3];
- l è un parametro di lunghezza [m];
- t è un parametro temporale [s];
- v è un parametro di velocità [m/s];
- τ è la tensione superficiale [N/m].

Per quanto detto quindi il numero di Weber sarà inversamente proporzionale al valore di tensione superficiale, cosicché a un valore di τ alto corrisponderà un We basso. Nel caso in questione, essendo un modello in scala notevolmente ridotta, occorre verificare che il numero di Weber non sia troppo basso in modo da non rendere difficoltoso il fluire del fluido nel modello, il quale a causa della piccola scala risulta fitto di costruzioni e quindi si possono instaurare fenomeni di capillarità non trascurabile che possono inficiare sulla dinamica del fluido.

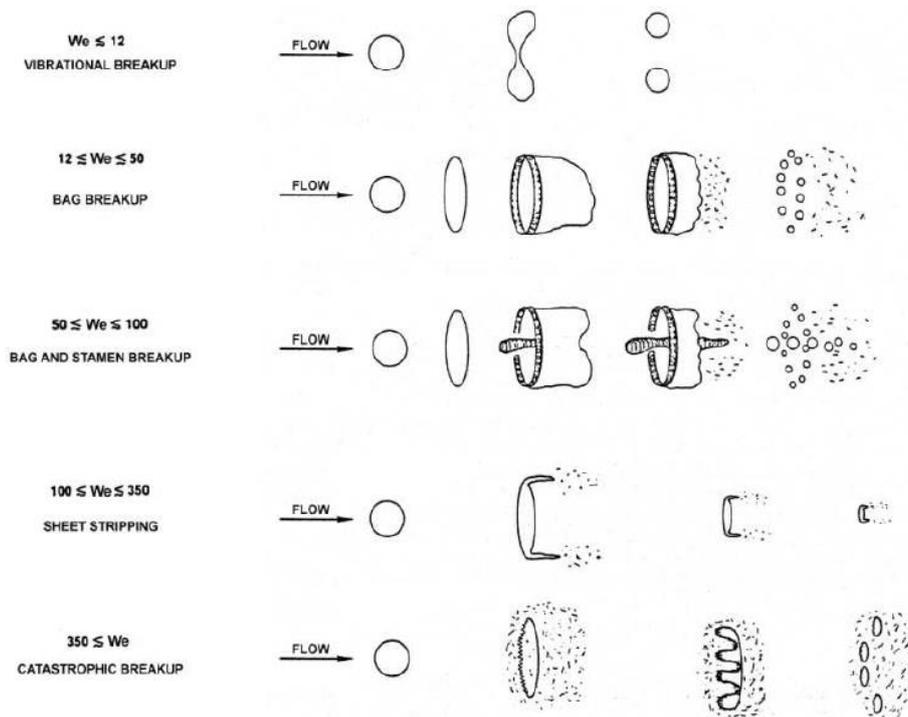


Figura 32 – Comportamento del fluido al variare del numero di Weber

Come illustrato nella figura 33 con We bassi, sotto certe condizioni, il flusso esterno interagisce con la goccia provocandone la divisione in grossi frammenti. Questo tipo di rottura produce solo pochi frammenti liquidi di grandi dimensioni, corrisponde dunque a una scarsa suddivisione del flusso a causa della forte tensione superficiale. Quando invece We risulta superiore a 350 la goccia tende a sfaldarsi completamente formando sulla superficie delle onde

molto piccole, le cui creste vengono continuamente erose dall'azione aerodinamica. Quando le onde di maggior ampiezza e lunghezza penetrano nella goccia, si verifica il fenomeno della "rottura catastrofica" che porta ad un processo multistadio in cui i primi frammenti sono soggetti ad ulteriore rottura.

Nel caso in questione affinché l'acqua scorra con una certa naturalezza sul modello si considera come valore limite $We = 12$.

Per poter procedere al calcolo del parametro di *Weber* è necessario conoscere la velocità della corrente, la quale risulta l'unica incognita in quanto si è a conoscenza a priori della tensione superficiale dell'acqua e della sua massa volumica. Come lunghezza caratteristica invece si sceglie 1 cm. Dunque, dopo avere effettuato i test di dam-break sui campioni, si potranno avere i dati sulle velocità della corrente, e così sarà possibile stimare We per avere un dato significativo sulle capacità delle particelle di acqua di bagnare la superficie in PLA.

6 TEST DAM-BREAK

Una volta stampati tutti i quadranti, dopo averli incollati tra loro e fissati agli appositi supporti, si sono ottenuti due modelli fisici in scala ridotta del paese di Montalto Dora e si può procedere perciò a effettuare il test di *dam-break*.

