



**REALIZZAZIONE DEL SECONDO STRALCIO
DEL MONITORAGGIO
DEL TRASPORTO SOLIDO
NEI CORSI D'ACQUA DELLA TOSCANA**

Committente: Regione Toscana - Servizio Idrologico Regionale

RELAZIONE TECNICA

Responsabile della Ricerca:

Prof. Ing. Enio Paris

Gruppo di lavoro:

*Dott. Ing. Luca Solari
Dott. Ing. Francesco Canovaro
Dott. Ing. Simona Francalanci
Dott. Ing. Andrea Corridori
Dott. Ing. Giulio Bechi
Dott. Ing. Filippo Ginanni
Sig. Fabrizio Vannacci*

Retignano di Stazzema (LU), Maggio 2011

INDICE

1	PREMESSA	1
2	SINTESI DEL LAVORO SVOLTO	2
3	LE STAZIONI DI MONITORAGGIO	6
3.1	FIUME SERCHIO	6
3.2	FIUME VERSILIA	12
3.3	FIUME ARNO	18
4	MISURE DI CAMPO ED ANALISI DI LABORATORIO	26
4.1	FIUME SERCHIO	30
4.1.1	<i>EVENTO S-11</i>	30
4.1.2	<i>EVENTO S-12</i>	33
4.1.3	<i>EVENTO S-13</i>	36
4.1.4	<i>EVENTO S-14</i>	39
4.1.5	<i>EVENTO S-15</i>	42
4.1.6	<i>EVENTO S-16</i>	45
4.2	FIUME VERSILIA	48
4.2.1	<i>EVENTO V-6</i>	48
4.2.2	<i>EVENTO V-7</i>	51
4.2.3	<i>EVENTO V-8</i>	54
4.2.4	<i>EVENTO V-9</i>	57
4.2.5	<i>EVENTO V-10</i>	61
4.2.6	<i>EVENTO V-11</i>	65
4.2.7	<i>EVENTO V-12</i>	69
4.3	FIUME ARNO	73
4.3.1	<i>EVENTO A-1</i>	73
4.3.2	<i>EVENTO A-2</i>	77
4.3.3	<i>EVENTO A-3</i>	80
4.3.4	<i>EVENTO A-4</i>	84
4.3.5	<i>EVENTO A-5</i>	87
4.3.6	<i>EVENTO A-6</i>	90
4.3.7	<i>EVENTO A-7</i>	93
4.3.8	<i>EVENTO A-8</i>	96
4.3.9	<i>EVENTO A-9</i>	99
5	ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI	102
5.1	FIUME SERCHIO	102
5.2	FIUME VERSILIA	106
5.3	FIUME ARNO	111

6	SCALE DI DEFLUSSO	116
6.1	FIUME SERCHIO	116
6.2	FIUME VERSILIA	129
6.3	FIUME ARNO.....	134
7	CONSIDERAZIONI FINALI	144

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione tecnica conclusiva relativa al contratto di fornitura per la realizzazione del secondo stralcio del monitoraggio del trasporto solido nei corsi d'acqua della Toscana stipulato tra la società CERAFRI (Centro di Ricerca e Alta Formazione per la prevenzione del Rischio Idrogeologico) e la Regione Toscana in data 8 febbraio 2010.

Il contratto prevede la misura e la raccolta dei dati per la stima della portata liquida e della portata solida in tre stazioni di monitoraggio situate nella Regione Toscana, ovvero:

- il proseguimento dello svolgimento delle misure di portata liquida e solida nella sezione di Ripafratta sul Fiume Serchio e nella sezione di Ponte Tavole sul Fiume Versilia, fino al raggiungimento di 15 punti di misura in ciascuna stazione di monitoraggio, comprendendo anche le misure effettuate nel primo stralcio del monitoraggio;
- l'attivazione di una ulteriore stazione di monitoraggio del trasporto solido in località Nave di Rosano sul Fiume Arno presso l'omonima stazione idrometrica in telemisura.

La raccolta dei suddetti dati è finalizzata alla definizione delle scale di deflusso del trasporto solido in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio individuate.

Il gruppo di lavoro è composto da:

- Prof. Ing. Enio Paris, Responsabile della Ricerca, Professore Ordinario presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze;
- Dott. Ing. Luca Solari, Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze;
- Dott. Ing. Simona Francalanci, Ricercatore presso il CERAFRI;
- Dott. Ing. Andrea Corridori, Dottorando di Ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze;
- Dott. Ing. Giulio Bechi, libero professionista;
- Dott. Ing. Francesco Canovaro, libero professionista;
- Dott. Ing. Filippo Ginanni, libero professionista;
- Sig. Fabrizio Vannacci, Tecnico del laboratorio di Sedimentologia presso il CERAFRI.

2 SINTESI DEL LAVORO SVOLTO

Nella presente relazione vengono descritte le attività relative al monitoraggio del trasporto solido svolte nel periodo aprile 2008 – dicembre 2010, che hanno consentito la misura di 22 eventi di piena significativi, di cui 6 sul Fiume Serchio, 7 sul Fiume Versilia e 9 sul Fiume Arno.

Le metodologie utilizzate durante le varie fasi del presente lavoro sono state ampiamente discusse nella Relazione Tecnica del primo stralcio del monitoraggio – Parte I, pertanto sono qui richiamate soltanto brevemente.

La fase di campo, per ciascuna stazione di misura, prevede la definizione delle verticali di misura, la misura della velocità del flusso, il prelievo dei campioni di torbida, e il prelievo dei campioni di materiale trasportato al fondo. I campioni sono stati prelevati con il metodo di calata degli strumenti in alveo in corrispondenza del ponte situato nella stazione di monitoraggio. Gli strumenti sono di solito calati in alveo mediante un argano azionato manualmente. Per alcune delle misure è stato possibile utilizzare un braccio gru meccanizzato messo a disposizione dal Servizio Idrologico Regionale – Regione Toscana (si veda Figura 2-1: Mezzo con braccio gru meccanizzato) e risultato particolarmente utile durante le misure effettuate sul Fiume Arno.

Le misure effettuate sui Fiumi Serchio e Versilia sono state effettuate in prosecuzione delle attività svolte nel primo stralcio del monitoraggio e hanno consentito di raggiungere un numero complessivo di 16 misure sul Fiume Serchio e di 12 misure sul Fiume Versilia. Sul Fiume Arno le attività di monitoraggio sono state avviate con sopralluoghi esplorativi del sito e rilievi sedimentologici del materiale d'alveo. Durante l'autunno 2010 è stato possibile acquisire un totale di 9 misure sul Fiume Arno, tale da costituire un primo set di dati per la taratura delle scale di deflusso liquide e solide.



Figura 2-1: Mezzo con braccio gru meccanizzato durante le operazioni di calata dell'Helley Smith sul Fiume Arno a Nave di Rosano.

Successivamente alla fase di campo, si è svolta la fase di laboratorio, finalizzata all'analisi dei campioni di sedimenti raccolti durante la fase di campo, ovvero:

- analisi dei campioni di miscuglio acqua e sedimenti in sospensione tramite essiccazione, pesatura e analisi al sedigrafo per la caratterizzazione granulometrica del residuo solido;
- analisi dei campioni di trasporto al fondo tramite pesatura, quartatura, setacciatura e caratterizzazione granulometrica.

Le analisi sono state condotte da personale qualificato in un laboratorio di sedimentologia appositamente allestito con le attrezzature specifiche necessarie.

Le attività di elaborazione dei dati hanno riguardato l'archiviazione, l'analisi e applicazione di algoritmi di calcolo finalizzati ai seguenti obiettivi:

- determinazione della portata liquida;
- determinazione della portata solida al fondo e delle sue caratteristiche granulometriche;
- determinazione della portata solida in sospensione e delle sue caratteristiche granulometriche.

Sulle base di queste elaborazioni è stato possibile effettuare la taratura della scala di deflusso del trasporto solido in ciascuna stazione di misura individuata.

- fase di elaborazione dati: finalizzata alla stima delle portate liquide e solide in funzione delle grandezze direttamente misurate. In questa fase verranno individuate le scale di deflusso delle portate solide in funzione delle corrispondenti portate liquide.

Per quanto riguarda il Fiume Serchio sono state ricavate le scale di deflusso delle portate sia liquide che solide interpolate sull'ampio set di dati di campo misurati. Inoltre sono state ricavate anche le scale di deflusso teoriche tarate sulla base dei dati di campo acquisiti. Le elaborazioni effettuate hanno consentito di ottenere un buon adattamento per la scala di deflusso delle portate liquide, sia di primo che di secondo livello. La scala di deflusso delle portate solide totali è stata ricavata sulla base della formula di Ackers & White (1973), modificata da White & Day (1982) per materiale d'alveo eterogeneo. La scala di deflusso del trasporto solido al fondo è stata invece ben interpretata sia dalla formula di Powell, Reid e Laronne (2001) che dalla formula di Parker et al. (1982): la dispersione dei valori di trasporto solido al fondo è in parte dovuta alle condizioni di non stazionarietà della portata liquida che si manifestano nel ramo ascendente e discendente di un idrogramma di piena.

Sul Fiume Versilia l'intervallo di variabilità delle portate liquide è risultato più modesto, in quanto gli eventi di piena misurati sono risultati principalmente nel range delle portate medio-basse. Dal punto di vista logistico, la rapidità degli eventi di piena sul Fiume Versilia ha creato non trascurabili difficoltà di intervento, legate soprattutto alla predicibilità degli eventi. I dati relativi alle portate più alte sono infatti in numero minore rispetto alle basse portate, e comunque gli eventi monitorati sono caratterizzati tempi di ritorno relativamente bassi. I dati acquisiti hanno consentito di effettuare una prima taratura delle scale di deflusso teoriche delle portate liquide e solide.

Sul Fiume Arno è stata preliminarmente verificata la fattibilità operativa delle misure, che sono state eseguite in corrispondenza del primo ponte a Nave di Rosano. I dati relativi alle 9 misure di trasporto solido effettuate sono stati utilizzati per tarare le scale di deflusso delle portate liquide e solide: i risultati evidenziano una eccellente taratura della scala di deflusso delle portate liquide, un buon adattamento per il trasporto solido totale, mentre evidenziano una marcata incertezza nei dati di campo relativi al trasporto solido al fondo. Tali variabilità presenti nei dati di campo sono da attribuirsi in parte ai problemi di idrodinamicità del campionatore Helley-Smith in presenza di elevate velocità della corrente e in parte alla naturale variabilità del fenomeno misurato.

Il prosieguo della relazione è così strutturato:

- il capitolo 3 “Le stazioni di monitoraggio” sono specificati brevemente l’ubicazione e le principali caratteristiche dei siti di misura sul Fiume Serchio, sul Fiume Versilia e sul Fiume Arno;
- il capitolo 4 “Misure di campo ed analisi di laboratorio” è dedicato alla presentazione delle misure svolte suddivise secondo la fase di campo e la fase di laboratorio;
- il capitolo 5 “Analisi ed elaborazione dei dati” è dedicato alla fase di elaborazione dati relativi alle misure svolte;
- il capitolo 6 “Scale di deflusso” è dedicato alla definizione delle scale di deflusso delle portate liquide e solide nelle stazioni di monitoraggio;
- nel capitolo 7 “Considerazioni finali”, infine, sono riportate le conclusioni ed alcune riflessioni sull’attività svolta.
- nell’ “Allegato” sono riportate le schede compilate ed utilizzate durante la fase di campo per la registrazione delle grandezze direttamente misurate.

3 LE STAZIONI DI MONITORAGGIO

Le stazioni di monitoraggio sui Fiumi Serchio e Versilia sono state individuate nei tratti vallivi dei corsi d'acqua in esame tenendo in conto dell'accessibilità alle sezioni per poter effettuare le misure, della sicurezza degli operatori addetti alla misura e della vicinanza ad una stazione idrometrica di riferimento per la misura in continuo dei livelli idrometrici.

La stazione di monitoraggio sul Fiume Arno è stata individuata nel tratto terminale dell'alto Valdarno, al fine di stimare gli apporti solidi a monte della città di Firenze.

Nel seguito vengono riportate l'ubicazione e le principali caratteristiche delle stazioni di monitoraggio sul Fiume Serchio, sul Fiume Versilia e sul Fiume Arno, relativamente ai quali sono state effettuate le misure di campo riportate nella presente relazione.

3.1 FIUME SERCHIO

La stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Serchio è collocata in corrispondenza del ponte di Ripafratta (si veda la fotografia in Figura 3-1) sulla strada statale 12 dell'Abetone, come risulta dalla foto satellitare in Figura 3-2 e dalla planimetria in Figura 3-3. La stazione di monitoraggio è situata immediatamente a monte della stazione idrometrica di Ripafratta (Figura 3-2). A seguito di un sopralluogo della sezione del Serchio a Ripafratta è emersa la necessità di escludere alcuni tratti della sezione ai fini della misura del trasporto solido, per la presenza di massi e/o platee di fondazione smosse e scalzate, pertanto sono state individuate complessivamente 3 verticali di misura (Figura 3-4).

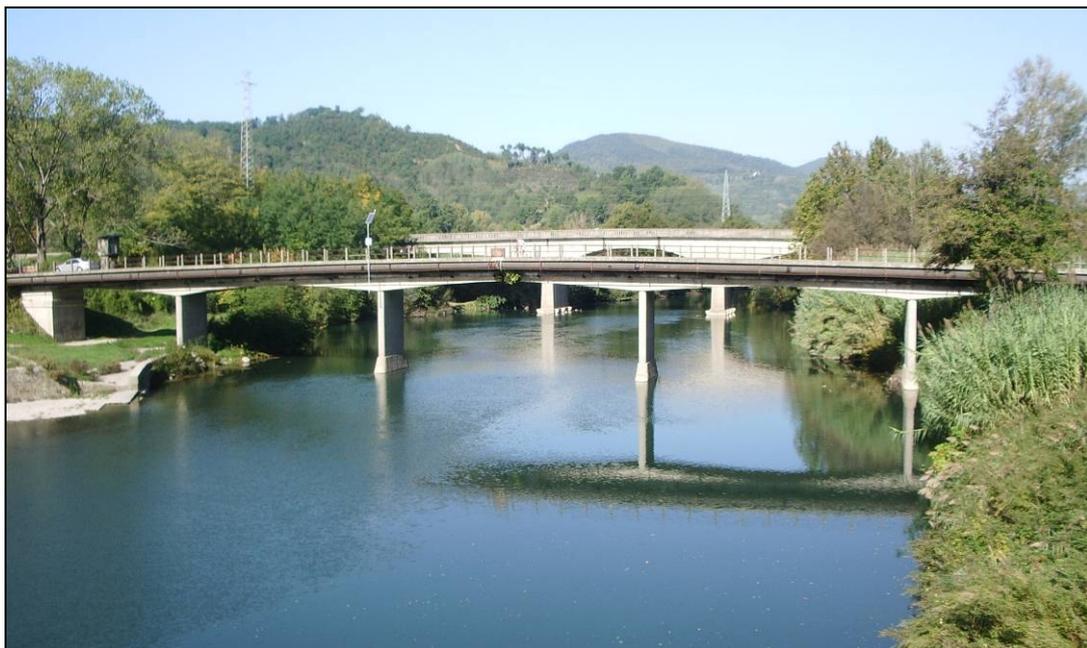


Figura 3-1: Fotografia del ponte di Ripafratta sul fiume Serchio ove è collocata la stazione di monitoraggio del trasporto solido.

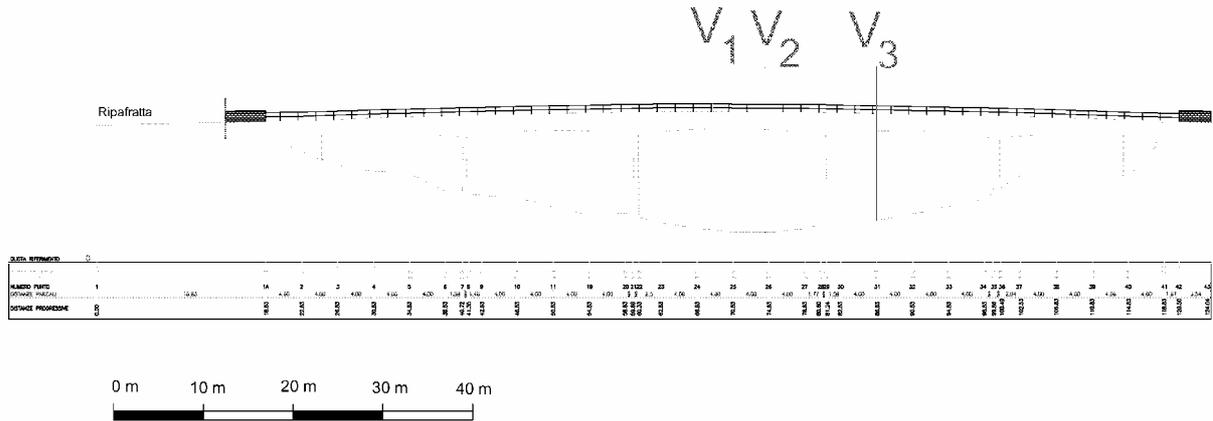


Figura 3-4: Stazione di monitoraggio Ponte di Ripafratta sul fiume Serchio con indicazione delle verticali di misura.

Dal punto di vista sedimentologico il tratto in esame è stato caratterizzato mediante l'analisi del materiale d'alveo costituente una barra emersa sita in località Nozzano; si vedano le Figura 3-5 e Figura 3-6. Questo sito risulta essere circa 1.5 km a monte rispetto alla stazione idrometrica di Ripafratta (Figura 3-7). In questo tratto i battenti idrici osservati risultano piuttosto elevati a seguito del rigurgito imposto da valle dalla traversa di Ripafratta; tale condizione fa sì che nel tratto immediatamente a monte alla stazione di Ripafratta non siano presenti barre emerse idonee al campionamento.

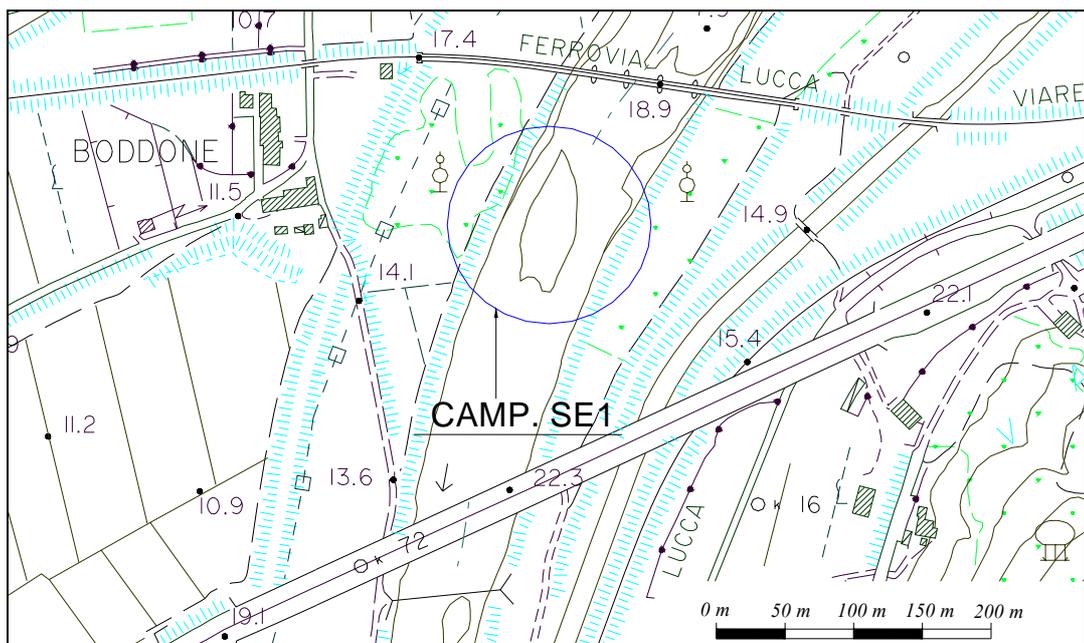


Figura 3-5: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico sul fiume Serchio in località Nozzano.



Figura 3-6: Il sito di campionamento sedimentologico sul f. Serchio;
(a sinistra: vista da monte verso valle; a destra: vista da valle verso monte).

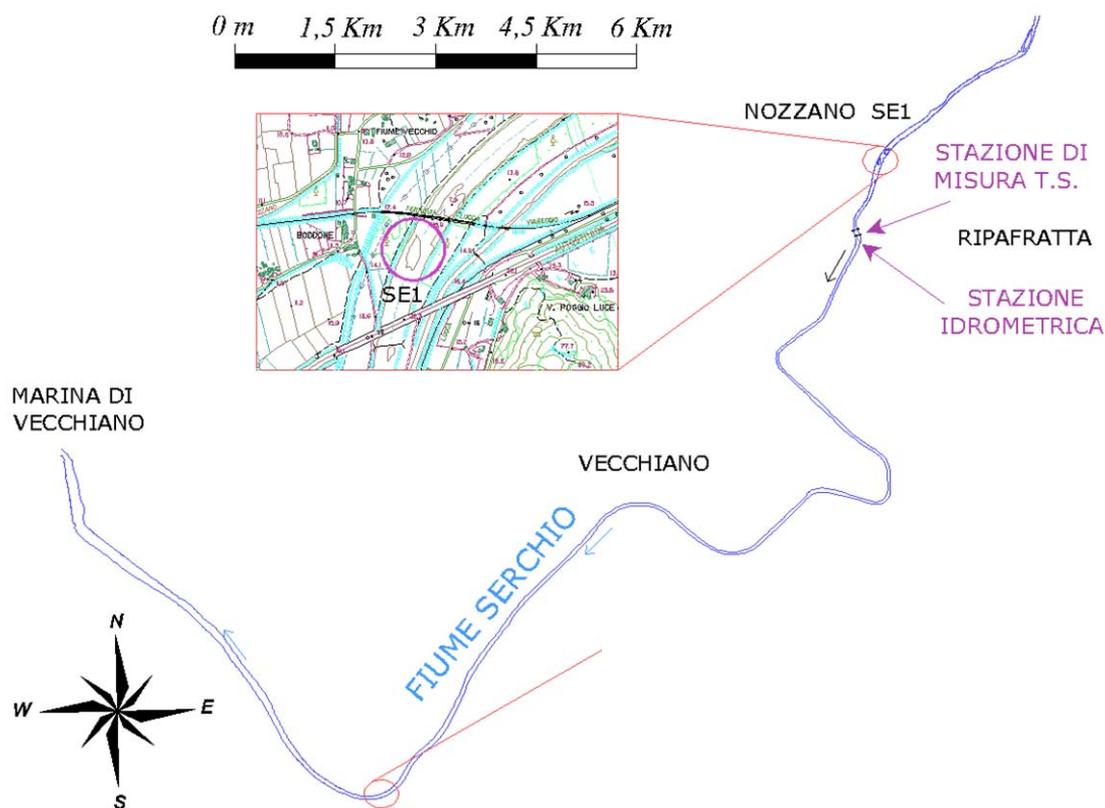


Figura 3-7: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico
in località Nozzano sul fiume Serchio.

A seguito del fenomeno di corazzamento del materiale d'alveo è stato eseguito un campionamento dei sedimenti presenti sia nello strato superficiale ('*armour layer*'), mediante la tecnica del *pebble counts*, sia nel sottostrato ('*sublayer*'), mediante la tecnica di tipo volumetrico. In Figura 3-8 è riportata una scheda informativa dei campionamenti effettuati. Il materiale d'alveo è stato analizzato nel laboratorio di sedimentologia dove, mediante setacciatura, è stata individuata la curva granulometrica dei campioni raccolti; i risultati dell'analisi di laboratorio sono illustrati nella tabella Tabella 3-1: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del campione del materiale d'alveo dello strato superficiale, del sottostrato e del campione totale (ottenuto come somma dei precedenti), nel sito in località Nozzano sul f. Serchio. e in Figura 3-9. I risultati mostrano un alveo con materiale prevalentemente di tipo ghiaioso avente un D_{50} dell'*armour layer* pari a circa 50 mm ed un D_{50} del *sublayer* pari a circa 15 mm.

Campionamento n° SE1		Letto Fiume Serchio		
Data campionamento		13/11/2006		
Località:		Nozzano		
Descrizione campionamento superficiale <i>armour layer</i>				
Metodo di campionamento		Pebble Counts		
Dimensioni "griglia"		-	Dimensione maglie "griglia"	0,5x0,5
Numero dei campioni analizzati:		274		
Descrizione campionamento volumetrico <i>sublayer</i>				
Peso totale campione [gr]		437810	Setacciatura	a secco
Φ_{max} del campione		-6,5	Diametro max granulo [mm]	175
Quartatura	si	In sito e in laboratorio	Peso iniziale quartato [gr]	10634

Figura 3-8: Scheda informativa dei campionamenti sedimentologici in località Nozzano sul fiume Serchio.

Totale			Armour layer			Sublayer		
	Φ	D (mm)		Φ	D (mm)		Φ	D (mm)
D10	0,4177	0,7	D10	-3,8133	14,1	D10	1,1208	0,5
D16	-1,0207	2,0	D16	-4,2258	18,7	D16	0,6734	0,6
D25	-3,3570	10,2	D25	-4,7054	26,1	D25	-0,2257	1,2
D35	-4,2241	18,7	D35	-5,1009	34,3	D35	-2,1298	4,4
D40	-4,5399	23,3	D40	-5,2278	37,5	D40	-2,8907	7,4
D50	-5,0580	33,3	D50	-5,4815	44,7	D50	-3,9169	15,1
D75	-5,8399	57,3	D75	-5,9618	62,3	D75	-5,5801	47,8
D84	-6,0947	68,3	D84	-6,1916	73,1	D84	-5,9451	61,6
D90	-6,2963	78,6	D90	-6,3560	81,9	D90	-6,2017	73,6
MEAN	-4,12	17,4	MEAN	-5,18	36,4	MEAN	-3,06	8,3
DEV STANDARD		2,41	DEV STANDARD		1,24	DEV STANDARD		2,80
SKEWNESS		1,22	SKEWNESS		2,10	SKEWNESS		0,46
KURTOSIS		3,30	KURTOSIS		9,48	KURTOSIS		1,77
% Gravel	84,06		% Gravel	98,18		% Gravel	69,94	
% Sand	15,94		% Sand	1,82		% Sand	30,06	
% Silt	0,00		% Silt	0,00		% Silt	0,00	
% Clay	0,00		% Clay	0,00		% Clay	0,00	

Tabella 3-1: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del campione del materiale d'alveo dello strato superficiale, del sottostrato e del campione totale (ottenuto come somma dei precedenti), nel sito in località Nozzano sul f. Serchio.

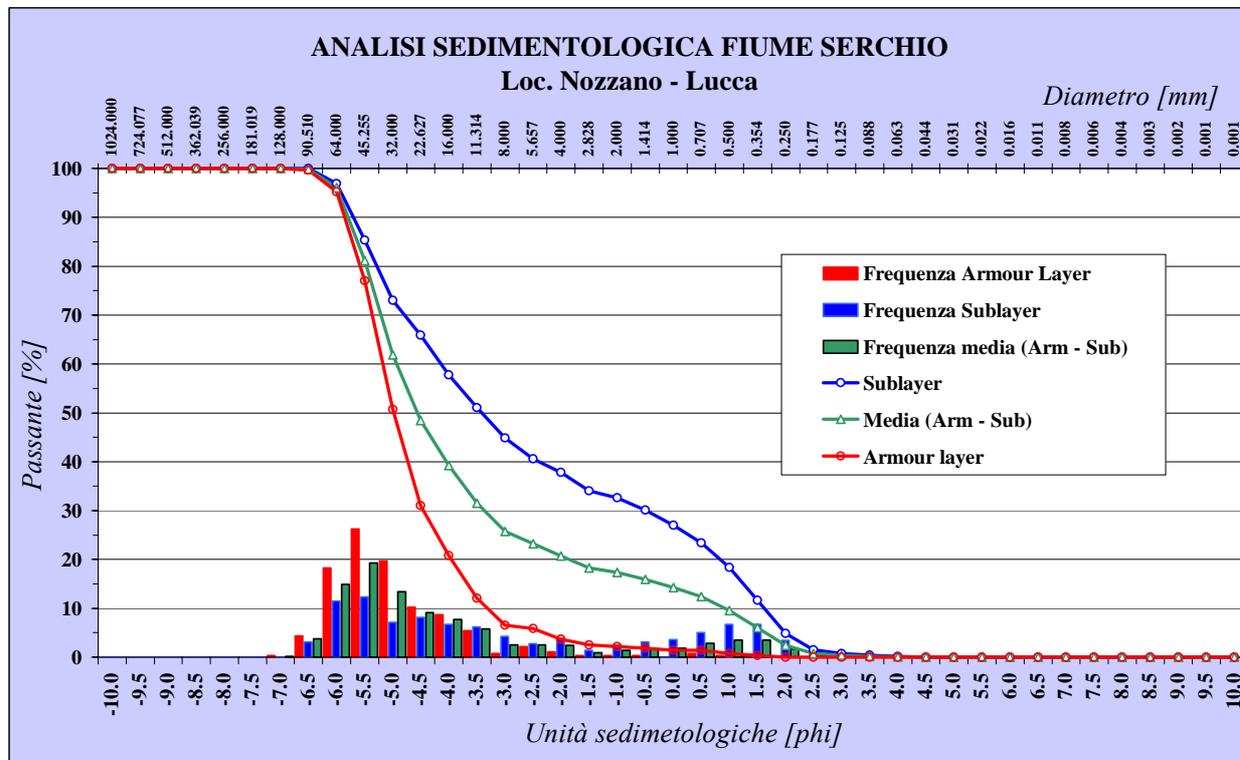


Figura 3-9: Le curve granulometriche dei campioni sedimentologici del materiale d'alveo il località Nozzano sul fiume Serchio.

3.2 FIUME VERSILIA

La stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Versilia è situata su un ponte (si veda la fotografia in Figura 3-10) immediatamente a monte del Ponte Tavole dove è collocata la corrispondente stazione idrometrica. È stata scelta tale sezione perchè la sua collocazione è ottimale da un punto di vista logistico e permette di eseguire le operazioni di misura del trasporto solido in condizioni di sicurezza, data la presenza di una ringhiera che separa il marciapiede dal piano stradale. La disposizione planimetrica della stazione di monitoraggio del trasporto solido e della stazione idrometrica sono riportate in Figura 3-11 e Figura 3-12. Le misure vengono effettuate su 5 verticali (Figura 3-13) distribuite nella sezione trasversale (si noti che nelle misure da V2 a V7 le misure non state effettuate lungo la verticale 5).

I campionamenti sedimentologici per la caratterizzazione del materiale d'alveo sono stati condotti su una barra emersa sita in corrispondenza della stazione di monitoraggio Ponte Tavole, come risulta dalla planimetria illustrata in Figura 3-14 e dalle fotografie in Figura 3-15. Poiché il tratto in esame presenta il fenomeno del corazzamento, è stato effettuato il campionamento dei sedimenti presenti sia nello strato superficiale '*armour layer*' sia nel sottostrato '*sublayer*'. Sono state effettuate due campagne di rilievi sedimentologici in data 02/11/2006 e 09/09/2009. In Figura 3-16 è riportata una scheda informativa dei campionamenti effettuati in data 09/09/2009 (le informazioni relative ai campionamenti eseguiti in data 02/11/2006 sono riportate nella relazione tecnica finale relativa al progetto 'REALIZZAZIONE DEL PRIMO STRALCIO DELLA RETE DI MONITORAGGIO SU TRE CORSI D'ACQUA DELLA REGIONE TOSCANA'). Le curve granulometriche dei campioni di sedimenti raccolti nella campagna 2009, ottenute tramite setacciatura in laboratorio, sono illustrate nella Tabella 3-2. In figura 3-17 è riportato un confronto tra le curve granulometriche ottenute nelle due campagne di misura; il grafico mostra che le curve sia dell'*armour layer* sia del *sub-armour layer* risultano pressoché invariate.



Figura 3-12: Inquadramento planimetrico della stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Versilia e della stazione idrometrica di Ponte Tavole.

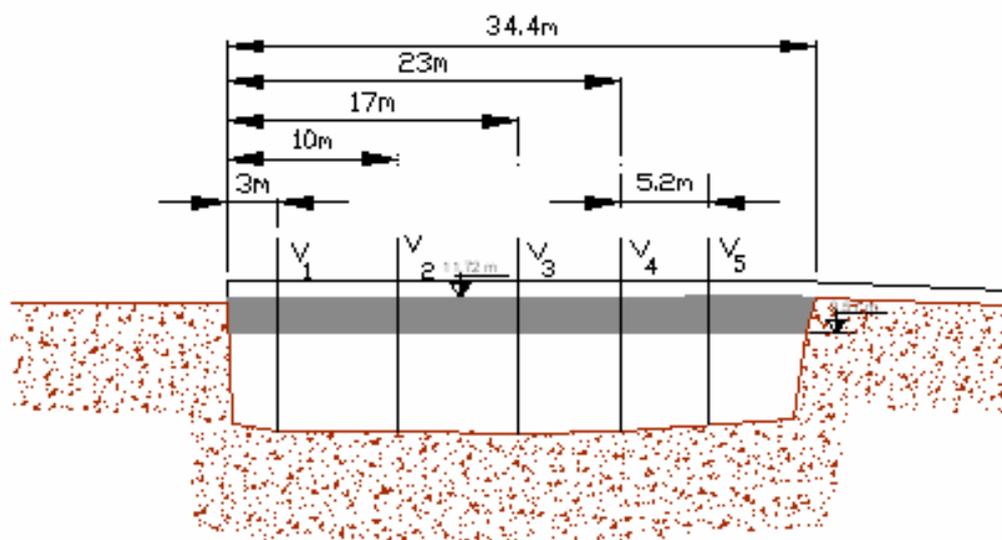


Figura 3-13: Stazione di monitoraggio Ponte Tavole sul fiume Versilia con indicazioni delle verticali di misura.

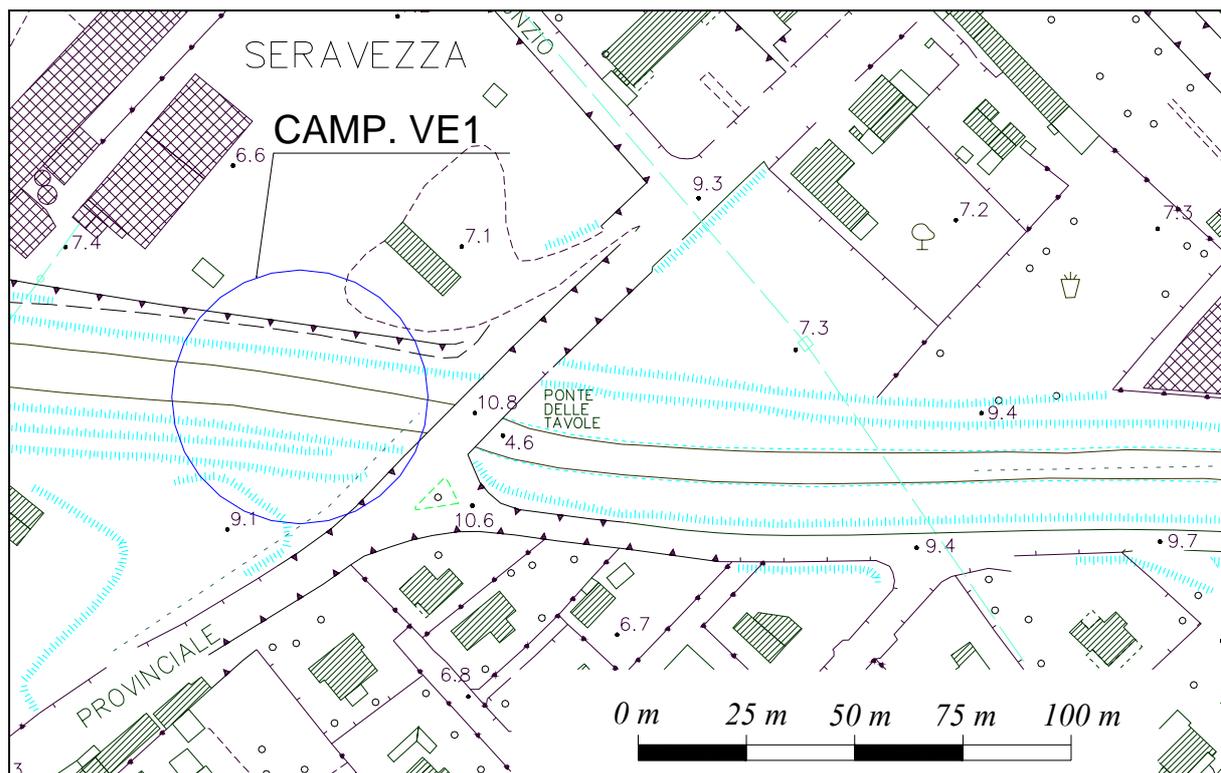


Figura 3-14: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico alla stazione di monitoraggio di Ponte Tavole.



Figura 3-15: Il sito di campionamento sedimentologico del materiale d'alveo sul f. Versilia (a sinistra: vista da monte verso valle; a destra: vista da valle verso monte).

Campionamento VE1		Letto Fiume Versilia		
Data campionamento		09/09/2009		
Località:		Seravezza - Ponte Tavole		
Descrizione campionamento superficiale <i>armour layer</i>				
Metodo di campionamento		Pebble counts		
Intervallo campionamento		0.3		
Numero dei campioni analizzati:		420		
Descrizione campionamento volumetrico <i>sublayer</i>				
Peso totale campione [gr]		639695	Setacciatura	a secco
ϕ_{\max} del campione		-7,5	Diametro max granulo [mm]	238
Quartatura	si	In sito e in laboratorio	Peso iniziale quartato [gr]	2489

Figura 3-16: Scheda informativa dei campionamenti sedimentologici in località Ponte Tavole sul fiume Versilia .

TOTALE			ARMOUR LAYER			SUBLAYER		
	D (mm)	φ		D (mm)	φ		D (mm)	φ
D10	1.38	-0.46	D10	8.92	-3.16	D10	0.63	-0.67
D16	3.09	-1.63	D16	11.90	-3.57	D16	1.06	-0.08
D25	8.99	-3.17	D25	15.08	-3.91	D25	1.97	-0.98
D35	16.67	-4.06	D35	19.47	-4.28	D35	4.23	-2.08
D40	20.26	-4.34	D40	21.82	-4.45	D40	6.40	-2.68
D50	29.38	-4.88	D50	26.56	-4.73	D50	12.68	-3.66
D75	55.32	-5.79	D75	40.18	-5.33	D75	58.38	-5.87
D84	78.59	-6.30	D84	46.15	-5.53	D84	106.59	-6.74
D90	106.35	-6.73	D90	54.66	-5.77	D90	130.37	-7.03
MEDIA	15.63	-3.97	MEDIA	19.81	-4.31	MEDIA	8.72	-3.12
DEV.ST.	2.33		DEV.ST.	0.98		DEV.ST.	3.33	
SKEWNESS	1.00		SKEWNESS	1.04		SKEWNESS	0.19	
KURTOSIS	3.30		KURTOSIS	6.07		KURTOSIS	1.06	
% Boulders	0.00		% Boulders	0.00		% Boulders	0.00	
% Cobbles	13.05		% Cobbles	1.19		% Cobbles	20.16	
% Gravel	74.33		% Gravel	96.90		% Gravel	49.79	
% Sand	12.62		% Sand	1.90		% Sand	30.05	
% Silt	0.00		% Silt	0.00		% Silt	0.00	
% Clay	0.00		% Clay	0.00		% Clay	0.00	

Tabella 3-2: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del campione del materiale d'alveo dello strato superficiale, del sottostrato e del campione totale (ottenuto come somma dei precedenti), nel sito in località Ponte Tavole sul f. Versilia.

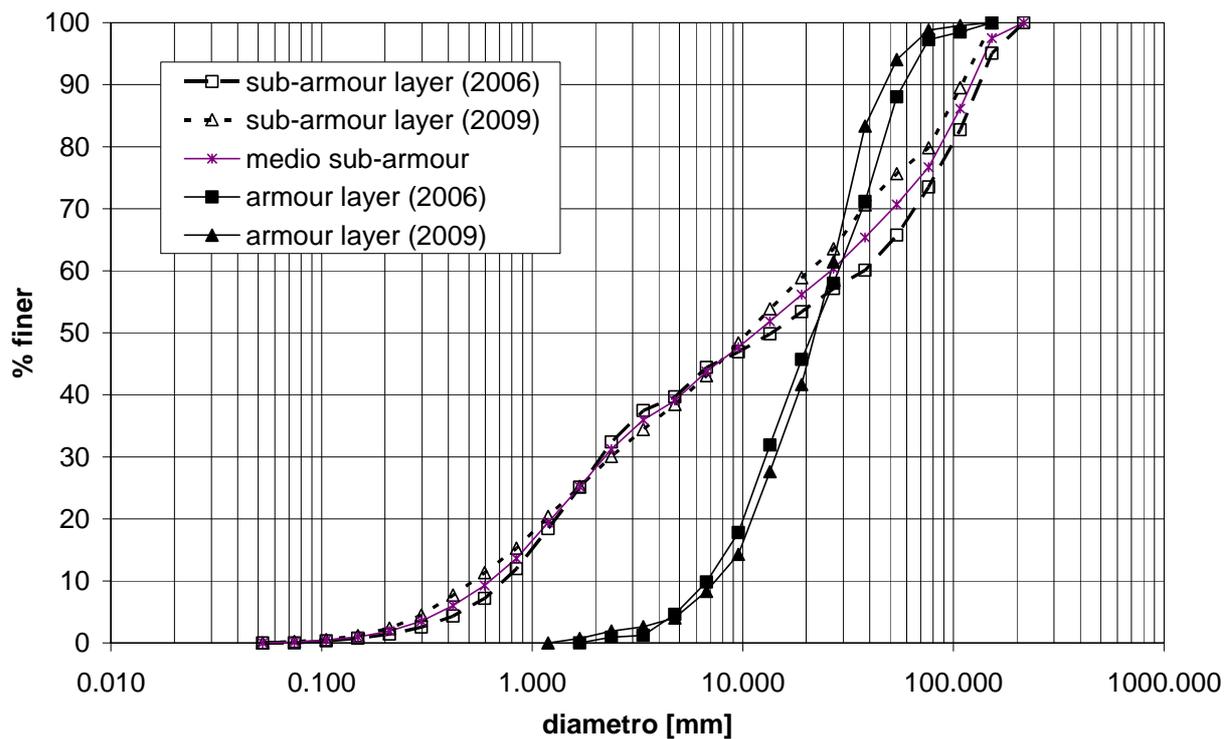


Figura 3-17: Le curve granulometriche dei campioni del materiale d'alveo in località Ponte Tavole sul fiume Versilia ottenute nelle due campagne di rilievo sedimentologico.

3.3 FIUME ARNO

La stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Arno è collocata sul ponte (si veda Figura 3-18) in prossimità dell'abitato di Rosano, in corrispondenza dell'omonima stazione di rilevamento idrometrico di Nave di Rosano monte. In Figura 3-19 si riportano le viste del Fiume Arno verso monte e verso valle dal ponte della stazione di monitoraggio.

Sul Fiume Arno poche centinaia di metri più a valle è presente un secondo ponte in corrispondenza della rotatoria che interseca Via di Rosano con Viale Hanoi e la SS67 (si veda immagine satellitare in Figura 3-20). Tra i due ponti è stato scelto quello di monte, in quanto meno trafficato, e quindi più sicuro per lo svolgimento delle misure. In occasione del sopralluogo esplorativo in sito sono state individuate 5 verticali (Figura 3-21) su cui effettuare le misure. Le verticali sono disposte nella zona centrale della sezione, in corrispondenza dell'arcata principale del ponte, in quanto in prossimità delle pile e delle arcate secondarie del ponte è stata rilevata presenza di vegetazione di alto fusto che potrebbe influenzare le misure di trasporto solido in concomitanza di eventi di piena notevolmente intensi.



Figura 3-18: Fotografia del ponte sul fiume Arno a Nave di Rosano ove è collocata la stazione di monitoraggio del trasporto solido.



Figura 3-19: Vista del Fiume Arno dal ponte a Nave di Rosano
(a sinistra vista verso monte, a destra vista verso valle).



Figura 3-20: Immagine satellitare del tratto del fiume Arno in corrispondenza della stazione di monitoraggio del trasporto solido (linea tratteggiata) e della stazione idrometrica di Nave di Rosano.



Figura 3-22: Localizzazione dei siti di rilievo sedimentologico rispetto alla stazione di monitoraggio del trasporto solido di Nave di Rosano.