6.1 Esecuzione della prova

Il modello è inserito all'interno di un box dotato di illuminazione con fari a led, i quali sono posti in modo da evitare zone d'ombra e far sì che il modello sia correttamente illuminato.

Per azionare il sistema, data la ridotta scala della breccia, la si è incollata a un filo di spago, che poi sarà tirato via manualmente stando al di fuori del box.

Una volta collegato il serbatoio al modello, tramite semplice appoggio, lo si è riempito con acqua colorata e successivamente con alcol etilico.

Si sono effettuati il seguente numero di test in modo da avere un riscontro il più possibile omogeneo:

- 3 prove con fondo modello asciutto;
- 3 prove con fondo modello inumidito con acqua saponata;
- 3 prove usando come fluido alcool etilico;



Figura 33 - Modello 1:1000



Figura 34 - Modello 1:2000

6.2 Risultati modello 1:1000

Nel modello con scala più grande si carica il serbatoio con 1.2 litri di acqua colorata, i test sono stati registrati con la telecamera Nikon, con la quale si è ripreso dall'istante di rottura fino al completo svuotamento del lago. Successivamente si è potuto cogliere le istantanee dai video per ricostruire gli istanti del flusso.

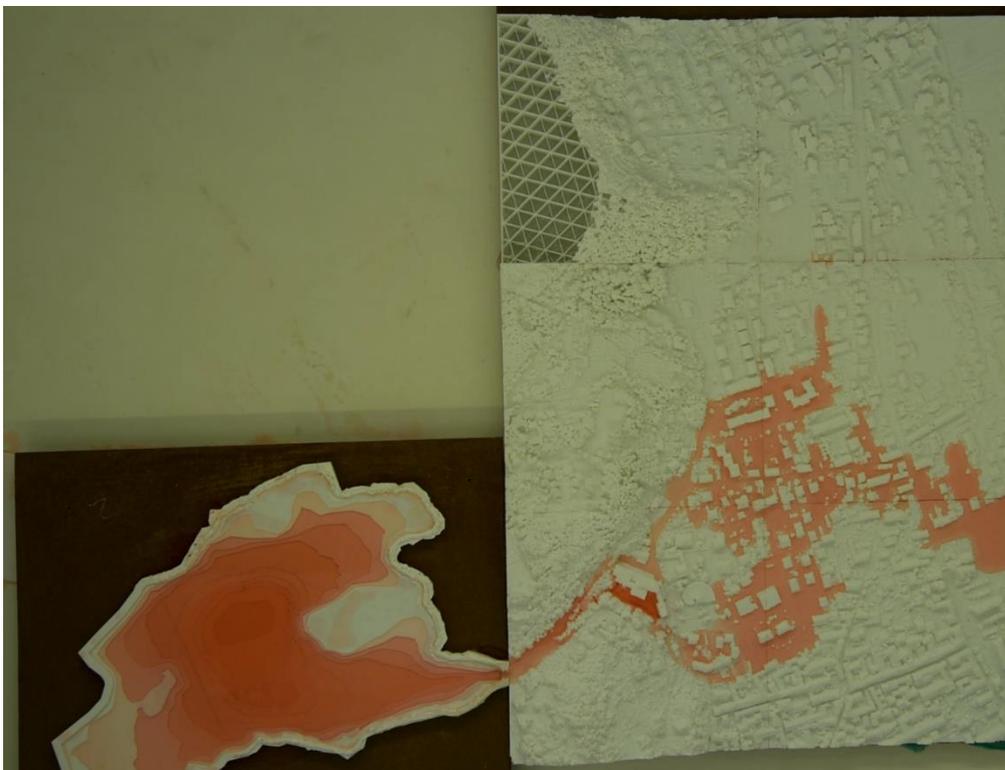


Figura 35 - Prova di dam-break con fondo asciutto

Dalla prima immagine si nota come il flusso dell'acqua sia regolato dalle macroscabrezze presenti sotto forma di alberi stampati i quali formano dei veri e propri muri invalicabili.

Di seguito si plottano i risultati ottenuti nelle tre tipologie di prova enunciate in precedenza.