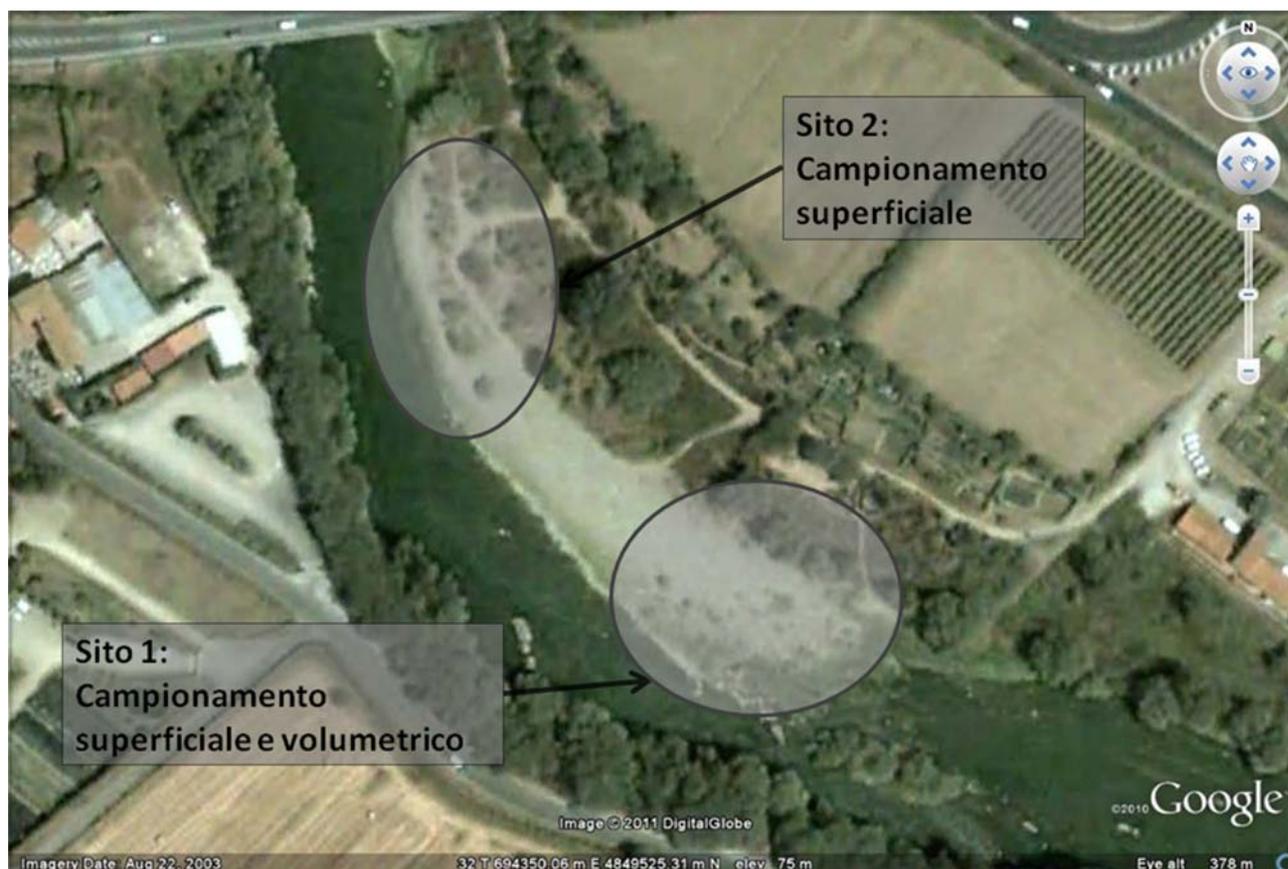


Figura 3-23: Localizzazione del sito 1 e del sito 2 all'interno della barra su cui sono stati effettuati i campionamenti del materiale d'alveo.

Nel sito 1 è stato effettuato sia il campionamento superficiale, durante il quale sono stati analizzati i sedimenti presenti su un'area di circa 100 m^2 della barra (Figura 3-24), sia il campionamento volumetrico per la caratterizzazione del materiale del sub-strato. Seguendo le indicazioni proposte da Church et al. (1987) sono stati prelevati circa 300 Kg di sedimenti (Figura 3-25). Di tutto il materiale prelevato, sono stati campionati in sito tutti i sedimenti con diametro superiore a 32 mm. Il resto è stato quartato e portato in laboratorio di sedimentologia per l'analisi granulometrica.



Figura 3-24: a) foto del sito di campionamento 1; b) predisposizione del campionamento superficiale di tipo *pebble counts*.



Figura 3-25: fasi del campionamento volumetrico (sito 1).

Dall'analisi dei sedimenti è stato possibile ricavare la curva granulometrica e la distribuzione delle frequenze dello strato superficiale e di quello sotto la superficie (Tabella 3-3).

Come si può notare dalla Figura 3-26 la barra presenta una distribuzione granulometrica fortemente bimodale. Si ha infatti una grande presenza di ciottoli e ghiaia grossa con diametri compresi fra i 22 e i 180 mm e di sabbia, mentre si ha quasi totale assenza di granulometrie intermedie. Questo fenomeno è presente, anche se attenuato, nel sottostrato della barra.

	Totale		Armour layer			Sublayer		
	Φ	D (mm)		Φ	D (mm)		Φ	D (mm)
D10	1.3268	0.4	D10	1.2500	0.4	D10	1.4373	0.37
D16	0.9837	0.5	D16	0.9650	0.5	D16	1.0187	0.49
D25	0.4458	0.7	D25	0.5938	0.7	D25	-0.0030	1.00
D35	-2.1717	4.5	D35	-2.3750	5.2	D35	-2.1316	4.38
D40	-3.6620	12.7	D40	-4.7857	27.6	D40	-3.1288	8.75
D50	-4.9460	30.8	D50	-5.5625	47.3	D50	-4.1772	18.09
D75	-6.4902	89.9	D75	-6.9688	125.3	D75	-5.8448	57.47
D84	-6.9102	120.3	D84	-7.4000	168.9	D84	-6.3376	80.88
D90	-7.2867	156.1	D90	-7.7167	210.4	D90	-6.6737	102.09
MEAN	-3.57	11.9	MEAN	-3.98	15.8	MEAN	-3.16	8.9
DEV STANDARD		3.46	DEV STANDARD		3.66	DEV STANDARD		3.19
SKEWNESS		0.45	SKEWNESS		0.48	SKEWNESS		0.56
KURTOSIS		1.71	KURTOSIS		1.51	KURTOSIS		1.96
% Gravel		68.66	% Gravel		66.67	% Gravel		70.65
% Sand		30.93	% Sand		33.33	% Sand		28.53
% Silt		0.00	% Silt		0.00	% Silt		0.01
% Clay		0.00	% Clay		0.00	% Clay		0.00

Tabella 3-3: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del campione del materiale d'alveo dello strato superficiale, del sottostrato e del campione totale (ottenuto come somma dei precedenti), nel sito 1 in località Nave di Rosano sul fiume Arno.

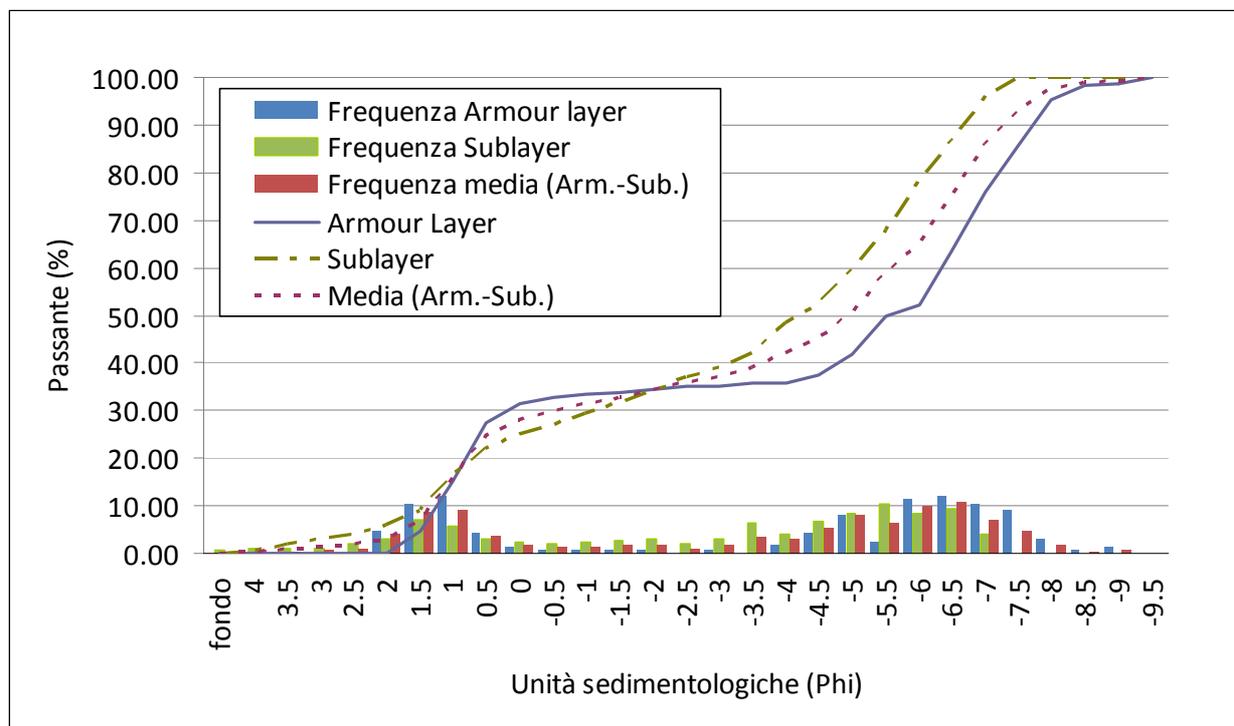


Figura 3-26: Le curve granulometriche dei campioni del materiale d'alveo in località Nave di Rosano sul Fiume Arno (sito 1).

Nel sito 2 è stato effettuato esclusivamente un campionamento superficiale nel quale sono stati analizzati circa 80 m² di barra (Figura 3-27). Tutto il materiale è stato campionato in sito. Dall'analisi dei sedimenti è stato possibile ricavare la curva granulometrica e la distribuzione delle frequenze dello strato superficiale (Tabella 3-4).

Anche in questo caso, come si può notare dalla Figura 3-28 la barra presenta una distribuzione granulometrica fortemente bimodale, addirittura più marcata rispetto al sito 1.



Figura 3-27: foto del campionamento del sito 2.

Armour layer		
	Φ	D (mm)
D10	1.3264	0.4
D16	1.1889	0.4
D25	0.9840	0.5
D35	0.7724	0.6
D40	0.6667	0.6
D50	0.1500	0.9
D75	-6.9479	123.5
D84	-7.3400	162.0
D90	-7.7188	210.7
MEAN	-2.80	7.0
DEV STANDARD		3.99
SKEWNESS		-0.18
KURTOSIS		1.18
% Gravel		48.48
% Sand		51.52
% Silt		0.00
% Clay		0.00

Tabella 3-4: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del campione del materiale d'alveo dello strato superficiale, nel sito 2 in località Nave di Rosano sul Fiume Arno.

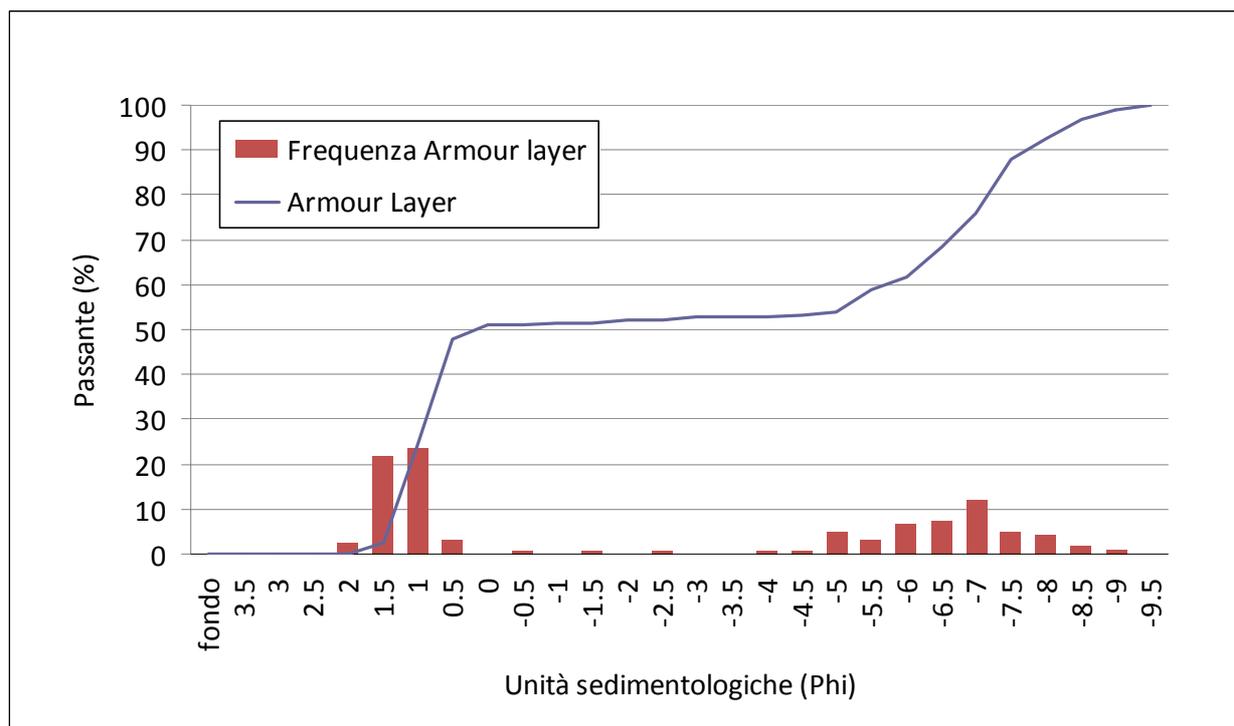


Figura 3-28: Curva granulometrica del campione del materiale d'alveo in località Nave di Rosano sul Fiume Arno (sito 2).

4 MISURE DI CAMPO ED ANALISI DI LABORATORIO

Le misure svolte complessivamente nell'ambito delle attività del secondo stralcio del monitoraggio del trasporto solido risultano complessivamente 22 di cui 7 sul fiume Versilia, 6 sul fiume Serchio e 9 sul Fiume Arno, come risulta dallo schema riassuntivo in Tabella 4-1, in cui è riportato il codice identificativo, il fiume, la sezione e la data delle misure svolte.

numero progressivo	codice identificativo	fiume	stazione di monitoraggio	data
1	V-6	VERSILIA	Ponte Tavole	18/04/2008
2	V-7	VERSILIA	Ponte Tavole	18/04/2008
3	S-11	SERCHIO	Ripafratta	18/04/2008
4	V-8	VERSILIA	Ponte Tavole	31/10/2008
5	V-9	VERSILIA	Ponte Tavole	31/10/2008
6	S-12	SERCHIO	Ripafratta	01/12/2008
7	S-13	SERCHIO	Ripafratta	01/12/2008
8	S-14	SERCHIO	Ripafratta	02/12/2008
9	S-15	SERCHIO	Ripafratta	02/12/2008
10	S-16	SERCHIO	Ripafratta	02/12/2008
11	A-1	ARNO	Nave di Rosano	05/05/2010
12	V-10	VERSILIA	Ponte Tavole	25/10/2010
13	V-11	VERSILIA	Ponte Tavole	25/10/2010
14	V-12	VERSILIA	Ponte Tavole	01/11/2010
15	A-2	ARNO	Nave di Rosano	02/11/2010
16	A-3	ARNO	Nave di Rosano	09/11/2010
17	A-4	ARNO	Nave di Rosano	10/11/2010
18	A-5	ARNO	Nave di Rosano	10/11/2010
19	A-6	ARNO	Nave di Rosano	10/11/2010
20	A-7	ARNO	Nave di Rosano	11/11/2010
21	A-8	ARNO	Nave di Rosano	22/11/2010
22	A-9	ARNO	Nave di Rosano	22/11/2010

Tabella 4-1: Schema riassuntivo delle misure svolte.

Durante la fase di campo le misure effettuate ed i dati principali relativi ai campioni raccolti sono stati registrati su apposite schede di campo.

In particolare, con riferimento alle schede di campo riportate nel seguito, le misure effettuate ed i dati raccolti si riferiscono a quanto segue:

- larghezza del pelo libero (PL): rappresenta l'estensione della larghezza del pelo libero;

- verticali: viene indicata la denominazione e la posizione delle verticali di misura rispetto ad un riferimento noto;
- ora solare: indica l'inizio dell'attività di campo nelle diverse verticali di misura;
- distanza PL da estradosso: è la distanza lungo ciascuna verticale di misura tra l'estradosso dal ponte da cui viene effettuata la misura ed il pelo libero;
- distanza fondo da estradosso: è la distanza lungo ciascuna verticale di misura tra l'estradosso del ponte ed il fondo dell'alveo;
- altezza d'acqua Y: è la profondità dell'acqua nelle verticali di misura ed è ottenuta dalla differenza tra la misura "distanza fondo da estradosso" e la misura "distanza PL da estradosso";
- misura velocità – U: è la misura della velocità puntuale della corrente effettuata tramite il mulinello USGS tipo PRICE AA, il tempo di campionamento medio è stato di 40 s; si noti inoltre che generalmente sono state effettuate almeno 2 misure di velocità in ciascuna delle verticali di misura;
- misura velocità – distanza dall'estradosso: è la distanza lungo ciascuna verticale di misura tra l'estradosso del ponte ed il punto in cui è stata effettuata la misura puntuale della velocità U;
- integratore – ora solare: indica l'ora di inizio dei campionamenti della miscela acqua-sedimenti in sospensione tramite lo strumento integratore nella verticale di misura in esame;
- integratore – tempo campionamento: è il tempo impiegato per la raccolta del campione della miscela acqua-sedimenti;
- integratore – ugello: indica le dimensioni della bocca di immissione dell'integratore;
- integratore – nome campione: è il nome con cui vengono individuati i vari campioni raccolti;
- Helley-Smith – ora solare: indica l'ora di inizio del campionamento dei sedimenti che si muovono sul fondo nelle varie verticali di misura tramite lo strumento Helley-Smith;
- Helley-Smith – tempo campionamento: è il tempo impiegato per la raccolta del campione del trasporto solido di fondo;
- Helley-Smith – nome campione: è il nome assegnato ai vari campioni raccolti.

I campioni di sedimenti raccolti sono stati successivamente portati in un apposito laboratorio di sedimentologia ed analizzati.

Durante la fase di laboratorio, con riferimento alle schede di laboratorio riportate nel seguito, sono state determinate le seguenti grandezze:

- Integratore – peso acqua: viene determinato il peso della miscela acqua-sedimenti raccolta nel campionamento con lo strumento integratore nelle varie verticali di misura;
- Integratore – peso sedimenti: viene determinato il peso asciutto dei soli sedimenti presenti nei campioni raccolti;
- Integratore – peso sabbia: viene determinato il peso asciutto della sola componente sabbiosa, avente diametri compresi nell'intervallo (1/16 mm, 2 mm), presente nel campione di sedimenti raccolti. La componente sabbiosa viene interpretata come trasporto solido in sospensione associato al '*bed material*', ovvero ai sedimenti che compongono il letto del fiume. La componente in sospensione non associata al *bed material*, costituita da sedimenti di tipo limoso/argilloso, viene interpretata come trasporto solido in sospensione associato al *wash load* a seguito dell'azione di dilavamento dei versanti del bacino fluviale;
- Integratore – concentrazione (peso sed./acqua): rappresenta il rapporto tra il peso dei sedimenti e della miscela acqua sedimenti;
- Integratore – % sabbia: è la percentuale di sedimenti avente diametri nel campo delle sabbie rispetto al peso totale dei sedimenti raccolti;
- Integratore – % limo –argilla: è la percentuale di sedimenti nel campo dei limi e argille rispetto al peso totale dei sedimenti raccolti;
- Helley-Smith – peso: viene determinato il peso asciutto dei sedimenti raccolti con lo strumento Helley-Smith;
- Helley-Smith – D16: è il percentile 16 della distribuzione granulometrica della mistura raccolta, questo diametro fornisce una dimensione caratteristica della parte più fine;
- Helley-Smith – D50: è il percentile 50 della distribuzione granulometrica della mistura raccolta;
- Helley-Smith – D84: è il percentile 84 della distribuzione granulometrica della mistura raccolta, questo diametro fornisce una dimensione caratteristica della parte più grossolana;
- Helley-Smith – % ghiaia: è la percentuale in peso di sedimenti di tipo ghiaioso rispetto al peso totale dei sedimenti raccolti;

- Helley-Smith – % sabbia: è la percentuale in peso di sedimenti di tipo sabbioso rispetto al peso totale dei sedimenti raccolti;
- Helley-Smith – deviazione standard: è una misura della dispersione intorno alla tendenza centrale della distribuzione, ed esprime il grado di selezione della mistura dei sedimenti. In base ai valori della deviazione standard, si possono distinguere una serie di classi caratterizzate da diversi gradi di classazione, secondo la Tabella 4-2.

DEVIAZIONE STANDARD	GRADO DI CLASSAZIONE
< 0.35	<i>Estremamente classato (cernito)</i>
0.35 - 0.50	<i>Ben classato</i>
0.50 - 0.80	<i>Discretamente classato</i>
0.80 - 1.40	<i>Mediamente classato</i>
1.40 - 2.00	<i>Poco classato</i>
2.00 - 2.60	<i>Scarsissimamente classato (assortito)</i>
> 2.60	<i>Non classato (estremamente assortito)</i>

Tabella 4-2: Classificazione del grado di classazione dei sedimenti in base alla deviazione standard (da Friedman, 1962, modificato da Ricci Lucchi, 1980).

Nel seguito del presente capitolo vengono riportate le annotazioni generali, gli idrogrammi di piena (tratti dal sito web del Centro Funzionale della Regione Toscana, www.cfr.toscana.it), le schede riassuntive della fase di campo e dei dati di laboratorio relative alle 22 misure oggetto del secondo stralcio del monitoraggio del trasporto solido.

Le schede della fase di campo e della fase di laboratorio delle misure effettuate sono riportate negli Allegati A e B, mentre nell'allegato C sono riportate le curve granulometriche dei campioni di trasporto solido al fondo.

4.1 FIUME SERCHIO

4.1.1 EVENTO S-11

La misura S-11 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena registrato il 18/04/2008 in un intervallo di tempo tra le 12:50 e le 14:40 (Figura 4-1). Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura. Nella verticale V3 non è stato possibile effettuare le misure con il mulinello a causa di un malfunzionamento dello strumento, ed è stata effettuata solo la misura di velocità superficiale.

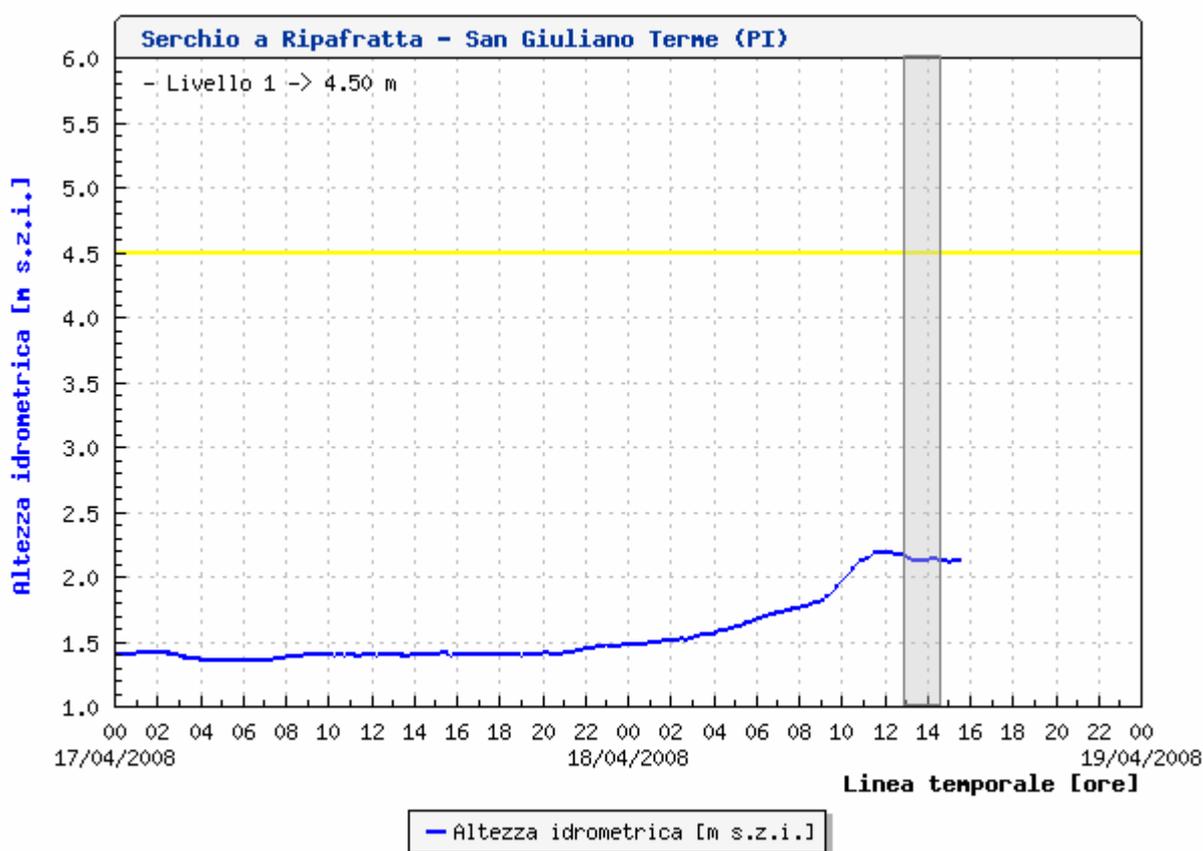


Figura 4-1: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-11.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è principalmente costituito dalla componente denominata 'wash load' poichè una percentuale compresa tra l'84% e il 92% del totale dei sedimenti raccolti presenta diametri nel campo dei limi-argille;

- il 12% circa del trasporto solido in sospensione è costituito da sedimenti nel campo delle sabbie ed è riconducibile alla componente nota come trasporto in sospensione da *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa tra $2.13 \cdot 10^{-4}$ e $2.91 \cdot 10^{-4}$;
- il trasporto solido al fondo è principalmente costituito da sedimenti di tipo sabbioso aventi un diametro mediano della distribuzione granulometrica D50 compreso tra circa 0.6 mm a 0.84 mm;
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura da discretamente a mediamente classato (si veda la tabella 6-5).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	18/04/2008			
Codice identificativo	S-11			
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni			
Larghezza Pelo Libero (PL)				
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	13.44	13.05	14.16
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.78	7.75	7.55
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.10	13.25	11.88
Profondità acqua	Y [m]	5.32	5.5	4.33
I misura velocità	U [m/s]	1.360	1.7	-
	Distanza dall'estradosso [m]	12.00	12.8	11.35
II misura velocità	U [m/s]	1.26	1.585	-
	Distanza dall'estradosso [m]	10.8	10.3	10.35
III misura velocità	U [m/s]	1.14	1.598	0.835
	Distanza dall'estradosso [m]	9.30	8.8	SUPERFICIE
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]	-	-	-
Integratore	Ora solare [hh:mm]	13:44	13:38	14:34
	Tempo [s]	34	45	41
	Ugello			
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	12:57	13:55	13:25
	Tempo [min]	10	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H

Tabella 4-3: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-11.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	18/04/2008			
Codice identificativo	S-11			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	400	831	565
	peso sedimento [g]	0.106	0.2416	0.1206
	peso sabbia [g]	0.0087	0.0392	0.0132
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.65E-04	2.91E-04	2.13E-04
	% sabbia	8.21	16.23	10.95
	% limo - argilla	91.79	83.77	89.05
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	7592	43	111
	D16 [mm]	0.42	0.40	0.36
	D50 [mm]	0.60	0.84	0.62
	D84 [mm]	0.93	2.28	0.95
	% ghiaia	3.29	18.6	0
	% sabbia	96.71	81.4	100
	deviazione standard [ϕ]	0.94	1.23	0.76

Tabella 4-4: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-11.

4.1.2 EVENTO S-12

La misura S-12 è stata eseguita durante la fase crescente di un evento di piena iniziato il 30/11/2008 in un intervallo di tempo tra le 10:00 e le 11:10 (figura 4-2). Sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura preventivamente individuate, e in due verticali aggiuntive V0 e V4 nelle aree laterali della sezione fluviale. Non è stato possibile effettuare il prelievo dei campioni di trasporto solido al fondo a causa della elevata velocità della corrente. Inoltre non è stato possibile effettuare le misure correntometriche a causa dell'elevata quantità di materiale flottante trasportato in superficie; sono state effettuate delle misure di velocità superficiale con il metodo dei traccianti: i traccianti sono stati immessi in corrispondenza del ponte situato a monte della stazione di monitoraggio, misurando il tempo impiegato per percorrere la distanza intercorrente tra i due ponti, che è stata successivamente ricavata dal rilievo topografico.

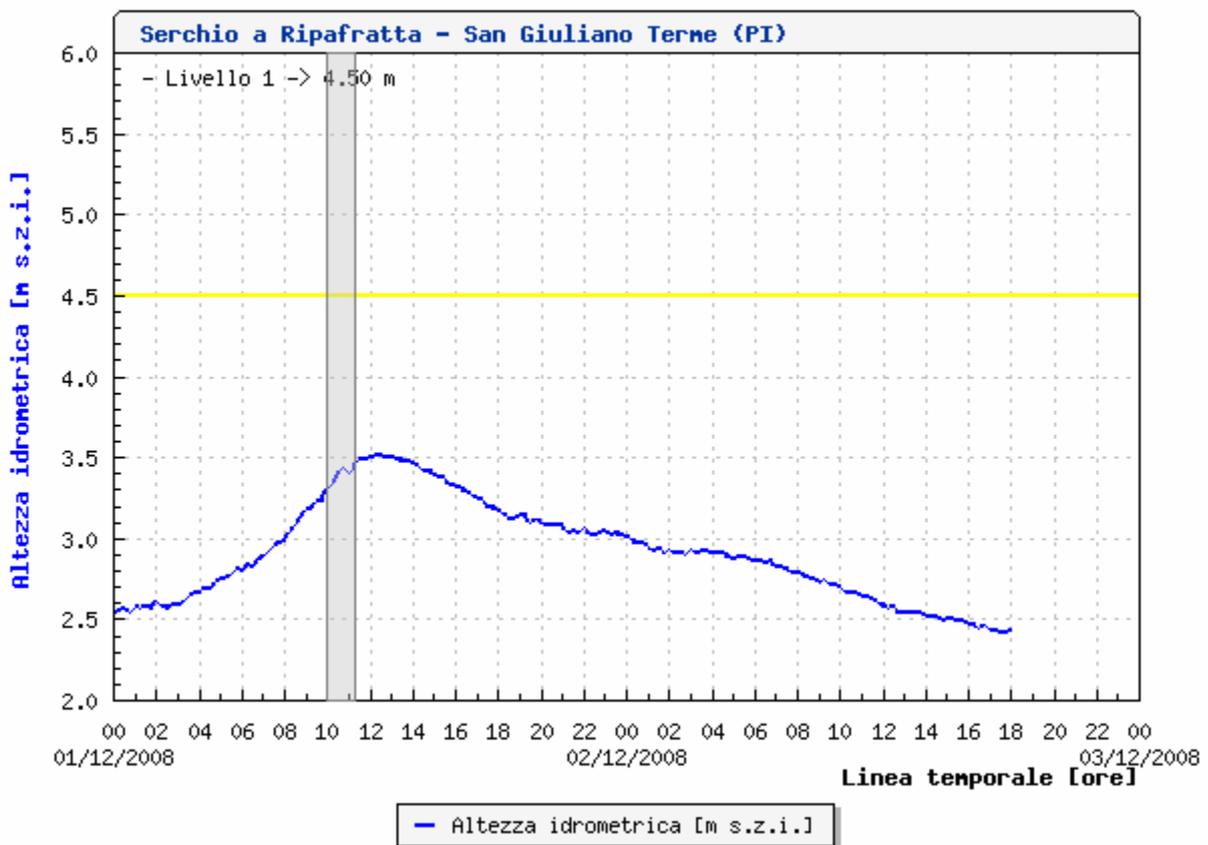


Figura 4-2: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-12.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il 70% del trasporto solido in sospensione, ricavato come media tra i campioni prelevati, è costituito dalla componente 'wash load';
- il restante 30% del trasporto solido in sospensione è costituito da sedimenti nel campo della sabbie ed è riconducibile alla componente nota come trasporto in sospensione da *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa tra $8 \cdot 10^{-4}$ e $1.4 \cdot 10^{-3}$;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO							
Sezione	RIPAFRATTA							
Data	01/12/2008							
Codice identificativo	S-12							
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci							
Larghezza Pelo Libero (PL)	80 m, pelo libero a partire da 3.8 m dalla spalletta destra del ponte							
Verticali	Nome	V0	V1	V2	V3	V4		
	Distanza da spalletta sx [m]	34.8	49.8	55.4	68	75		
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	11:07	10:25	10:43	10:17	11:00		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.2	6.4	6.3	6.1	6.0		
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	-	-	-	-	-		
Profondità acqua	Y [m]	-	-	-	-	-		
I misura velocità	U [m/s]	2.218	3.368	3.081481				
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.	U superf.	U superf.	-	-		
II misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]							
III misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]							
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]							
Integratore	Ora solare [hh:mm]	11:07	10:25	10:30	10:38	10:43	10:17	11:00
	Tempo [s]	45	48	40	50	43	45	43
	Ugello	piccolo	medio	medio	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	0-INT	1a-INT	1b-INT	1c-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	-	-	-	-	-	-
	Tempo [min]	-	-	-	-	-	-	-
	nome campione	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 4-5: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-12.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO							
Sezione	RIPAFRATTA							
Data	01/12/2008							
Codice identificativo	S-12							
Operatori	Vannacci							
Verticali	Nome	V0	V1			V2	V3	V4
Integratore	nome campione	0-INT	1a-INT	1b-INT	1c-INT	2-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	387	938	937	717	669	440	445
	peso sedimento [g]	0.5469	1.2531	1.1299	0.723	0.7224	0.3489	0.3769
	peso sabbia [g]	0.2389	0.6168	0.3637	0.1807	0.1462	0.0463	0.1044
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.41E-03	1.34E-03	1.21E-03	1.01E-03	1.08E-03	7.93E-04	8.47E-04
	% sabbia	43.68	49.22	32.19	24.99	20.24	13.27	27.70
	% limo - argilla	56.32	50.78	67.81	75.01	79.76	86.73	72.30
Helley-Smith	nome campione	-	-			-	-	-
	peso sedimenti [g]	-	-			-	-	-
	Ø16 [mm]	-	-			-	-	-
	Ø50 [mm]	-	-			-	-	-
	Ø84 [mm]	-	-			-	-	-
	% ghiaia	-	-			-	-	-
	% sabbia	-	-			-	-	-
deviazione standard [φ]	-	-			-	-	-	

Tabella 4-6: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-12.

4.1.3 EVENTO S-13

La misura S-13 è stata eseguita durante lo stesso evento di piena associato alla misura S-12, in corrispondenza del colmo dell'idrogramma, in un intervallo di tempo compreso tra le 12:30 e le 13:00 (figura 4-3).

Sono state effettuate misure di velocità superficiale con il metodo dei traccianti e sono stati prelevati i campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura, comprese le verticali aggiuntive nelle aree laterali V0 e V4, come nella misura S-12. Non è stato possibile effettuare il prelievo dei campioni di trasporto solido al fondo a causa della elevata velocità della corrente.

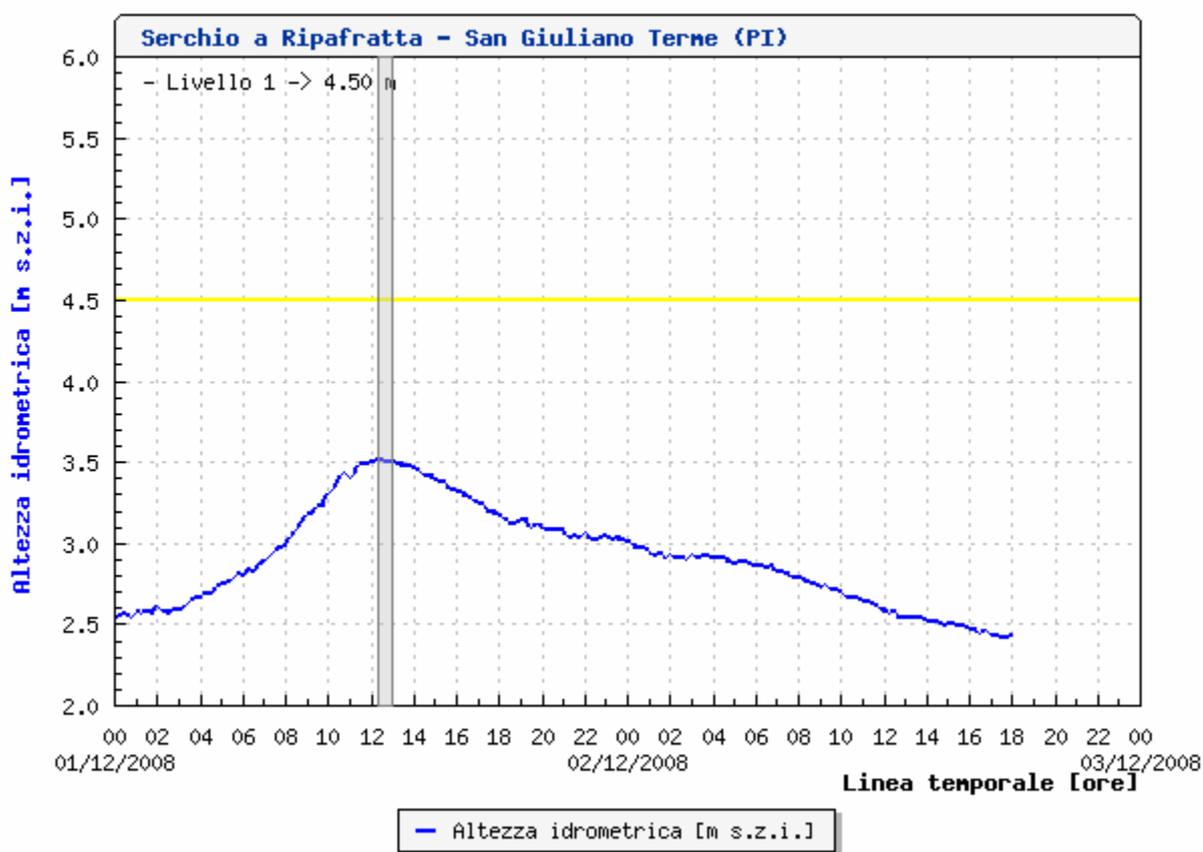


Figura 4-3: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-13.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il 65% del trasporto solido in sospensione, misurato come media dei campioni, è costituito dalla componente 'wash load';

- il restante 35% del trasporto solido in sospensione è costituito da sedimenti nel campo delle sabbie ed è riconducibile alla componente nota come trasporto in sospensione da *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa tra $8.7 \cdot 10^{-4}$ e $1.4 \cdot 10^{-3}$;
- la concentrazione maggiore di sabbia nei campioni in sospensione, circa il 46%, è stata misurata in corrispondenza della verticale 0, la concentrazione minore, circa il 26%, in corrispondenza della verticale 4, evidenziando un convogliamento in sinistra idraulica della sabbia trasportata.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO					
Sezione	RIPAFRATTA					
Data	01/12/2008					
Codice identificativo	S-13					
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci					
Larghezza Pelo Libero (PL)	80 m					
Verticali	Nome	V0	V1	V2	V3	V4
	Distanza da spalletta sx [m]	34.8	49.8	55.4	68	75
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	12:35	12:40	12:45	12:48	12:50
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.1	6.3	6.3	6.1	5.85
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	11	14	15	12.1	11
Profondità acqua	Y [m]	4.9	7.7	8.7	6	5.15
I misura velocità	U [m/s]	2.397838	2.215789	3.46667	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.	U superf.	U superf.		
II misura velocità	U [m/s]	-	3.007143	3.328	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]		U superf.	U superf.		
III misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]					
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]					
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12:35	12:40	12:45	12:48	12:50
	Tempo [s]	45	45	40	50	58
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	0-INT	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	-	-	-	-
	Tempo [min]	-	-	-	-	-
	nome campione	-	-	-	-	-

* Quote del fondo misurate con argano e campionatore in sospensione

Tabella 4-7: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-13.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO					
Sezione	RIPAFRATTA					
Data	01/12/2008					
Codice identificativo	S-13					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V0	V1	V2	V3	V4
Integratore	nome campione	0-INT	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	629	516	662	618	650
	peso sedimento [g]	0.8654	0.5581	0.7351	0.578	0.5639
	peso sabbia [g]	0.4025	0.2535	0.2558	0.1545	0.1445
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.38E-03	1.08E-03	1.11E-03	9.35E-04	8.68E-04
	% sabbia	46.51	45.42	34.80	26.73	25.63
	% limo - argilla	53.49	54.58	65.20	73.27	74.37
Helley-Smith	nome campione	-	-	-	-	-
	peso sedimenti [g]	-	-	-	-	-
	D16 [mm]	-	-	-	-	-
	D50 [mm]	-	-	-	-	-
	D84 [mm]	-	-	-	-	-
	% ghiaia	-	-	-	-	-
	% sabbia	-	-	-	-	-
	deviazione standard [ϕ]	-	-	-	-	-

Tabella 4-8: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-13.

4.1.4 EVENTO S-14

La misura S-14 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena iniziato nei giorni precedenti, durante i quali sono state effettuate le misure S-12 e S-13. La misura è stata eseguita il giorno 02/12/2008 in un intervallo di tempo tra le 9:00 e le 11:30 (figura 4-4). In accordo alle misure svolte il giorno precedente, sono state effettuate le misure correntometriche della velocità superficiale e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura V0 – V4. I campioni di trasporto solido al fondo sono stati prelevati in corrispondenza delle sole verticali centrali V1 – V2 – V3: il campionamento del trasporto solido al fondo è stato ripetuto sulle tre verticali per indagare la presenza di fluttuazioni temporali di portata solida al fondo; la verticale V2 è stata ritenuta rappresentativa di tali fluttuazioni.

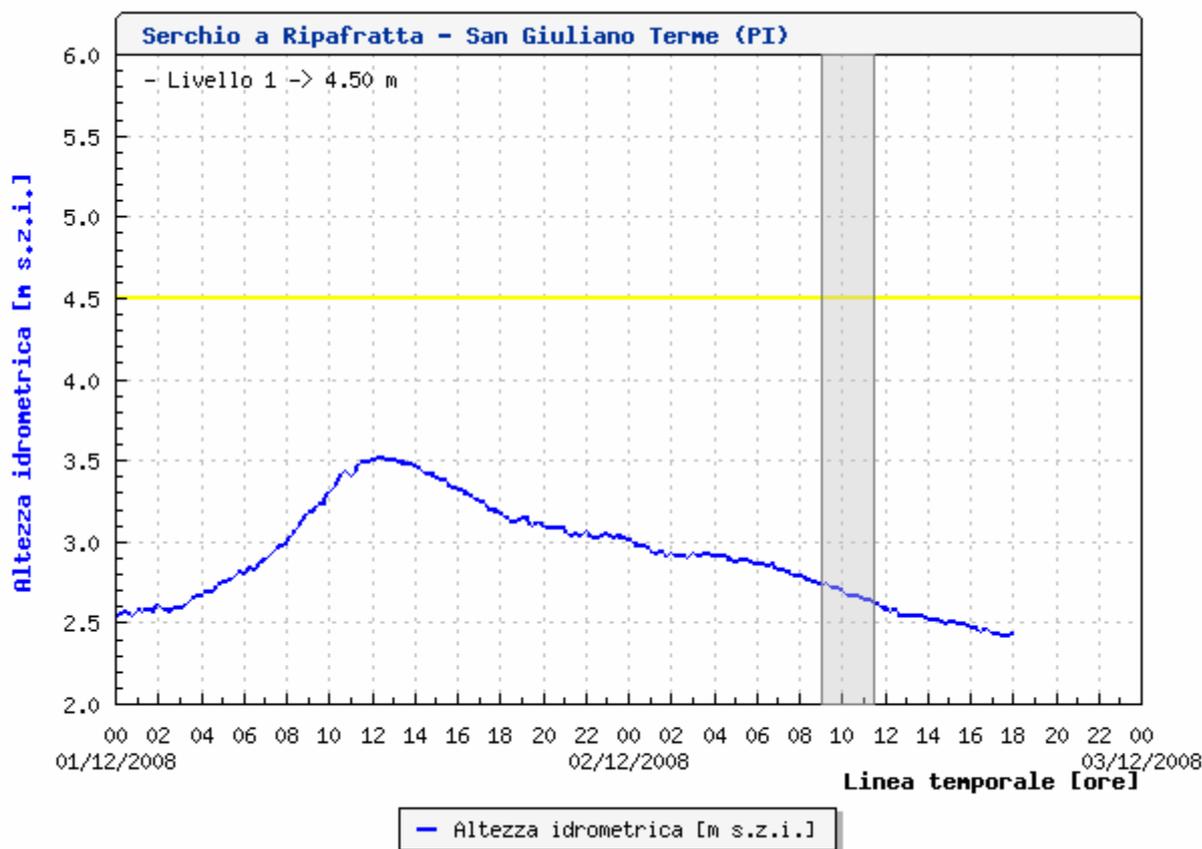


Figura 4-4: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-14.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- Il trasporto solido in sospensione è costituito in media per il 62% dalla componente 'wash load';

- Il restante 38% del trasporto solido in sospensione è costituito da sedimenti nel campo delle sabbie ed è riconducibile alla componente nota come trasporto in sospensione da *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione varia tra $3.3 \cdot 10^{-4}$ e $6.8 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo presentano percentuali di sabbia e ghiaia molto variabili tra le varie verticali: i campioni raccolti nelle verticali V1 e V3 presentano una percentuale di sabbia variabile tra l'81% e il 94% con un D50 compreso tra 0.4 mm e 0.87 mm; i campioni raccolti nella verticale V2 presentano una percentuale di sabbia variabile tra 6% e 29% con un D50 compreso tra 3.7 mm e 14.6 mm;
- i campioni 1-H presentano una mistura mediamente classata, i campioni 2-H da mediamente a poco classata, mentre i campioni 3-H risultano essere uno mediamente classato e l'altro estremamente assortito.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO									
Sezione	RIPAFRATTA									
Data	02/12/2008									
Codice identificativo	S-14									
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Corridori, Solari									
Larghezza Pelo Libero (PL)										
Verticali	Nome	V0	V1	V2	V3	V4				
	Distanza da spalletta sx [m]	34.8	49.8	55.4	68	75				
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	09:55	10:00	09:46	09:05	10:16				
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.9	7.1	7.1	6.9	6.7				
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.2	12.4	13.9	11.7	10.3				
Profondità acqua	Y [m]	6.3	5.3	6.8	4.8	3.6				
I misura velocità	U [m/s]	1.62	1.48	2.03	1.48	1.66				
	Ora solare [hh:mm]	-	11:10	10:55	10:50	10:43				
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.								
II misura velocità	U [m/s]	1.66	-	-	1.43	-				
	Ora solare [hh:mm]	-	-	-	10:46	-				
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.	-	-	U superf.	-				
III misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-				
	Distanza dall'estradosso [m]	-	-	-	-	-				
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-				
	Distanza dall'estradosso [m]	-	-	-	-	-				
Integratore	Ora solare [hh:mm]	09:55	10:00	10:10	10:14	10:16				
	Tempo [s]	60	53	55	55	75				
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo				
	nome campione	0-INT	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT				
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	10:10	10:28	09:46	10:52	11:22	09:05	09:25	-
	Tempo [min]	-	10	10	10	10	5	10	10	-
	nome campione	-	1a-H	1b-H	2a-H	2b-H	2c-H	3a-H	3b-H	-

* Quote del fondo misurate con argano e campionatore in sospensione

Tabella 4-9: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-14.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO									
Sezione	RIPAFRATTA									
Data	02/12/2008									
Codice identificativo	S-14									
Operatori	Vannacci									
Verticali	Nome	V0	V1		V2			V3		V4
Integratore	nome campione	0-INT	1-INT		2-INT			3-INT		4-INT
	peso acqua [g]	609	569		710			554		625
	peso sedimento [g]	0.4143	0.1978		0.2601			0.181		0.2071
	peso sabbia [g]	0.2662	0.0673		0.0877			0.063		0.0507
	concentrazione (peso sed./acqua)	6.80E-04	3.48E-04		3.66E-04			3.27E-04		3.31E-04
	% sabbia	64.25	34.02		33.72			34.81		24.48
	% limo - argilla	35.75	65.98		66.28			65.19		75.52
Helley-Smith	nome campione	-	1a-H	1b-H	2a-H	2b-H	2c-H	3a-H	3b-H	-
	peso sedimenti [g]	-	773	217	4195	7592	5013	292	574	-
	D16 [mm]	-	0.44	0.38	1.45	5.21	2.36	0.28	0.28	-
	D50 [mm]	-	0.87	0.63	3.72	14.57	4.98	0.41	0.39	-
	D84 [mm]	-	2.12	1.62	10.29	31.84	11.11	45.35	0.61	-
	% ghiaia	-	17.21	11.52	70.89	94.39	89.99	17.81	4.36	-
	% sabbia	-	82.79	88.48	29.11	5.61	10.01	81.51	94.77	-
	deviazione standard [φ]	-	1.15	1.13	1.47	1.6	1.14	2.73	1.3	-

Tabella 4-10: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-14.