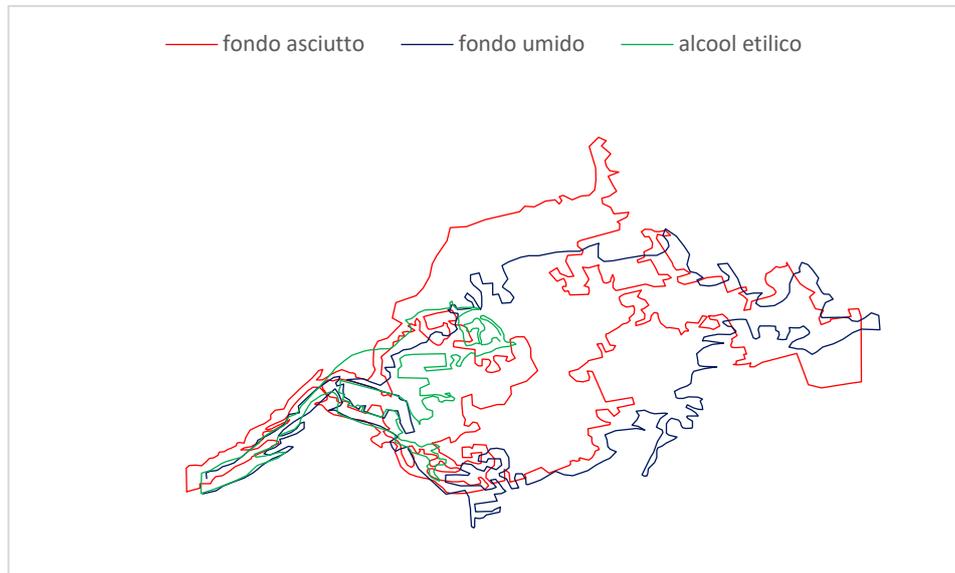


Figura 36 - Plot dei test effettuati modello 1:1000

Dal grafico in *figura 36* si può notare che il comportamento dell'acqua sul fondo asciutto o bagnato sia abbastanza simile in termini di area inondata, mentre risulta sostanziale la differenza se si utilizza dell'alcool etilico.

Nella prova con fondo asciutto l'acqua investe il paese ma il flusso si divide in due corsie incontrando degli ostacoli subito a valle (alberi) i quali creano un vero e proprio muro invalicabile, quindi prosegue verso valle seguendo la pendenza. Con il fondo inumidito da acqua saponata invece, avendo una tensione superficiale inferiore, il fluido riesce a superare il primo ostacolo e raggiungere la zona non colpita precedentemente. Dunque, in questo caso la zona colpita dall'onda di collasso risulta avere un'area più estesa. L'alcool invece, offre una bagnabilità maggiore dell'acqua a causa della sua bassa tensione superficiale, ma in questo caso non vi è alcun vantaggio, poiché a discapito della prova, il fluido tende a perdersi nelle discontinuità del plastico e quindi la prova è invalidata da una forte infiltrazione, difatti l'area colpita dal *dam-break* con questo fluido risulta essere molto piccola rispetto le altre due.

6.3 Risultati modello 1:2000

Per verificare il comportamento del fluido sul plastico si sono eseguiti gli stessi esperimenti sul modello in scala più piccola, in modo da avere una visione più completa anche riguardo l'effetto scala che può andare a crearsi.

Il serbatoio in questo caso contiene 0,4 l di acqua e anche in questo caso si è registrato l'evento con la telecamera Nikon e successivamente si è potuto fare un confronto delle aree allagate nei diversi test.