4.1.5 EVENTO S-15

La misura S-15 è stata eseguita, in successione alla misura S-14, durante la fase calante di un evento di piena iniziato nei giorni precedenti. La misura è stata eseguita il giorno 02/12/2008 in un intervallo di tempo tra le 11:45 e le 13:00 (figura 4-5). In accordo alle misure precedenti relative allo stesso evento di piena, sono state effettuate le misure correntometriche della velocità superficiale e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura V0 – V4. I campioni di trasporto solido al fondo sono stati prelevati in corrispondenza delle sole verticali centrali V1 – V2 – V3: il campionamento del trasporto solido al fondo è stato ripetuto sulla verticale V2 che è stata ritenuta rappresentativa delle fluttuazioni temporali della portata solida al fondo, associate alla presenza di forme di fondo nell'alveo sabbioso mobile.

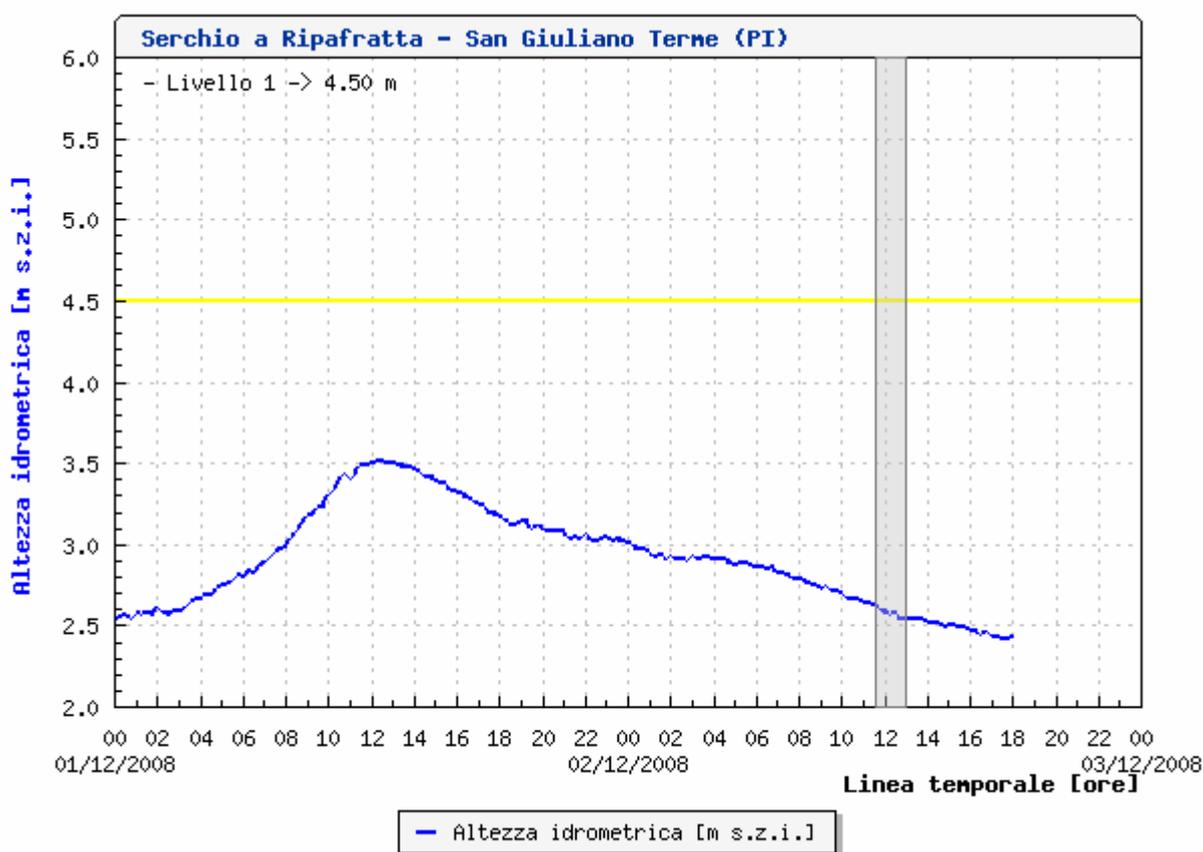


Figura 4-5: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-15.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è costituito dalla componente 'wash load' con frazioni molto variabili che vanno dal 27% al 69% del trasporto solido in sospensione totale;
- il restante 31%-73% del trasporto solido in sospensione è attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da circa $1.8 \cdot 10^{-4}$ a circa $9.6 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 3-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 1.17 mm e 0.37 mm;
- i campioni 2a-H e 2b-H sono principalmente di tipo ghiaioso con un D50 rispettivamente di circa 10.4 mm e 8.7 mm;
- i campioni 1-H e 3-H presentano una mistura da mediamente a poco classata;
- i campioni 2a-H e 2b-H risultano da mediamente a poco classati.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO						
Sezione	RIPAFRATTA						
Data	02/12/2008						
Codice identificativo	S-15						
Operatori	Bechi, Canovaro, Corridori, Francalanci, Solari						
Larghezza Pelo Libero (PL)							
Verticali	Nome	V0	V1	V2	V3	V4	
	Distanza da spalletta sx [m]	34.8	49.8	55.4	68	75	
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	12:05	12:10	12:00	11:45	12:30	
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7	7.3	7.2	7	6.8	
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	10.1	13.1	13.3	11	10.4	
Profondità acqua	Y [m]	3.1	5.8	6.1	4	3.6	
I misura velocità	U [m/s]	1.48	2.21	2.2	1.48	1.28	
	Ora solare [hh:mm]	12:55	12:50	12:45	12:40	12:35	
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.					
II misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-	
	Distanza dall'estradosso [m]						
III misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-	
	Distanza dall'estradosso [m]						
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-	-	-	
	Distanza dall'estradosso [m]						
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30
	Tempo [s]	60	55	80	50	58	63
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	0-INT	1a-INT	1b-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	12:20	12:00	12:42	11:45	-
	Tempo [min]	-	10	5	5	10	-
	nome campione	-	1-H	2a-H	2b-H	3-H	-

* Quote del fondo misurate con argano e campionatore in sospensione

Tabella 4-11: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-15.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO							
Sezione	RIPAFRATTA							
Data	02/12/2008							
Codice identificativo	S-15							
Operatori	Yannacci							
Verticali	Nome	V0	V1		V2		V3	V4
Integratore	nome campione	0-INT	1a-INT	1b-INT	2-INT		3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	573	368	789	686		515	493
	peso sedimento [g]	0.5512	0.0721	0.3582	0.1927		0.1469	0.0897
	peso sabbia [g]	0.4024	0.0262	0.1898	0.0605		0.0538	0.0274
	concentrazione (peso sed./acqua)	9.62E-04	1.96E-04	4.54E-04	2.81E-04		2.85E-04	1.82E-04
	% sabbia	73.00	36.34	52.99	31.40		36.62	30.55
	% limo - argilla	27.00	63.66	47.01	68.60		63.38	69.45
Helley-Smith	nome campione	-	1-H		2a-H	2b-H	3-H	-
	peso sedimenti [g]	-	2300		2796	10386	27	-
	Ø16 [mm]	-	0.55		3.68	3.56	0.28	-
	Ø50 [mm]	-	1.17		10.38	8.75	0.37	-
	Ø84 [mm]	-	3.86		23.02	18.57	0.67	-
	% ghiaia	-	27.35		91.92	92.96	3.7	-
	% sabbia	-	72.65		8.08	7.04	96.3	-
	deviazione standard [φ]	-	1.41		1.54	1.26	0.81	-

Tabella 4-12: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-15.

4.1.6 EVENTO S-16

La misura S-16 è stata eseguita in successione alla misura S-15 in un intervallo di tempo tra le 13:40 e le 16:10 (figura 4-6), nell'evento di piena verificatosi nei giorni 1-2/12/2008.

In accordo alle misure precedenti relative allo stesso evento di piena, sono state effettuate le misure correntometriche della velocità superficiale e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura V0 – V4. I campioni di trasporto solido al fondo sono stati prelevati in corrispondenza delle sole verticali centrali V1 – V2 – V3: il campionamento del trasporto solido al fondo è stato ripetuto sulla verticale V2.

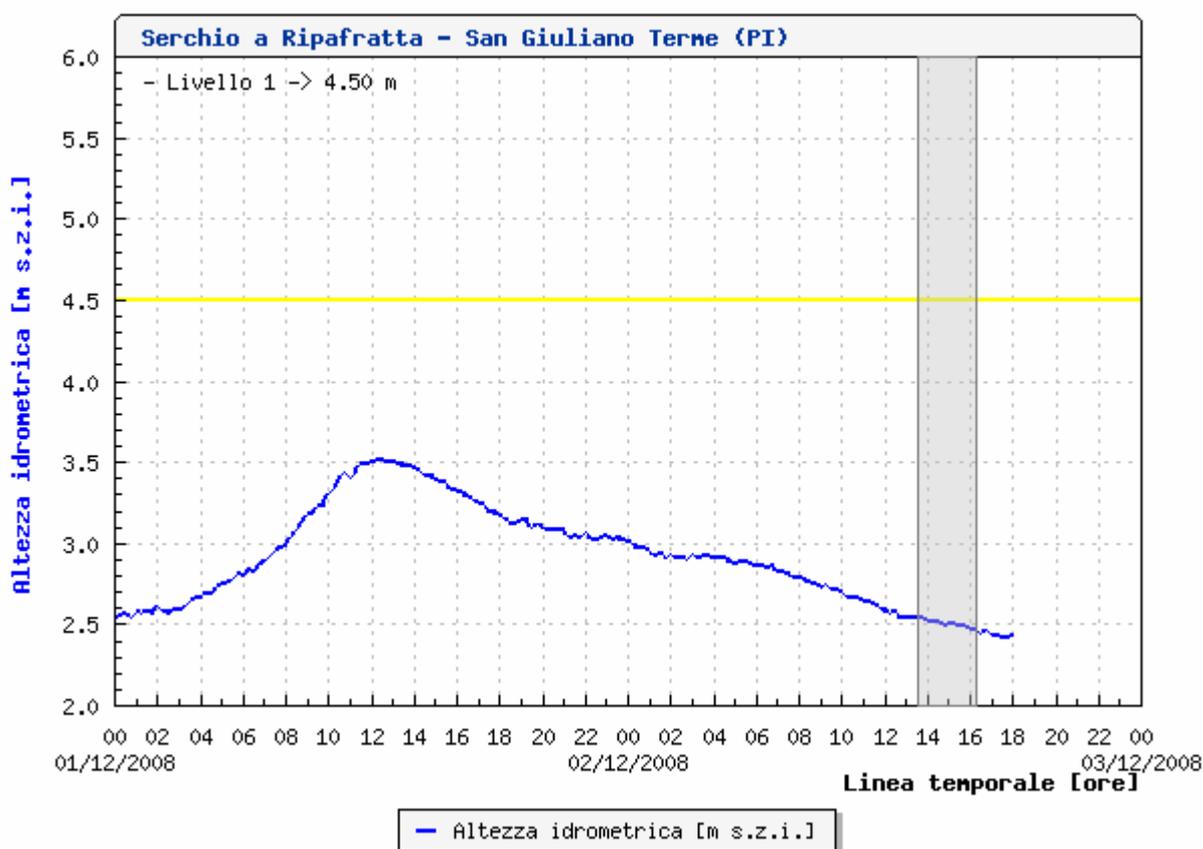


Figura 4-6: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-16.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dal 68% all'88% nelle verticali V1 – V4, mentre nella verticale V0 la frazione di 'wash load' si riduce al 45% circa;

- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 12% al 32% nelle verticali V1-V4, fino al 55% nella verticale V0;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $2.6 \cdot 10^{-4}$ a $3.8 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 3-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.63 mm e 0.69 mm;
- i campioni prelevati nella verticale 2, con l'eccezione del campione 2c-H, risultano prevalentemente ghiaiosi, con un D50 variabile da 2 mm a 6.9 mm; la percentuale di sedimenti ghiaiosi varia dal 51% all'88%;
- il campione 2c-H risulta interamente sabbioso, con un D50 di 0.37 mm e un peso netto di sedimenti molto basso;
- il campione 1-H è costituito da mistura scarsissimamente classato;
- il campione 3-H è discretamente classato;
- i campioni 2-H risultano poco classati, con l'eccezione del campione 2c-H che risulta ben classato;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO									
Sezione	RIPAFRATTA									
Data	02/12/2008									
Codice identificativo	S-16									
Operatori	Corridori, Francalanci, Solari									
Larghezza Pelo Libero (PL)										
Verticali	Nome	V0	V1	V2			V3	V4		
	Distanza da spalletta sx [m]	34.8	49.8	55.4			68	75		
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	14:40	14:00	13:40			14:00	13:48		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.1	7.3	7.25			7.08	6.83		
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	10.4	13.4	13.4			11.8	-		
Profondità acqua	Y [m]	3.3	6.1	6.15			4.72	-		
I misura velocità	U [m/s]	1.48	1.99	2.29			1.23	1.38		
	Ora solare [hh:mm]	15:05	15:25	15:45			15:57	16:02		
	Distanza dall'estradosso [m]	U superf.	U superf.	U superf.			U superf.	U superf.		
II misura velocità	U [m/s]	-	-	-			-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]									
III misura velocità	U [m/s]	-	-	-			-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]									
IV misura velocità	U [m/s]	-	-	-			-	-		
	Distanza dall'estradosso [m]									
Integratore	Ora solare [hh:mm]	14:40	14:47	14:35	14:08		14:15		14:00	13:48
	Tempo [s]	53	67	67	67		47		72	67
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo		piccolo		piccolo	piccolo
	nome campione	0a-INT	0b-INT	1-INT	2a-INT		2b-INT		3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	14:00	13:40	14:35	15:22	15:35	16:05	14:58	-
	Tempo [min]	-	10	5	5	5	10	5	10	-
	nome campione	-	1-H	2a-H	2b-H	2c-H	2d-H	2e-H	3-H	-

* Quote del fondo misurate con argano e campionatore in sospensione

Tabella 4-13: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-16.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO									
Sezione	RIPAFRATTA									
Data	02/12/2008									
Codice identificativo	S-16									
Operatori	Vannacci									
Verticali	Nome	V0		V1	V2			V3	V4	
Integratore	nome campione	0a-INT	0b-INT	1-INT	2a-INT	2b-INT		3-INT	4-INT	
	peso acqua [g]	400	757	512	790	658		535	532	
	peso sedimento [g]	0.1521	0.2902	0.125	0.2167	0.1933		0.1392	0.1441	
	peso sabbia [g]	0.084	0.1543	0.0398	0.0622	0.0412		0.028	0.0168	
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.80E-04	3.83E-04	2.44E-04	2.74E-04	2.94E-04		2.60E-04	2.71E-04	
	% sabbia	55.23	53.17	31.84	28.70	21.31		20.11	11.66	
% limo - argilla	44.77	46.83	68.16	71.30	78.69		79.89	88.34		
Helley-Smith	nome campione	-	-	1-H	2a-H	2b-H	2c-H	2d-H	2e-H	3-H
	peso sedimenti [g]	-	-	87	1460	3401	9	2195	156	226
	D16 [mm]	-	-	0.35	1.54	1.89	0.26	2.37	0.68	0.28
	D50 [mm]	-	-	0.63	4.19	5.22	0.37	6.89	2.03	0.39
	D84 [mm]	-	-	8.22	8.83	15.79	0.48	17.9	5.25	0.57
	% ghiaia	-	-	20.69	76.03	82.48	0	88.11	50.64	0.44
	% sabbia	-	-	79.31	23.97	17.52	100	11.89	49.36	99.56
	deviazione standard [φ]	-	-	2.13	1.4	1.48	0.42	1.44	1.41	0.63

Tabella 4-14: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-16.

4.2 FIUME VERSILIA

4.2.1 EVENTO V-6

La misura V-6 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena registrato il 18/04/2008 in un intervallo di tempo tra le 7:30 e le 9:00 (figura 4-7). Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

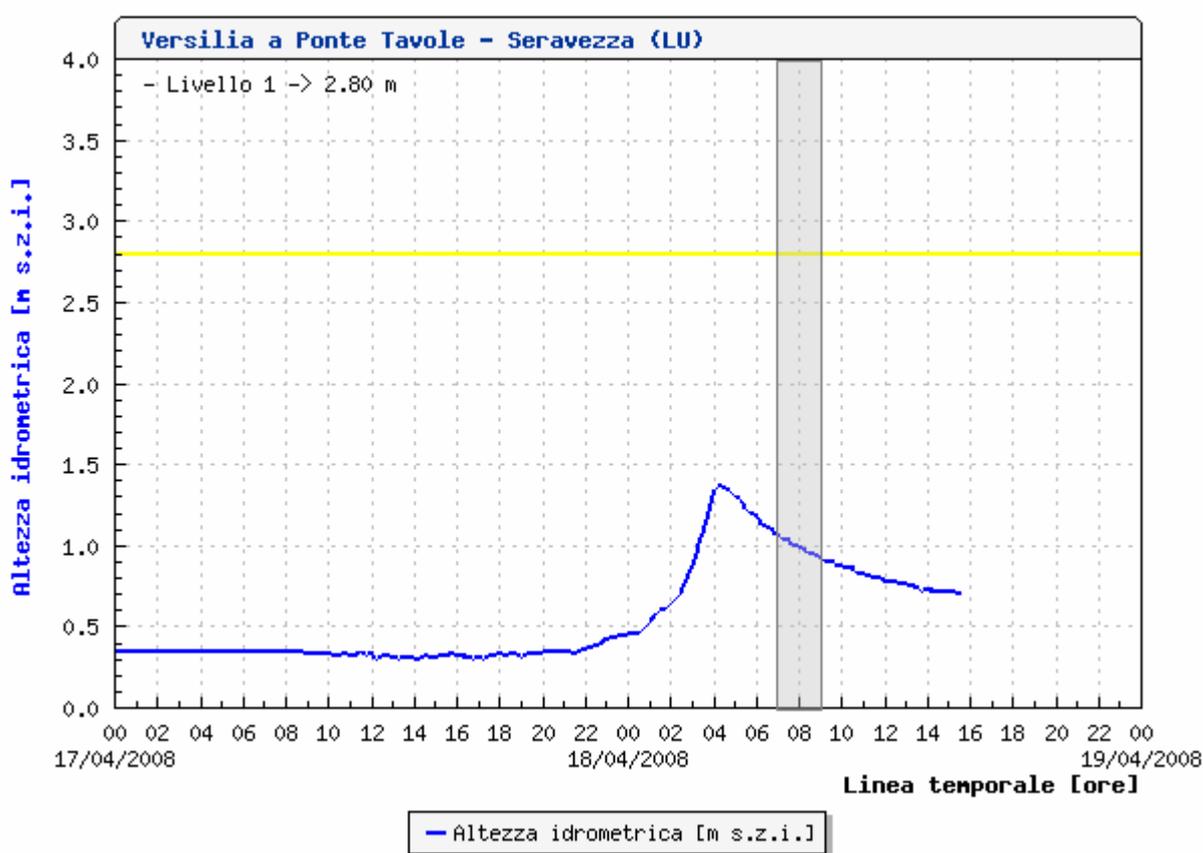


Figura 4-7: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-6.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dal 76% al 93%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 7% al 24%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $2.5 \cdot 10^{-4}$ a $5.3 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 2-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.59 mm e 0.55 mm; la percentuale di sabbia varia da 78% a 94%;
- i campioni del trasporto solido al fondo 3-H e 4-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 4.7 mm e 15.6 mm; la percentuale di ghiaia varia da 70% a 79%;
- i campioni 1-H, 3-H e 4-H sono costituiti da una mistura da poco a scarsissimamente classata;
- il campione 2-H è mediamente classato;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE TAVOLE						
Data misura	18/04/2008						
Codice identificativo	V-6						
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni						
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30						
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.15						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4		
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23		
Ora solare [hh:mm]		08:00	07:56	07:26	08:30		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.2	7.05	7	7.1		
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.73	7.95	8.05	7.91		
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.53	0.95	1.05	0.81		
Misura 1 velocità	U [m/s]	0.794	1.833	2.072	1.815		
	Distanza dall'estradosso [m]	7.60	7.78	7.80	7.70		
Misura 2 velocità	U [m/s]	0.856	2.017	2.346	2		
	Distanza dall'estradosso [m]	7.50	7.60	7.50	7.50		
Misura 3 velocità	U [m/s]	0.904	2.252	2.98	2.798		
	Distanza dall'estradosso [m]	7.35	7.38	7.30	7.30		
Integratore	Ora solare [hh:mm]	08:17	07:50	07:53	07:42	07:46	08:49
	Tempo campionamento [s]	36	18	23	12	29	22
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3a-INT	3b-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	08:41	08:19	07:54	07:15		
	Tempo campionamento [min]	15	15	15	15		
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H		

Tabella 4-15: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-6.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE TAVOLE						
Data misura	18/04/2008						
Codice identificativo	V-6						
Operatori	Vannacci						
Verticali	Nome	V1	V2		V3		V4
Integratore	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3a-INT	3b-INT	4-INT
	peso acqua [g]	376	368	470	309	734	591
	peso sedimento [g]	0.127	0.174	0.171	0.163	0.326	0.147
	peso sabbia [g]	0.009	0.032	0.029	0.038	0.044	0.013
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.39E-04	4.72E-04	3.64E-04	5.28E-04	4.44E-04	2.49E-04
	% sabbia	6.99	18.60	16.64	23.44	13.50	9.12
	% limo - argilla	93.01	81.40	83.36	76.56	86.50	90.88
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H		3-H		4-H
	peso sedimenti [g]	9	49		9035		4120
	D16 [mm]	0.29	0.31		1.09		1.04
	D50 [mm]	0.59	0.55		4.75		15.63
	D84 [mm]	2.43	1.08		22.87		30.73
	% ghiaia	22.22	6.12		69.76		79.30
	% sabbia	77.78	93.88		30.24		20.70
	deviazione standard [ϕ]	1.90	0.99		2.00		2.16

Tabella 4-16: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-6.

4.2.2 EVENTO V-7

La misura V-7 è stata eseguita, successivamente alla misura V-6, durante la fase di un evento di piena registrato in data 18/04/2008, in un intervallo di tempo tra le 9.30 e le 11:30 (figura 4-8). Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

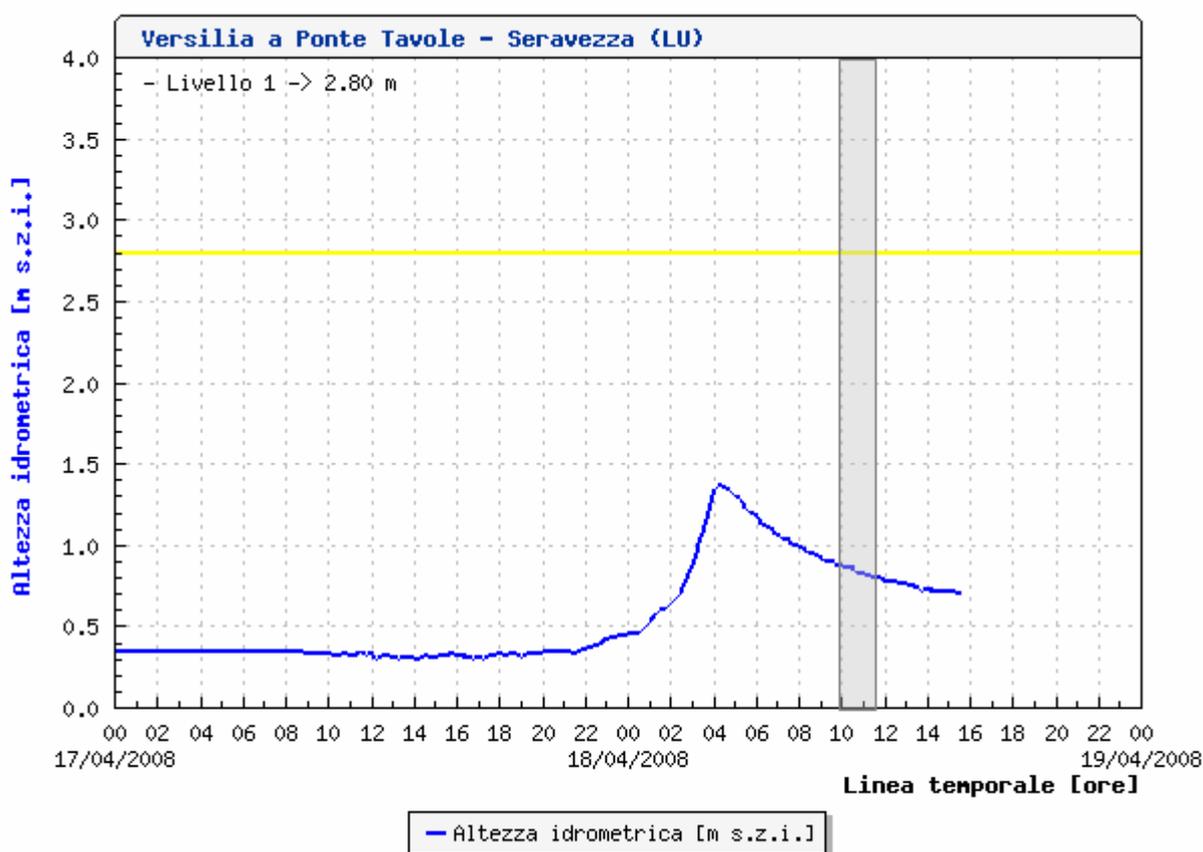


Figura 4-8: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-7.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni quasi principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con una frazione costituita dal 94% del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione dell'8% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo tra circa $6 \cdot 10^{-5}$ e $1.8 \cdot 10^{-4}$;

- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 2-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.4 mm e 1.1 mm; la percentuale di sabbia varia dal 75% al 100%;
- i campioni del trasporto solido al fondo 3-H e 4-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 6.8 mm e 20.1 mm; la percentuale di ghiaia varia dal 70% all'89%;
- i campioni 1-H e 2-H sono costituiti da una mistura mediamente classata;
- i campioni 3-H e 4-H risultano rispettivamente scarsissimamente e poco classato;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	18/04/2008				
Codice identificativo	V-7				
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni				
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30				
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.15				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23
Ora solare [hh:mm]				09:32	09:18
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.20	7.15	7.15	7.08
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.70	8.00	8.00	7.95
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.50	0.85	0.85	0.87
Misura 1 velocità	U [m/s]	0.542	1.553	1.711	1.551
	Distanza dall'estradosso [m]	7.600	7.80	7.80	7.750
Misura 2 velocità	U [m/s]	0.522	1.782	1.921	1.878
	Distanza dall'estradosso [m]	7.500	7.60	7.60	7.500
Misura 3 velocità	U [m/s]	0.475	1.916	1.967	1.983
	Distanza dall'estradosso [m]	7.400	7.45	7.40	7.400
Integratore	Ora solare [hh:mm]	10:27	09:50	09:43	09:18
	Tempo campionamento [s]	56	23	28	24
	Ugello	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	10:48	10:26	10:00	09:37
	Tempo campionamento [min]	15	15	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H

Tabella 4-17: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-7.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	18/04/2008				
Codice identificativo	V-7				
Operatori	Vannacci				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	436	565	634	544
	peso sedimento [g]	0.026	0.088	0.100	0.096
	peso sabbia [g]	0.000	0.003	0.011	0.009
	concentrazione (peso sed./acqua)	6.06E-05	1.56E-04	1.58E-04	1.76E-04
	% sabbia	0.00	3.52	11.31	9.60
	% limo - argilla	100.00	96.48	88.69	90.40
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H
	peso sedimenti [g]	6	72	6532	3632
	D16 [mm]	0.25	0.51	0.99	4.20
	D50 [mm]	0.42	1.10	6.85	20.14
	D84 [mm]	1.43	2.65	22.04	42.57
	% ghiaia	0.00	25.00	70.47	89.10
	% sabbia	100.00	75.00	29.53	10.90
	deviazione standard [ϕ]	0.94	1.20	2.01	1.85

Tabella 4-18: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-7.

4.2.3 EVENTO V-8

La misura V-8 è stata eseguita durante la fase di picco di un evento di piena iniziato il giorno 30/10/2008, in un intervallo di tempo tra le 14:30 e le 16:00 del giorno 31/10/2008 (figura 4-9). Sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura. Le misure correntometriche sono state effettuate soltanto nella verticale 1, posizionata più vicina alla sponda sinistra; nelle altre verticali la presenza di materiale arbustivo galleggiante nella corrente e di detriti in sospensione non ha reso possibile effettuare misure con il correntometro; sono state effettuate pertanto delle misure di velocità superficiale effettuate con il metodo del galleggiante.

Non è stato possibile calare il campionatore Helley-Smith sul fondo del fiume per raccogliere i campioni di trasporto solido al fondo a causa dell'elevata velocità della corrente.

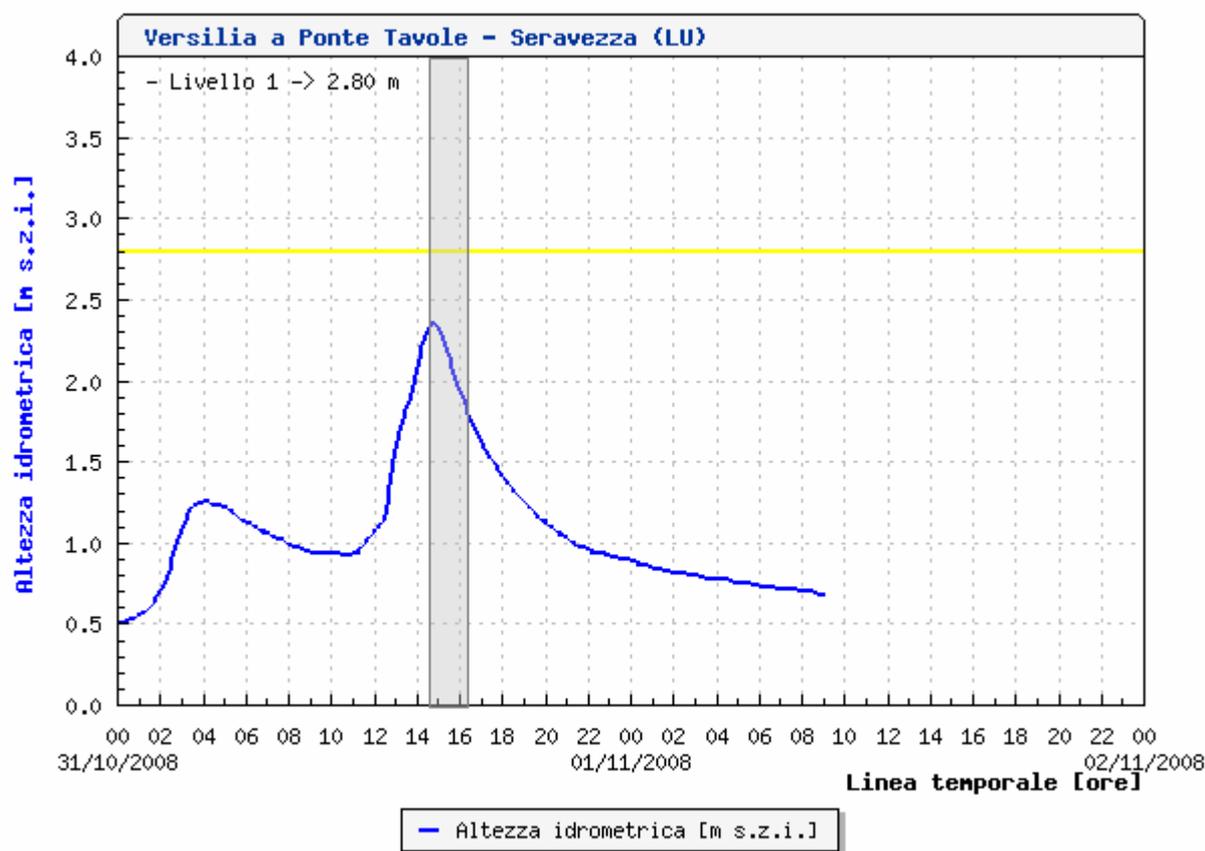


Figura 4-9: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-8.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni quasi principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con una frazione costituita dal 76% del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione del 24% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo tra circa $3.6 \cdot 10^{-3}$ e $6.5 \cdot 10^{-3}$;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE TAVOLE						
Data misura	31/10/2008						
Codice identificativo	V-8						
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Minatti						
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30						
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.15						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5	
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23		
Ora solare [hh:mm]							
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.00	-	-	-	-	-
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	8.00	-	-	-	-	-
Profondità acqua [m]	Y [m]	2.00	-	-	-	-	-
Misura 1 velocità	U [m/s]	1.60	-	-	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]	7.50	-	-	-	-	-
Misura 2 velocità	U [m/s]	2.10	-	-	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]	7.00	-	-	-	-	-
Integratore	Ora solare [hh:mm]	16:00	16:10	15:40	15:30	15:05	14:45
	Tempo campionamento [s]	40	110	34	18	15	15
	Ugello					medio	medio
	nome campione	1a-INT	1b-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	-	-	-	-	-	-
	Tempo campionamento [min]	-	-	-	-	-	-
	nome campione	-	-	-	-	-	-

Tabella 4-19: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-8.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE TAVOLE						
Data misura	31/10/2008						
Codice identificativo	V-8						
Operatori	Vannacci						
Verticali	Nome	V1		V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1a-INT	1b-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	189	784	473	403	555	432
	peso sedimento [g]	0.681	3.002	2.282	2.344	3.598	2.712
	peso sabbia [g]	0.184	0.592	0.485	0.680	0.921	0.647
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.60E-03	3.83E-03	4.82E-03	5.82E-03	6.48E-03	6.28E-03
	% sabbia	27.03	19.71	21.27	29.01	25.59	23.87
	% limo - argilla	72.97	80.29	78.73	70.99	74.41	76.13
Helley- Smith	nome campione	-	-	-	-	-	-
	peso sedimenti [g]	-	-	-	-	-	-
	D16 [mm]	-	-	-	-	-	-
	D50 [mm]	-	-	-	-	-	-
	D84 [mm]	-	-	-	-	-	-
	% ghiaia	-	-	-	-	-	-
	% sabbia	-	-	-	-	-	-
	deviazione standard [ϕ]	-	-	-	-	-	-

Tabella 4-20: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-8.

4.2.4 EVENTO V-9

La misura V-9 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena iniziato il 30/10/2008, il cui colmo si è verificato il 31/10/2008 ed è stato campionato nella misura V-8: la misura V-9 è stata eseguita il 31/10/2008, a seguito della misura V-8, in un intervallo di tempo tra le 16:30 e le 18:00 (figura 4-10). Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura. È stato effettuato un campionamento aggiuntivo di trasporto solido in sospensione nella verticale V5, ubicata 5.2 m a destra della verticale V4.

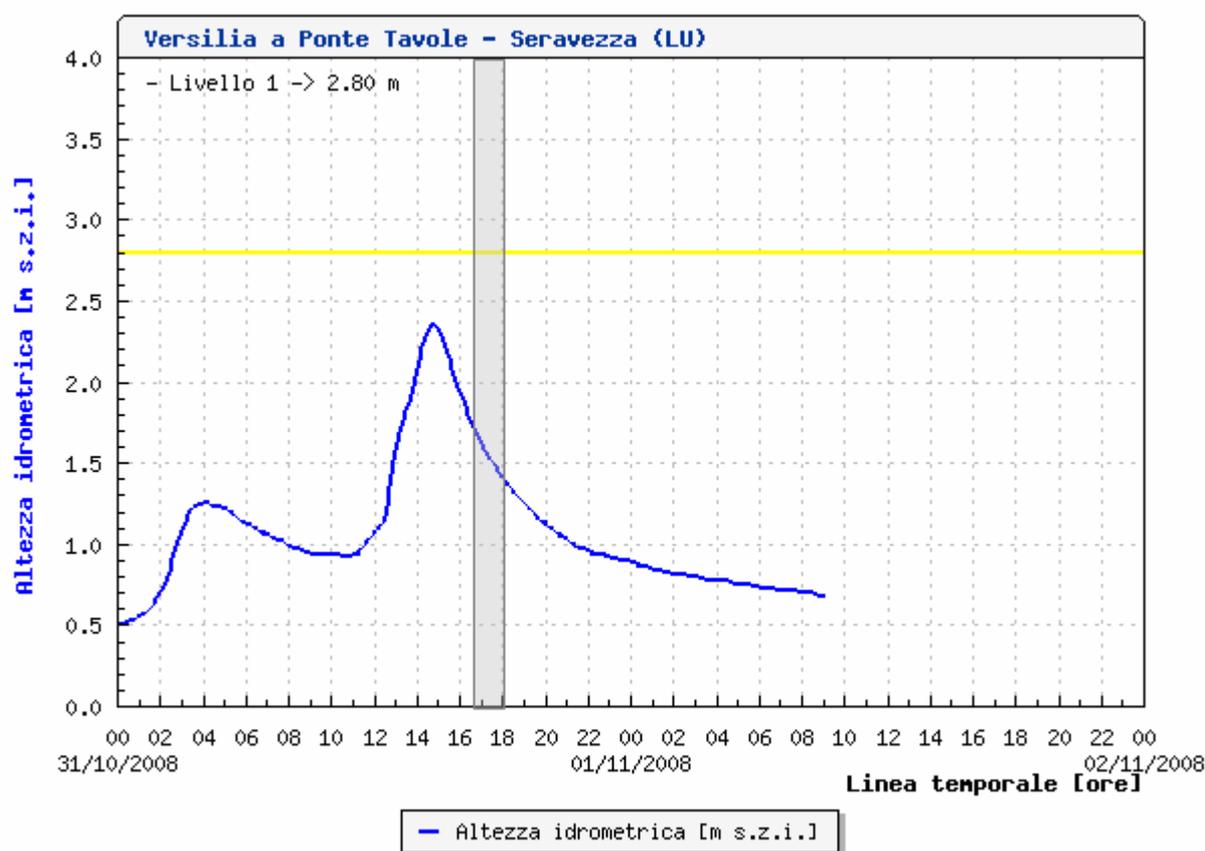


Figura 4-10: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Seravezza con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-9.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione nei campioni raccolti è principalmente costituito dalla componente di *'wash load'* con frazioni comprese tra il 69% ,per il campione 3-INT, e l'84%, per il campione 2-INT, del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante frazione sabbiosa del trasporto solido in sospensione, variabile tra il 16% e il 31%, rappresenta la componente relativa al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo tra $1.1 \cdot 10^{-3}$ e $2.2 \cdot 10^{-3}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 5-H sono principalmente composti da sedimenti sabbiosi con frazioni sabbiose rispettivamente dell'83% e del 100%; il D50 dei campioni risulta rispettivamente di 0.32 mm e 0.31 mm;
- il campione 2-H è costituito per il 51% da ghiaia, e presenta un D50 di 2.3 mm;
- i campioni 3-H e 4-H sono costituiti rispettivamente per il 71% e per il 90% da ghiaia, con un D50 rispettivamente di 7.7 mm e 21 mm;
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura variabile da poco classata (campione 1-H), a scarsissimamente classato (campioni 3-H e 4-H), a non classata (campione 2-H); fa eccezione il campione 5-H che risulta discretamente classato;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	31/10/2008				
Codice identificativo	V-9				
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Minatti				
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30				
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.2 con peso grosso				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23
Ora solare [hh:mm]		16:25	16:50		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.60	6.70	6.75	6.77
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.90	7.90	8.10	7.95
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.30	1.20	1.35	1.18
Misura 1 velocità	U [m/s]	1.300	2.246	2.229	1.686
	Distanza dall'estradosso [m]	7.600	7.60	7.80	7.70
Misura 2 velocità	U [m/s]	1.627	2.24	2.677	2.14
	Distanza dall'estradosso [m]	7.200	7.30	7.50	7.45
Misura 3 velocità	U [m/s]	-	2.738	3.047	2.302
	Distanza dall'estradosso [m]	-	6.9	7.05	7.15
Integratore	Ora solare [hh:mm]	16:40	17:15	17:20	17:55
	Tempo campionamento [s]	30	60	60	75
	Ugello	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	16:25	16:50	17:05	17:27
	Tempo campionamento [min]	10	10	10	10
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H

Tabella 4-21: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-9.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	31/10/2008					
Codice identificativo	V-9					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	-
	peso acqua [g]	571	725	636	659	-
	peso sedimento [g]	1.248	1.202	1.009	0.746	-
	peso sabbia [g]	0.260	0.193	0.310	0.129	-
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.18E-03	1.66E-03	1.59E-03	1.13E-03	-
	% sabbia	20.84	16.07	30.76	17.35	-
	% limo - argilla	79.16	83.93	69.24	82.65	-
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	638	647	4221	5824	68
	D16 [mm]	0.11	0.31	0.77	4.80	0.25
	D50 [mm]	0.32	2.27	7.69	20.57	0.31
	D84 [mm]	1.15	21.38	25.99	54.84	0.45
	% ghiaia	10.66	51.31	71.24	90.18	0.00
	% sabbia	83.23	47.14	28.45	9.82	100.00
	deviazione standard [ϕ]	1.86	2.80	2.33	2.00	0.67

Tabella 4-22: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-9.

4.2.5 EVENTO V-10

La misura V-10 è stata eseguita il 25/10/2010 in concomitanza del terzo colmo relativo di un evento di piena registrato a partire da circa le ore 18 del giorno precedente. La misura è stata eseguita nell'intervallo di tempo compreso fra le ore 11:00 e le ore 13:05 (Figura 4-11). Durante tale periodo il livello idrometrico è salito da 1,59 m s.z.i. a 1,68 m s.z.i. per poi ridiscendere a 1,60 m s.z.i; il livello medio corrispondente è stato 1,64 m s.z.i, pari a 5,29 m s.l.m.m.