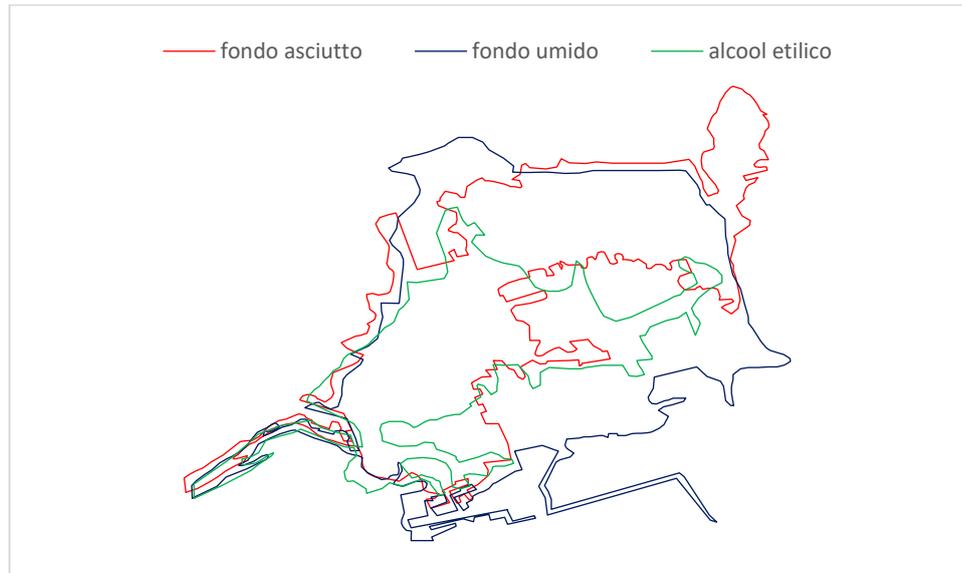


Figura 37 - Plot dei test effettuati modello 1:2000

Dal plot dei contorni delle aree bagnate si evince che la prova con fondo umido è quella che copre maggiormente la zona ed ha maggiore impatto. Tuttavia, avendo il fondo asciutto l'onda raggiunge delle zone più a valle anche se ricopre una porzione minore del plastico. Questo dovuto alle forze di tensione superficiale che favoriscono un movimento capillare, il quale fa in modo che l'acqua si spinga tra i palazzi del plastico, mentre scaricando le tensioni con acqua saponata il PLA è più bagnabile e il movimento dell'acqua è più uniforme su tutte le direzioni.

Differente anche in questo caso, è quello che accade con l'alcool etilico. La porzione ricoperta da tale fluido risulta essere la minore tra le tre tipologie di prova, poiché non riesce a fluire verso valle arrestandosi nelle imperfezioni del modello e infiltrandosi al suo interno.

6.4 Analisi dei dati ottenuti

Per quanto visto nei paragrafi precedenti si nota come l'acqua scorra verso valle seguendo il percorso dettato dalla pendenza del suolo. Effettuando un confronto con l'analisi matematica si può trovare però una differenza abbastanza marcata sulle zone che effettivamente subiscono l'onda di *dam-break*.

Si nota come le simulazioni sul modello siano inficiate da una elevata infiltrazione che fa diminuire il volume verso valle, inoltre la grande presenza di dettagli sul DSM va a creare delle macroscabrezze che spesso non consentono il fluire dell'acqua in modo naturale.

Di seguito si porta un confronto tra il modello 1:1000 in condizioni di fondo asciutto, con la modellazione matematica eseguita con *Hec-Ras 5.0.6*. L'area bagnata descritta dal modello è sovrapposta con l'immagine di *Google Earth* della zona per facilitare il confronto.



Figura 38 – Apertura della breccia

Un primo confronto tra i modelli è fatto nell'istante subito dopo l'apertura della breccia, con il formarsi della prima colonna di acqua dove l'area bagnata dai modelli è simile.

Per avere un confronto anche dal punto di vista temporale, considerando la scala di 1:1000 con il quale è riprodotto, avendo la geometria direttamente proporzionale all'originale si identifica una scala dei tempi pari alla radice quadrata di 1000, quindi si avrà:

$$t_m = \frac{t_o}{\sqrt{1000}}$$

Così facendo in questo caso la soluzione non rispetta la legge di scala poiché il tempo stimato dovrebbe essere pari a 5 secondi.

Tuttavia, le tempistiche sono state le seguenti:

- Modello fisico 3 secondi
- Modello numerico 2.38 secondi

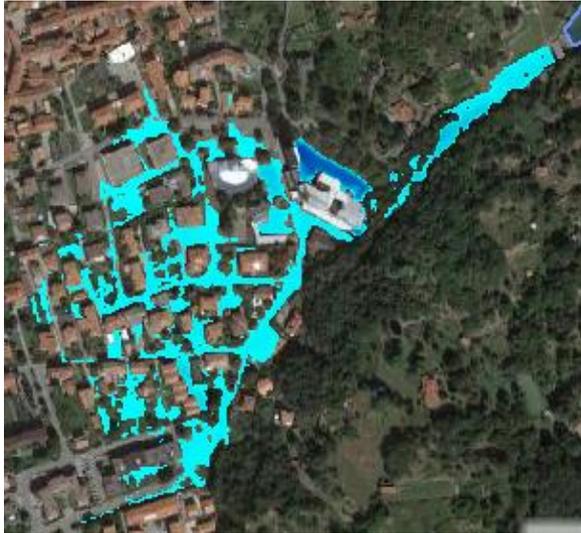


Figura 39 – Onda di collasso si scontra con il paese

Quando l'onda arriva a contatto con le prime abitazioni il comportamento tra le due simulazioni diventa molto differente. Si nota come il flusso si divida in due rami nel modello fisico, mentre sul software abbia un andamento più omogeneo con la topografia del paese. I tempi d'impatto si differenziano molto, allontanandosi dal valore previsto in questo caso di 12 secondi

- Modello fisico 42 secondi
- Modello numerico 6 minuti e 11 secondi

Questo mostra come il liquido scorra molto più lentamente di quanto dovrebbe.