Sono state effettuate tutte le misure correntometriche previste e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura. Sono stati effettuati dei campionamenti ripetuti per il trasporto solido in sospensione nelle verticali V3 e V4.

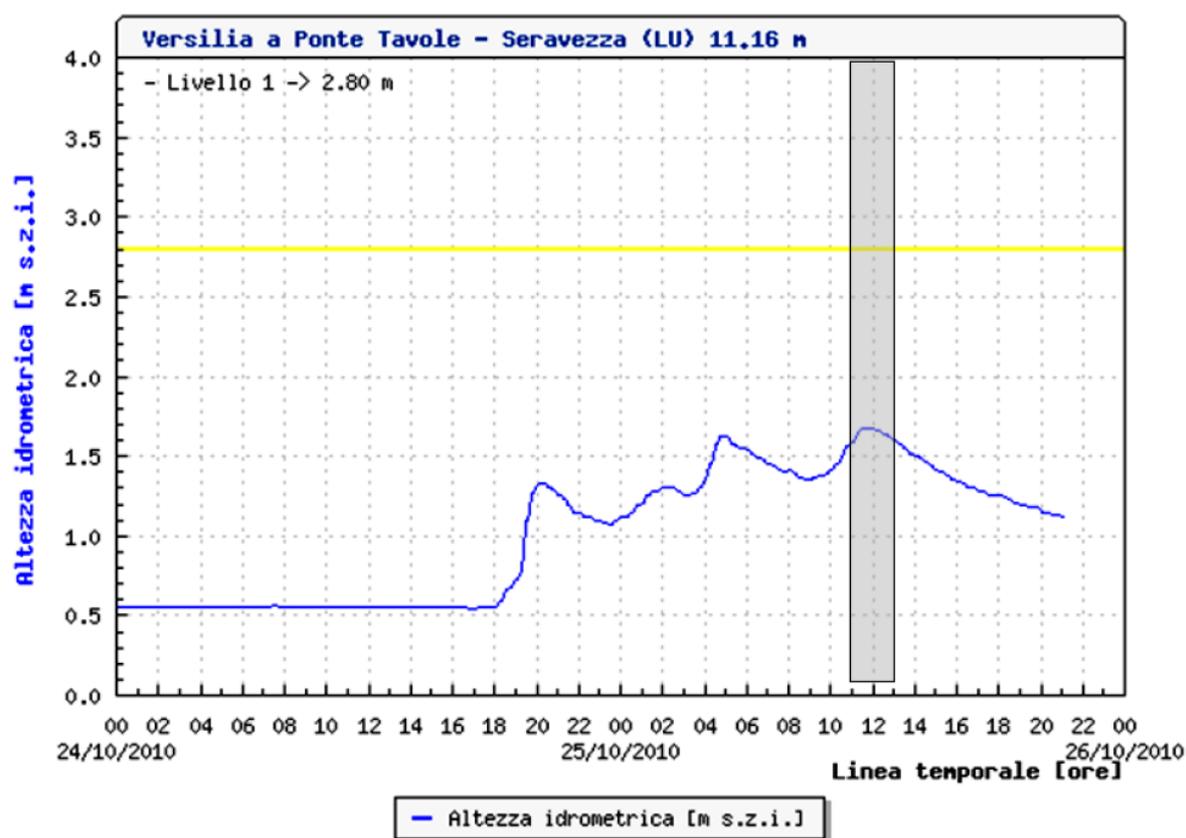


Figura 4-11: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-10.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione nei campioni raccolti è principalmente costituito dalla componente di '*wash load*' con frazioni comprese tra il 59% (campione 4b-INT), e l'89%, (campione 5-INT), del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante frazione sabbiosa del trasporto solido in sospensione, risulta pertanto variabile tra l'11% ed il 26%, e rappresenta la componente relativa al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo tra $5 \cdot 10^{-4}$ e $1.1 \cdot 10^{-3}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo (ad eccezione del campione 5-H) sono principalmente composti da sedimenti ghiaiosi con frazioni comprese tra il 73% (campione 3-H) e l'85% (campione 1-H), il campione 5-H risulta composto sostanzialmente in egual misura da sabbie e ghiaie;
- il D50 dei campioni al fondo ricade nel campo delle ghiaie essendo compreso tra 3.25 mm (5-H) e 12.28 mm (4-H);
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura variabile da poco classata (campioni 1-H e 2-H), a scarsissimamente classata (campioni 3-H, 4-H e 5-H).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA							
Sezione	PONTE TAVOLE							
Data misura	25/10/2010							
Codice identificativo	V-10							
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci							
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30							
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.2 con peso grosso							
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5		
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23	28.2		
Ora solare [hh:mm]		11.00	11.10	12.05	12.08	12.14		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.30	6.25	6.25	6.25	6.2		
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.67	7.50	7.4	7.2	7.25		
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.37	1.25	1.15	0.95	1.05		
Misura 1 velocità	U [m/s]	1.25	1.845	1.983	2.007	1.698		
	Distanza dall'estradosso [m]	4.50	4.30	4.2	4	4.00		
Misura 2 velocità	U [m/s]	1.386	2.38	2.257	2.224	1.972		
	Distanza dall'estradosso [m]	4.00	4.00	3.9	3.8	3.80		
Misura 3 velocità	U [m/s]	1.073	2.761	2.48	2.302	2.156		
	Distanza dall'estradosso [m]	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60		
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12.35	12.38	12.48	12.52	12.55	13.00	13.05
	Tempo campionamento [s]	60	42	40	65	80	60	55
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3a-INT	3b-INT	4a-INT	4b-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	11.19	11.40	12.12	12.31	12.48		
	Tempo campionamento [min]	10	10	10	10	10		
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H		

Tabella 4-23: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-10.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA							
Sezione	PONTE TAVOLE							
Data misura	25/10/2010							
Codice identificativo	V-10							
Operatori	Vannacci							
Verticali	Nome	V1	V2	V3		V4		V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3a-INT	3b-INT	4a-INT	4b-INT	5-INT
	peso acqua [g]	751	626	371	524	882	779	744
	peso sedimento [g]	0.665	0.704	0.313	0.500	0.542	0.858	0.371
	peso sabbia [g]	0.112	0.238	0.045	0.100	0.139	0.349	0.041
	concentrazione (peso sed./acqua)	8.85E-04	1.12E-03	8.45E-04	9.55E-04	6.14E-04	1.10E-03	4.99E-04
	% sabbia	16.90	33.75	14.39	19.95	25.66	40.67	11.08
	% limo - argilla	83.10	66.25	85.61	80.05	74.34	59.33	88.92
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H		4-H		5-H
	peso sedimenti [g]	330	4497	5671		10311		5163
	D16 [mm]	2.17	1.86	0.70		0.81		0.46
	D50 [mm]	9.30	10.62	10.17		12.28		3.25
	D84 [mm]	15.42	25.82	30.42		45.52		19.33
	% ghiaia	84.85	83.74	72.47		74.87		54.75
	% sabbia	15.15	16.26	27.53		25.13		45.25
	deviazione standard [ϕ]	1.52	1.98	2.30		2.42		2.31

Tabella 4-24: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-10.

4.2.6 EVENTO V-11

La misura V-11 è stata effettuata il 25/10/2010 successivamente alla misura V-10. La misura V-11 è stata eseguita sulla coda di un evento di piena nell'intervallo di tempo compreso fra le ore 14:44 e le ore 16:08 (Figura 4-12). Durante tale periodo il livello idrometrico è sceso da 1,46 m s.z.i. a 1,32 m s.z.i.; il livello medio corrispondente è stato 1,39 m s.z.i, pari a 5,04 m s.l.m.m.

Sono state effettuate tutte le misure correntometriche previste e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

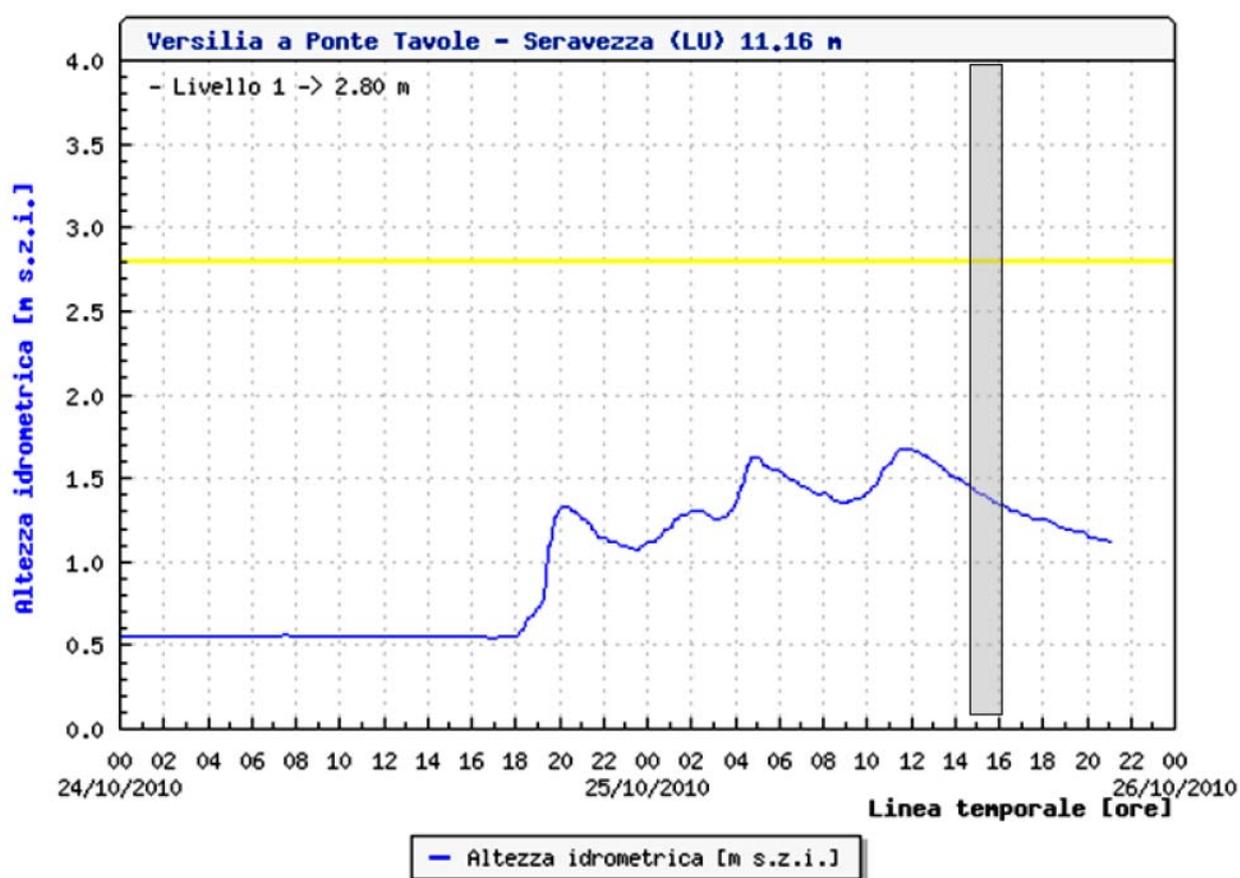


Figura 4-12: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-11.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione nei campioni raccolti è principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con frazioni comprese tra il 70% (campione 5-INT), e l'90%, (campione 3-INT), del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante frazione sabbiosa del trasporto solido in sospensione, risulta pertanto variabile tra l'11% ed il 30%, e rappresenta la componente relativa al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione risulta piuttosto omogenea tra i vari campioni ed è compresa nell'intervallo tra $4 \cdot 10^{-4}$ e $4.4 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H, 2-H e 3-H sono prevalentemente costituiti da sedimenti ghiaiosi, il campione 5-H risulta composto in egual misura da sabbie e ghiaie, infine il campione 4-H è prevalentemente costituito da sabbia.
- il D50 dei campioni al fondo ricade nel campo delle ghiaie essendo compreso tra 3.10 mm (5-H) e 13.76 mm (4-H), fa eccezione il campione 4-H con un D50 pari a 0.78 mm
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura variabile da mediamente classata (campione 3-H) a poco classata (campioni 1-H, 2-H, 4-H), a scarsissimamente classata (campione 5-H).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	25/10/2010					
Codice identificativo	V-11					
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30					
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.2 con peso grosso					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23	28.2
Ora solare [hh:mm]		15.25	15.30	15.35	15.40	15.10
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.50	6.50	6.50	6.50	6.47
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.60	7.40	7.40	7.30	7.20
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.10	0.90	0.90	0.80	0.73
Misura 1 velocità	U [m/s]	1.153	1.723	1.648	1.723	1.64
	Distanza dall'estradosso [m]	7.40	7.20	7.20	7.15	7.00
Misura 2 velocità	U [m/s]	1.232	1.866	1.849	1.829	1.678
	Distanza dall'estradosso [m]	7.10	7.00	7.00	7.00	6.85
Misura 3 velocità	U [m/s]	1.256	1.94	1.857	1.857	2.140
	Distanza dall'estradosso [m]	6.80	6.80	6.80	6.80	6.70
Integratore	Ora solare [hh:mm]	14.44	14.47	14.50	14.55	15.06
	Tempo campionamento [s]	57	39	40	43	40
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	15.05	15.35	15.50	16.08	14.42
	Tempo campionamento [min]	10	10	10	10	10
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	4-H

Tabella 4-25: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-11.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	25/10/2011					
Codice identificativo	V-11					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	877	836	755	847	808
	peso sedimento [g]	0.3313	0.3750	0.2972	0.4002	0.3362
	peso sabbia [g]	0.0390	0.0472	0.0332	0.1165	0.1014
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.78E-04	4.49E-04	3.94E-04	4.72E-04	4.16E-04
	% sabbia	11.77	12.59	11.17	29.11	30.16
	% limo - argilla	88.23	87.41	88.83	70.89	69.84
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	272	1741	10181	1669	7982
	D16 [mm]	2.68	5.87	5.85	0.44	0.60
	D50 [mm]	8.43	13.76	10.71	0.78	3.10
	D84 [mm]	17.44	28.53	19.02	9.10	21.85
	% ghiaia	88.97	95.81	99.18	26.60	54.20
	% sabbia	11.03	4.19	0.82	73.40	45.80
	deviazione standard [ϕ]	1.31	1.23	0.92	2.01	2.27

Tabella 4-26: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-11.

4.2.7 EVENTO V-12

La misura V-12 è stata eseguita il 1/11/2010 sulla coda di un evento di piena multi picco registrato a partire dalle ore 3:00 circa del giorno precedente. La misura è stata eseguita nell'intervallo di tempo compreso fra le ore 13:07 e le ore 14:21 del 01/11/2010 (Figura 4-13). Durante tale periodo il livello idrometrico è salito da 1,41 m s.z.i. a 1,51 m s.z.i.; il livello medio corrispondente è stato 1,46 m s.z.i, pari a 5,11 m s.l.m.m.

Sono state effettuate tutte le misure correntometriche previste e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

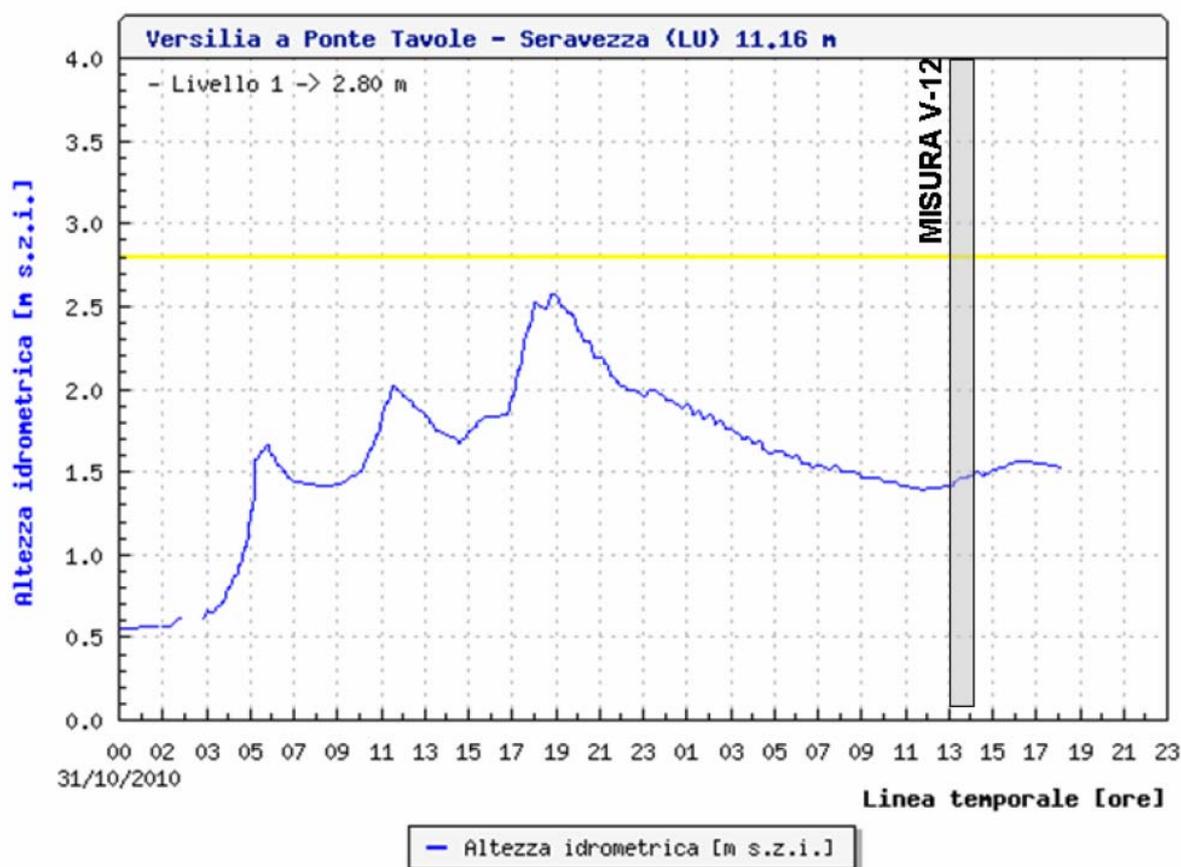


Figura 4-13: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-12.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione nei campioni raccolti è principalmente costituito dalla componente di '*wash load*' con frazioni comprese tra l'87% (campione 4-INT), e il 92%, (campione 2-INT), del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante frazione sabbiosa del trasporto solido in sospensione, risulta pertanto variabile tra l'8% ed il 13%, e rappresenta la componente relativa al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione risulta piuttosto omogenea essendo compresa nell'intervallo tra $1.8 \cdot 10^{-4}$ e $3 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni 2-H, 3-H e 4-H del trasporto solido al fondo sono in prevalenza costituiti da ghiaie con frazioni comprese tra il 78% (campione 3-H) e il 100% (campione 4-H), i campioni 1-H e 5-H sono per la quasi totalità composti da sabbie;
- il D50 dei campioni al fondo 2-H, 3-H e 4-H ricade nel campo delle ghiaie essendo compreso tra 17.45 mm (3-H) e 58.46 mm (4-H), i campioni 1-H e 5-H mostrano D50 rispettivamente pari a 0.30 mm e 0.43 mm;
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura variabile da ben classata (campione 1-H), a poco classata (campione 3-H).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	01/11/2010					
Codice identificativo	V-12					
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	32.30					
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.2 con peso grosso					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23	28.2
Ora solare [hh:mm]		13.47	14.00	14.12	13.37	13.30
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.35	6.35	6.35	6.40	6.35
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.65	7.35	7.35	7.20	7.10
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.30	1.00	1.00	0.80	0.75
Misura 1 velocità	U [m/s]	1.137	1.615	1.585	1.39	1.126
	Distanza dall'estradosso [m]	7.40	7.20	7.20	7.15	7.10
Misura 2 velocità	U [m/s]	1.406	1.787	1.861	1.861	1.36
	Distanza dall'estradosso [m]	7.10	7.00	7.00	6.90	6.90
Misura 3 velocità	U [m/s]	1.464	1.820	1.933	1.828	1.569
	Distanza dall'estradosso [m]	6.80	6.80	6.80	6.70	6.70
Integratore	Ora solare [hh:mm]	13.07	13.12	13.15	13.17	13.20
	Tempo campionamento [s]	65	42	36	40	36
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	13.10	13.25	13.40	13.55	14.11
	Tempo campionamento [min]	10	10	10	10	10
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Tabella 4-27: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-12.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	01/11/2011					
Codice identificativo	V-12					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	859	792	730	779	491
	peso sedimento [g]	0.1516	0.1492	0.1459	0.1508	0.1446
	peso sabbia [g]	0.0170	0.0112	0.0138	0.0203	0.0187
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.76E-04	1.88E-04	2.00E-04	1.94E-04	2.95E-04
	% sabbia	11.21	7.51	9.46	13.46	12.93
	% limo - argilla	88.79	92.49	90.54	86.54	87.07
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	15	804	9	894	67
	D16 [mm]	0.23	11.58	0.82	20.00	0.21
	D50 [mm]	0.30	22.48	17.45	58.46	0.43
	D84 [mm]	0.43	32.28	20.82	79.85	1.02
	% ghiaia	0.00	98.76	77.78	99.78	2.99
	% sabbia	100.00	1.24	22.22	0.22	97.01
	deviazione standard [ϕ]	0.46	0.85	2.02	1.10	1.08

Tabella 4-28: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-12.

4.3 FIUME ARNO

4.3.1 EVENTO A-1

La misura A-1 è stata eseguita durante la fase lentamente crescente di un evento di piena registrato il 05/05/2010 in un intervallo di tempo compreso tra le 14:00 e le 16:30 (Figura 4-14).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

In Figura 4-15 è riportata una vista del Fiume Arno durante lo svolgimento della misura A-1.

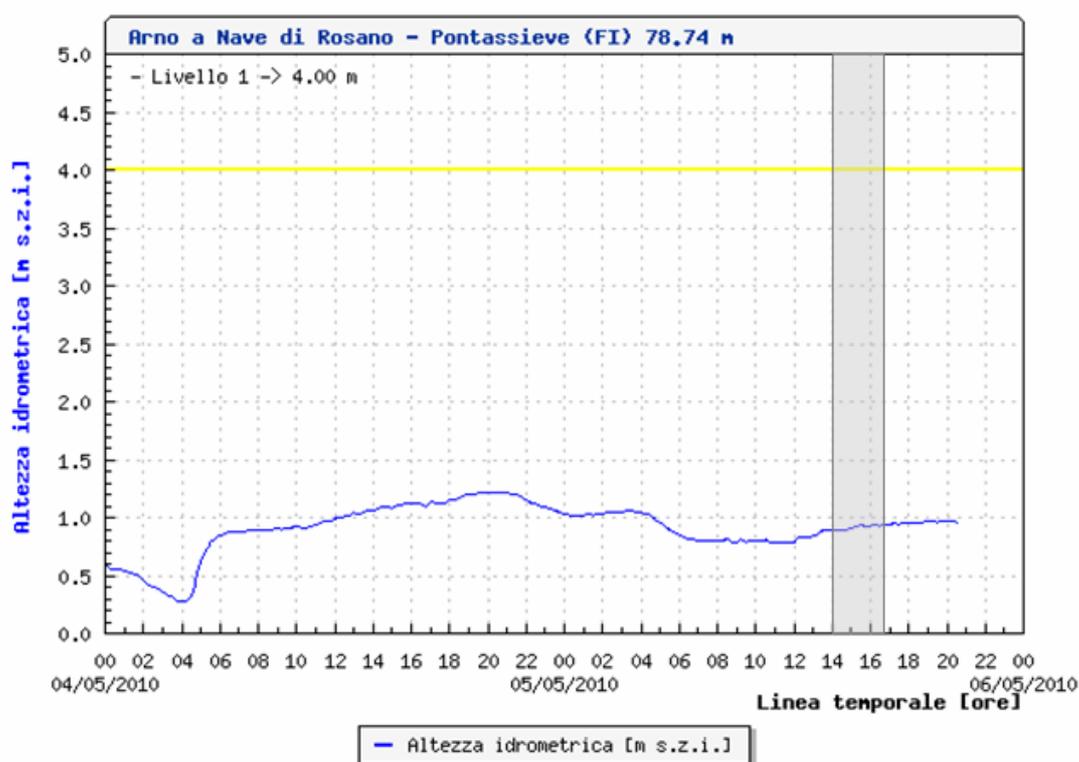


Figura 4-14: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-1.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di *'wash load'* con frazioni variabili che vanno dall'80% all'87%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 13% al 20%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $1.54 \cdot 10^{-4}$ a $3.80 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H, 2-H e 3-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.49 mm, 0.70 mm e 0.48 mm; la percentuale di sabbia varia dal 91% al 100%;
- il campione del trasporto solido al fondo 4-H è costituito per il 44% da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 di 0.47 mm, ma tale dato risulta essere fortemente influenzato dal basso quantitativo di sedimenti campionati, ovvero 9 g in totale;
- il campione del trasporto solido al fondo 5-H è risultato nullo;
- i campioni 1-H e 3-H sono costituiti da una miscela discretamente classata;
- i campioni 2-H e 4-H sono costituiti da una miscela rispettivamente mediamente e poco classata;



Figura 4-15: Vista del Fiume Arno durante lo svolgimento della misura A-1.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	05/05/2010					
Codice identificativo	A1					
Operatori	Francalanci, Ginanni, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	16:10	15:45	15:15	14:40	14:00
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	10.4	10.5	10.65	10.58	10.31
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	11.75	12.44	12.42	12.45	11.95
Profondità acqua [m]	Y [m]					
I misura velocità	U [m/s]	0.856	1.543	1.266	0.982	0.514
	Distanza dal fondo [m]	11.75	12.44	12.42	12.45	11.95
II misura velocità	U [m/s]	1.728	2.83	2.14	1.698	0.574
	Distanza dall'estradosso [m]	11.2	11.75	11.7	11.9	11.3
III misura velocità	U [m/s]	1.423	3.276	3.358	3.064	0.382
	Distanza dall'estradosso [m]	10.7	11.05	11.05	11	10.82
IV misura velocità	U [m/s]					
	Distanza dall'estradosso [m]					
V misura velocità	U [m/s]					
	Distanza dall'estradosso [m]					
Integratore	Tempo campionamento [s]	28	22	18	30	80
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	15:43	15:13	14:40	13:55	13:24
	Tempo campionamento [min]	20	21	20	20	20
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-29: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-1.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	05/05/2010					
Codice identificativo	A-1					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	715	820	642	886	590
	peso sedimento [g]	0.110	0.144	0.149	0.140	0.224
	peso sabbia [g]	0.014	0.022	0.020	0.028	0.029
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.54E-04	1.75E-04	2.31E-04	1.57E-04	3.80E-04
	% sabbia	12.55	14.98	13.46	20.29	13.03
	% limo - argilla	87.45	85.02	86.54	79.71	86.97
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	179	452	9	9	0
	D16 [mm]	0.36	0.40	0.37	0.32	
	D50 [mm]	0.49	0.70	0.48	0.47	
	D84 [mm]	0.90	1.32	0.67	3.12	
	% ghiaia	2.79	8.63	0.00	44.44	
	% sabbia	97.21	91.37	100.00	55.56	
	deviazione standard [ϕ]	0.74	0.97	0.42	1.49	

Tabella 4-30: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-1.

4.3.2 EVENTO A-2

La misura A-2 è stata effettuata durante la fase calante di un evento di piena iniziato il giorno 01/11/2011, in un intervallo di tempo tra le ore 9:45 e le ore 12:45 del giorno 02/11/2011 (Figura 4-16).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

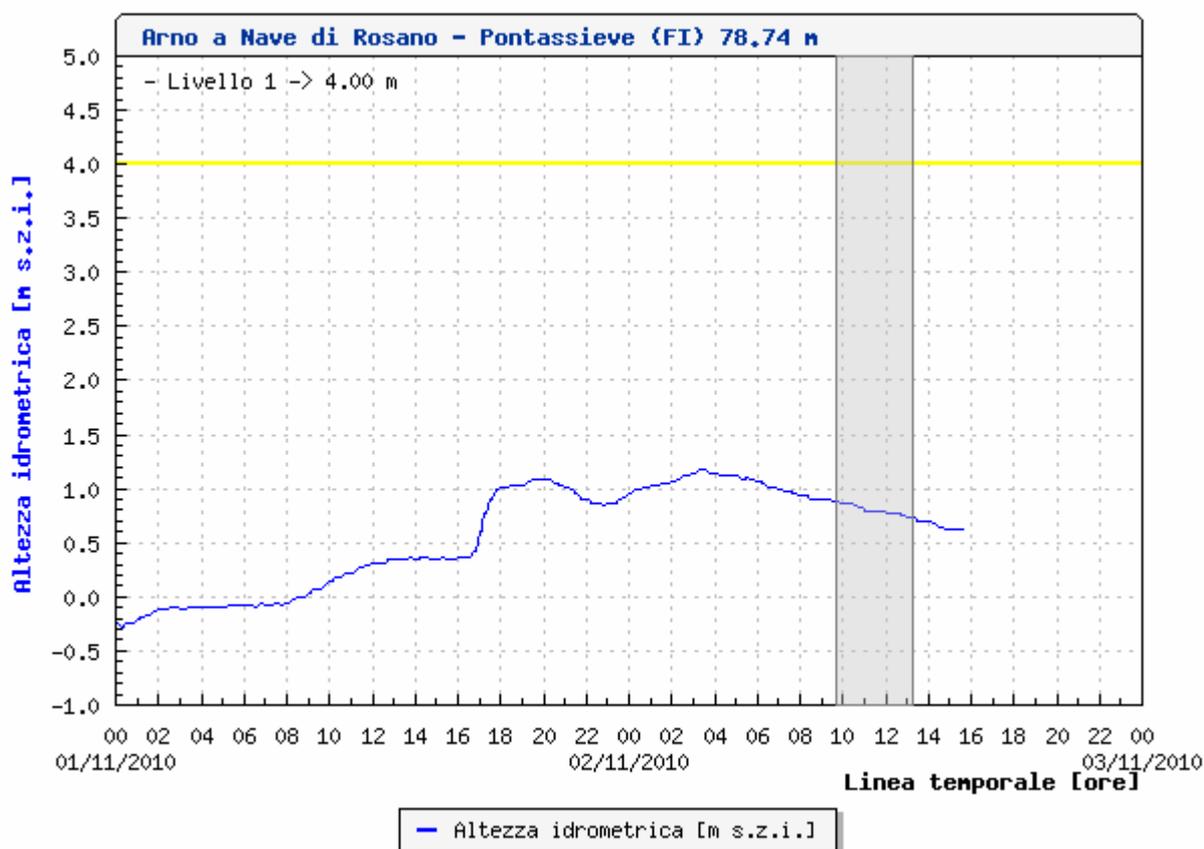


Figura 4-16: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-2.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di *'wash load'* con frazioni variabili che vanno dall'88% al 100%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile da 0% al 12%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $4.41 \cdot 10^{-4}$ a $4.48 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 2-H sono risultati nulli, in quanto costituiti soltanto da sostanze organiche;
- i campioni del trasporto solido 3-H, 4-H e 5-H sono costituiti interamente da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.30 mm, 0.35 mm e 0.14 mm;
- i campioni 3-H, 4-H e 5-H sono costituiti da una miscela da mediamente a ben classificata.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	02/11/2010					
Codice identificativo	A2					
Operatori	Canovaro, Corridori, Ginanni, Solari					
Larghezza Pelo Libero [m]	60					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	10:34	10:44	10:51	10:58	11:19
Distanza PL da balaustra	$\Delta 1$ [m]	10.43	10.56	10.65	10.5	10.4
Distanza FONDO da balaustra	$\Delta 2$ [m]	12.02	12.3	12.32	12.42	11.68
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.59	1.74	1.67	1.92	1.28
I misura velocità	U [m/s]	0.507	1.303	1.518	2.352	0.524
	Distanza dall'estradosso [m]	11.7	12	12	12	11.5
II misura velocità	U [m/s]	0.54	1.732	2.017	3.006	0.723
	Distanza dall'estradosso [m]	11.4	11.6	11.5	11.5	11.3
III misura velocità	U [m/s]	0.392	2.346	2.413	3.232	0.678
	Distanza dall'estradosso [m]	11	11	11.1	11.1	10.9
IV misura velocità	U [m/s]					
	Distanza dall'estradosso [m]					
V misura velocità	U [m/s]					
	Distanza dall'estradosso [m]					
Integratore	Ora solare [hh:mm]	10:24	10:09	10:06	10:02	09:58
	Tempo campionamento [s]	85	35	29	30	33
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	09:45	12:24	11:55	11:23	10:50
	Tempo campionamento [min]	25	20	20	20	22
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balaustra del ponte, H_{balaustra} = 0,94 m
Distanza peso-mulinello = 0.18m

Tabella 4-31: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-2.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	02/11/2010					
Codice identificativo	A-2					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	462	757	605	750	548
	peso sedimento [g]	0.225	0.334	0.286	0.351	0.252
	peso sabbia [g]	0.000	0.032	0.007	0.040	0.031
	concentrazione (peso sed./acqua)	4.88E-04	4.41E-04	4.72E-04	4.68E-04	4.60E-04
	% sabbia	0.00	9.69	2.45	11.48	12.23
	% limo - argilla	100.00	90.31	97.55	88.52	87.77
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	0	0	62	26	17
	D16 [mm]			0.20	0.16	0.10
	D50 [mm]			0.30	0.35	0.14
	D84 [mm]			0.60	0.50	0.20
	% ghiaia			0.00	0.00	0.00
	% sabbia			100.00	100.00	100.00
	deviazione standard [ϕ]			0.81	0.72	0.49

Tabella 4-32: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-2.

4.3.3 EVENTO A-3

La misura A-3 è stata eseguita durante la fase crescente di un evento di piena che si è verificato il 09/11/2011, in un intervallo di tempo che va dalle ore 8:30 alle ore 11:30 (Figura 4-17)

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

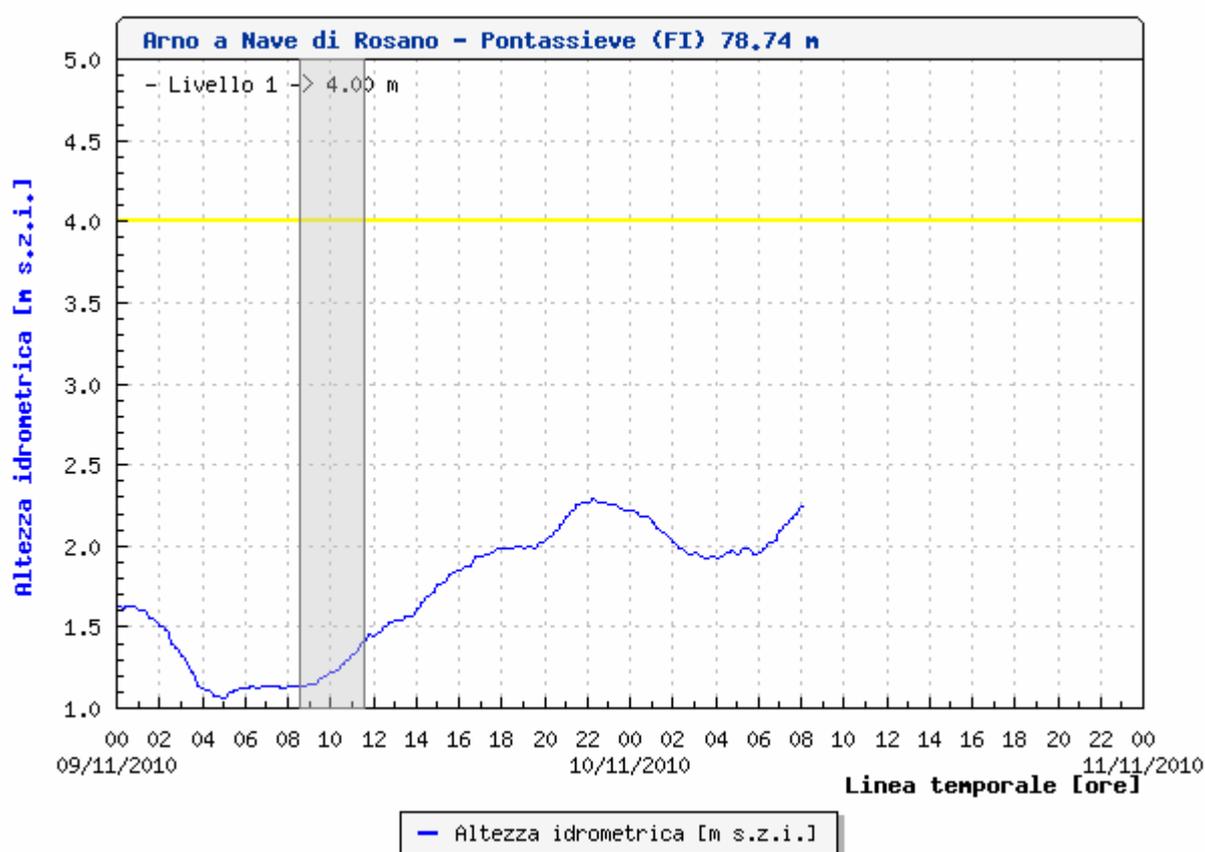


Figura 4-17: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-3.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di *'wash load'* con frazioni variabili che vanno dall'82% al 100%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dallo 0% al 18%;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $3.24 \cdot 10^{-4}$ a $5.28 \cdot 10^{-4}$;

- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 2-H sono risultati nulli;
- i campioni del trasporto al fondo 3-H e 4-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.45 mm e 0.65 mm; la percentuale di sabbia varia tra 85% e 86%;
- il campione del trasporto solido al fondo 5-H risulta costituito per il 58% da sedimenti ghiaiosi, con un D50 di circa 92 mm; dall'analisi delle frazioni granulometriche del campione si suppone che parte del materiale ghiaioso sia stato intrappolato erroneamente dall'Helley-Smith che ha dragato il fondo alveo; tale questione sarà discussa più in dettaglio nella fase di analisi dei dati.
- i campioni 3-H e 4-H sono costituiti da una mistura mediamente classata;
- il campione 5-H è non classato.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	09/11/2010					
Codice identificativo	A3					
Operatori	Francalanci, Ginanni, Bechi, Canovaro					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	10:56	10:07	10:30	10:50	11:25
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	10.15	10.25	10.3	10.1	9.95
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12.1	12.3	12.55	12.6	11.9
Profondità acqua [m]	Y [m]	1.95	2.05	2.25	2.5	1.95
I misura velocità	U [m/s]	0.497	1.31	1.551	1.955	1.669
	Distanza dal fondo [m]	11.6	12	12.2	12.30	11.6
II misura velocità	U [m/s]	0.424	1.765	2.374	2.822	2.213
	Distanza dall'estradosso [m]	11.2	11.5	11.7	11.8	11
III misura velocità	U [m/s]	0.237	1.938	2.812	3.131	2.252
	Distanza dall'estradosso [m]	10.5	11	11.2	11.3	10.6
IV misura velocità	U [m/s]		2.721	3.282	3.215	2.274
	Distanza dall'estradosso [m]		10.5	10.9	10.8	10.2
V misura velocità	U [m/s]				3.77	
	Distanza dall'estradosso [m]				10.5	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	09:35	10:20	10:25	11:05	11:20
	Tempo campionamento [s]	80	40	33	23	29
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	08:38	09:04	9:57	10:15	10:44
	Tempo campionamento [min]	15	15	15	18	24
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-33: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-3.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	09/11/2010					
Codice identificativo	A-3					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	369	892	832	664	667
	peso sedimento [g]	0.144	0.289	0.291	0.351	0.253
	peso sabbia [g]	0.000	0.029	0.039	0.061	0.037
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.89E-04	3.24E-04	3.49E-04	5.28E-04	3.79E-04
	% sabbia	0.00	9.85	13.32	17.46	14.70
	% limo - argilla	100.00	90.15	86.68	82.54	85.30
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	0	0	60	43	2038
	D16 [mm]			0.29	0.44	0.53
	D50 [mm]			0.45	0.65	92.30
	D84 [mm]			1.80	1.04	119.90
	% ghiaia			15.00	13.95	57.85
	% sabbia			85.00	86.05	42.15
	deviazione standard [ϕ]			1.33	1.22	3.69

Tabella 4-34: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-3.

4.3.4 EVENTO A-4

La misura A-4 è stata effettuata nella fase crescente di un evento di piena iniziato il giorno 09/11/2011 e sviluppatosi nei giorni successivi. La misura A-4 è stata effettuata dalle ore 8:30 alle 12:00 del giorno 10/11/2011 (Figura 4-18).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

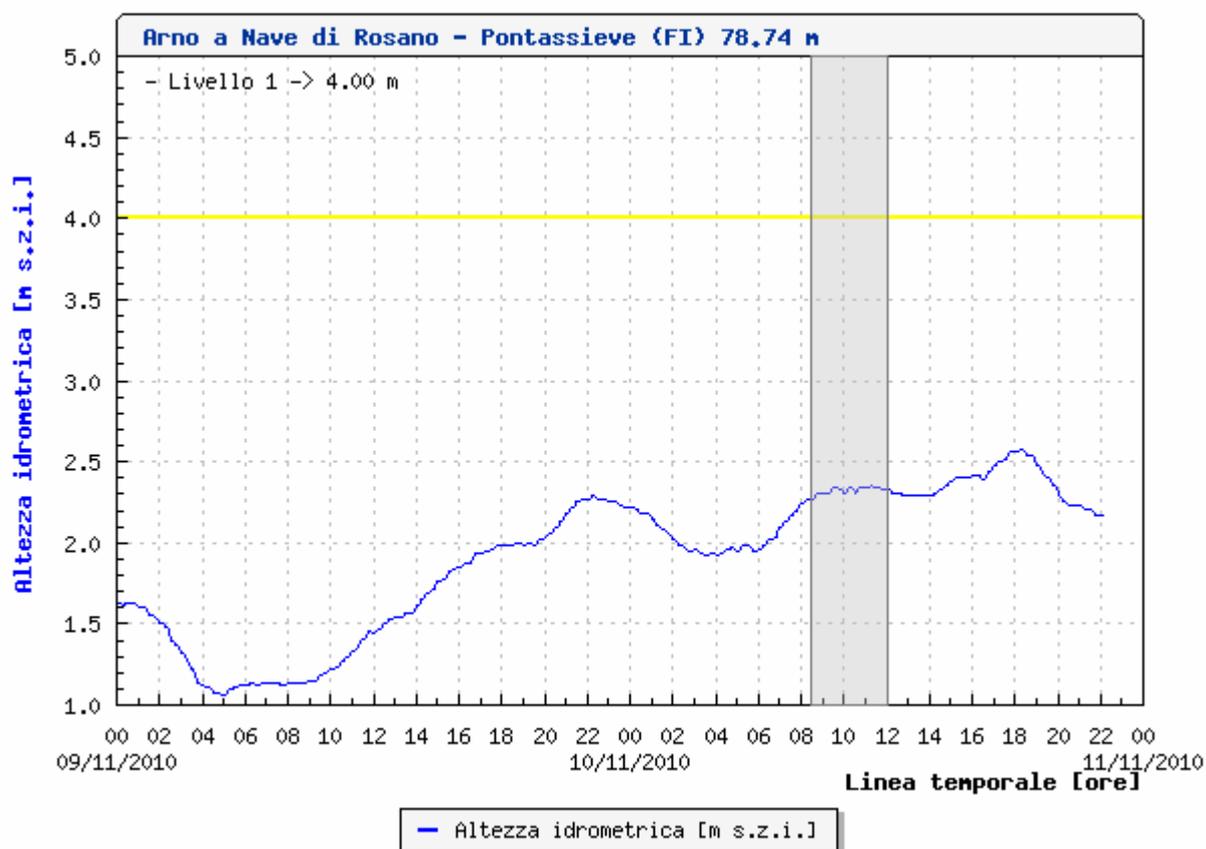


Figura 4-18: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-4.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di *'wash load'* con frazioni variabili che vanno dall'87% al 93%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 7% al 13%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $7.65 \cdot 10^{-4}$ a $1.01 \cdot 10^{-3}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 2-H e 3-H sono risultati nulli;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H, 4-H e 5-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.13 mm, 0.44 mm e 0.54 mm; la percentuale di sabbia varia da 98% a 100%;
- i campioni 1-H, 4-H e 5-H sono costituiti da una mistura variabile da discretamente a ben classata;

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A4					
Operatori	Francalanci, Ginanni, Solari, Canovaro					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	09:30	10:45	10:55	11:10	11:55
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	9.02	9.11	9.26	9.05	8.92
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12.1	12.72	13	12.95	11.92
Profondità acqua [m]	Y [m]	3.08	3.61	3.74	3.9	3
I misura velocità	U [m/s]	0.835	1.486	1.979	2.946	2.392
	Distanza dal fondo [m]	11.8	12.5	12.68	12.55	11.6
II misura velocità	U [m/s]	0.937	2.038	2.889	3.131	2.514
	Distanza dall'estradosso [m]	11.1	11.85	11.9	11.8	11
III misura velocità	U [m/s]	0.978	2.52	3.107	3.182	2.704
	Distanza dall'estradosso [m]	10.2	11.05	11	11	10
IV misura velocità	U [m/s]	1.137	2.577	3.392	3.266	2.963
	Distanza dall'estradosso [m]	9.32	10.35	10	10.2	9.25
V misura velocità	U [m/s]		2.687	3.961	3.938	
	Distanza dall'estradosso [m]		9.7	9.6	9.6	
VI misura di velocità	U [m/s]		2.778			
	Distanza dall'estradosso [m]		9.6			
Integratore	Ora solare [hh:mm]	09:20	10:35	10:43	11:25	11:45
	Tempo campionamento [s]	60	49	43	47	48.00
	Ugello	medio	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	08:34	11:00	10:00	10:40	11:12
	Tempo campionamento [min]	20	18	20	20	19
	nome campione	1-H	2-H*	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, H_{balastra} = 0,94 m

* Tale campione è stato rilevato con Helley Smith piccolo (B=7,5 cm), gli altri campioni con Helley Smith grosso.

Tabella 4-35: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-4.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A-4					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	526	647	718	788	410
	peso sedimento [g]	0.402	0.653	0.725	0.623	0.415
	peso sabbia [g]	0.052	0.064	0.065	0.048	0.031
	concentrazione (peso sed./acqua)	7.65E-04	1.01E-03	1.01E-03	7.90E-04	1.01E-03
	% sabbia	12.85	9.83	8.99	7.67	7.47
	% limo - argilla	87.15	90.17	91.01	92.33	92.53
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	69	0	0	71	320
	D16 [mm]	0.09			0.29	0.37
	D50 [mm]	0.13			0.44	0.54
	D84 [mm]	0.17			0.63	0.78
	% ghiaia	0.00			0.00	1.88
	% sabbia	100.00			100.00	98.12
	deviazione standard [ϕ]	0.45			0.52	0.68

Tabella 4-36: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-4.

4.3.5 EVENTO A-5

La misura A-5 è stata effettuata nella fase crescente di un evento di piena iniziato il giorno 09/11/2011 e sviluppatosi nei giorni successivi. La misura A-5 è stata effettuata, successivamente alla misura A-4, dalle ore 12:15 alle 14:40 del giorno 10/11/2011 (Figura 4-19).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura. Sono stati prelevati campioni di trasporto solido al fondo lungo le verticali 1 e 2.

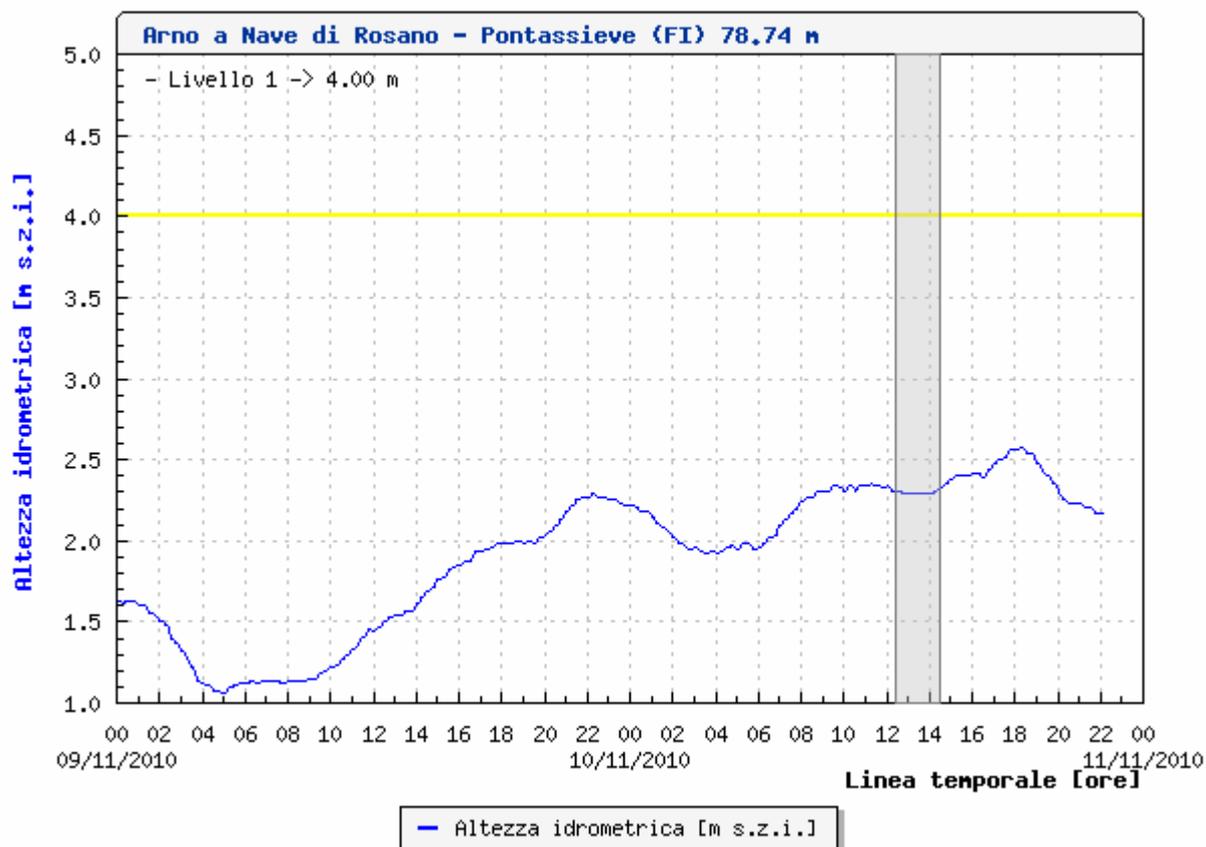


Figura 4-19: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-5.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dal 93% al 94%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 6% al 7%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $6.11 \cdot 10^{-4}$ a $7.79 \cdot 10^{-4}$;
- il campione del trasporto solido al fondo 1-H è risultato nullo;
- il campione del trasporto solido al fondo 2-H è costituito interamente da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 di circa 0.27 mm; la miscela del campione risulta essere ben classata.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A5					
Operatori	Canovaro, Corridori, Francalanci, Ginanni, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	12:15	13:00	13:12	14:05	14:25
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	9	9.12	9.3	9.05	8.9
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12.1	12.2	12.7	13	12
Profondità acqua [m]	Y [m]	3.1	3.08	3.4	3.95	3.1
I misura velocità	U [m/s]	0.821	2.168	2.274	2.671	2.274
	Distanza dal fondo [m]	11.78	11.9	12.4	12.70	11.7
II misura velocità	U [m/s]	0.875	2.56	2.788	3.308	2.486
	Distanza dall'estradosso [m]	11.2	11	11.8	12	11
III misura velocità	U [m/s]	0.908	2.537	2.997	3.333	2.631
	Distanza dall'estradosso [m]	10.5	10.5	11.2	11.3	10.2
IV misura velocità	U [m/s]	0.966	2.637	3.174	3.501	2.497
	Distanza dall'estradosso [m]	10	10	10.6	10.6	9.58
V misura velocità	U [m/s]	1.148	2.963	3.299	3.526	2.681
	Distanza dall'estradosso [m]	9.5	9.5	10	9.8	9.35
VI misura di velocità	U [m/s]				4.029	
	Distanza dall'estradosso [m]				9.52	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12:30	12:40	13:30	13:57	14:35
	Tempo campionamento [s]	63	47	50	51	38
	Ugello	piccolo	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	13:17	13:55			
	Tempo campionamento [min]	20	20			
	nome campione	1-H	2-H			

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-37: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-5.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A-5					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	833	536	720	584	475
	peso sedimento [g]	0.551	0.418	0.487	0.390	0.290
	peso sabbia [g]	0.038	0.030	0.031	0.024	0.018
	concentrazione (peso sed./acqua)	6.62E-04	7.79E-04	6.76E-04	6.68E-04	6.11E-04
	% sabbia	6.86	7.14	6.28	6.20	6.20
	% limo - argilla	93.14	92.86	93.72	93.80	93.80
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	0	8	-	-	-
	D16 [mm]		0.19			
	D50 [mm]		0.27			
	D84 [mm]		0.35			
	% ghiaia		0.00			
	% sabbia		100.00			
	deviazione standard [ϕ]		0.43			

Tabella 4-38: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-5.

4.3.6 EVENTO A-6

La misura A-6 è stata effettuata nella fase crescente di un evento di piena iniziato il giorno 09/11/2011 e sviluppatosi nei giorni successivi. La misura A-6 è stata effettuata, successivamente alla misura A-5, dalle ore 15:15 alle 16:50 del giorno 10/11/2011 (Figura 4-20).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

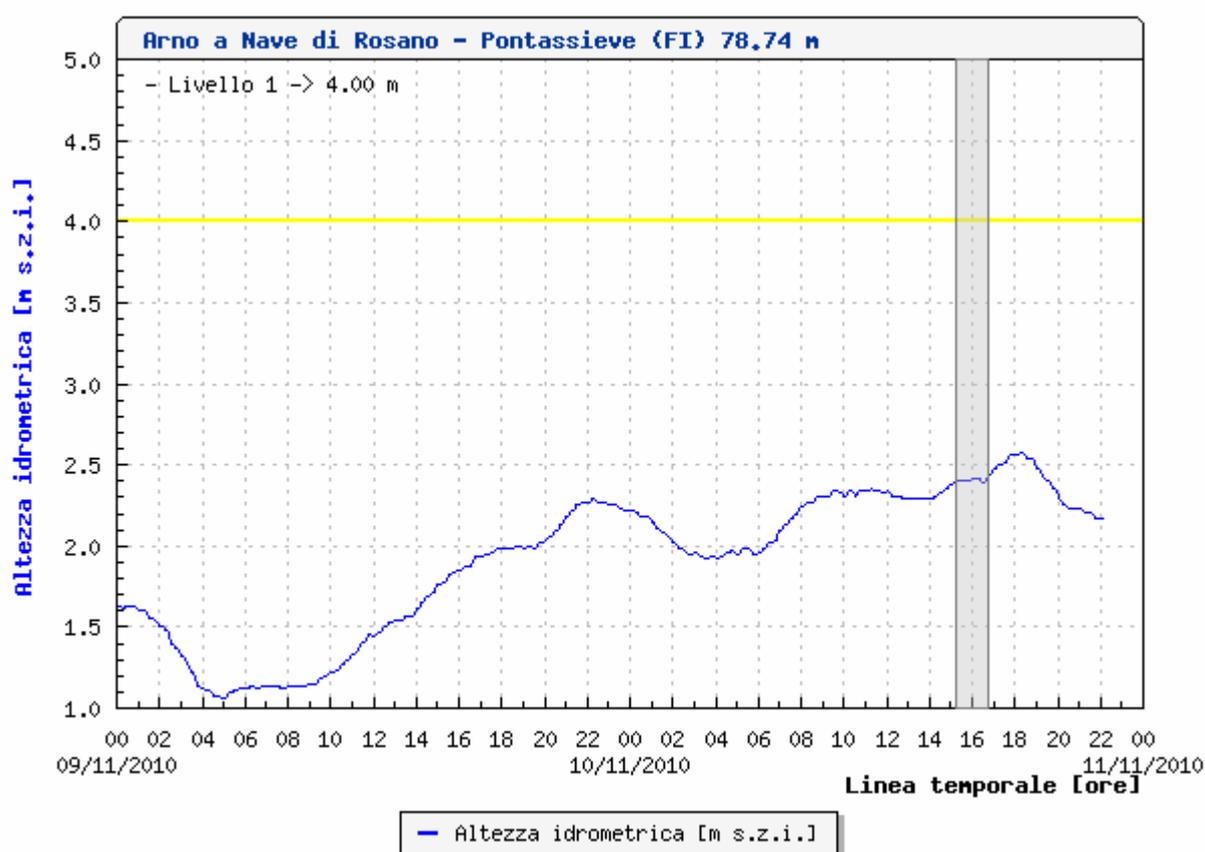


Figura 4-20: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-6.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di *'wash load'* con frazioni variabili che vanno dall'88% al 91%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 9% al 12%;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $5.47 \cdot 10^{-4}$ a $6.35 \cdot 10^{-4}$;

- il campione di trasporto solido al fondo 2-H è risultato nullo;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H, 4-H e 5-H sono principalmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.32 mm, 0.63 mm e 0.62 mm; la percentuale di sabbia varia da 77% a 100%;
- il campione del trasporto solido al fondo 3-H è costituito per il 48% da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 di circa 1.83 mm;
- il campione 1-H risulta discretamente classato; i campioni 3-H e 4-H risultano scarsissimamente classati; il campione 5-H risulta mediamente classato.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A6					
Operatori	Canovaro, Corridori, Francalanci, Ginanni, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	15:25	15:35	16:00	16:08	16:20
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	9	9.05	9.18	9	8.9
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12.12	12.6	12.7	12.9	12
Profondità acqua [m]	Y [m]	3.12	3.55	3.52	3.9	3.1
I misura velocità	U [m/s]	0.714	1.845	2.537	2.631	2.526
	Distanza dal fondo [m]	11.8	12.3	12.3	12.50	11.5
II misura velocità	U [m/s]	0.841	2.593	3.037	3.266	2.654
	Distanza dall'estradosso [m]	11	11.3	11.5	11.8	10.5
III misura velocità	U [m/s]	0.978	2.711	3.308	3.366	2.577
	Distanza dall'estradosso [m]	10.12	10.3	10.5	10.95	9.5
IV misura velocità	U [m/s]	1.098	2.453	3.844	3.375	
	Distanza dall'estradosso [m]	9.22	9.5	9.58	10	
V misura velocità	U [m/s]				3.82	
	Distanza dall'estradosso [m]				9.5	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	15:17	15:38	15:51	16:35	16:30
	Tempo campionamento [s]	66	39	42	46	44.00
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	16:20	16:31	16:45	15:55	16:07
	Tempo campionamento [min]	5	5	5	5	5
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-39: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-6.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	10/11/2010					
Codice identificativo	A-6					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	381	510	655	727	424
	peso sedimento [g]	0.238	0.319	0.416	0.436	0.232
	peso sabbia [g]	0.026	0.029	0.044	0.041	0.027
	concentrazione (peso sed./acqua)	6.24E-04	6.26E-04	6.35E-04	5.99E-04	5.47E-04
	% sabbia	10.77	8.99	10.53	9.34	11.65
	% limo - argilla	89.23	91.01	89.47	90.66	88.35
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	29	0	58	490	428
	D16 [mm]	0.21		0.39	0.38	0.38
	D50 [mm]	0.32		1.83	0.63	0.62
	D84 [mm]	0.46		16.89	7.46	1.98
	% ghiaia	0.00		48.28	22.45	15.89
	% sabbia	100.00		51.72	77.55	84.11
	deviazione standard [ϕ]	0.56		2.23	2.02	1.31

Tabella 4-40: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-6.

4.3.7 EVENTO A-7

La misura A-7 è stata effettuata nella fase decrescente di un evento di piena iniziato il giorno 09/11/2011, che ha registrato il suo picco massimo intorno alle ore 18:00 del 10/11/2011, e durante il quale sono state effettuate le misure precedenti dalla A-3 alla A-6. La misura A-7 è stata effettuata dalle ore 10:45 alle 13:15 del giorno 10/11/2011 (Figura 4-21).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

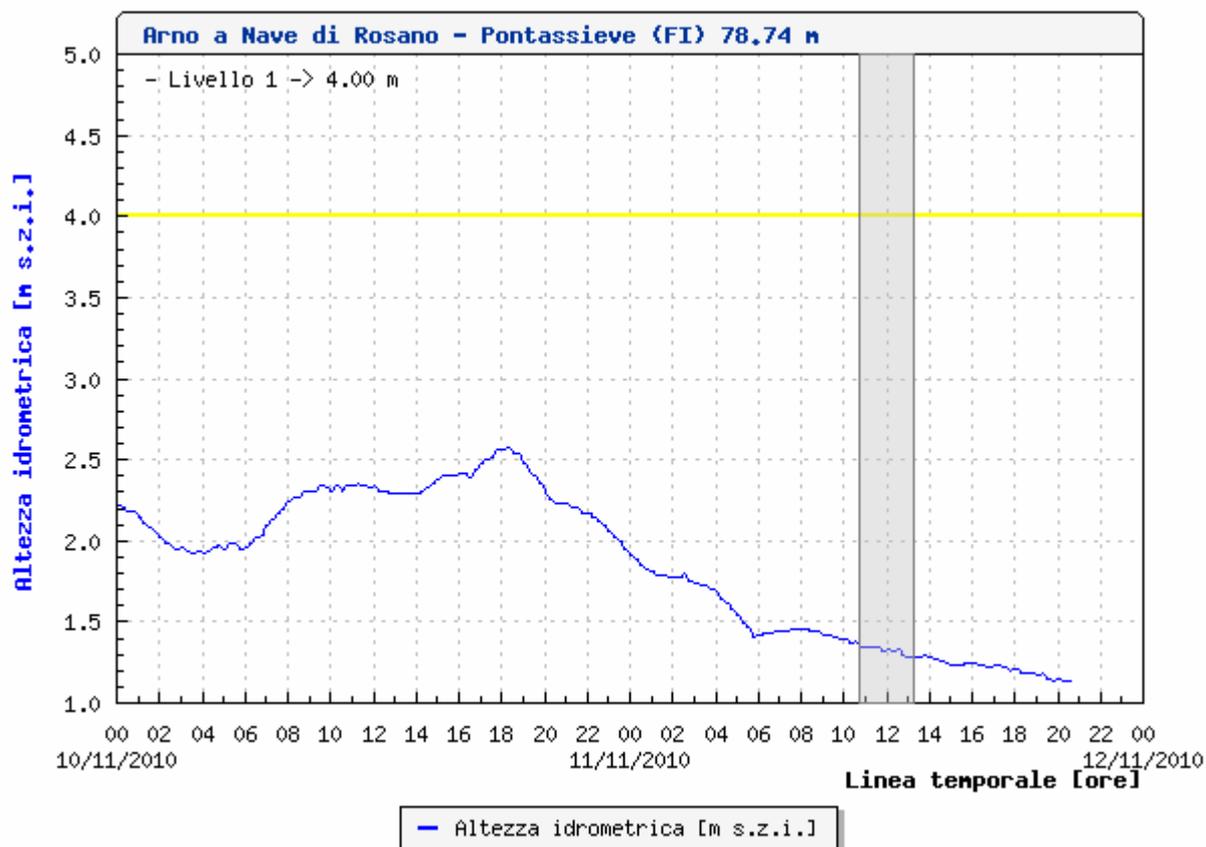


Figura 4-21: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-7.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dall'84% al 100%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile da 0% a 16%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $2.02 \cdot 10^{-4}$ a $2.61 \cdot 10^{-4}$;
- il campione del trasporto solido al fondo 1-H è risultato nullo;
- i campioni del trasporto solido al fondo 2-H, 4-H e 5-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.16 mm, 0.50 mm e 0.52 mm; la percentuale di sabbia varia da 88% a 100%;
- il campione del trasporto solido al fondo 3-H risulta costituito da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 di circa 8.49 mm, con una percentuale di ghiaia del 77%;
- i campioni 2-H e 5-H sono costituiti da una miscela rispettivamente ben classata e discretamente classata;
- il campione 4-H risulta mediamente classato;
- il campione 3-H risulta assortito.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	11/11/2010					
Codice identificativo	A7					
Operatori	Bechi, Francalanci, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]						
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	11:17	11:42	12:15	12:48	13:00
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	10	10.2	10.3	10.12	10
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12.1	12.35	12.5	12.5	11.7
Profondità acqua [m]	Y [m]	2.1	2.15	2.2	2.38	1.7
I misura velocità	U [m/s]	0.564	1.346	1.544	2.346	1.807
	Distanza dal fondo [m]	11.8	12	12.2	12.20	11.3
II misura velocità	U [m/s]	0.512	1.782	2.19	2.862	2.034
	Distanza dall'estradosso [m]	11.22	11.4	11.67	11.7	10.9
III misura velocità	U [m/s]	0.368	2.246	3.74	3.04	1.778
	Distanza dall'estradosso [m]	10.5	10.6	11	11.1	10.5
IV misura velocità	U [m/s]			3.501	3.593	
	Distanza dall'estradosso [m]			10.7	10.6	
V misura velocità	U [m/s]					
	Distanza dall'estradosso [m]					
Integratore	Ora solare [hh:mm]	11:20	11:40	12:25	12:42	13:10
	Tempo campionamento [s]	59	21	25	18	24.00
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	10:47	11:14	11:40	12:14	12:39
	Tempo campionamento [min]	15	15	15	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-41: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-7.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	11/11/2010					
Codice identificativo	A-7					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	335	545	652	457	509
	peso sedimento [g]	0.087	0.128	0.131	0.114	0.114
	peso sabbia [g]	0.000	0.011	0.000	0.009	0.018
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.61E-04	2.34E-04	2.02E-04	2.49E-04	2.25E-04
	% sabbia	0.00	8.23	0.00	8.19	15.56
	% limo - argilla	100.00	91.77	100.00	91.81	84.44
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	0	21	2466	75	292
	D16 [mm]		0.13	0.77	0.31	0.36
	D50 [mm]		0.16	8.49	0.50	0.52
	D84 [mm]		0.23	27.88	1.41	0.70
	% ghiaia		0.00	76.68	12.00	0.34
	% sabbia		100.00	23.32	88.00	99.66
	deviazione standard [ϕ]		0.46	2.19	1.22	0.56

Tabella 4-42: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-7.

4.3.8 EVENTO A-8

La misura A-8 è stata effettuata nella fase calante di un evento di piena iniziato il giorno precedente e che ha registrato il suo massimo intorno alle ore 8:00 del giorno 22/11/2011. La misura A-8 è stata effettuata in un intervallo di tempo dalle ore 13:20 alle ore 15:45 del giorno 22/11/2011 (Figura 4-22).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione lungo tutte le verticali di misura.

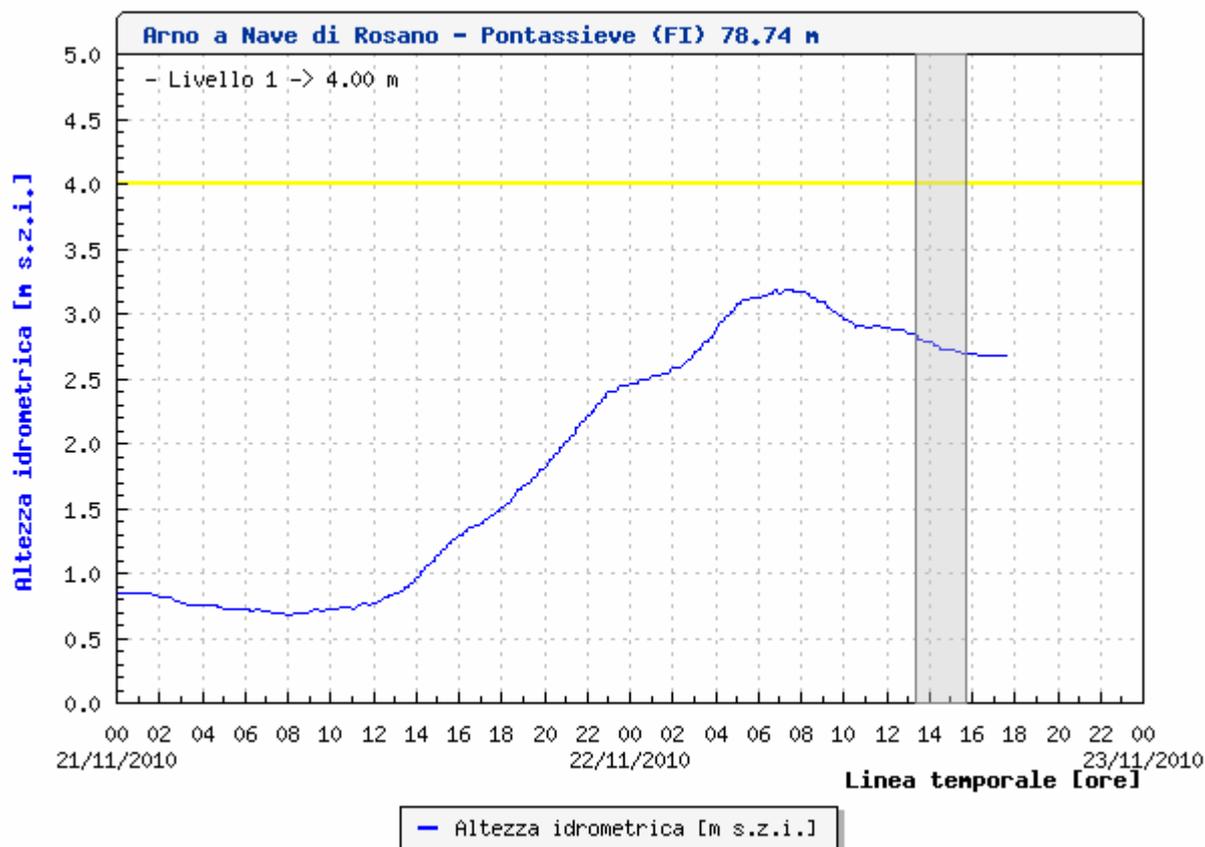


Figura 4-22: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-8.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dal 77% al 97%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 3% al 23%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $7.04 \cdot 10^{-4}$ a $9.32 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo 3-H e 5-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 0.40 mm e 0.59 mm; la percentuale di sabbia varia da 82% a 95%;
- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H, 2-H e 4-H sono sensibilmente costituiti da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 1.68 mm, 1.0 mm e 13.31 mm; la percentuale di ghiaia varia da 33% a 60%;
- i campioni 1-H, 2-H, 3-H e 5-H sono costituiti da una miscela da poco a mediamente classata;
- il campione 4-H è non classato.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	22/11/2010					
Codice identificativo	A8					
Operatori	Francalanci, Ginanni, Solari, Corridori					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	81.7					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	13:20	13:45	14:00	14:10	14:40
Distanza PL da balaustra	$\Delta 1$ [m]	8.45	8.55	8.65	8.6	8.4
Distanza FONDO da balaustra	$\Delta 2$ [m]	12.04	12.82	12.62	13.2	11.9
Profondità acqua [m]	Y [m]	3.59	4.27	3.97	4.6	3.5
I misura velocità	U [m/s]	1.015	1.279	1.736	1.707	2.442
	Distanza dal fondo [m]	11.8	12.5	12.3	12.85	11.5
II misura velocità	U [m/s]	1.393	2.442	3.09	2.805	2.805
	Distanza dall'estradosso [m]	11.2	11.8	11.5	12	10.8
III misura velocità	U [m/s]	1.226	2.661	3.417	3.316	2.843
	Distanza dall'estradosso [m]	10.7	11.1	10.7	11	10
IV misura velocità	U [m/s]	1.56	2.845	3.568	3.333	2.939
	Distanza dall'estradosso [m]	10	10.3	9.5	10	9.5
V misura velocità	U [m/s]	1.753	2.889	4.313	4.291	2.781
	Distanza dall'estradosso [m]	8.75	9.35	9.22	9	9
VI misura di velocità	U [m/s]		3.19			
	Distanza dall'estradosso [m]		9			
Integratore	Ora solare [hh:mm]	13:55	13:40	14:10	14:14	15:08
	Tempo campionamento [s]	33	45	45	50	41
	Ugello	medio	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	13:53	14:15	14:38	15:05	15:30
	Tempo campionamento [min]	15	15	15	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balaustra del ponte, H_{balaustra} = 0,94 m

Tabella 4-43: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-8.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	22/11/2010					
Codice identificativo	A-8					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	667	626	661	687	603
	peso sedimento [g]	0.487	0.583	0.567	0.591	0.425
	peso sabbia [g]	0.013	0.085	0.069	0.082	0.098
	concentrazione (peso sed./acqua)	7.31E-04	9.32E-04	8.58E-04	8.61E-04	7.04E-04
	% sabbia	2.73	14.54	12.16	13.78	23.12
	% limo - argilla	97.27	85.46	87.84	86.22	76.88
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	12	12	121	769	644
	D16 [mm]	0.69	0.49	0.29	0.46	0.35
	D50 [mm]	1.68	1.00	0.40	13.31	0.59
	D84 [mm]	5.74	3.41	0.60	56.72	2.63
	% ghiaia	41.67	33.33	4.96	60.08	18.32
	% sabbia	58.33	66.67	95.04	39.92	81.68
	deviazione standard [ϕ]	1.17	1.21	1.04	3.15	1.62

Tabella 4-44: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-8.

4.3.9 EVENTO A-9

La misura A-9 è stata effettuata nella fase calante di un evento di piena iniziato il giorno precedente e che ha registrato il suo massimo intorno alle ore 8:00 del giorno 22/11/2011. La misura A-9 è stata effettuata, successivamente alla misura A-8, in un intervallo di tempo dalle ore 15:30 alle 17:00 del giorno 22/11/2011 (Figura 4-23).

Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura. Sono stati prelevati campioni di trasporto solido al fondo lungo le verticali 3, 4 e 5.

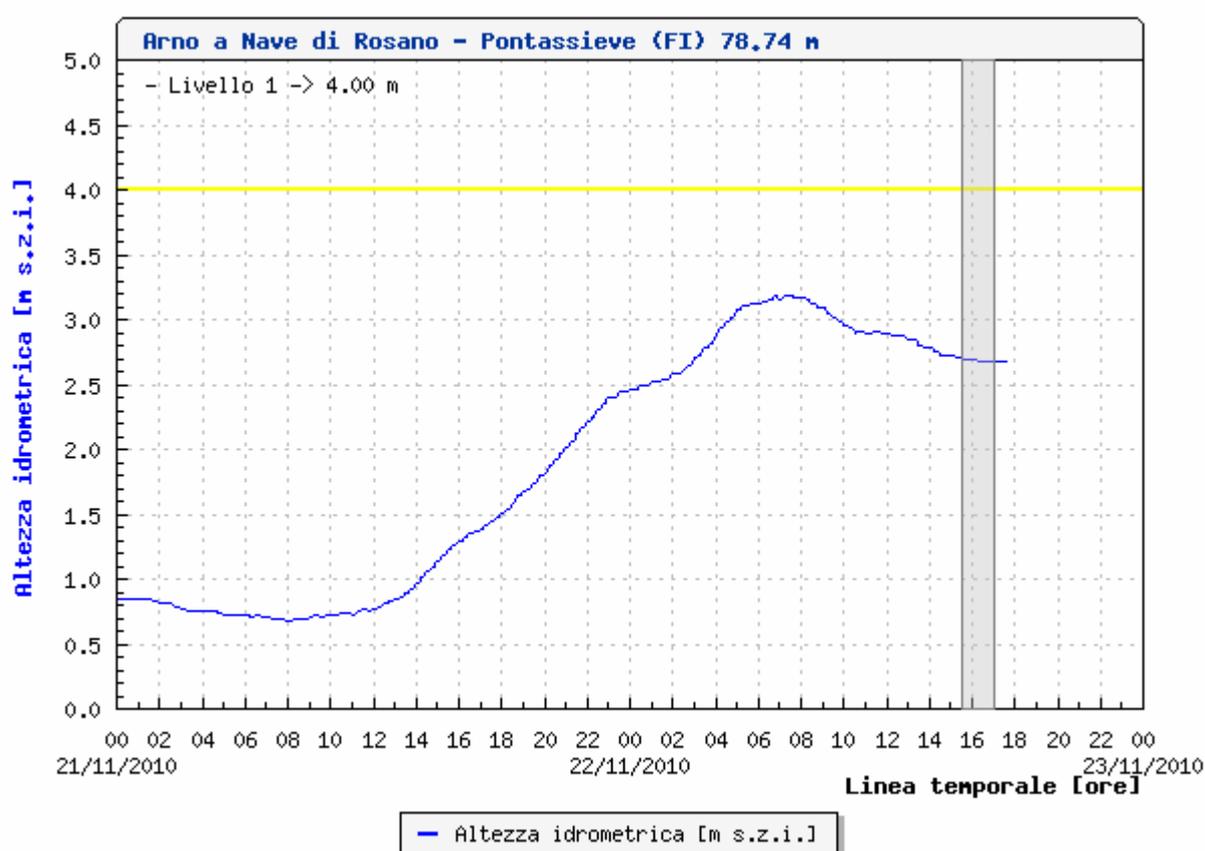


Figura 4-23: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Nave di Rosano con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura A-9.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- i campioni di trasporto solido in sospensione sono costituiti dalla componente di 'wash load' con frazioni variabili che vanno dall'86% al 93%;
- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* risulta variabile dal 7% al 14%;

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $6.90 \cdot 10^{-4}$ a $8.38 \cdot 10^{-4}$;
- il campione del trasporto solido al fondo 5-H è essenzialmente costituito da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 di circa 0.77 mm; la percentuale di sabbia è circa 77%;
- i campioni del trasporto solido al fondo 3-H e 4-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti ghiaiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 32.79 mm e 16 mm; la percentuale di ghiaia varia da 74% a 92%;
- il campione 5-H risulta costituito da una mistura poco classata, il campione 4-H da una mistura mediamente classata, il campione 3-H risulta assortito.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	22/11/2010					
Codice identificativo	A9					
Operatori	Francalanci, Ginanni, Corridori, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	81.7					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
	Distanza da spalletta dx [m]	29	41	53	67	76
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	16:24	16:28	16:20	16:10	16:05
Distanza PL da balastra	$\Delta 1$ [m]	8.6	8.7	8.8	8.68	8.5
Distanza FONDO da balastra	$\Delta 2$ [m]	12	12.68	12.95	12.9	12
Profondità acqua [m]	Y [m]	3.4	3.98	4.15	4.22	3.5
I misura velocità	U [m/s]	1.167	1.095	1.363	1.972	2.039
	Distanza dal fondo [m]	11.5	12.5	12.5	12.50	11.7
II misura velocità	U [m/s]	1.33	2.168	2.865	3.099	3.023
	Distanza dall'estradosso [m]	10.5	11.5	11.5	11.5	10.5
III misura velocità	U [m/s]	1.665	2.627	3.551	3.475	2.982
	Distanza dall'estradosso [m]	9.5	10.5	10.5	10.5	9.5
IV misura velocità	U [m/s]	2.346	3.064	3.602	3.542	2.865
	Distanza dall'estradosso [m]	8.82	9.5	9.5	9.5	9
V misura velocità	U [m/s]		3.593	4.005	4.112	
	Distanza dall'estradosso [m]		9	9.1	9	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	15:33	15:36	15:40	15:45	15:55
	Tempo campionamento [s]	38	40	46	60	44
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo	piccolo
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]			15:56	16:25	16:45
	Tempo campionamento [min]			20	15	15
	nome campione			3-H	4-H	5-H

Nota: prendere le distanze verticali dalla sommità della balastra del ponte, Hbalastra = 0,94 m

Tabella 4-45: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura A-9.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	ARNO					
Sezione	NAVE DI ROSANO - MONTE					
Data misura	22/11/2010					
Codice identificativo	A-9					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	405	529	691	509	666
	peso sedimento [g]	0.337	0.443	0.538	0.373	0.459
	peso sabbia [g]	0.029	0.051	0.074	0.048	0.032
	concentrazione (peso sed./acqua)	8.32E-04	8.38E-04	7.78E-04	7.32E-04	6.90E-04
	% sabbia	8.69	11.55	13.84	12.88	6.92
	% limo - argilla	91.31	88.45	86.16	87.12	93.08
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	5-H
	peso sedimenti [g]	-	-	145	48	1598
	D16 [mm]			0.69	10.32	0.45
	D50 [mm]			32.79	16.00	0.77
	D84 [mm]			40.82	20.25	4.16
	% ghiaia			74.48	91.67	23.03
	% sabbia			25.52	8.33	76.97
	deviazione standard [ϕ]			2.55	1.29	1.60

Tabella 4-46: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura A-9.

5 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

Una volta raccolti i dati ed i campioni in sito durante l'evento di piena, si effettua la stima della portata liquida, della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione. Si riportano nel seguito alcune considerazioni di sintesi sulla base delle analisi di laboratorio e dell'elaborazione delle misure di campo per la stima della portate liquide e solide.

5.1 Fiume Serchio

Ai fini di svolgere un'analisi comparativa tra tutte le misure svolte, nei grafici riportati nel seguito vengono anche riportati i dati relativi alle misure S1-S10 già presentati nella relazione tecnica finale relativa al progetto 'REALIZZAZIONE DEL PRIMO STRALCIO DELLA RETE DI MONITORAGGIO SU TRE CORSI D'ACQUA DELLA REGIONE TOSCANA'.

Per quanto riguarda il trasporto solido al fondo, la Figura 5-1 mostra la composizione granulometrica, in termini di frazione sabbiosa e ghiaiosa, dei campioni raccolti durante le misure; le percentuali sono state ottenute come valore medio tra i campioni raccolti nelle diverse verticali di misura durante ciascun evento di misura. I dati riferiti alle misure S12 ed S13 risultano mancanti in quanto non è stato possibile effettuare in tale occasione misure al fondo, a causa dell'elevata portata e della considerevole velocità della corrente. Da questo grafico emerge che i campioni risultano prevalentemente costituiti da sedimenti di tipo sabbioso.

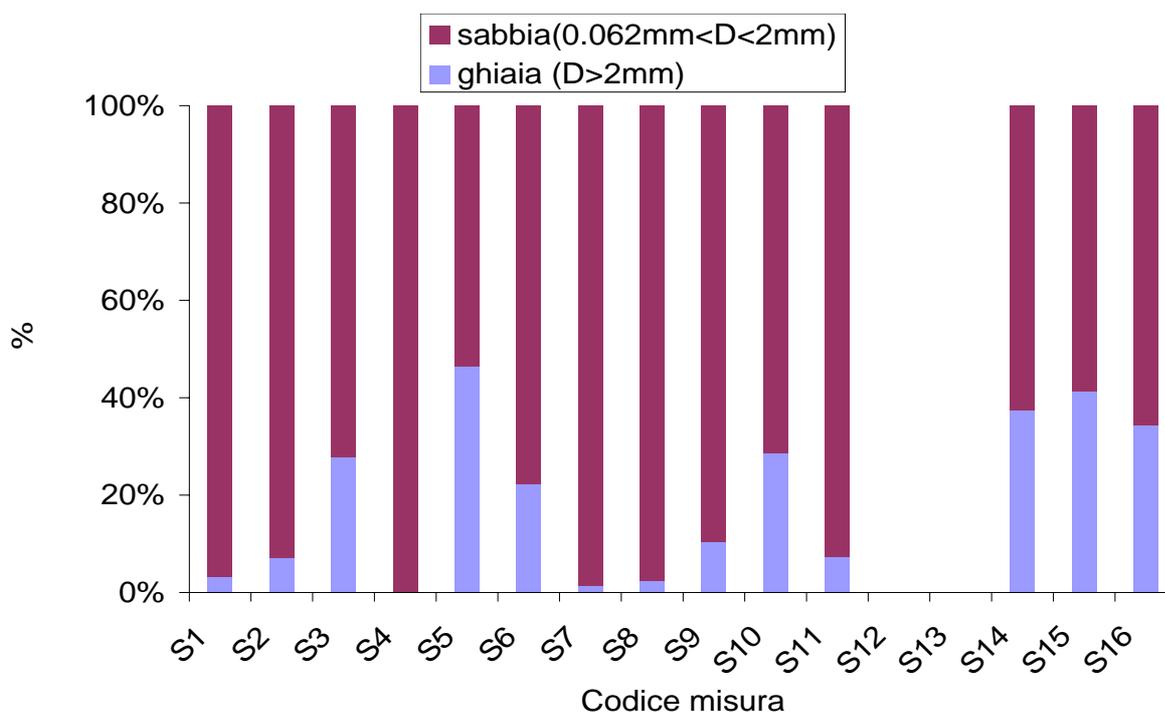


Figura 5-1: La composizione granulometrica media dei campioni di sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

La composizione granulometrica media dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo durante ciascun evento significativo è illustrata in Figura 5-2. Dall'osservazione dei dati risulta che il D_{50} è nel campo delle sabbie in quasi tutti i campioni ad eccezione delle misure S3, S5, S14, S15 ed S16 che presentano una composizione di tipo grossolano. Eseguendo una media dei percentili caratteristici su tutti i campioni raccolti si ottiene un D_{16} pari a 0.64 mm; un D_{50} pari a 1.64 mm ed un D_{84} pari a 4.23 mm.

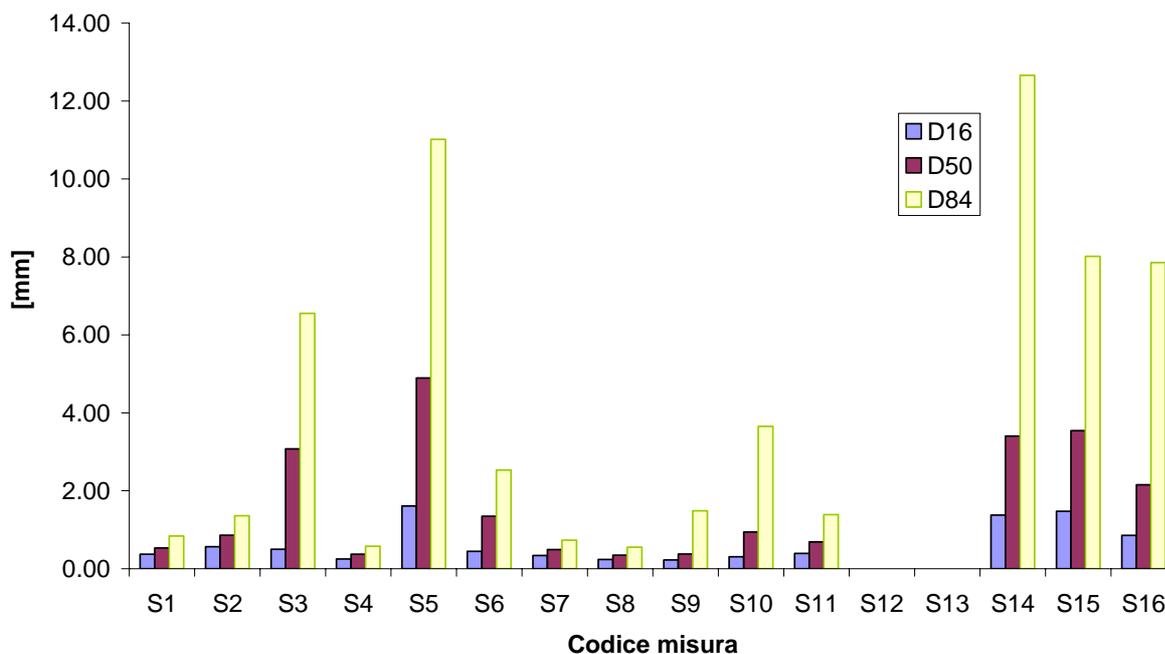


Figura 5-2: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

Per quanto riguarda i campioni dei sedimenti trasportati in sospensione, la concentrazione media dei sedimenti risulta variabile da un massimo di circa 1.074 g/l nella misura S13, che risulta anche la misura corrispondente alla massima portata liquida, fino ad un minimo di circa 0.019 g/l nella misura S4; si veda la Figura 5-3.

L'analisi dei dati di laboratorio mostra inoltre che i campioni raccolti sono prevalentemente costituiti da sedimenti di tipo limoso-argilloso poiché il loro diametro risulta inferiore a 0.062mm (si veda la Figura 5-4), pertanto risulta che il trasporto in sospensione è per la quasi totalità (mediamente circa l'85%) associato alla componente di *wash-load* costituita da sedimenti pressochè assenti in alveo e provenienti dai versanti a seguito dell'azione di dilavamento delle piogge. La componente del trasporto in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi risulta riconducibile alla sospensione da *bed-material* cioè ai sedimenti presenti in alveo e contribuisce alla dinamica evolutiva del tratto fluviale.

La sintesi delle portate calcolate nei vari eventi di misura è riportata in Tabella 5-1.

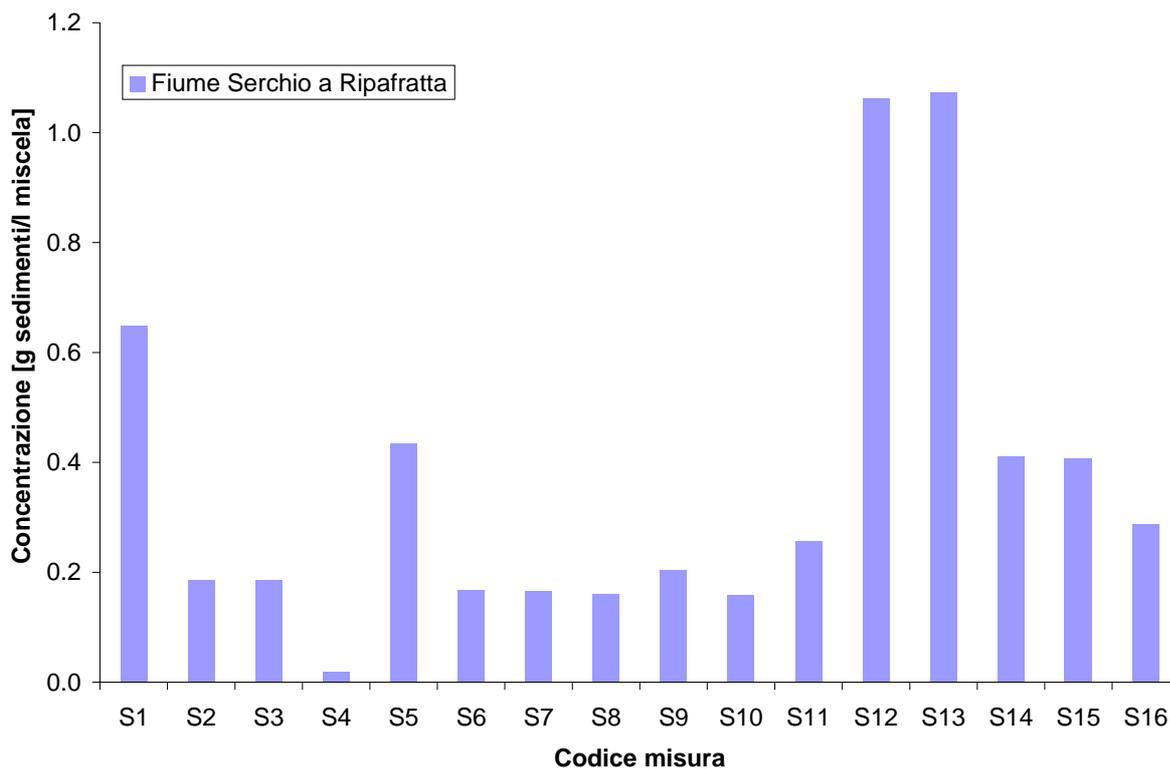


Figura 5-3: La concentrazione media dei sedimenti nei campioni di trasporto solido in sospensione nelle varie misure.