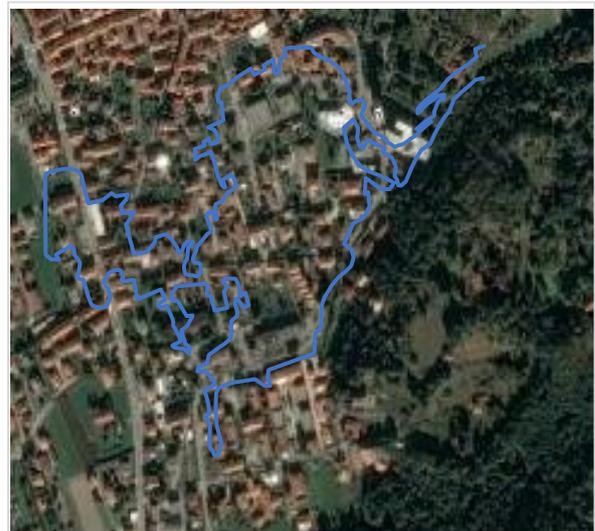


Figura 40 - Allagamento completo di Montalto Dora

La differenza maggiore è comunque riscontrata nella figura 40, ovvero dopo lo svuotamento dell'invaso in quanto col software l'onda investe tutto il paese fino ad arrivare a valle di

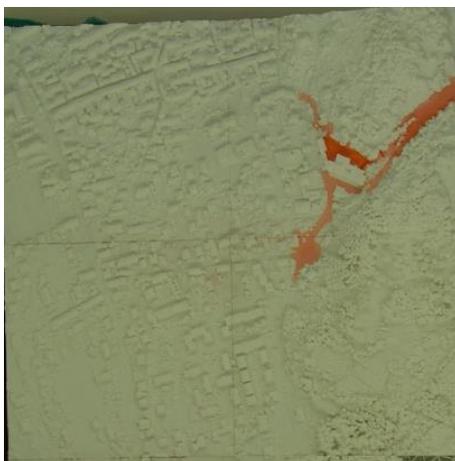
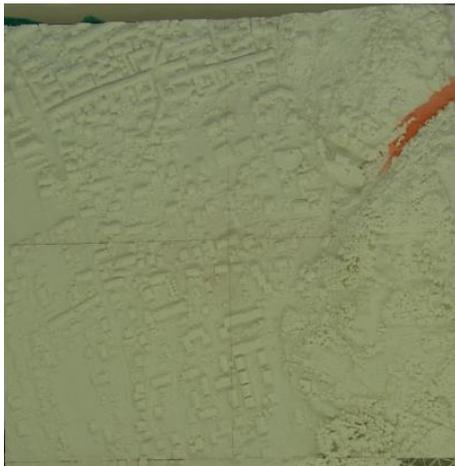
quest'ultimo, contrariamente nel modello fisico si arresta solo alle prime abitazioni e non prosegue oltre.

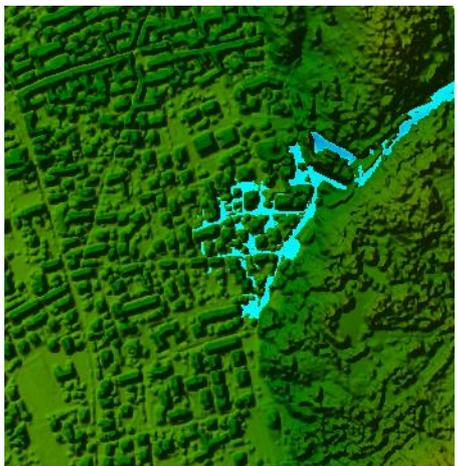
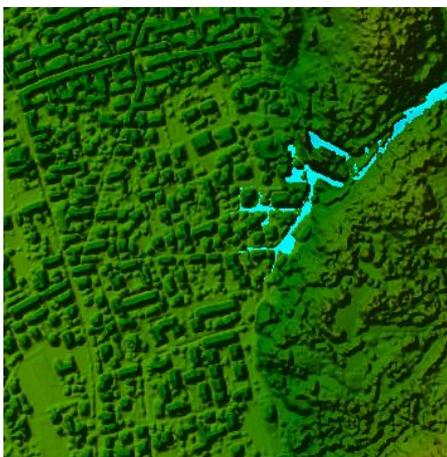
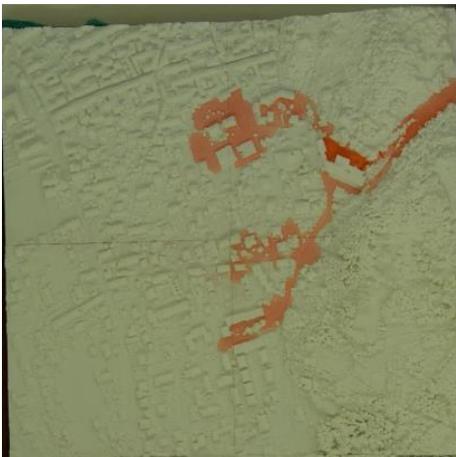
Il completo svuotamento è stato eseguito con i seguenti tempi:

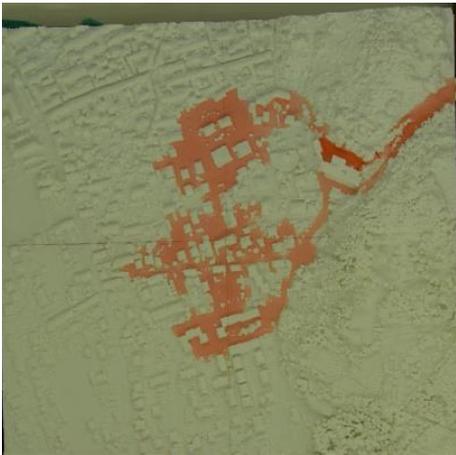
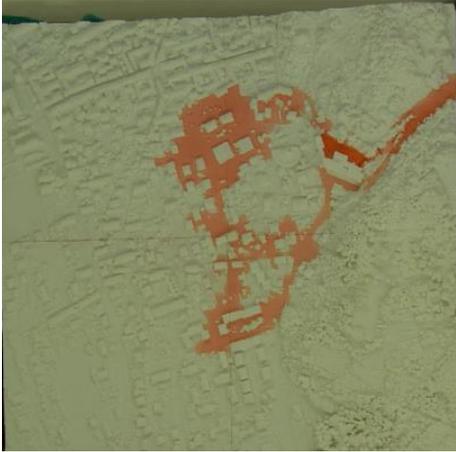
- Modello fisico 1 minuto e 55 secondi
- Modello numerico 3 ore
- Previsione 5 minuti e 34 secondi

Dunque, è possibile affermare che il fluido su superficie asciutta si muova con delle tempistiche non conformi a quelle che dovrebbero essere le leggi di scala, ma molto più lentamente. Questo è dovuto alla viscosità dell'acqua su una superficie così poco bagnabile.

Dopo questa breve analisi vengono riportate le istantanee con frequenza di 1 minuto sul modello numerico e di 10 secondi su quello fisico prendendo come prova di riferimento quella su fondo asciutto, in quanto risulta essere la prova principale per la funzionalità di questa tipologia di modelli fisici







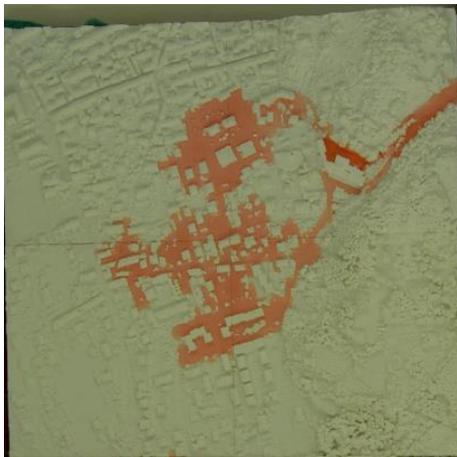


Figura 41 – Confronto nel tempo tra modello fisico e modello numerico

Un ulteriore confronto è svolto tra i due modelli fisici, dal quale si può riscontrare l'effetto scala. Difatti vi è una notevole differenza sulle zone che subiscono un allagamento, nel modello più grande, come già detto, il flusso si arresta nelle prime aree abitate e le macroscabrezze fanno sì che si creino delle corsie preferenziali di scorrimento. Nel modello a scala ridotta invece, gli ostacoli presenti sono di troppa ridotta dimensione per impedire lo scorrimento dell'acqua, così l'onda riesce a investire gran parte del centro abitato e arrivare più a valle.

Di seguito è riportato un confronto tra le aree bagnate da i due modelli.