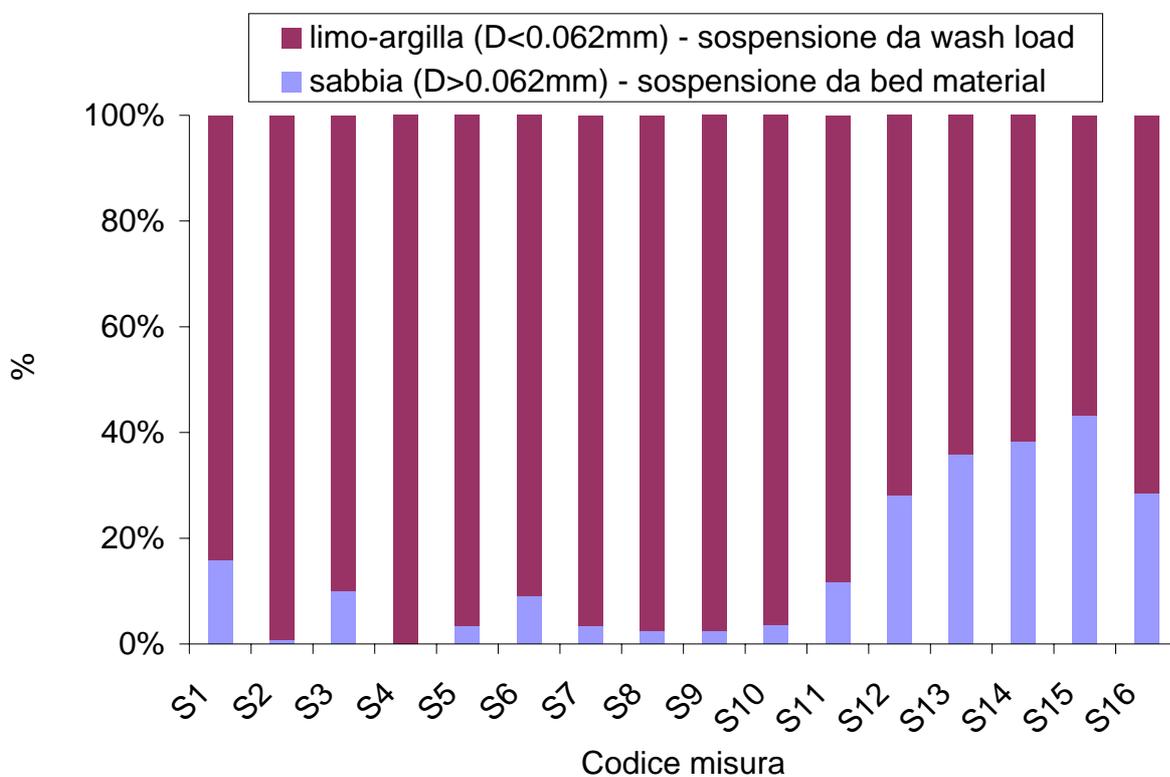


Figura 5-4: La composizione media dei campioni di sedimenti trasportati in sospensione.

Codice	Data	Livello [m s.l.m.]	Q _{liquida} [m ³ /s]	Q _{SF} [Kg/s]	Q _{SS} [Kg/s]	Q _{ST} [Kg/s]
S01	09/12/2006	9.72	396.53	1.986	41.087	43.073
S02	08/02/2007	9.35	292.85	1.946	5.498	7.444
S03	c.s	9.28	285.8	0.222	5.390	5.612
S04	12/01/2008	8.44	92.92	0.006	0.002	0.008
S05	17/01/2008	9.06	288.59	2.901	3.569	6.470
S06	c.s	8.98	259.64	5.514	3.815	9.329
S07	c.s	8.90	228.05	5.311	1.282	6.592
S08	22/03/2008	8.73	154.13	0.068	0.625	0.694
S09	c.s	8.78	164.73	0.024	0.795	0.819
S10	c.s	8.73	165.66	0.178	1.255	1.433
S11	18/04/2008	9.01	290.82	3.001	8.946	11.947
S12	01/08/2008	10.56	718.31	n.d.	253.812	253.812
S13	c.s	10.57	716.59	n.d.	285.188	285.188
S14	02/08/2008	9.76	498.18	1.064	87.057	88.120
S15	c.s	9.66	411.84	2.327	86.641	88.969
S16	c.s	9.57	433.81	0.345	44.424	44.769

Tabella 5-1. Fiume Serchio: sintesi delle portate liquide e solide al fondo (QSF), in sospensione (QSS) e totali (QST) stimate alla stazione di monitoraggio Ripafratta.

La Figura 5-5 mostra un confronto tra le portate solide al fondo e quelle in sospensione associate alla sola componente sabbiosa (sospensione da *'bed material'*) nelle varie misure; dal grafico risulta che in quasi tutte le misure effettuate la portata solida in sospensione risulta predominante, mentre nella misura S6 i due contributi risultano confrontabili e nelle misure S4, S6 ed S7 è il trasporto al fondo ad essere superiore.

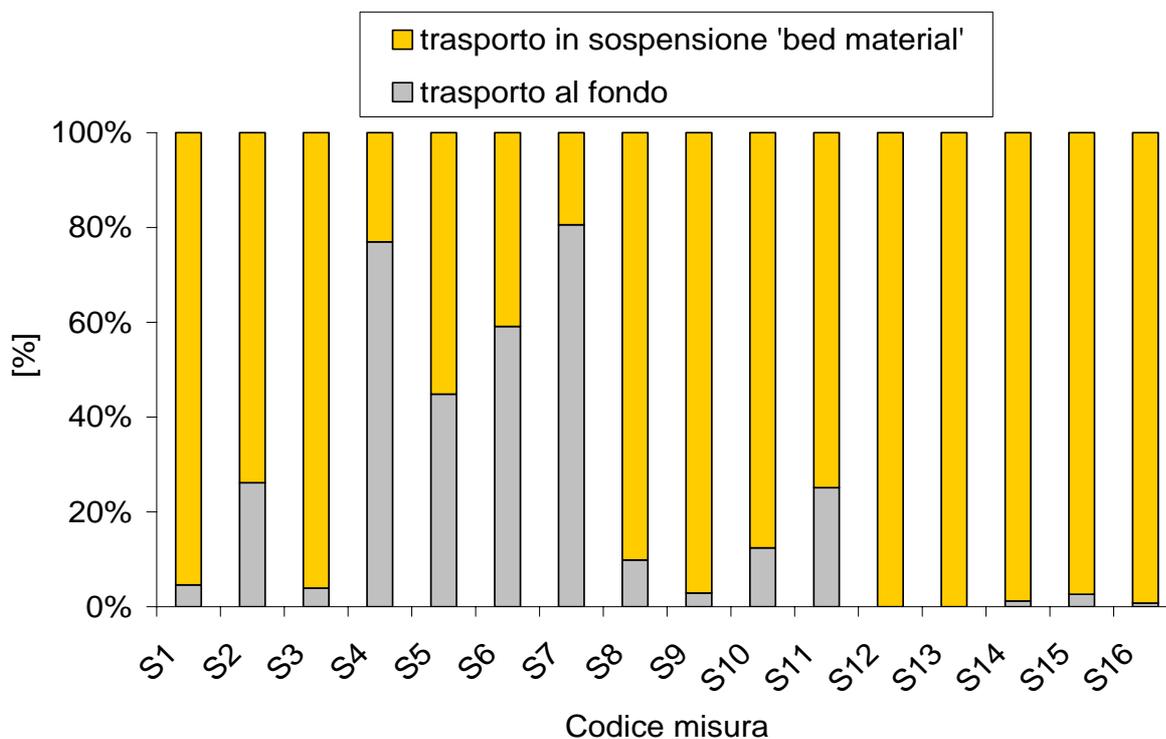


Figura 5-5: La composizione della portata solida totale, intesa come somma della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi, nelle varie misure.

5.2 Fiume Versilia

Ai fini di svolgere un'analisi comparativa tra tutte le misure svolte, nei grafici riportati nel seguito vengono anche riportati i dati relativi alle misure V2, V3, V4 e V5 già presentati nella relazione tecnica finale relativa al progetto 'REALIZZAZIONE DEL PRIMO STRALCIO DELLA RETE DI MONITORAGGIO SU TRE CORSI D'ACQUA DELLA REGIONE TOSCANA'.

Per quanto riguarda il trasporto solido al fondo, la Figura 5-6 mostra la composizione granulometrica media, in termini di frazione sabbiosa e ghiaiosa, dei diversi campioni raccolti durante le misure; le percentuali sono state ottenute come valore medio pesato tra i campioni raccolti nelle diverse verticali di misura durante ciascun evento di misura. Da questo grafico emerge che il trasporto al fondo risulta prevalentemente costituito da sedimenti di tipo ghiaioso ad eccezione delle misure V4 e V5 che mostrano una prevalenza di sedimenti sabbiosi. Ciò può essere attribuito al fatto che le misure V4 e V5 sono state realizzate per portate liquide piuttosto modeste tali da non mobilitare i sedimenti più grossolani di tipo ghiaioso.

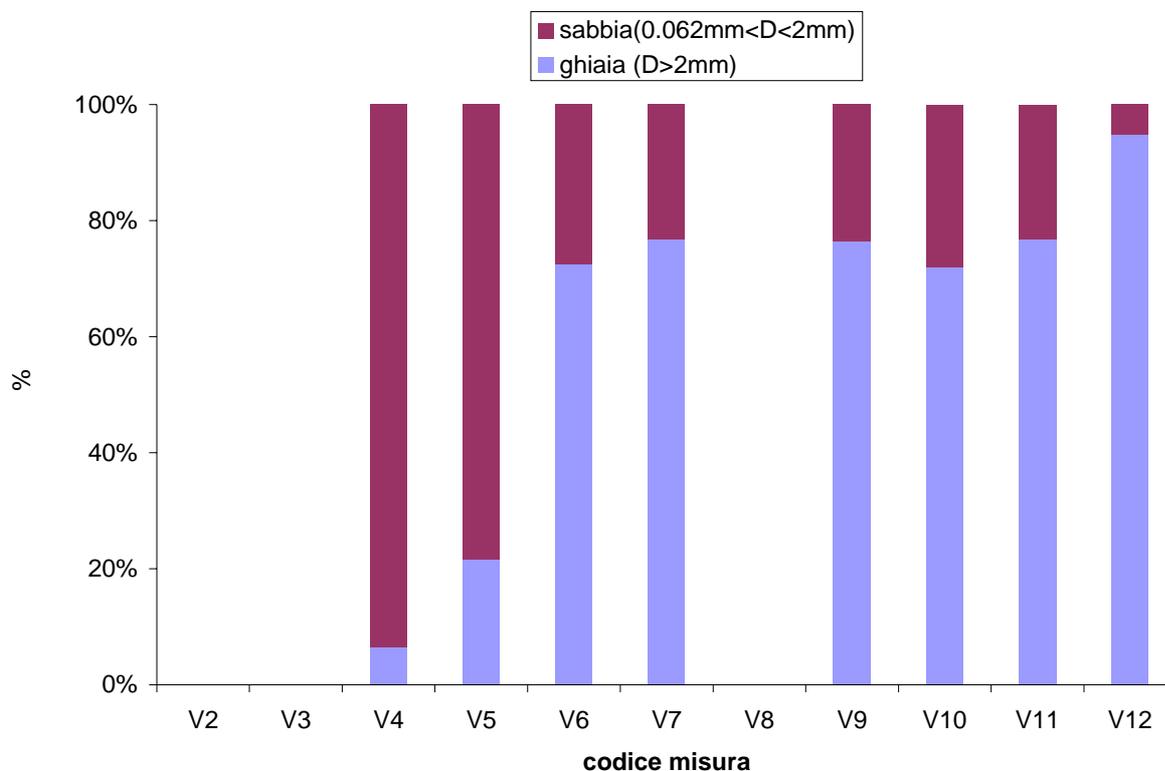


Figura 5-6: La composizione granulometrica media dei campioni di sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

La composizione granulometrica media dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo durante ciascun evento di misura è illustrata in Figura 5-7; risulta che il D50 medio è nel campo delle ghiaie in tutte le misure ad eccezione della misura V4. Il D50 risulta compreso nell'intervallo tra 0.43 mm e 39.42 mm. Il percentile caratteristico D16 nelle diverse misure risulta variabile tra 0.23 mm (V4) e 15.21 mm (V12), il percentile D84 risulta compreso nell'intervallo tra 0.98 mm e 54.56 mm.

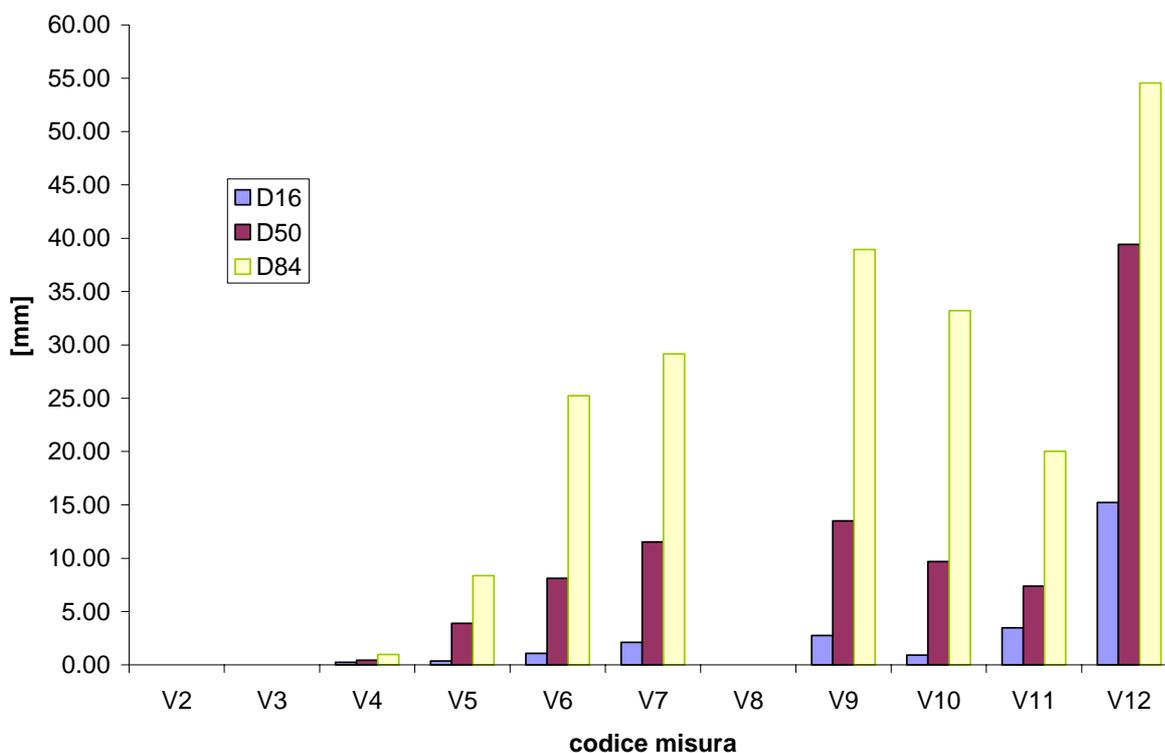


Figura 5-7: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure

Per quanto riguarda i campioni dei sedimenti trasportati in sospensione (sia come wash-load, sia come sospensione da bed material), la concentrazione media dei sedimenti trasportati in sospensione (si veda la figura 5-8) risulta variabile da un massimo di circa 5.4 g/l nella misura V8 fino ad un minimo di circa 0.12 g/l nella misura V2.

L'analisi dei dati di laboratorio mostra inoltre che i campioni raccolti sono prevalentemente costituiti da sedimenti di tipo limoso-argilloso poiché il loro diametro risulta inferiore a 0.062mm (si veda la Figura 5-9), pertanto risulta che il trasporto in sospensione risulta per la quasi totalità (mediamente circa 84%) associato alla componente di wash-load costituita da sedimenti pressoché assenti in alveo e provenienti dai versanti a seguito dell'azione di dilavamento delle piogge. La componente del trasporto in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi risulta riconducibile alla sospensione da bed-material, cioè ai sedimenti presenti in alveo e contribuisce alla dinamica evolutiva del tratto fluviale.

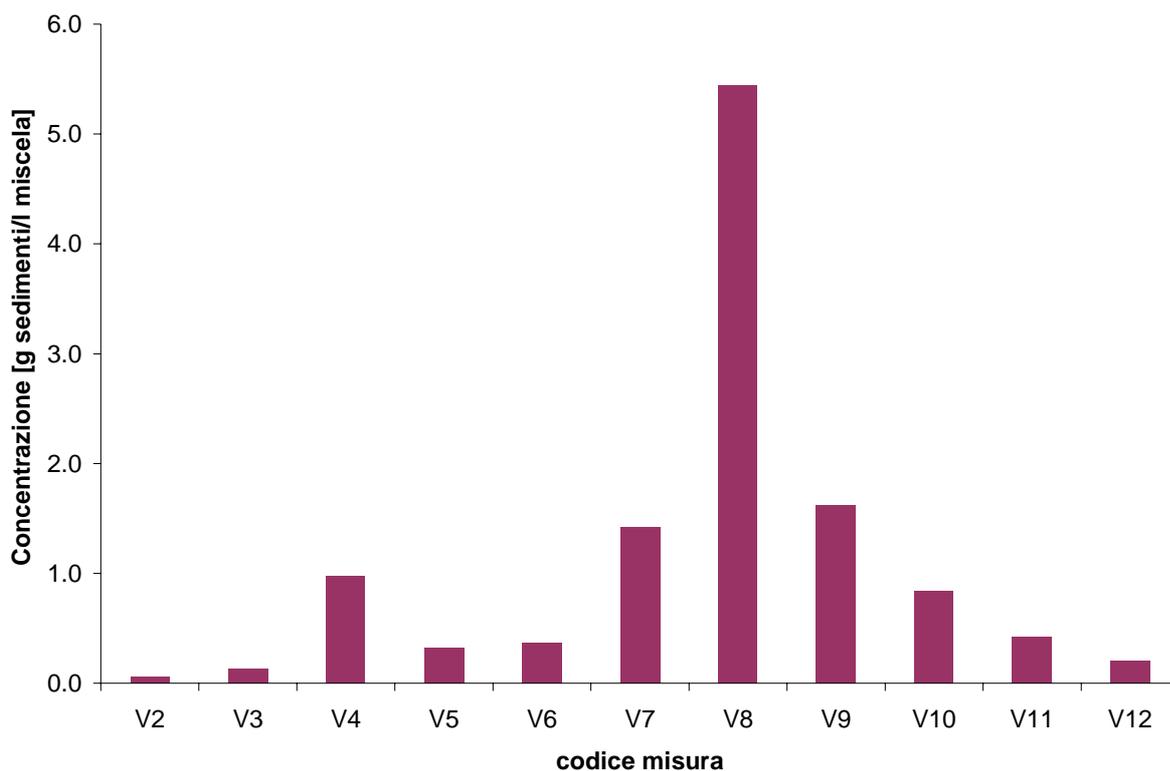


Figura 5-8: La concentrazione media dei sedimenti nei campioni di trasporto solido in sospensione nelle varie misure.

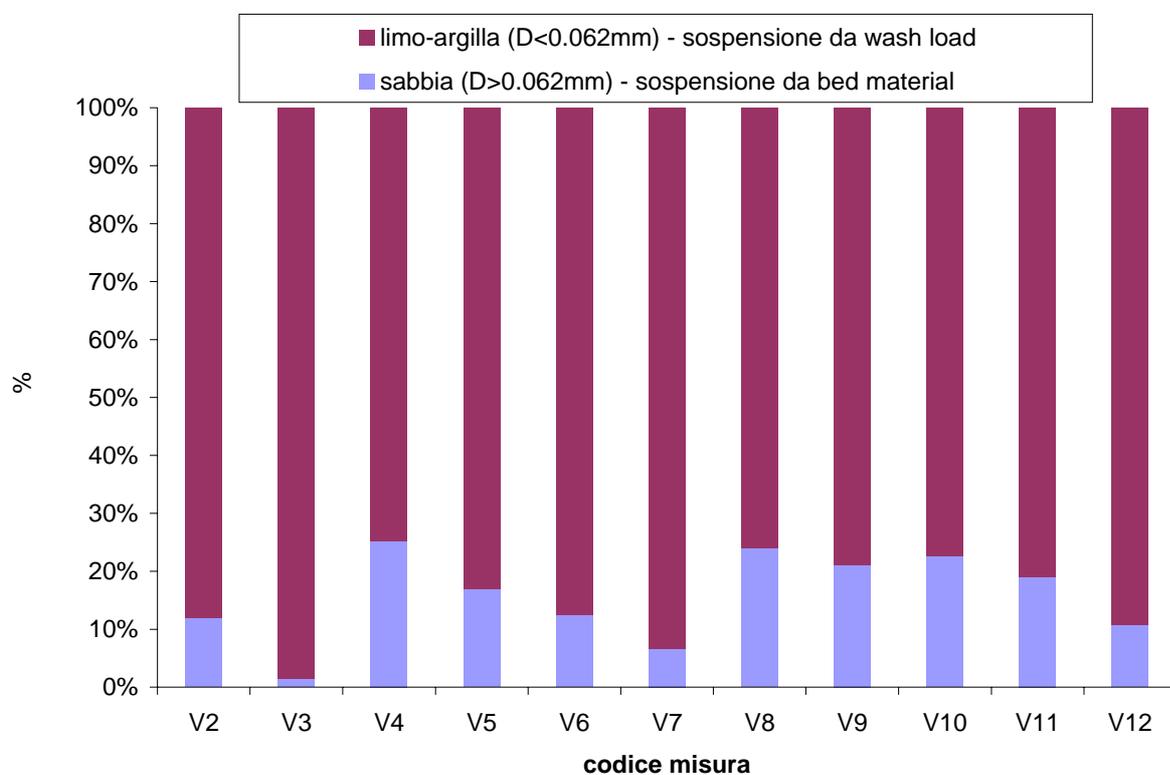


Figura 5-9: La composizione media dei campioni di sedimenti trasportati in sospensione.

La sintesi delle portate stimate nei vari eventi di misura è riportata in Tabella 5-2, la portata massima monitorata è quella relativa alla misura V8. Si noti che in questa misura la stima della portata in transito è stata effettuata a partire dalla sola misura della velocità superficiale in quanto non è stato possibile calare nella corrente il mulinello; in particolare, nota la velocità della corrente superficiale, la velocità media nella sezione liquida è stata stimata sulla base dei rapporti tra le velocità superficiale e media rilevate nelle altre misure ed espresse in funzione del battente idraulico. Si noti che la misura V8 è quella a cui è associato il più alto valore della portata in sospensione.

Codice	Data	h [m.s.l.m]	Qliquida [m ³ /s]	Qsf [kg/s]	Qss [kg/s]	Qst [kgs]	Qwl [kgs]
V2	23/01/2007	4.66	7.18	0	0.08	0.08	0.6
V3	28/05/2007	4.88	11.05	0	0.025	0.025	1.46
V4	12/01/2008	4.60	35.89	0.134	6.61	6.744	30.68
V5	16/01/2008	4.66	31.00	0.14	1.78	1.92	7.11
V6	18/04/2008	4.65	52.29	1.68	2.5	4.18	14.95
V7		4.40	40.19	1.345	0.47	1.815	5.32
V8	31/10/2008	5.70	170.19	-	223.8	-	665.2
V9		5.25	83.71	1.549	27.9	29.449	101.1
V10	25/10/2010	5.29	72.74	6.68	15.71	22.39	47.7
V11		5.04	46.76	3.19	3.65	6.84	16.06
V12	01/11/2010	5.11	48.83	0.25	1.06	1.31	8.91

Tabella 5-2. Fiume Versilia: sintesi delle portate liquide (Qliquida) e solide al fondo (Qsf), in sospensione (Qss), totali (Qst) ed wash load (Qwl) stimate alla stazione di monitoraggio Ponte Tavole.

La Figura 5-10 mostra un confronto tra le portate solide al fondo e quelle in sospensione associate alla sola componente sabbiosa (sospensione da *'bed material'*) nelle varie misure; risulta che la modalità di trasporto dominante nelle misure effettuate sembra in generale essere quella in sospensione. La misura V7 presenta un trasporto al fondo dominante, questo comportamento può essere dovuto al fatto che questa misura è stata effettuata durante la fase di esaurimento di un evento di piena in cui la componente al fondo risulta già significativa nella misura V6 effettuata durante lo stesso evento ma in corrispondenza di una portata liquida più elevata.

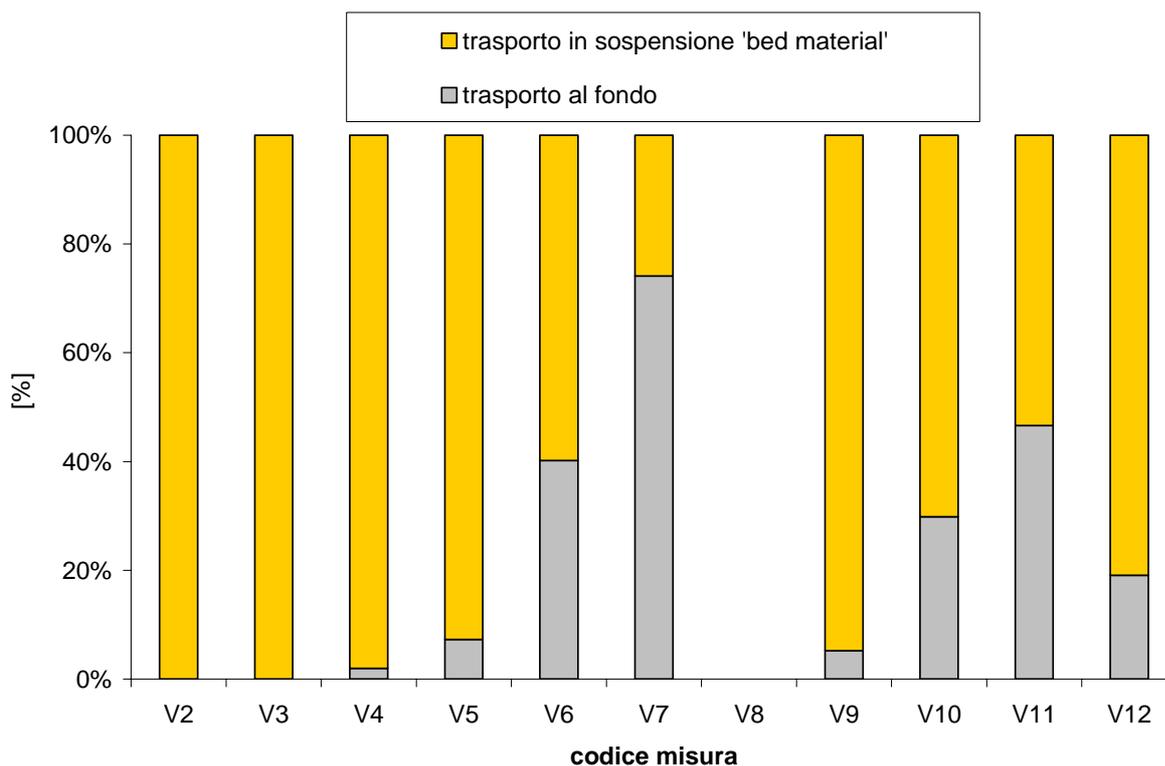


Figura 5-10: La composizione della portata solida totale, intesa come somma della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi, nelle varie misure.

5.3 Fiume Arno

Si riportano alcuni risultati di sintesi ottenuti dall'analisi dei dati di laboratorio e desunti dalle schede di laboratorio per gli eventi misurati sul Fiume Arno.

Per quanto riguarda il trasporto solido al fondo, la Figura 5-11 mostra la composizione granulometrica, in termini di frazione sabbiosa e ghiaiosa, dei campioni raccolti durante le misure; le percentuali sono state ottenute come valore medio tra i campioni raccolti nelle diverse verticali di misura durante ciascun evento di misura. Da questo grafico emerge che i campioni risultano prevalentemente costituiti da sedimenti di tipo sabbioso, con l'eccezione delle misure A-3 e A-7 in cui si ha una netta presenza di sedimenti di tipo ghiaioso.

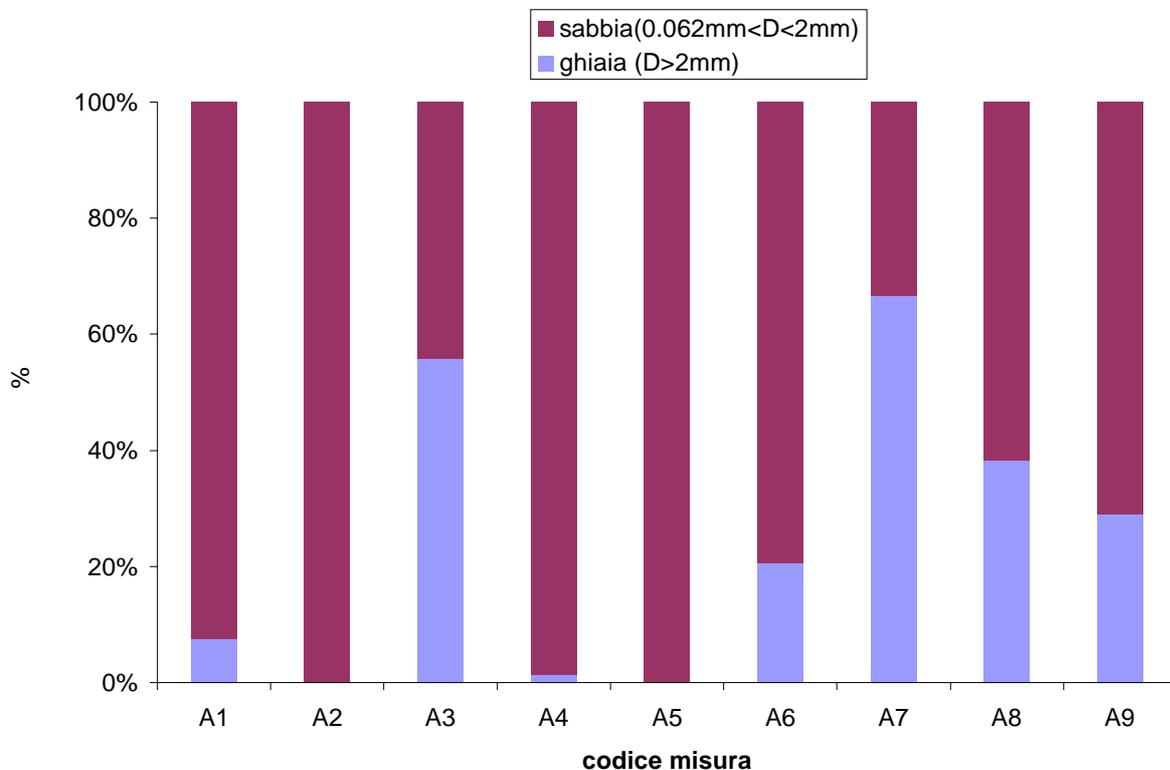


Figura 5-11: La composizione granulometrica media dei campioni di sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

La composizione granulometrica media dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo durante ciascun evento significativo è illustrata in Figura 5-12; risulta che il D_{50} è nel campo delle sabbie in 5 misure, mentre le restanti quattro presentano una composizione di tipo grossolano. Eseguendo una media dei percentili caratteristici su tutti i campioni raccolti si ottiene un D_{16} pari a 0.42 mm; un D_{50} pari a 12 mm ed un D_{90} pari a 20.38 mm.

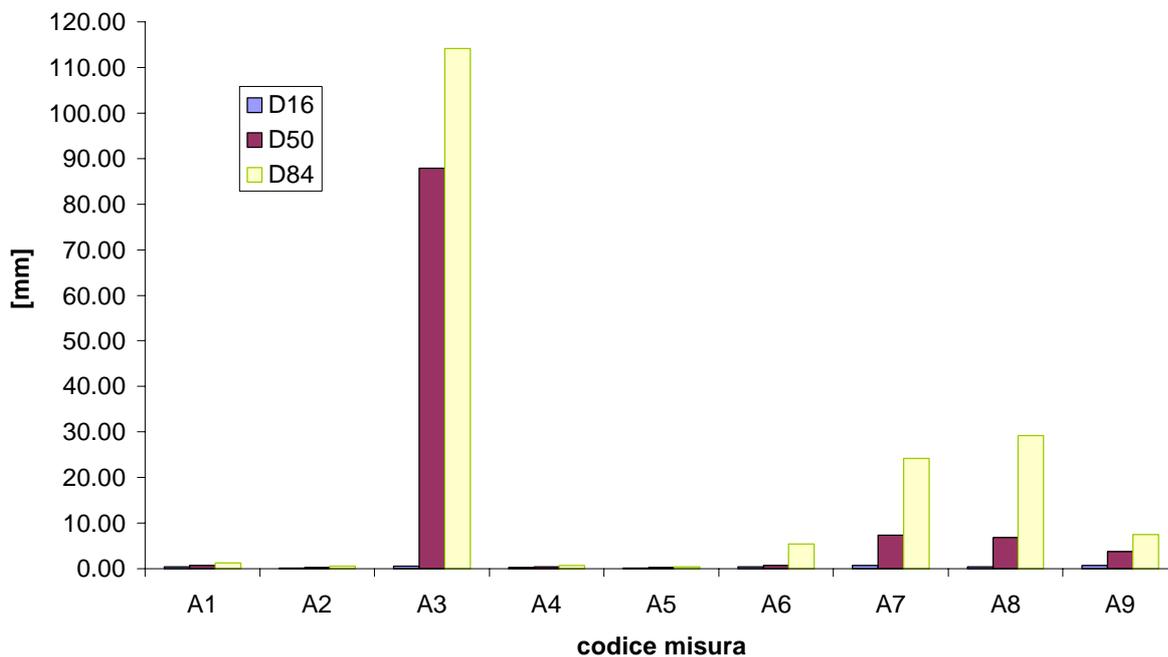


Figura 5-12: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

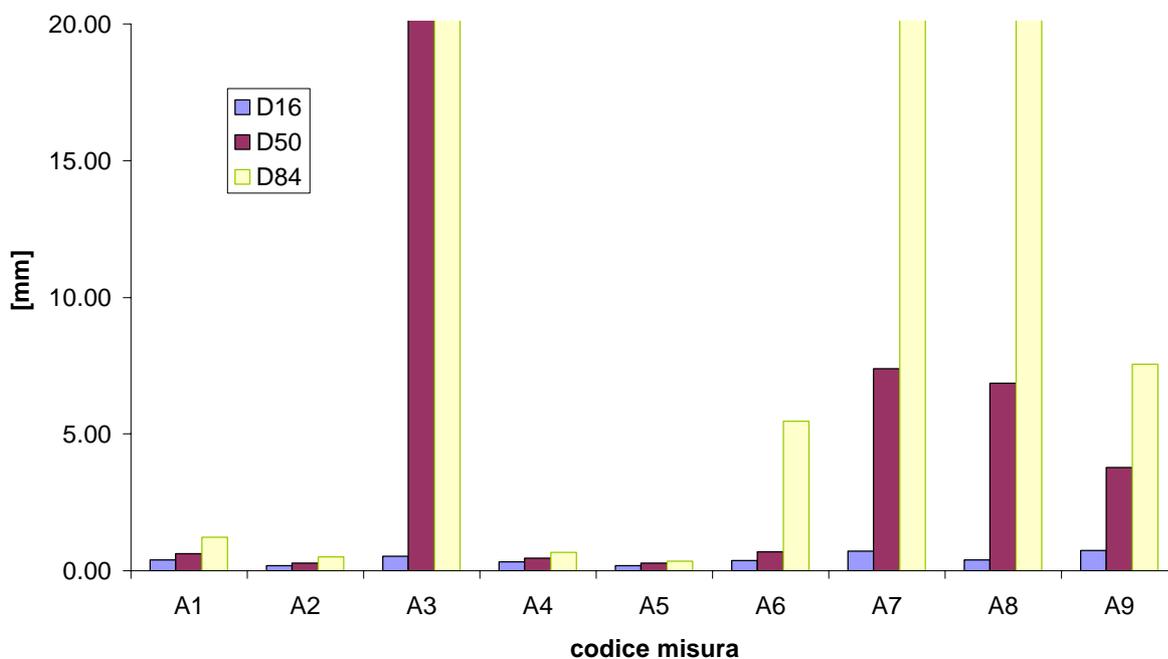


Figura 5-13: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure (scala ingrandita).

Per quanto riguarda i campioni dei sedimenti trasportati in sospensione, la concentrazione media dei sedimenti risulta variabile da un massimo di circa 0.92 g/l nella misura A-4 fino ad un minimo di circa 0.22 g/l nella misura A-1; si veda la Figura 5-14.

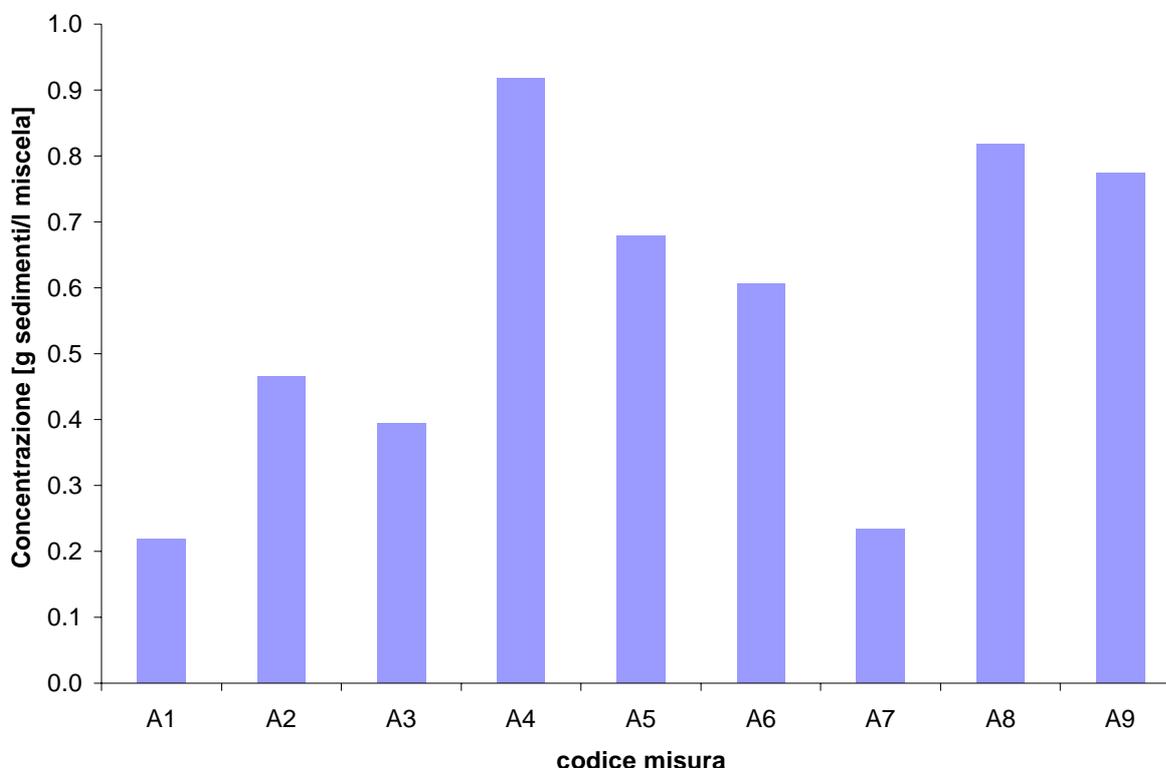


Figura 5-14: La concentrazione media dei sedimenti nei campioni di trasporto solido in sospensione nelle varie misure.

Inoltre l'analisi dei dati di laboratorio ha evidenziato anche in questo caso che i campioni raccolti in sospensione sono prevalentemente costituiti da sedimenti di tipo limoso-argilloso poiché il loro diametro risulta inferiore a 0.062mm (si veda la Figura 5-15), pertanto risulta che il trasporto in sospensione è per la quasi totalità (mediamente circa il 90%) associato alla componente di *wash-load*. La componente del trasporto in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi risulta riconducibile alla sospensione da *bed-material* cioè ai sedimenti presenti in alveo e contribuisce alla dinamica evolutiva del tratto fluviale.

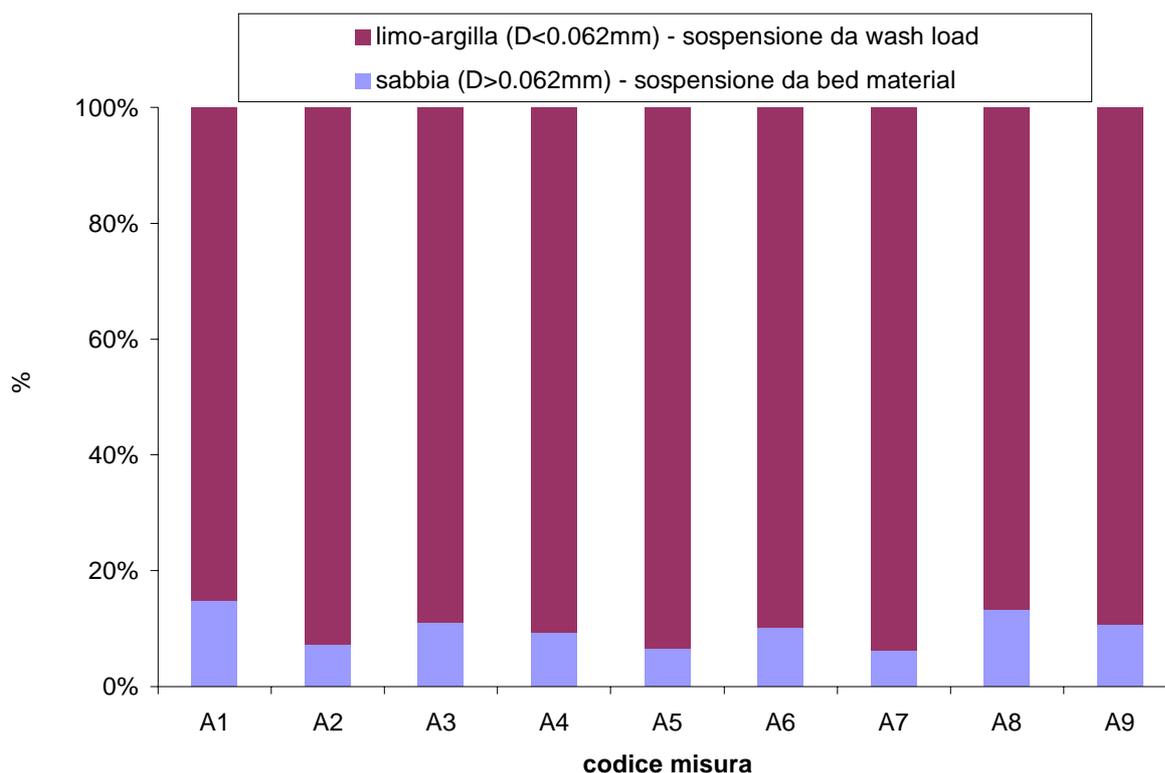


Figura 5-15: La composizione media dei campioni di sedimenti trasportati in sospensione.

La sintesi delle portate ottenute nei vari eventi di misura è riportata in Tabella 7-3.

Codice	Data	Profondità media [m]	Portata liquida (m ³ /s)	Portata solida al fondo (Kg/s)	Portata solida in sospensione sabbia (Kg/s)	Portata solida totale (Kg/s)	Portata wash load (Kg/s)
A-1	05/05/2010	1.71	200.32	0.085	5.85	5.85	32.76
A-2	02/11/2010	1.64	158.36	0.007	5.65	5.65	67.69
A-3	09/11/2010	2.14	253.17	0.138	14.54	14.68	88.58
A-4	10/11/2010	3.47	494.38	-	40.76	-	419.64
A-5	10/11/2010	3.33	504.03	-	22.36	-	321.96
A-6	10/11/2010	3.44	510.89	0.580	31.19	31.77	361.27
A-7	11/11/2010	2.11	228.18	0.273	3.27	3.54	49.62
A-8	22/11/2010	3.99	631.34	0.30	73.96	74.26	446.36
A-9	22/11/2010	3.85	596.40	0.382	51.7	52.08	407.04

Tabella 7-3. Fiume Arno: sintesi delle portate liquide e solide al fondo, in sospensione e totali stimate alla stazione di monitoraggio Nave di Rosano.

La Figura 5-16 mostra un confronto tra le portate solide al fondo e quelle in sospensione associate alla sola componente sabbiosa (sospensione da 'bed material') nelle varie misure; in tutte le misure effettuate la portata solida in sospensione risulta predominante.