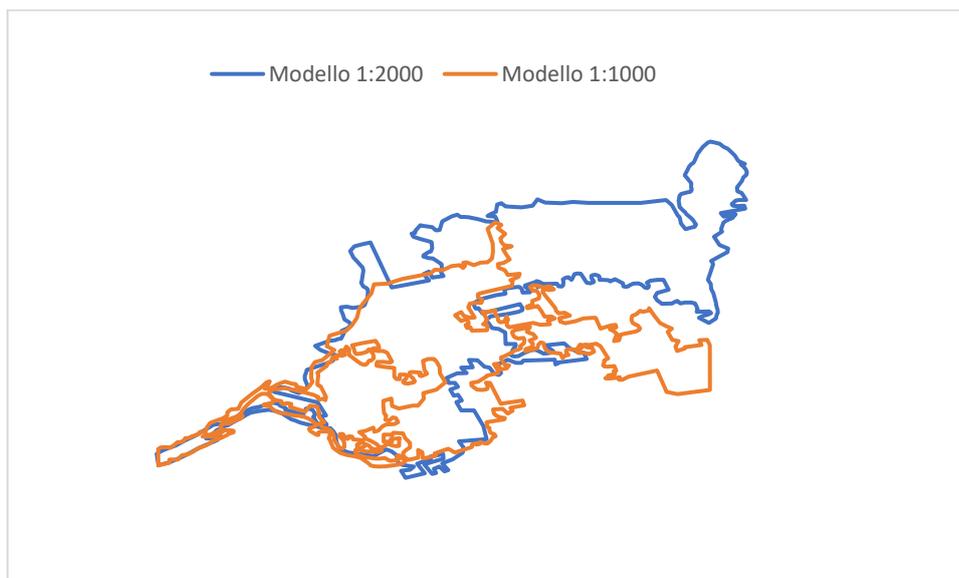


Figura 42 - Confronto tra i due modelli fisici con differente scala

7 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Da quanto visto nei test eseguiti, si conclude che i modelli stampati in PLA mediante stampante 3D possono dare delle valutazioni sul *dam-break* non ancora affidabili. Malgrado ciò le prove appena svolte rappresentano una prima calibrazione di questa tecnica e pertanto in futuro, con le opportune modifiche, si può raggiungere un risultato accettabile.

Difatti si nota come la scelta di utilizzare DSM sia valida dal punto di vista estetico ma perde di valore per quanto riguarda quello idraulico per la troppa presenza di elementi sul fondo, come alberi e cespugli, i quali rappresentano delle macroscabrezze non trascurabili che incidono gravosamente sul flusso dinamico dell'acqua che sul modello stampato impediscono brutalmente il movimento del flusso creando una barriera. Pertanto, questi test se implementati con l'uso di DTM risulteranno più puliti e potranno risultare più attendibili per quanto concerne la lettura idraulica.

Un altro importate difetto del DSM, dovuto alla grande quantità dei dettagli, sta nel processo di stampa, il quale tende a sforzare molto il piano xy della stampante a causa di movimenti repentini e bruschi, che hanno portato in alcuni casi, le viti di sostegno a un parziale e involontario svitamento, per delle forti vibrazioni causando la perdita della planarità.

Un'altra possibile soluzione sarebbe quella di utilizzare un sistema ibrido utilizzando il fondo del DTM con l'aggiunta dei soli edifici, eliminando dunque tutta la vegetazione. In questo modo si dovrebbe ottenere una soluzione più realistica senza incappare nei problemi di macroscabrezze legati ai dettagli del DSM. Inoltre, per modificare il fondo e renderlo più bagnabile si può pensare di carteggiarlo per eliminare il layer più esterno facilitare così l'adesione del fluido.

Come ulteriore cambiamento nel setup si può provare a cambiare filamento, ovvero non utilizzare un materiale plastico ma una resina che possa facilitare sia il processo di stampa che quello dei test.

Si può notare anche come la presenza dei giunti tra i vari quadranti sia una discontinuità da tenere in considerazione per via delle perdite d'acqua, perciò nonostante servano più attenzioni e maggior tempo nella fase di stampa risulta conveniente utilizzare stampe di pezzi più grandi così da ridurre le giunture.

D'altro canto, si può inoltre verificare come la deformazione dovuta al ritiro durante e dopo la stampa risulta non trascurabile sui quadranti più grandi ottenuti con la CR10S5, a causa dei tempi molto prolungati di stampa. Questo genera come conseguenza una certa difficoltà al momento dell'assemblaggio, dovendo effettuare un carteggio accurato e nonostante ciò la

presenza di vuoti sulle giunture ha creato problematiche dovute a perdite ingenti di fluido durante il test.

Dunque, per quanto detto e per quanto visto, la scelta di modelli fisici per lo studio di dam-break creati con queste modalità, al momento non garantiscono alcuna sicurezza idraulica ma possono essere utilizzati in futuro migliorandone sempre più l'affidabilità.

8 BIBLIOGRAFIA

- ❖ D.Citrini, G.Nosedà, “Idraulica”, Casa editrice Ambrosiana;1987
- ❖ Guney, Tayfur, Bombar & Elci, Distorted Physical Model to Study Sudden Partial Dam Break Flows in an Urban Area, 2014;
- ❖ Lindsey Ann LaRocque, Mohamed Elkholy, M. Hanif Chaudhry and Jasim Imran, Experiments on Urban Flooding Caused by a Levee Breach ,2013;
- ❖ Steven E. Yochum. Larry A. Goertz & Phillip H. Jones, Case Study of the Big Bay Dam Failure: Accuracy and Comparison of Breach Predictions, 2008;
- ❖ Donato Spataro, Trattato teorico e pratico di idromeccanica. v.1, U. Hoepli, Milano, 1915;
- ❖ Bernard Zinsner, Francois Marie Pellerin, A Geoscientist's guide to petrophysics, Editions Technip, 2007;
- ❖ John Campbell, Complete Casting Handbook (Second Edition), 2015;
- ❖ Bastian E, Rapp, Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics, 2017;
- ❖ Vilaplana, Fombuena, García-García, Samper, Sánchez-Nácher, Surface modification of polylactic acid (PLA) by air atmospheric plasma treatment (Jordá-2014)
- ❖ J.Peakall, J.Warbuton, Surface tension in small hydraulic river models – the significance of the Weber number 1996;
- ❖ Kurt Kosswig, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, "Surfactants", Wiley-VCH, 2002

9 RIFERIMENTI

9.1 Indice figure

Figura 1 – Vista frontale e laterale sbarramento Lago Pistono.....	5
Figura 2 - Quadranti stampati	6
Figura 3 - Modello fisico Ürkmez dam	8
Figura 4 - Andamento del flusso	9
Figura 5 - Risultati analisi Hec-Ras.....	10
Figura 6 - Dominio mesh 2D.....	14
Figura 7 - Curva altezze-volumi Lago Pistono	14
Figura 8 - Configurazione ultima della breccia.....	15
Figura 9 – Profondità del flusso.....	17
Figura 10 – Velocità della corrente	18
Figura 11 - Condizione iniziale.....	19
Figura 12 - Inizio collasso diga.....	19
Figura 13 - Collasso totale	20
Figura 14 - Allagamento totale Montalto Dora.....	20
Figura 15 - Idrogramma breccia	21
Figura 16 - Stampante CR10S5.....	23
Figura 17 - Anycubic i3 Mega	24
Figura 18 - Bobina da 1kg di PLA.....	25
Figura 19 - Super Attack.....	26
Figura 20 - Quadrante in fase di stampa.....	27
Figura 21 - CR10S5 in fase di stampa	28
Figura 22 - Setup di stampa.....	28
Figura 23 - Quadrante per test acqua colorata.....	30
Figura 24 - Quadrante bagnato/dopo risciacquo immediato/ risciacquo dopo una notte	30
Figura 25 - Fotocamera utilizzata	31
Figura 26 - Differente comportamento di un menisco di acqua e di mercurio	34
Figura 27 - Forze di adesione e coesione in una particella di liquido a contatto con un solido	34
Figura 28 - Gocce d'acqua su PLA.....	35
Figura 29 – Gocce d’acqua dopo l’applicazione di acqua saponata.....	36
Figura 30 - Miscele alcol etilico da sinistra a destra: 100%-75%-50%-25%	37
Figura 31 - Gocce d'acqua su ABS	37

Figura 32 – Comportamento del fluido al variare del numero di Weber.....	39
Figura 33 - Modello 1:1000	41
Figura 34 - Modello 1:2000	42
Figura 35 - Prova di dam-break con fondo asciutto	42
Figura 36 - Plot dei test effettuati modello 1:1000.....	43
Figura 37 - Plot dei test effettuati modello 1:2000.....	44
Figura 38 – Apertura della breccia	45
Figura 39 – Onda di collasso si scontra con il paese	46
Figura 40 - Allagamento completo di Montalto Dora	46
Figura 41 – Confronto nel tempo tra modello fisico e modello numerico	50
Figura 42 - Confronto tra i due modelli fisici con differente scala.....	51

9.2 Indice tabelle

Tabella 1 - Valori tensione superficiale prima e dopo il trattamento	11
Tabella 2 - Coefficienti di Manning	16
Tabella 3 - Dettagli stampe su CR10S5.....	29
Tabella 4 - Dettagli stampe cu Anycubic i3 Mega	29
Tabella 5 - Valori caratteristici tensione superficiale.....	33