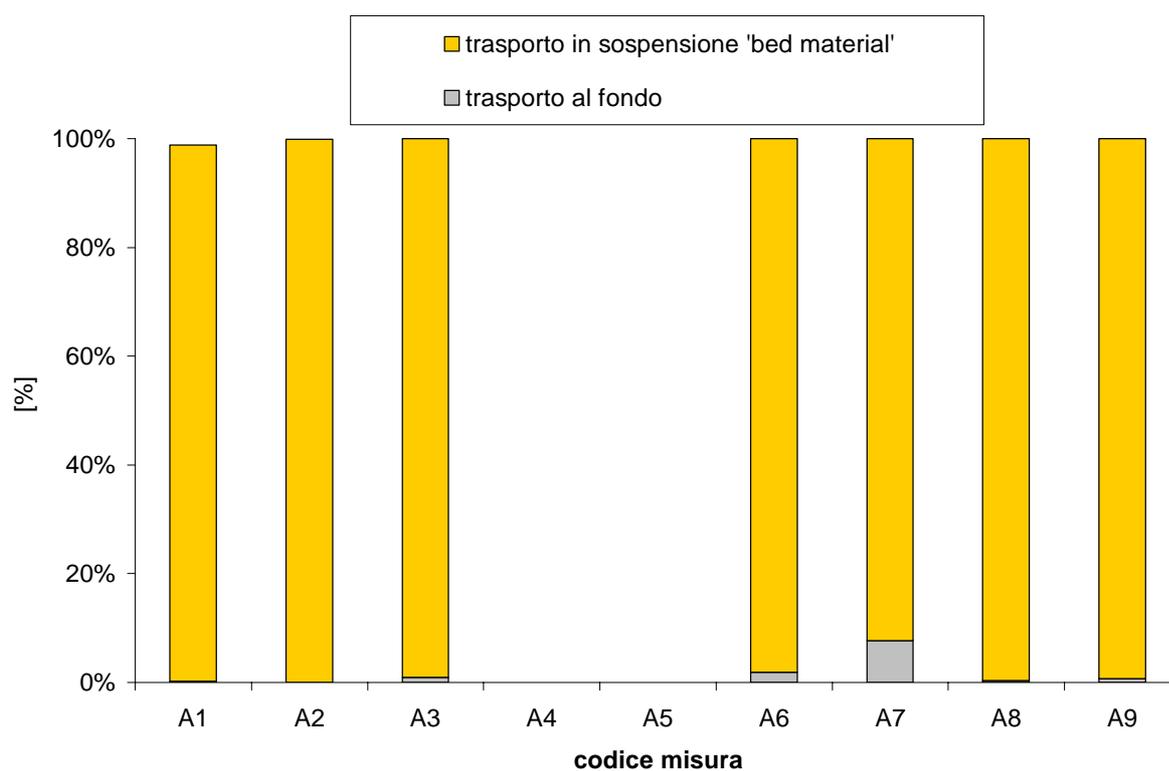


Figura 5-16: La composizione della portata solida totale, intesa come somma della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi, nelle varie misure.

6 SCALE DI DEFLUSSO

6.1 FIUME SERCHIO

6.1.1 Portate liquide sul Fiume Serchio

Le portate liquide misurate nella sezione di Ripafratta sono state correlate ai livelli registrati dall'idrometro della stessa sezione, riferiti al livello medio mare, al fine di ricavare una scala di deflusso nella forma $Q=b(H-H_0)^n$.

La funzione, ottenuta minimizzando lo scarto quadratico medio fra dati misurati e valori stimati, è mostrata in Figura 6-1, in confronto con le misure S1-S16.

In Figura 6-2 è mostrata la scala deflusso teorica presentata nella relazione tecnica finale relativa al progetto 'REALIZZAZIONE DEL PRIMO STRALCIO DELLA RETE DI MONITORAGGIO SU TRE CORSI D'ACQUA DELLA REGIONE TOSCANA', in confronto con tutte le misure effettuate, qui riportata ai fini di una maggiore continuità con la precedente relazione.

In Tabella 6-1, vengono presentati i valori numerici delle due scale di deflusso teoriche, quella attuale e quella utilizzata nel primo stralcio, relative alla sezione idrometrica di Ripafratta.

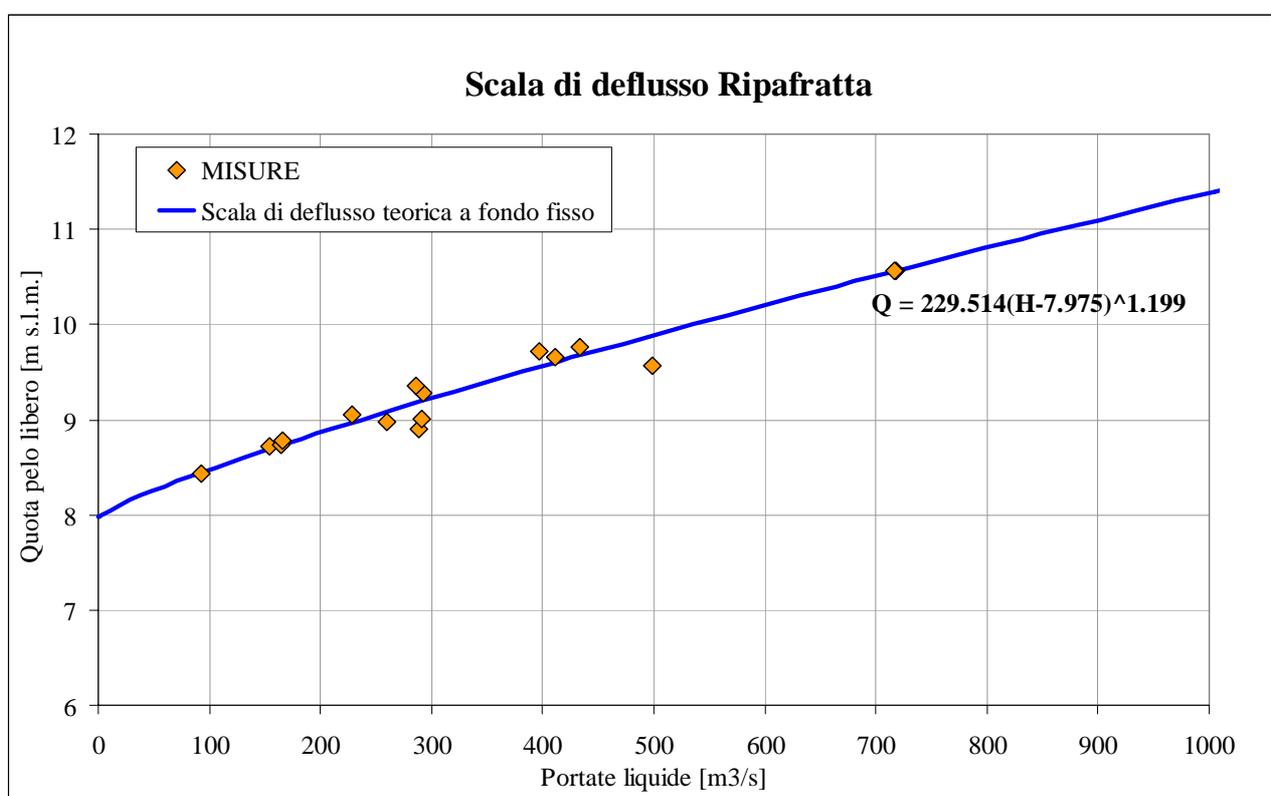


Figura 6-1: Confronto fra scala di deflusso liquida teorica e dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

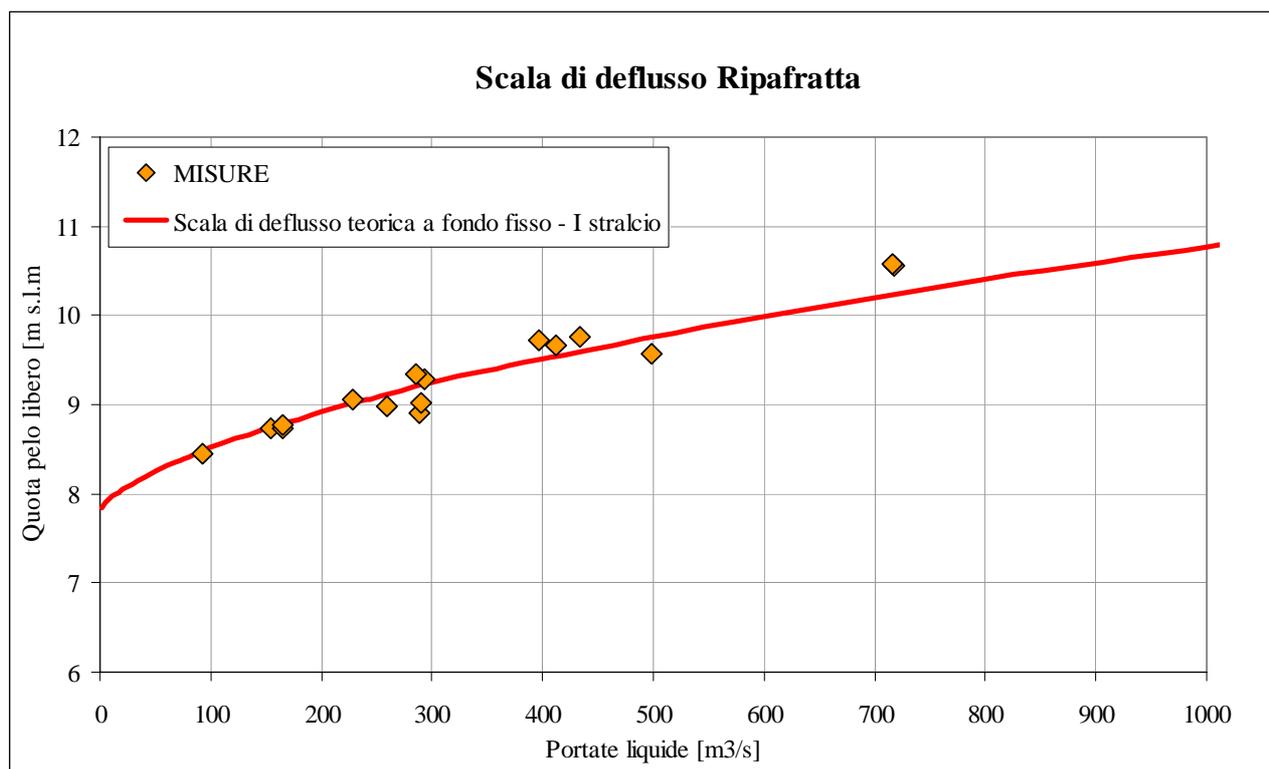


Figura 6-2: Confronto fra scala di deflusso liquida teorica e dati di campo, stazione di misura Ripafratta, utilizzata nel I stralcio.

Scala I stralcio		Scala Attuale	
Q [m3/s]	H _{slm} [m s.l.m.]	Q [m3/s]	H _{slm} [m s.l.m.]
2	7.85	2	7.99
5	7.9	5	8.02
8	7.93	8	8.04
10	7.96	10	8.05
18.5	8.04	18.5	8.10
20	8.05	20	8.11
40	8.19	40	8.21
60	8.31	60	8.30
73	8.38	73	8.36
80	8.42	80	8.39
100	8.52	100	8.48
200	8.92	200	8.87
234	9.03	234	8.99
248	9.08	248	9.04
300	9.24	300	9.23
349	9.38	349	9.39
400	9.52	400	9.56
600	9.99	600	10.20
800	10.4	800	10.81
1000	10.77	1000	11.39
1100	10.94	1100	11.67
1200	11.12	1200	11.95
1300	11.26	1300	12.22
1400	11.39	1400	12.49
1500	11.52	1500	12.76
1600	11.65	1600	13.02
1700	11.77	1700	13.28
1800	11.88	1800	13.54
1900	11.98	1900	13.80
2000	12.08	2000	14.06

Tabella 6-1: Fiume Serchio, sezione Ripafratta: scale di deflusso teoriche.

6.1.2 Portate solide sul Fiume Serchio

Analogamente a quanto fatto per le portate liquide, è stata ricavata una scala di deflusso delle portate solide nella forma $Q_{st} = b \cdot (Q - Q_0)^n$, a partire dall'interpolazione dei dati di campo misurati (Figura 6-3). L'equazione interpolante i dati è:

$$Q_{st} = \exp(-18.56) \cdot (Q + 0.354)^{3.683}$$

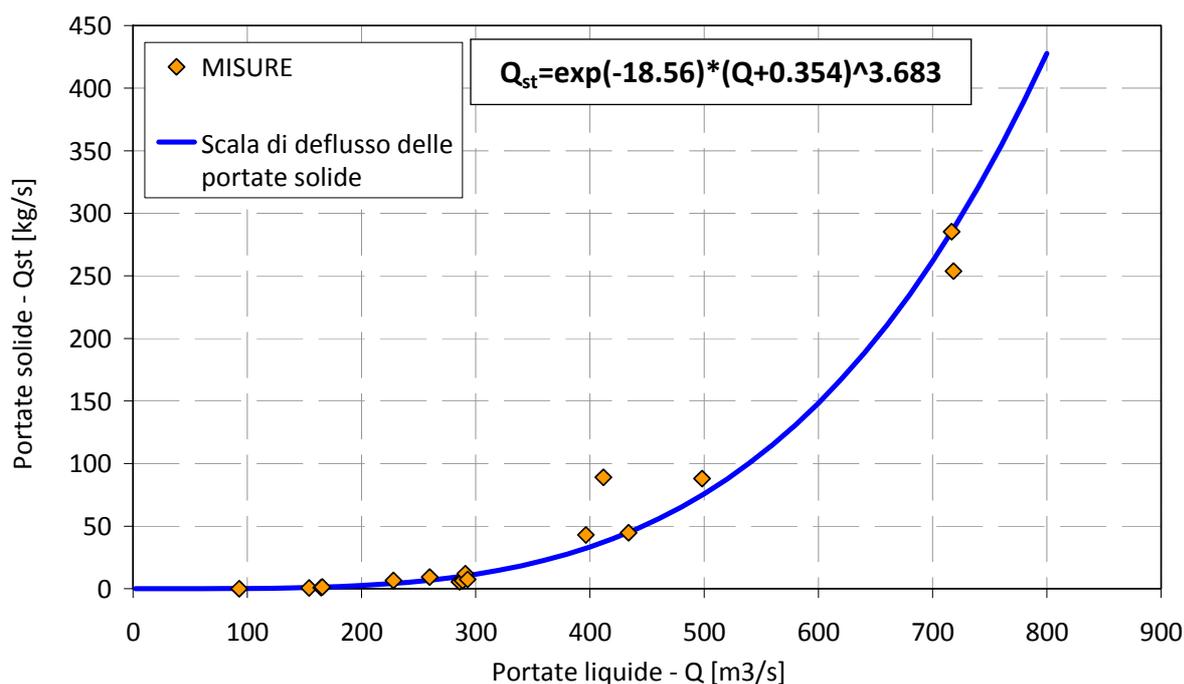


Figura 6-3: Scala di deflusso della porta solida totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

In Figura 6-4 si può osservare il confronto tra i dati di campo e la scala di deflusso teorica delle portate solide al fondo, per il F. Serchio alla sezione di Ripafratta.

La stima della scala di deflusso teorica è stata effettuata utilizzando le formule di Parker (1990), di Wilcock & Crowe (2003) e di Powell, Reid & Laronne (2001); i valori sono riportati in dettaglio in Tabella 6-2.

Dal confronto dei dati di campo con la scala di deflusso teorica si può osservare una certa fluttuazione delle portate solide al fondo misurate: in generale l'ordine di grandezza del trasporto al fondo è ben predetto dalla formula di Powell, Reid e Laronne e dalla formula di Parker, mentre l'altra formula costituisce un limite inferiore alla portata solida al fondo stimata. La dispersione dei valori di trasporto al fondo misurata può essere dovuta alle variazioni associate al trasporto al fondo

in concomitanza con il verificarsi di eventi di piena, infatti il trasporto al fondo è fortemente influenzato dalle variazioni di portata liquida che si verificano nel ramo ascendente e discendente di un idrogramma di piena, quali quelli verificatisi.

Inoltre si presume che il trasporto al fondo, prevalentemente sabbioso, che è stato misurato sul Fiume Serchio possa essere associato allo sviluppo e propagazione di forme di forme, quali le dune, che potrebbero giustificare le oscillazioni misurate della portata solida al fondo. Tale fenomeno comunque necessita di ulteriori e più accurate indagini, sia di campo che interpretative.

In Figura 6-5 si può osservare il confronto tra i dati di campo e la scala di deflusso teorica delle portate solide in sospensione, per il F. Serchio a Ripafratta.

La stima della scala di deflusso teorica è stata effettuata utilizzando le formule di Van Rijn (1984) e Smith & Mc Lean (1977); i valori sono riportati in dettaglio in Tabella 6-3.

Entrambe le formule di trasporto solido in sospensione predicano valori simili, e che ben interpretano i valori misurati direttamente. Contrariamente al trasporto al fondo, il trasporto solido in sospensione non presenta significative fluttuazioni, ma mostra un andamento crescente e ben correlato in funzione della portata liquida transitante.

Infine in Figura 6-6 si riporta la scala di deflusso teorica delle portate solide totali ricavata con la formula di Ackers & White (1973), modificata da White & Day (1982) per materiale d'alveo eterogeneo. La curva teorica è confrontata con il trasporto solido totale misurato dai dati di campo, come somma dei due contributi al fondo e in sospensione. Si può osservare come l'adattamento tra curva teorica e dati di campo sia decisamente buono, anche in considerazione del fatto che il trasporto in sospensione risulta generalmente predominante rispetto a quello al fondo.

In Tabella 6-4 sono riportati i valori numerici della scala teorica per il trasporto solido totale.

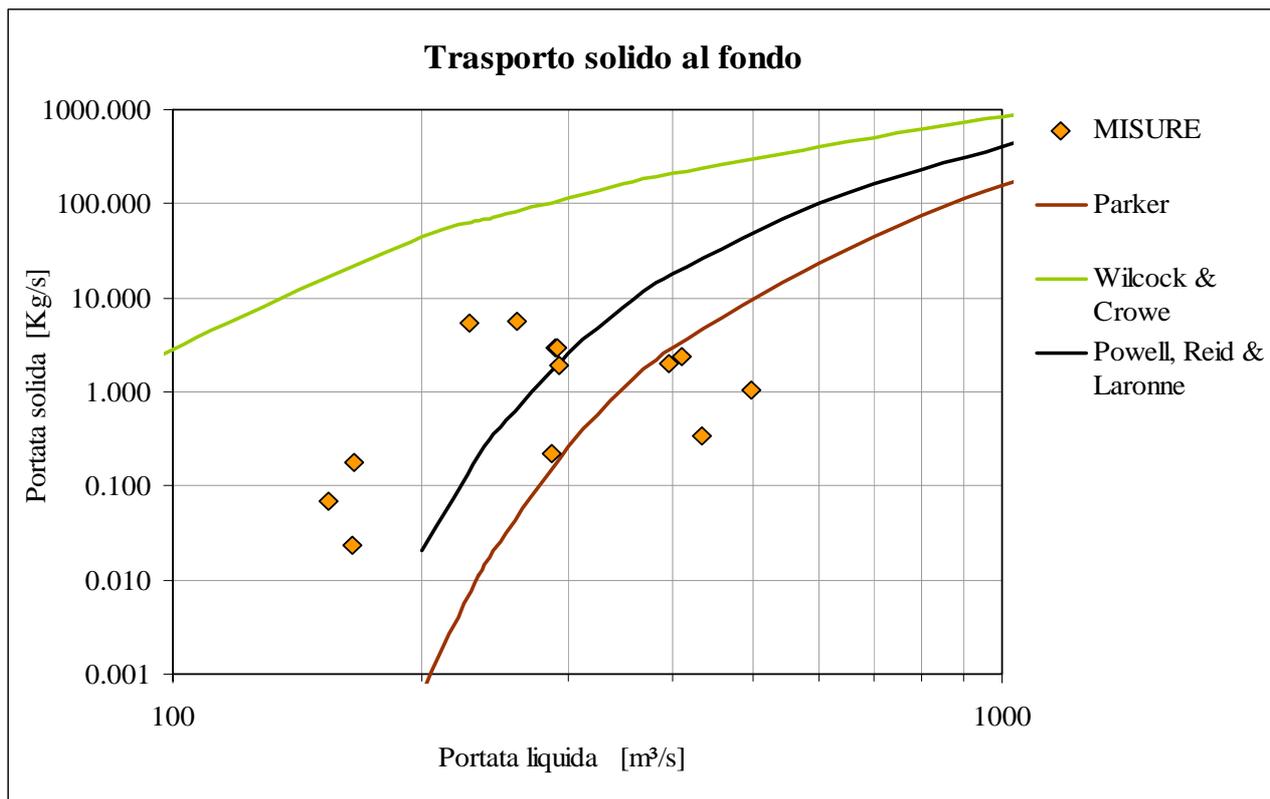


Figura 6-4: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

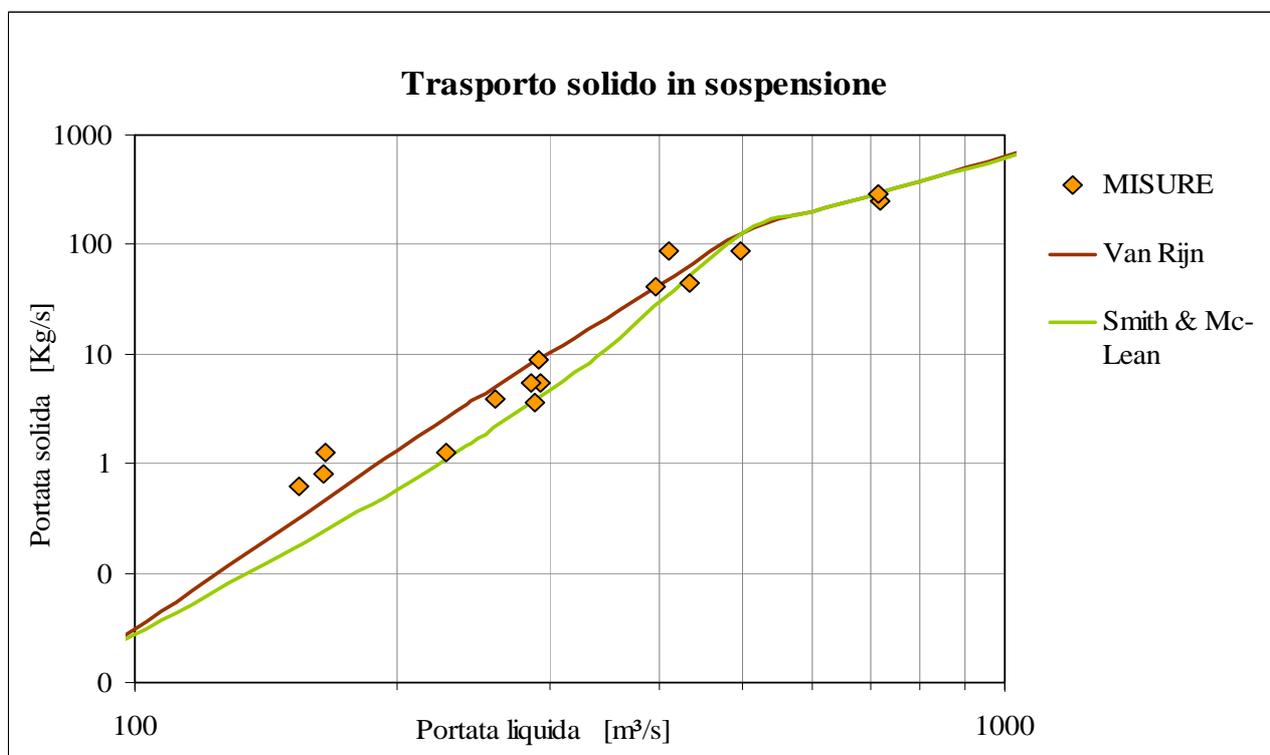


Figura 6-5: Scala di deflusso del trasporto solido in sospensione e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

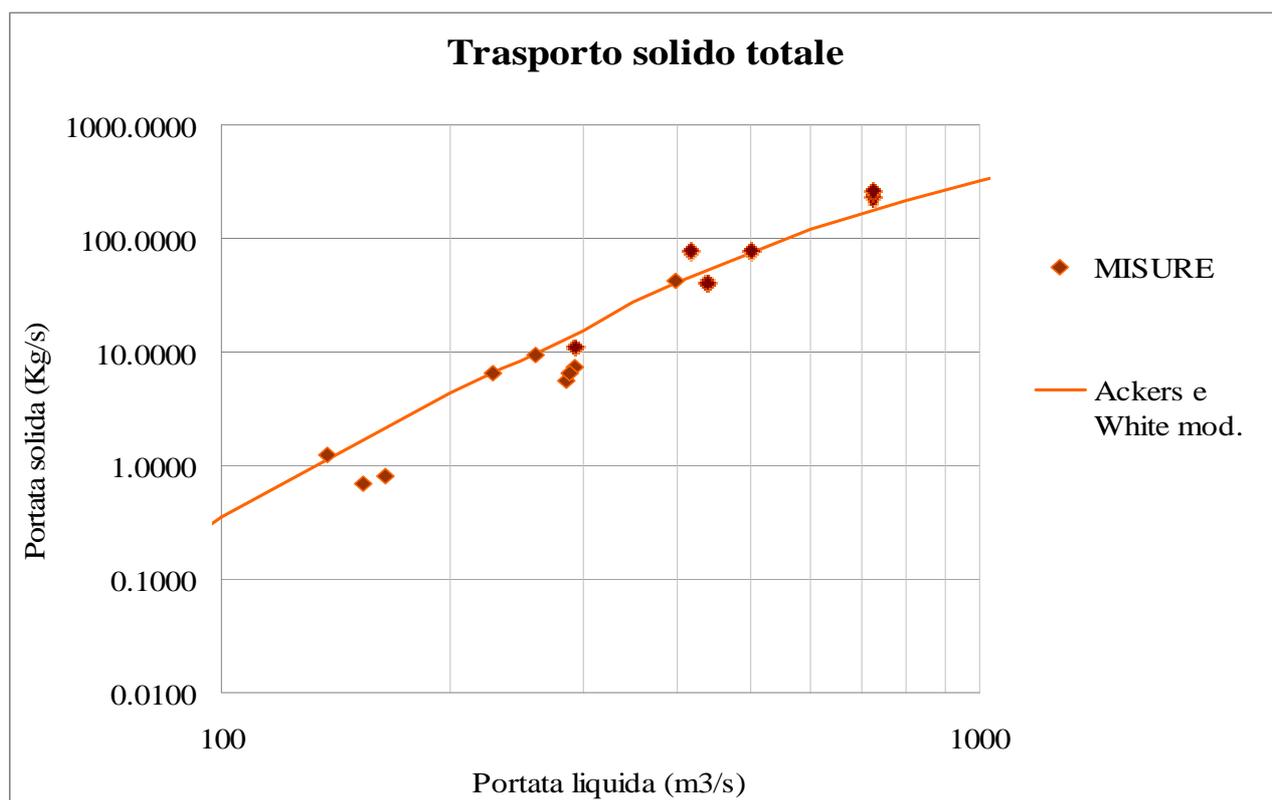


Figura 6-6: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

<i>Trasporto al fondo</i>			
Q [m³/s]	Qs W&C [Kg/s]	Qs Park [Kg/s]	Qs (P,R&L) [kg/s]
2	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000
18.5	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000
40	0.000	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.000
73	0.003	0.000	0.000
80	0.684	0.000	0.000
100	2.847	0.000	0.000
200	44.429	0.001	0.021
234	65.341	0.011	0.211
248	74.801	0.026	0.417
300	116.016	0.262	2.566
349	164.692	1.102	8.027
400	210.549	2.938	17.812
600	408.759	23.802	99.469
800	624.530	76.351	235.260
1000	845.240	158.791	402.820
1100	956.511	209.236	494.601
1200	1059.669	260.720	583.016
1300	1170.787	322.454	681.254
1400	1277.939	384.105	778.492
1500	1389.349	452.086	881.836
1600	1495.722	520.231	982.362
1700	1584.493	579.194	1067.479
1800	1672.643	639.352	1152.991
1900	1768.443	706.244	1246.939
2000	1869.337	778.039	1346.920

Tabella 6-2: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo, stazione di misura Ripafratta.

<i>Trasporto in sospens.</i>		
Q [m³/s]	Qss Van Rijn [Kg/s]	Qss S&M [Kg/s]
2	0.000	0.000
5	0.000	0.000
8	0.000	0.000
10	0.000	0.000
18.5	0.000	0.000
20	0.000	0.000
40	0.000	0.000
60	0.004	0.005
73	0.008	0.009
80	0.011	0.013
100	0.030	0.027
200	1.287	0.568
234	2.954	1.256
248	3.981	1.701
300	10.198	4.756
349	20.897	11.317
500	125.678	127.514
600	199.288	202.474
800	377.125	375.429
1000	626.432	623.841
1100	765.478	767.010

Tabella 6-3: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo, stazione di misura Ripafratta.

<i>Trasporto totale</i>	
Q [m ³ /s]	Qs [Kg/s]
2	0.000
5	0.000
8	0.000
10	0.000
18.5	0.000
20	0.000
40	0.000
60	0.017
73	0.073
80	0.123
100	0.354
200	4.349
234	7.050
248	8.381
300	15.230
349	27.240
400	41.542
600	119.372
800	214.718
1000	321.082
1100	373.930
1200	415.664
1300	464.960
1400	517.659
1500	584.181
1600	663.633
1700	725.080
1800	762.319
1900	790.240
2000	852.643

Tabella 6-4: Scala di deflusso del trasporto solido totale, stazione di misura Ripafratta

6.1.3 Scale di deflusso a fondo mobile

La determinazione delle scale di deflusso a fondo mobile è stata eseguita impiegando il modello numerico idro-morfodinamico SNUMB (si veda il paragrafo 3.2.2 della relazione 'Realizzazione del primo stralcio della rete di monitoraggio su tre corsi d'acqua della Regione Toscana, Parte I – Metodologie'). Le simulazioni di moto vario sono state effettuate utilizzando un idrogramma sintetico, nella fattispecie l'idrogramma di piena relativo all'evento con tempo di ritorno 2 anni, valutando le variazioni morfodinamiche che si verificano durante il passaggio dell'onda di piena.

Le simulazioni sono state condotte sulla base della geometria risultante dal rilievo ottenuto nel corso della campagna topografica condotta dalla Regione Toscana (Area Monitoraggio Idropluviometrico e Mareografico - Ufficio di Pisa) rilevate in data 3/06/03 per il tratto che va da Nozzano alla traversa di Ripafratta.

Il tratto di corso d'acqua modellato, di circa 1000 m, è stato schematizzato mediante 25 sezioni ($\Delta x_{max} = 50$ m, $\Delta x_{min} = 9.5$ m). Il diametro mediano, D_{50} , del materiale costituente l'alveo è stato assunto pari a 0.0013 m, mentre la porosità dei sedimenti è stata posta pari a 0.3. Il coefficiente di Manning è stato assunto pari a $0.019 \text{ s/m}^{1/3}$.

Nelle simulazioni condotte utilizzando il modello proposto, il valore N_{CFL} è stato posto pari a 0.9, e, per semplicità e senza perdita di generalità, il coefficiente di contrazione c_c è stato posto pari a 1, pertanto l'area nella sezione contratta di un ponte coincide con l'area della luce del ponte stesso.

Le condizioni al contorno imposte riguardano la portata in ingresso, la quota del fondo a monte del tratto analizzato e a valle in corrispondenza della traversa l'altezza d'acqua critica.

La formula impiegata per la valutazione della capacità di trasporto totale è la formula di Ackers & White (1973).

Per un più facile confronto con quanto già riportato nella relazione tecnica del primo stralcio, in questa sede vengono riportate le stesse simulazioni là presentate.

In Figura 6-8 e Figura 6-8 sono riportate rispettivamente le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo mobile per la stazione di misura Ripafratta e il confronto con i dati di campo. Come evidenziato dalle figure, il modello numerico a fondo mobile fornisce un'ottima stima dei valori di portata liquida e solida totale che transitano in alveo per i bassi valori di portata, mentre le portate maggiori, misurate nel corso del secondo stralcio, non sono descritte dalle simulazioni effettuate, essendo probabilmente legate a tempi di ritorno dell'evento maggiori rispetto all'evento sintetico simulato e quindi a cappi di piena più ampi.

In Figura 6-9 ed in Figura 6-10 sono riportati rispettivamente i confronti tra le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo fisso (nella versione presentata nella relazione del primo stralcio) e a fondo mobile per la stazione di misura Ripafratta e il confronto con i dati di campo. Anche in questo caso l'introduzione dei valori relativi alle nuove misure introduce un certo errore nella stima delle portate, specialmente ai valori più elevati.

In Figura 6-8 ed in Figura 6-10 è riportata anche la misura della portata liquida effettuata dal Dott. Lorenzini in data 18/01/08 per conto del Servizio Idrologico Regionale (comunicazione interna): la distribuzione di dettaglio dei valori di velocità nella sezione di Ripafratta è riportata in Figura 6-11.

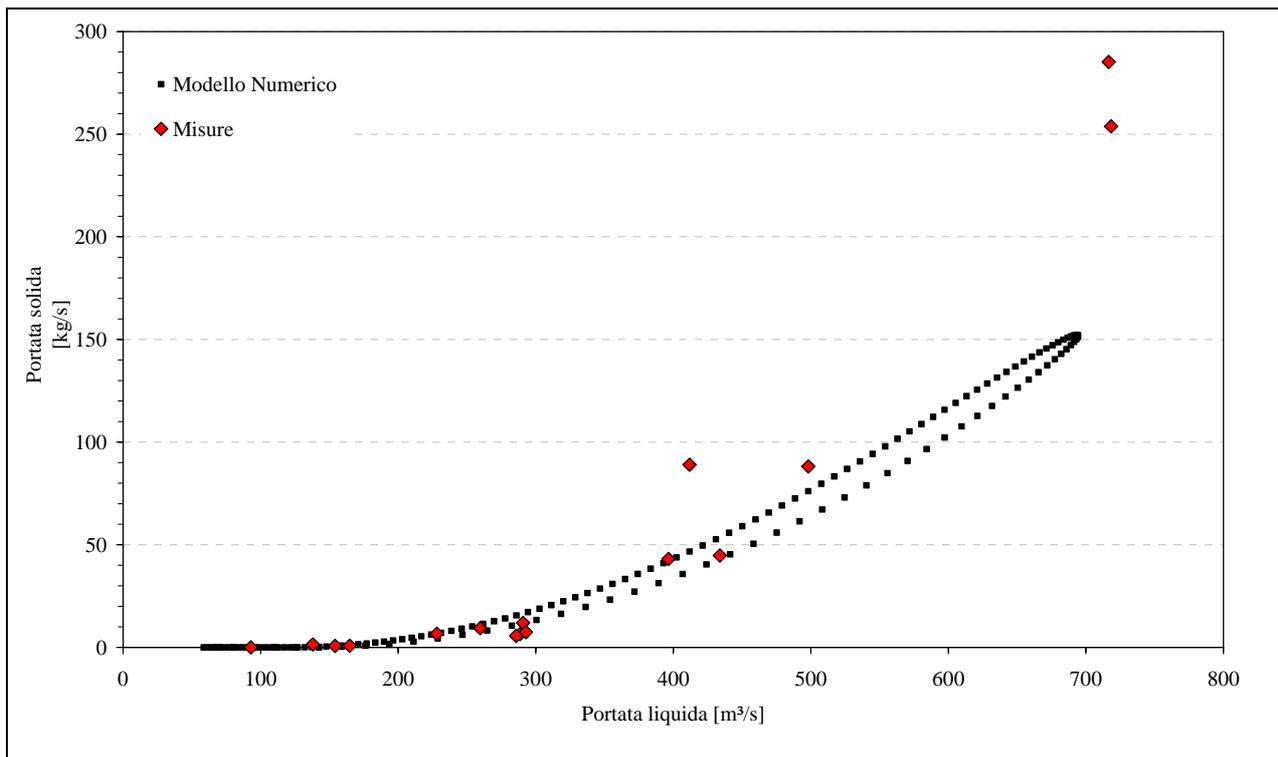


Figura 6-7: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

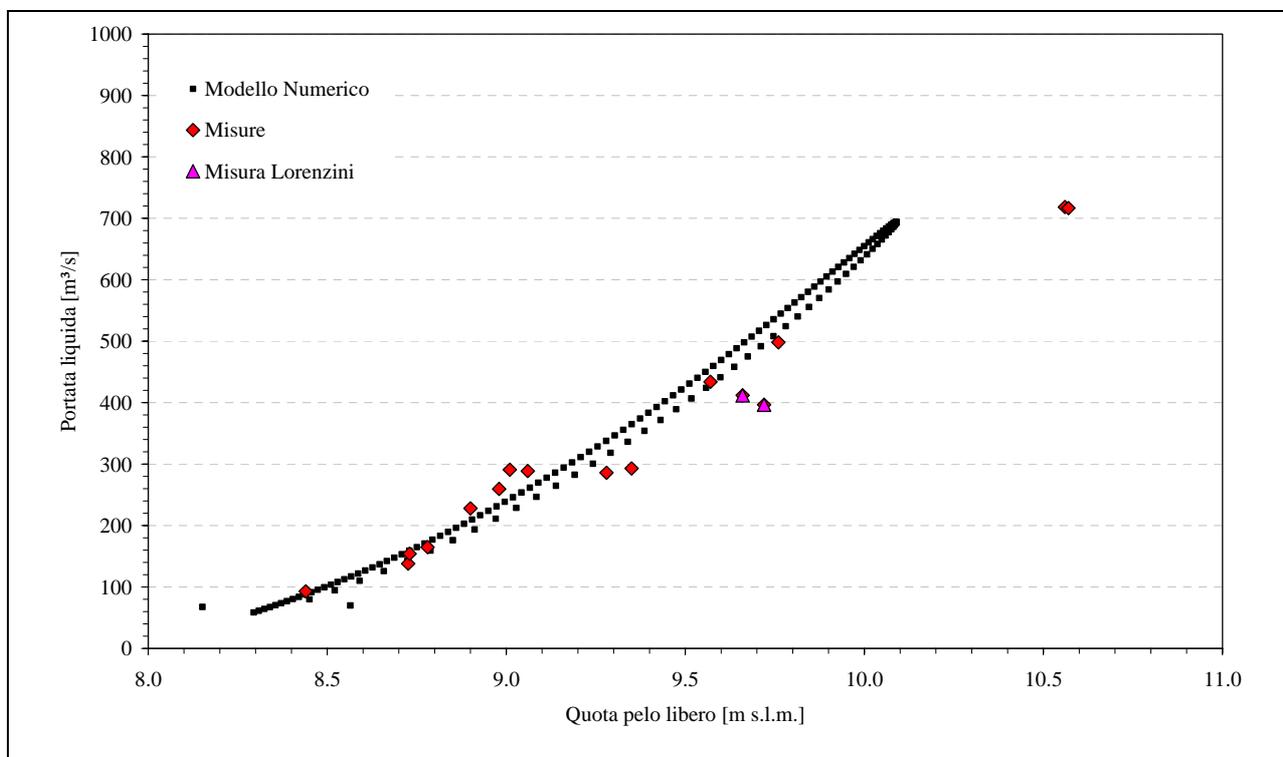


Figura 6-8: Scala di deflusso delle portate liquide confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

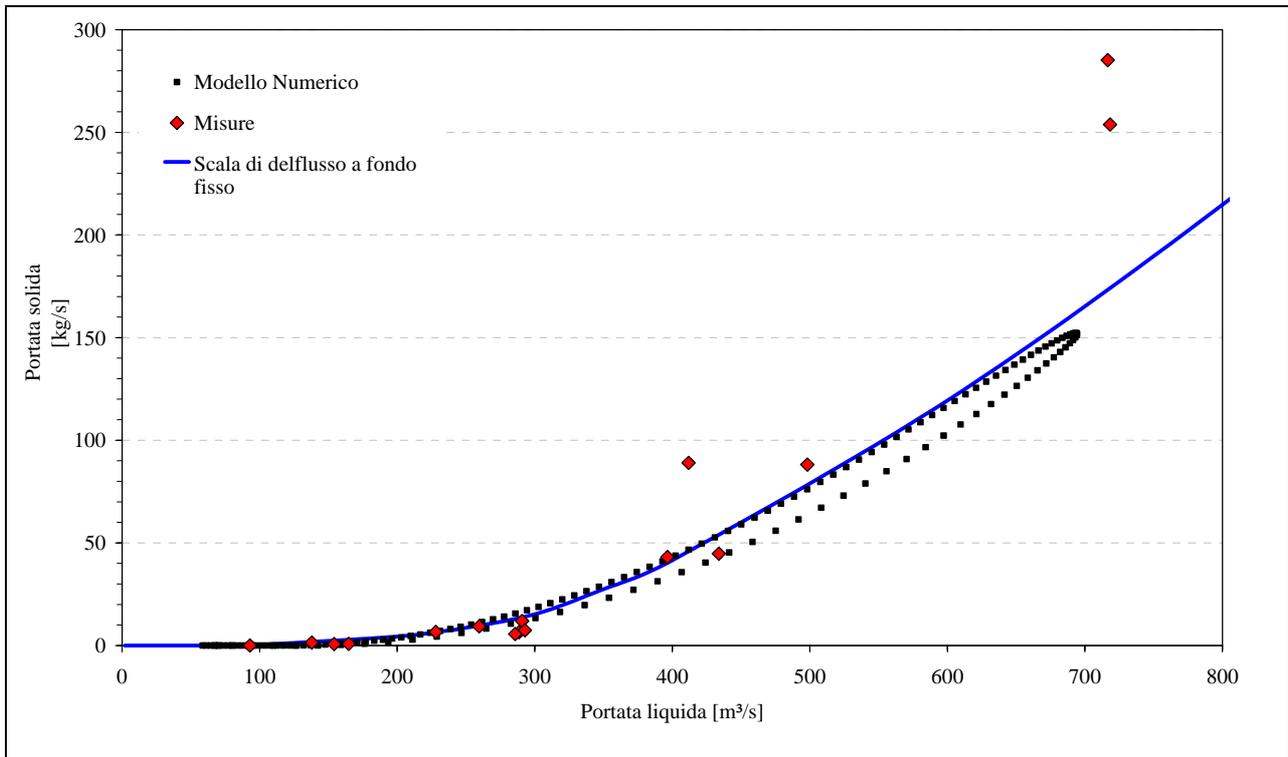


Figura 6-9: Scala di deflusso del trasporto solido totale a fondo fisso e mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

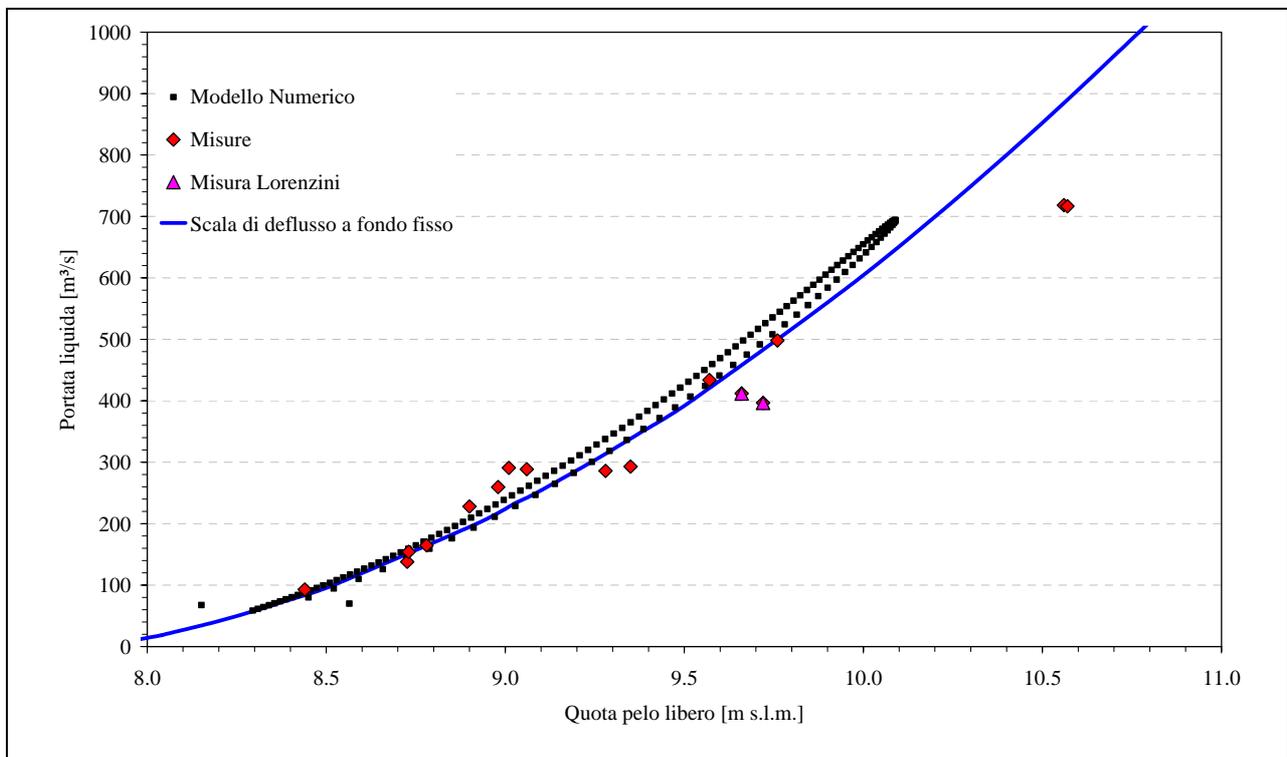


Figura 6-10: Scala di deflusso delle portate liquide a fondo fisso e a fondo mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

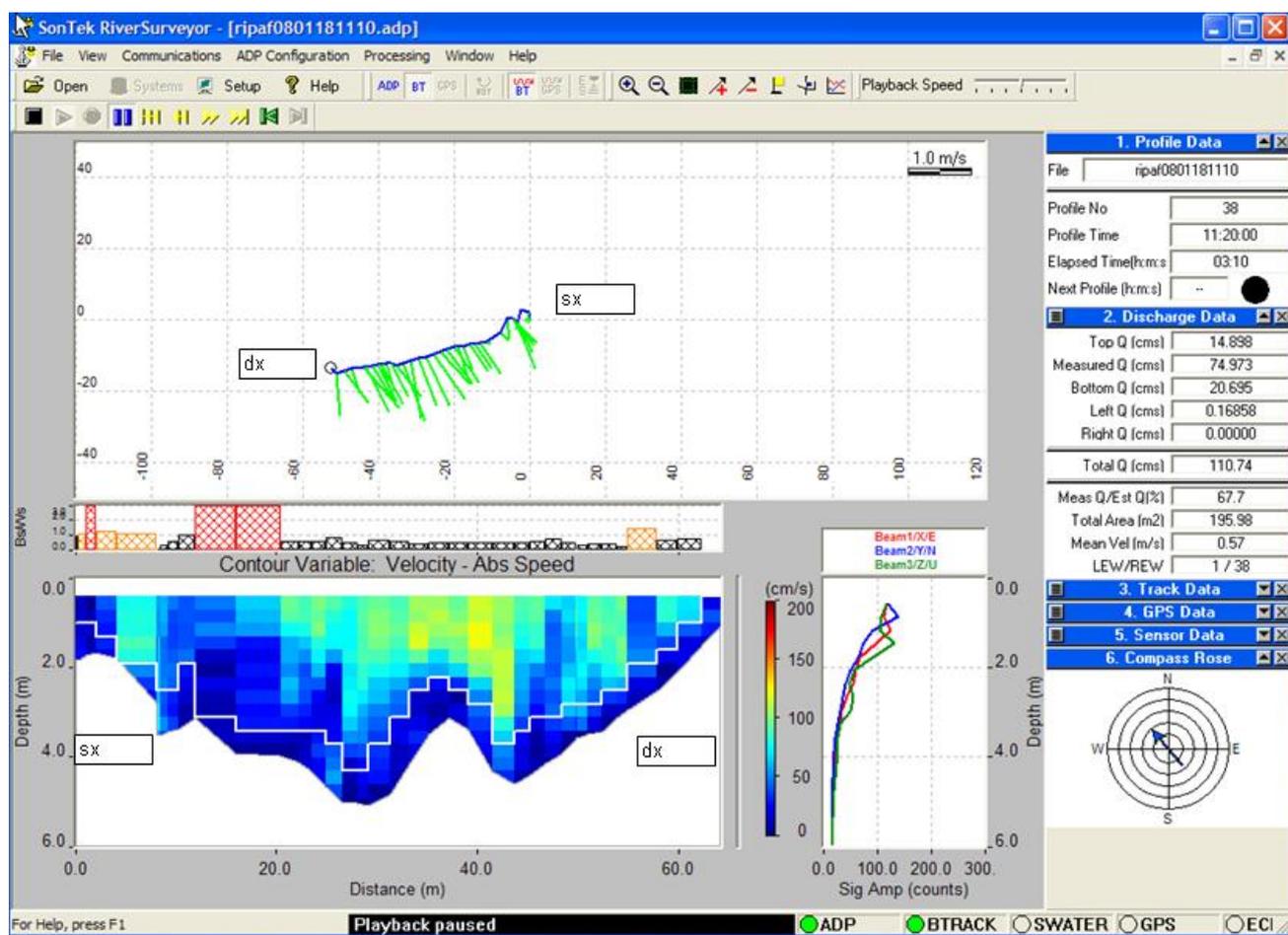


Figura 6-11: Misura di portata e velocità nella stazione di Ripafratta effettuata dal Dott. Lorenzini in data 18/01/08.

6.2 FIUME VERSILIA

La determinazione delle scale di deflusso a fondo mobile è stata eseguita impiegando il modello numerico idro-morfodinamico SNUMB (si veda il paragrafo 3.2.2 della relazione 'Realizzazione del primo stralcio della rete di monitoraggio su tre corsi d'acqua della Regione Toscana, Parte I – Metodologie').

Le simulazioni sono state condotte utilizzando i dati geometrici risultanti dal rilievo ottenuto nel corso della campagna topografica condotta dall'*Ufficio Regionale per la Tutela delle dell'Acqua e del Territorio di Lucca* nel giugno del 2006. Il tratto di corso d'acqua modellato, costituito dagli ultimi 6200 m del Fiume Versilia, è stato schematizzato mediante 82 sezioni ($\Delta x_{max} = 325$ m, $\Delta x_{min} = 0.5$ m). Nelle simulazioni condotte utilizzando il modello proposto, il valore N_{CFL} è stato posto pari a 0.9.

La capacità di trasporto totale (somma di quella al fondo e di quella in sospensione associata alla sabbia presente in alveo) è stata stimata mediante la formula di Ackers & White (1973) e successivamente modificata da Day (1980). Il calcolo è stato effettuato per frazioni granulometriche in modo tale da tenere in conto dell'effetto dell'eterogeneità dei sedimenti sul trasporto solido. I percentili caratteristici utilizzati nelle formule sono stati ricavati dalla distribuzione granulometrica del sottostrato, ed in particolare $D_{84}=99.8$ mm, $D_{50}=11.5$ e $D_{16}=1$ mm. La porosità dell'ammasso dei sedimenti è stata posta pari a 0.3. Il coefficiente di Manning è stato stimato con la formula di Strickler utilizzando il D_{90} dei sedimenti presenti nello strato superficiale, il valore assunto è 0.028 s/m^{1/3}. Le condizioni al contorno imposte riguardano la portata in ingresso, la quota del fondo nella sezione al contorno di monte del tratto analizzato e la quota della superficie libera nella sezione al contorno di valle, che è stata posta pari a 0 sul livello medio mare.

Le simulazioni numeriche sono state condotte in condizioni di moto vario e fondo mobile e sono state effettuate imponendo come condizioni al contorno di monte gli idrogrammi sintetici ottenuti mediante il software AlTo per diversi tempi di ritorno (figura 6-12). Un esempio di risultato ottenuto mediante il modello idro-morfodinamico a risoluzione numerica è riportato in figura 6-13 in cui è rappresentato l'involuppo dei colmi dei livelli idrici e le variazioni della quota del thalweg nelle varie sezioni trasversali durante il passaggio di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni. Si noti che la dinamica altimetrica risulta limitata a brevi tratti situati nella zona fociva e nella parte medio alta del tratto in esame. In particolare, ad una distanza di circa 1.5km dal sezione al contorno di monte si assiste ad un deposito di circa 0.5m distribuito su un tratto lungo circa 450 m.

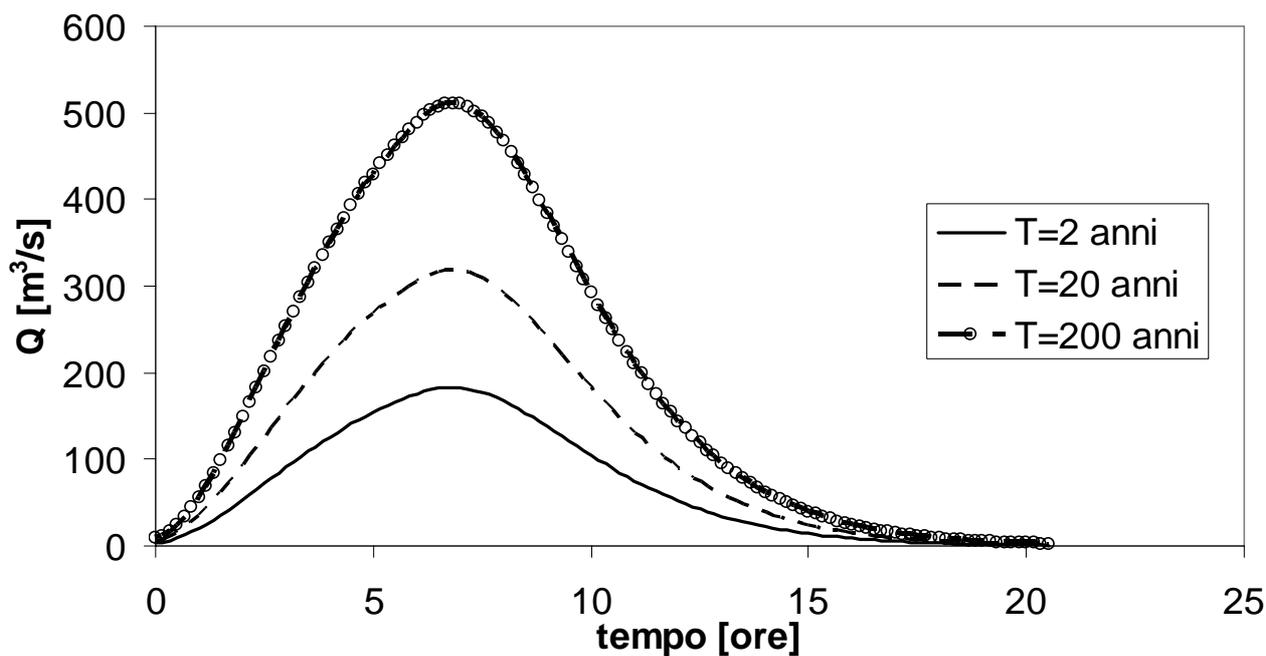


Figura 6-12: Idrogrammi di piena impiegati nelle simulazioni numeriche ed imposti nella sezione al contorno di monte.

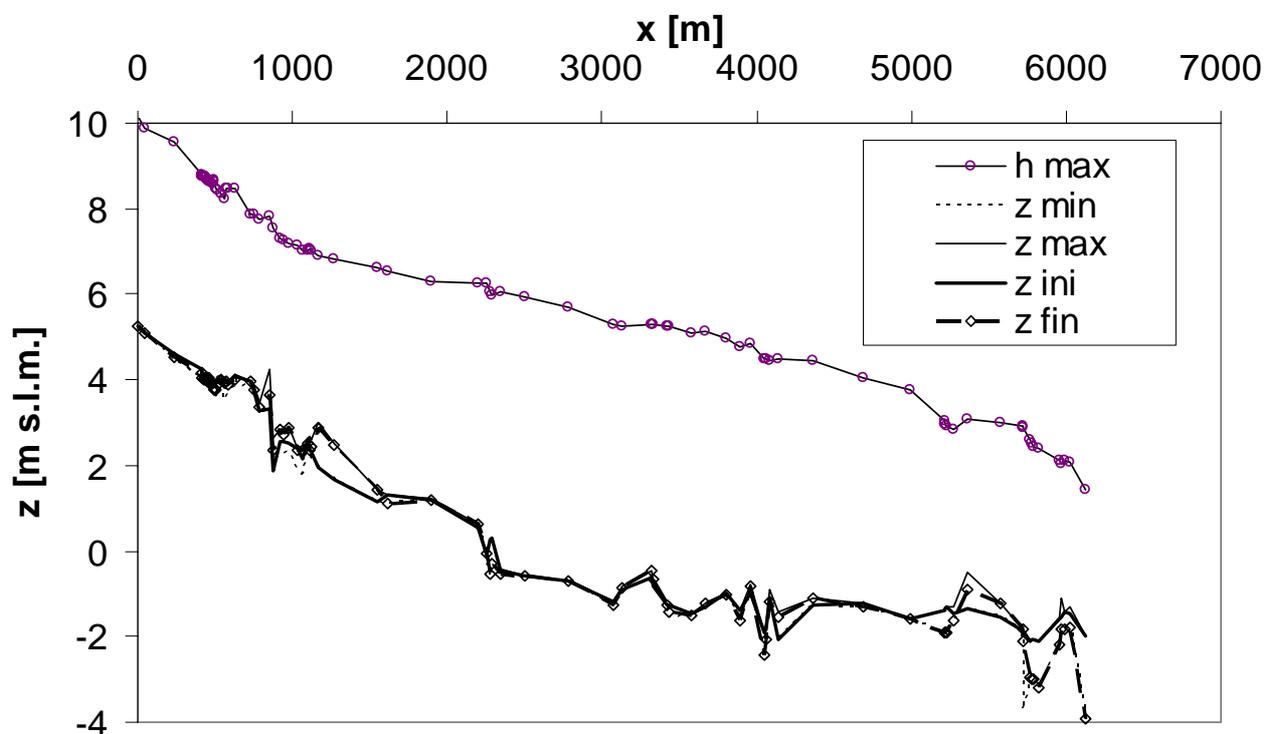


Figura 6-13: Profilo longitudinale a) dell'involuppo dei colmi del livello del pelo libero, b) della quota del thalweg iniziale, finale, minima e massima a seguito di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Le simulazioni numeriche hanno permesso di ottenere le scale di deflusso delle portate liquide e delle portate solide nella stazione di monitoraggio. In figura 6-14 è riportata la scala di deflusso delle portate liquide, i risultati mostrano che il modello numerico fornisce una buona interpretazione delle misure condotte. Gli effetti legati alla non stazionarietà del moto appaiono piuttosto modesti, infatti anche nel caso di un evento di piena con un tempo di ritorno di 20 anni l'estensione del cappio di piena appare molto contenuta ed il legame portate liquide- livelli appare pressoché biunivoco.

Per poter sviluppare un confronto tra le portate solide predette dal modello numerico e quelle calcolate con le misure di campo, è necessario effettuare una stima della portata solida al fondo per la misura V8 durante la quale era stato possibile effettuare dei campionamenti della sola componente in sospensione. A tal fine sono state applicate diverse formule che permettono un calcolo del trasporto solido di fondo frazionario considerando il carattere eterogeneo dei sedimenti. Le formule applicate sono state Ashida & Michiue (1972); Parker (1990) Wilcock & Crowe (2003) ed i risultati sono illustrati in figura 6-15. Il confronto con le misure di campo mostra che le varie formule forniscono complessivamente un'interpretazione soddisfacente. La portata solida associata alla misura V8 è stata stimata effettuando una media dei valori predetti dalle tre formule impiegate in corrispondenza del parametro di Shields (si veda la linea verticale tratteggiata in figura 6-15) calcolato con le tensioni al fondo fornite dal modello numerico per la portata liquida associata alla misura V8. Il valore del trasporto solido di fondo così ottenuto risulta pari a 91 kg/s.

In figura 6-16 è illustrata la scala di deflusso che mette in relazione la portata solida totale con la portata liquida. In questo caso gli effetti della non stazionarietà del moto appaiono non trascurabili nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno 20 anni, ciò è dovuto al fatto che le formule di trasporto solido risultano non lineari rispetto alla tensione esercitata dalla corrente sul fondo; quest'ultima risulta funzione non soltanto dalla portata liquida in transito ma anche delle fase temporale (ascendente/discendente) dell'idrogramma di piena. Il confronto con le portate solide stimate dai dati di campo appare soddisfacente.

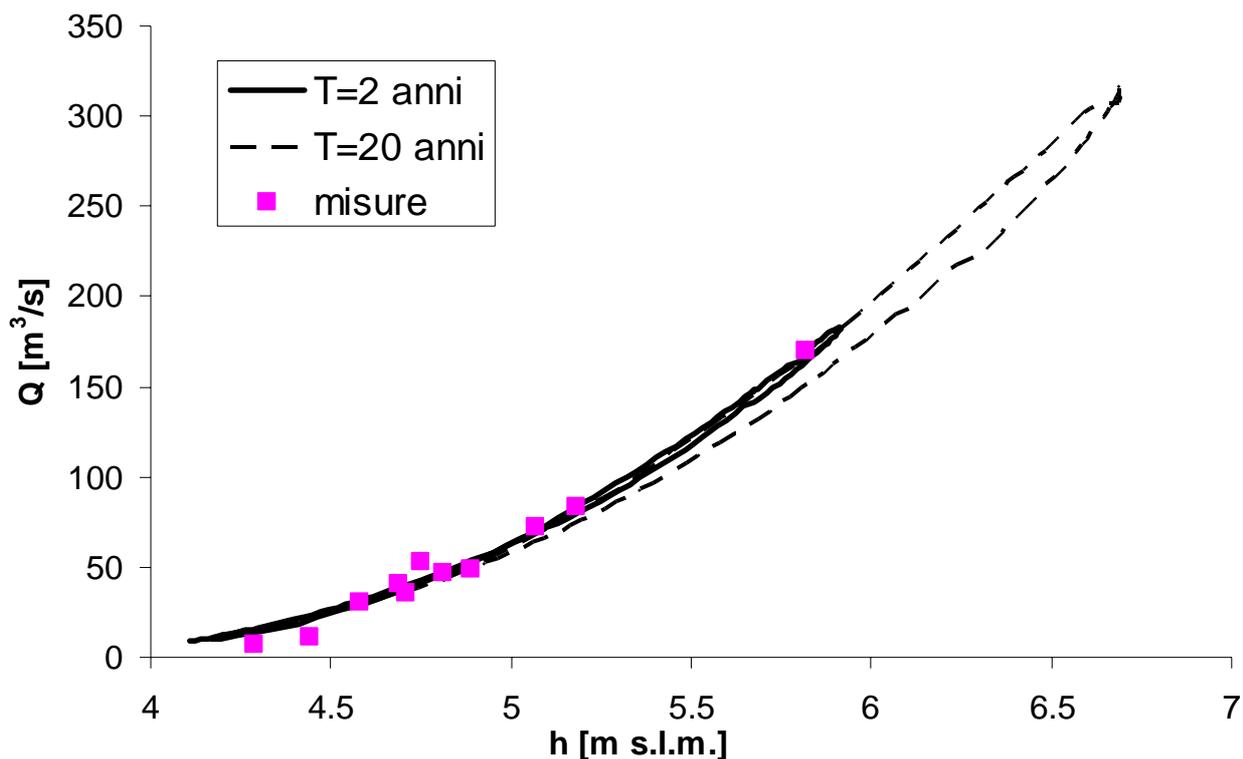


Figura 6-14. La scala di deflusso delle portate liquide nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 2 e 20 anni e confronto con le misure di campo.

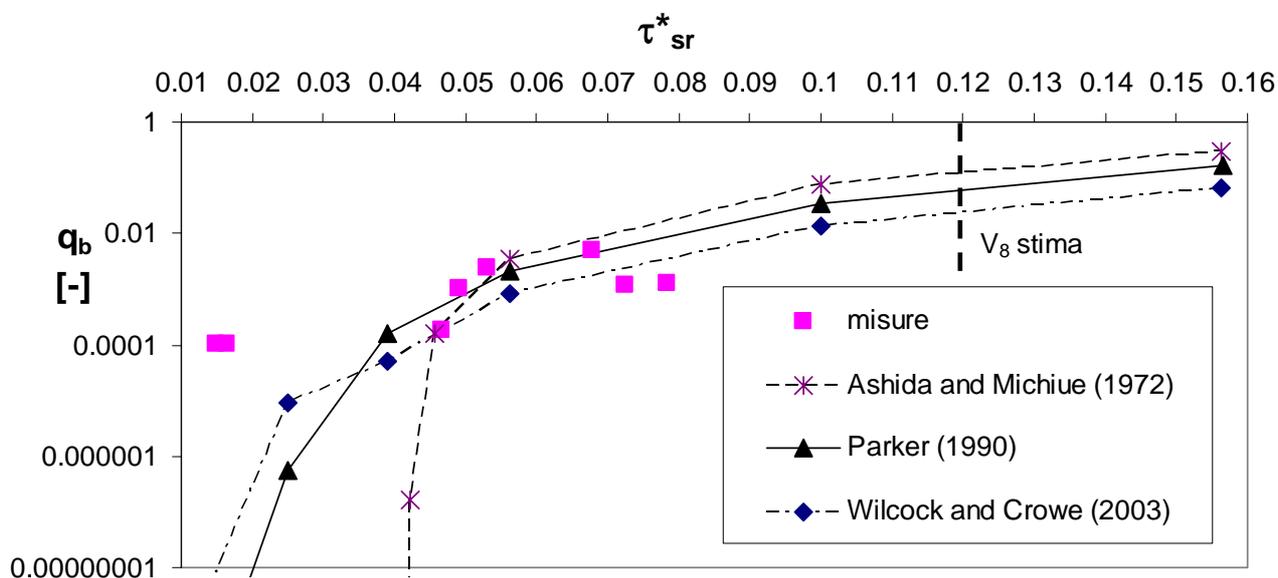


Figura 6-15: La portata solida al fondo adimensionale in funzione del parametro di Shields secondo diverse formule e confronto con le misure di campo.

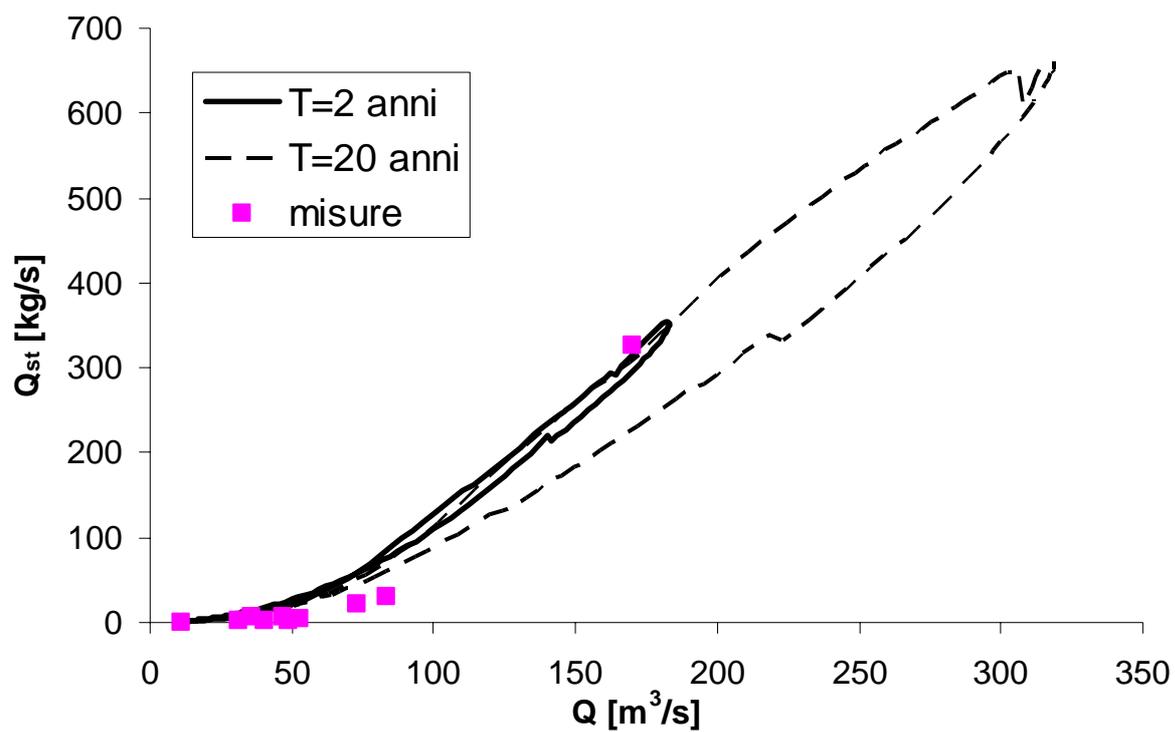


Figura 6-16: La scala di deflusso delle portate solide nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 2 e 20 anni e confronto con le misure di campo.

6.3 FIUME ARNO

6.3.1 Scale di deflusso a fondo fisso

Le scale di deflusso liquide a fondo fisso sono state ricavate mediante una modellazione idrodinamica in moto vario uni-dimensionale (Hec-Ras). Il rilievo utilizzato è stato fornito dal Servizio Idrologico Regionale – Regione Toscana, ed è stato effettuato nell'anno 2002 per conto del *Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Toscana*: il tratto simulato è costituito da 28 sezioni per una lunghezza complessiva di 3.556 km (Figura 6-17: Planimetria del tratto inserito in HEC-RAS, dalla sezione di monte (687) a quella di valle (666)).



Figura 6-17: Planimetria del tratto inserito in HEC-RAS, dalla sezione di monte (687) a quella di valle (666).

La simulazione in moto vario è stata effettuata inserendo come condizione al contorno di monte l'idrogramma di piena con tempo di ritorno pari a 2 anni calcolato mediante ALTO (Figura 6-18), e come condizione al contorno di valle è stata utilizzata la profondità di moto uniforme, corrispondente ad una pendenza media del tratto di circa 0.0024.

Dato che la stazione di monitoraggio del trasporto solido (situata in corrispondenza della sezione n° 678 del rilievo topografico) dove sono state effettuate le misure è posizionata circa 20 metri a monte rispetto all'idrometro (situato in corrispondenza della sezione n° 676 del rilievo topografico), e dato che il profilo idraulico nella sezione dove sono state effettuate le misure risulta influenzato dalla presenza del ponte, per il calcolo delle scale di deflusso si è fatto riferimento alla sezione in cui è posizionato l'idrometro (Figura 6-19). Si può infatti supporre che in tale tratto il Fiume Arno si trovi in equilibrio, e che la portata liquida e la portata solida si conservino tra le due sezioni, poiché la distanza intercorrente tra le due sezioni è molto piccola.

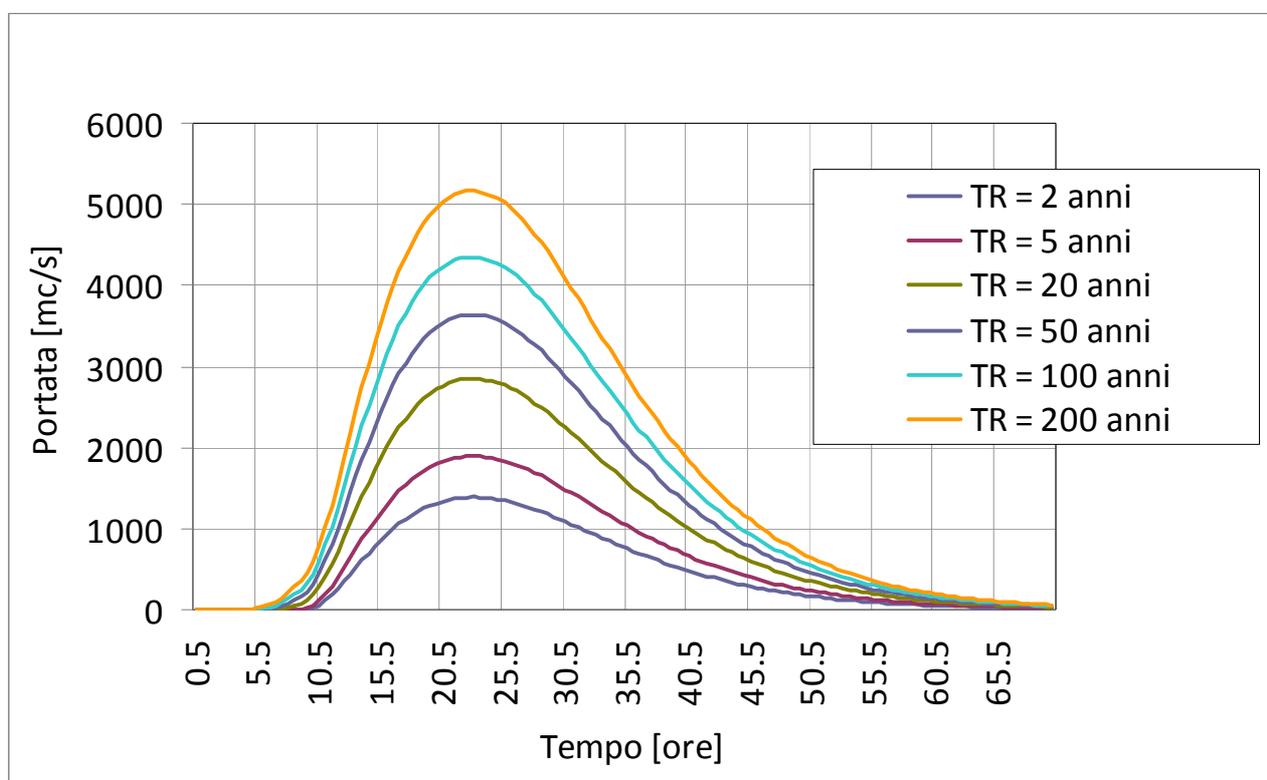


Figura 6-18: Idrogrammi di piena impiegati nelle simulazioni numeriche ed imposti nella sezione al contorno di monte.

La scala di deflusso delle portate liquide così elaborata e tarata sulle misure di campo è stata confrontata con una serie di due misure di portata effettuate dal Servizio Idrologico Regionale – Regione Toscana nel periodo maggio – giugno 2010, in condizioni di bassa portata (si vedano Figura 6-20 e Figura 6-21). Il confronto tra la scala di deflusso delle portate liquide, i dati di campo e i dati forniti dal S.I.R. è riportato in Figura 6-22: si può osservare che tutti i dati di campo sia alle portate più alte che a quelle più basse sono ben interpretati dalla scala di deflusso teorica.



Figura 6-19: Planimetria della sezione dove sono state effettuate le misure (678) e della sezione in corrispondenza della quale è ubicata la stazione di monitoraggio dei livelli (676).

Bollettino Misura di Portata		Data produzione: Tue May 18 2010																									
File Nome File: NVRSN1005141343.sds Data e Orario Inizio Misura: 14/05/2010 15:10:11		Dettagli Sezione Nome Sezione: NAVE DI ROSANO Operatore/i: M. VANNOZZI - S. LORENZINI																									
Informazioni Sistema Tipologia Sensore: 3000 kHz ADP Num. Seriale: M902 Versione Firmware CPU: 9.6 Ver. Software: 1.20		Unità Distanza: m Velocità: m/s Area: m ² Portata: m ³ /s																									
Informazioni generali Int di Acquisizione: 30.0 Sponda Inizio Misura: Sponda Sx Profile: 25x0.20 cells Blanking Dist: 0.20 Salinity: 0 ppt Azimuth: 12.4 deg Start Stage: 0.780 End Stage: 0.780		Equazione Rated Discharge: 134.50 Num. Verticali: 22 Larghezza Totale: 58.50 Area Totale: 107.43 Profondità Media: 1.84 Velocità Media: 1.27 Portata Totale: 136.49																									
		Incertezza Portata <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>ISO</th> <th>Stats</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accuratezza</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Profondità</td> <td>0.1%</td> <td>0.7%</td> </tr> <tr> <td>Velocità</td> <td>0.3%</td> <td>0.9%</td> </tr> <tr> <td>Larghezza</td> <td>0.1%</td> <td>0.1%</td> </tr> <tr> <td>Metodo</td> <td>0.5%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Num. Stazioni</td> <td>2.3%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Totale</td> <td>2.6%</td> <td>1.5%</td> </tr> </tbody> </table>		Categoria	ISO	Stats	Accuratezza	1.0%	1.0%	Profondità	0.1%	0.7%	Velocità	0.3%	0.9%	Larghezza	0.1%	0.1%	Metodo	0.5%	-	Num. Stazioni	2.3%	-	Totale	2.6%	1.5%
Categoria	ISO	Stats																									
Accuratezza	1.0%	1.0%																									
Profondità	0.1%	0.7%																									
Velocità	0.3%	0.9%																									
Larghezza	0.1%	0.1%																									
Metodo	0.5%	-																									
Num. Stazioni	2.3%	-																									
Totale	2.6%	1.5%																									

Figura 6-20: Misura di portata del 14/05/2010 effettuata dal Servizio Idrologico Regionale.

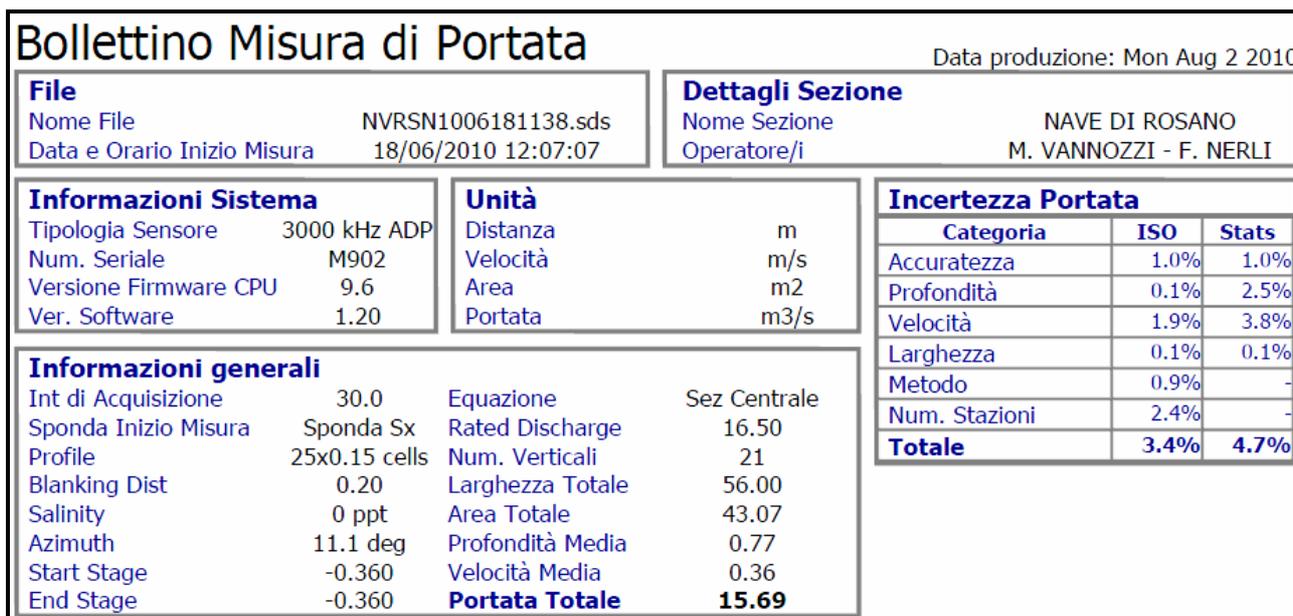


Figura 6-21: Misura di portata del 18/06/2010 effettuata dal Servizio Idrologico Regionale.

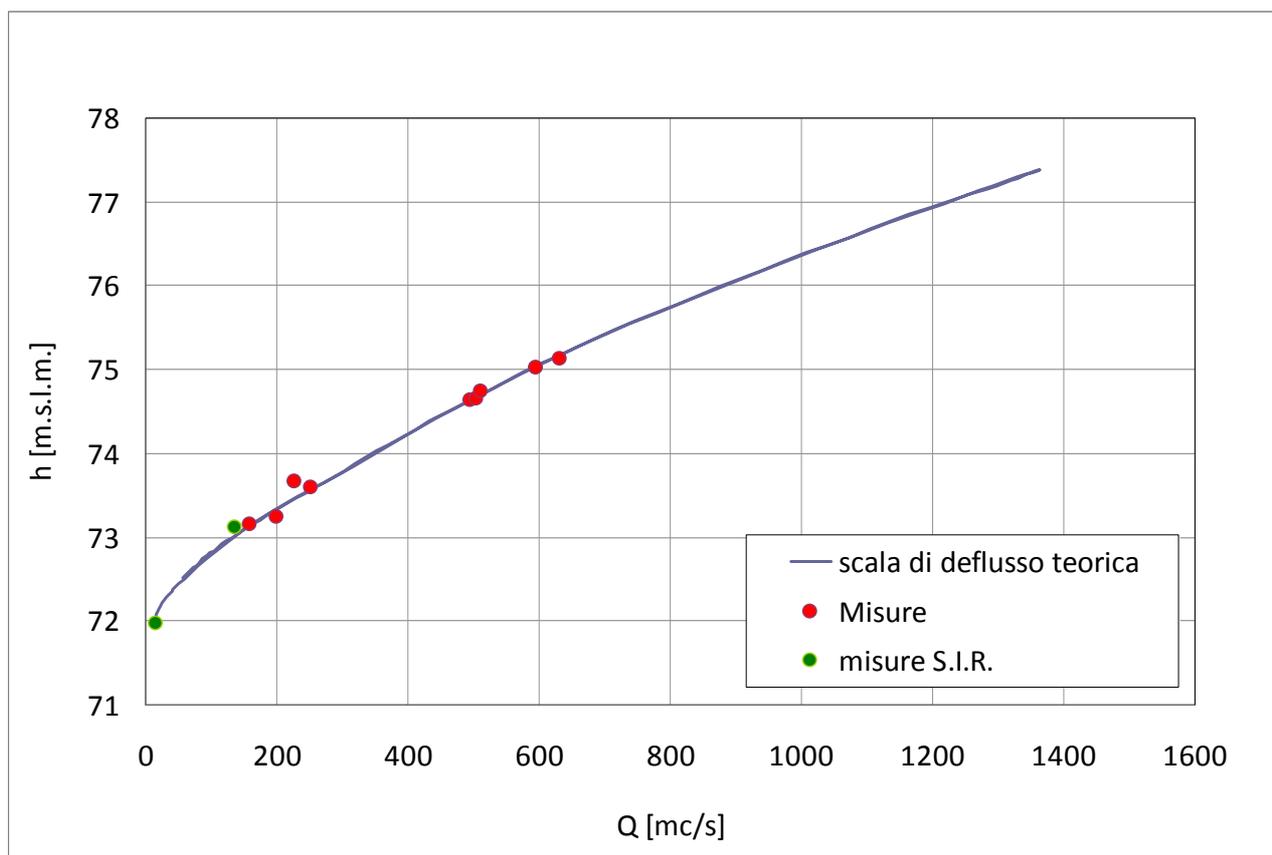


Figura 6-22: La scala di deflusso delle portate liquide nel caso di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 2 anni, e confronto con le misure di campo e con le misure fornite dal S.I.R..

Anche per il Fiume Arno sono state ricavate le curve di incipiente trasporto al fondo per l'*armour layer* e per il *sublayer*, utilizzando i criteri di Ashida e Michiue (1972) e Parker et al. (1982). Le curve ottenute sono riportate in Figura 6-23 per l'*armour layer* e in Figura 6-24 per il *sublayer*. Si può osservare come nel caso dell'*armour layer*, la portata critica per mobilitare la frazione di diametro più piccolo risulta essere di circa 32 m³/s in base al criterio di Ashida e Michiue, e di 37,7 m³/s in base al criterio di Parker.

La stima della scala di deflusso teorica per le portate solide trasportate al fondo è stata calcolata utilizzando le formule di Wilcock e Crowe (2003), Powell, Reid e Laronne (2001) e Parker (1990). I valori teorici ottenuti sono confrontati con le misure di campo in Figura 6-25: si può osservare come i bassi valori di portata solida al fondo siano ben predetti dalla formula di Parker; invece per i valori di portata solida più elevati si può osservare una differenza notevole tra dati teorici e dati di campo, che probabilmente va in parte attribuita alla difficoltà verificata in campo durante le misure del trasporto solido al fondo.

Infine in Figura 6-26 si riporta la scala di deflusso teorica delle portate solide totali ricavata con la formula di Ackers & White (1973), modificata da White & Day (1982) per materiale d'alveo eterogeneo. La curva teorica è confrontata con il trasporto solido totale misurato dai dati di campo, come somma dei due contributi al fondo e in sospensione. Si può osservare come l'adattamento tra curva teorica e dati di campo sia decisamente buono.

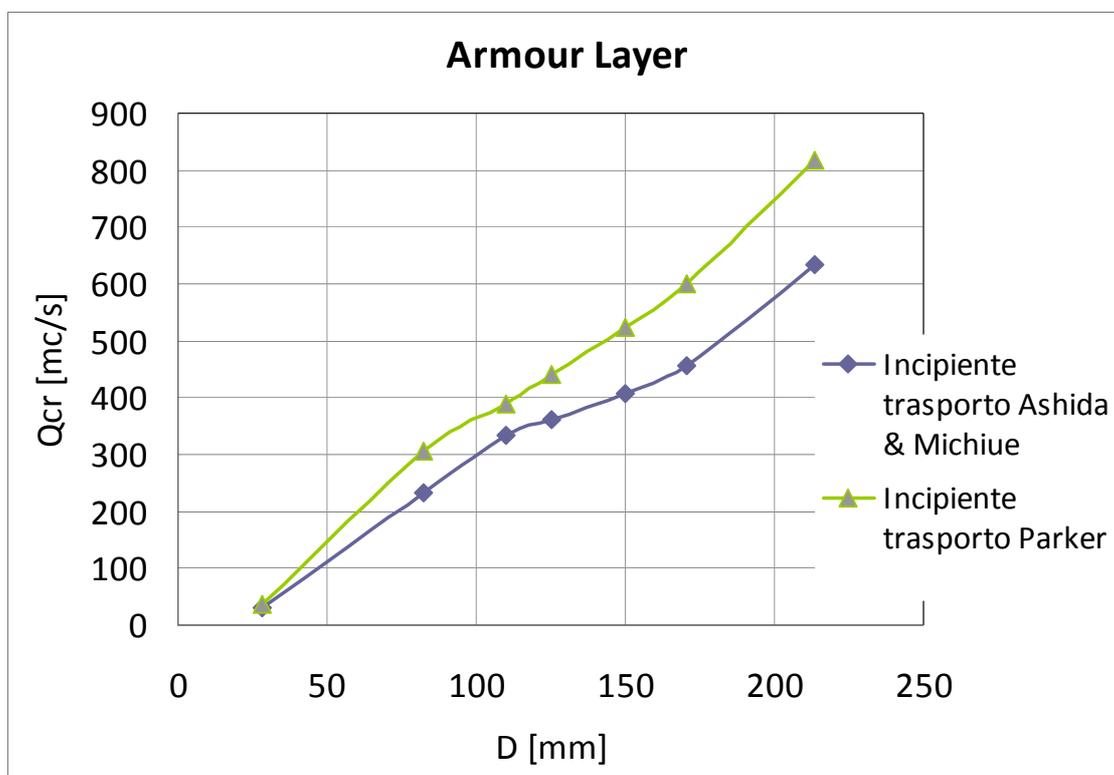


Figura 6-23: Curva di incipiente trasporto al fondo ricavata per i sedimenti dell'*armour layer*, in base ai criteri di Ashida e Michiue (1972) e di Parker et al. (1982).

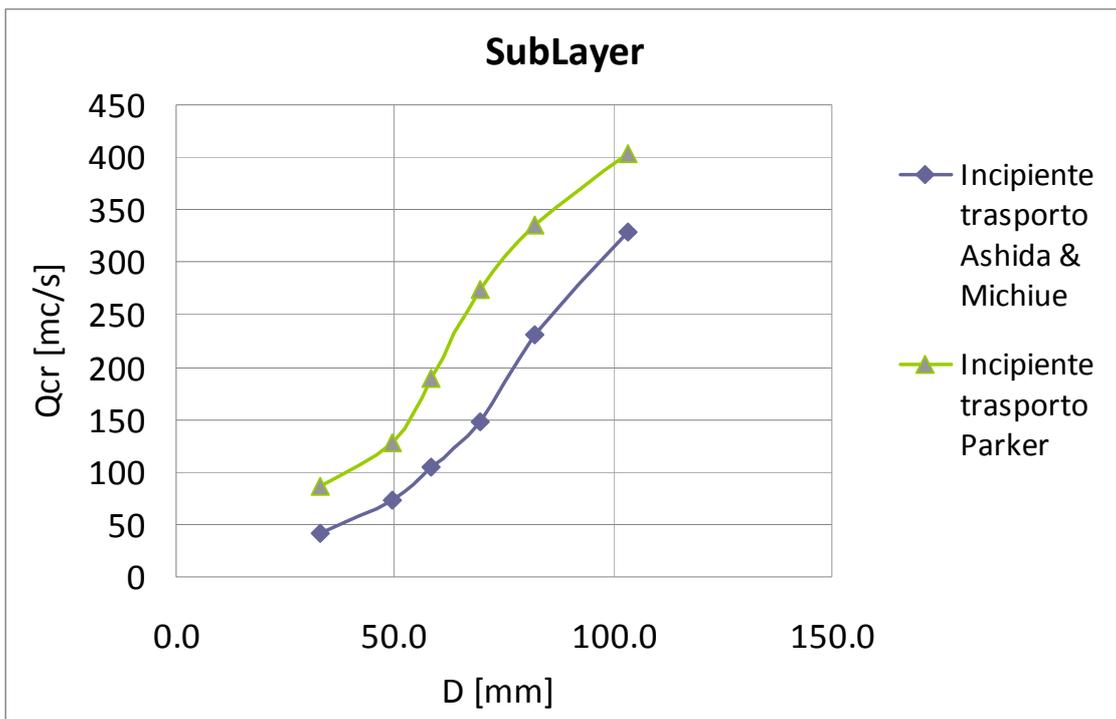


Figura 6-24: Curva di incipiente trasporto al fondo ricavata per i sedimenti del *sublayer*, in base ai criteri di Ashida e Michiue (1972) e di Parker et al. (1982).

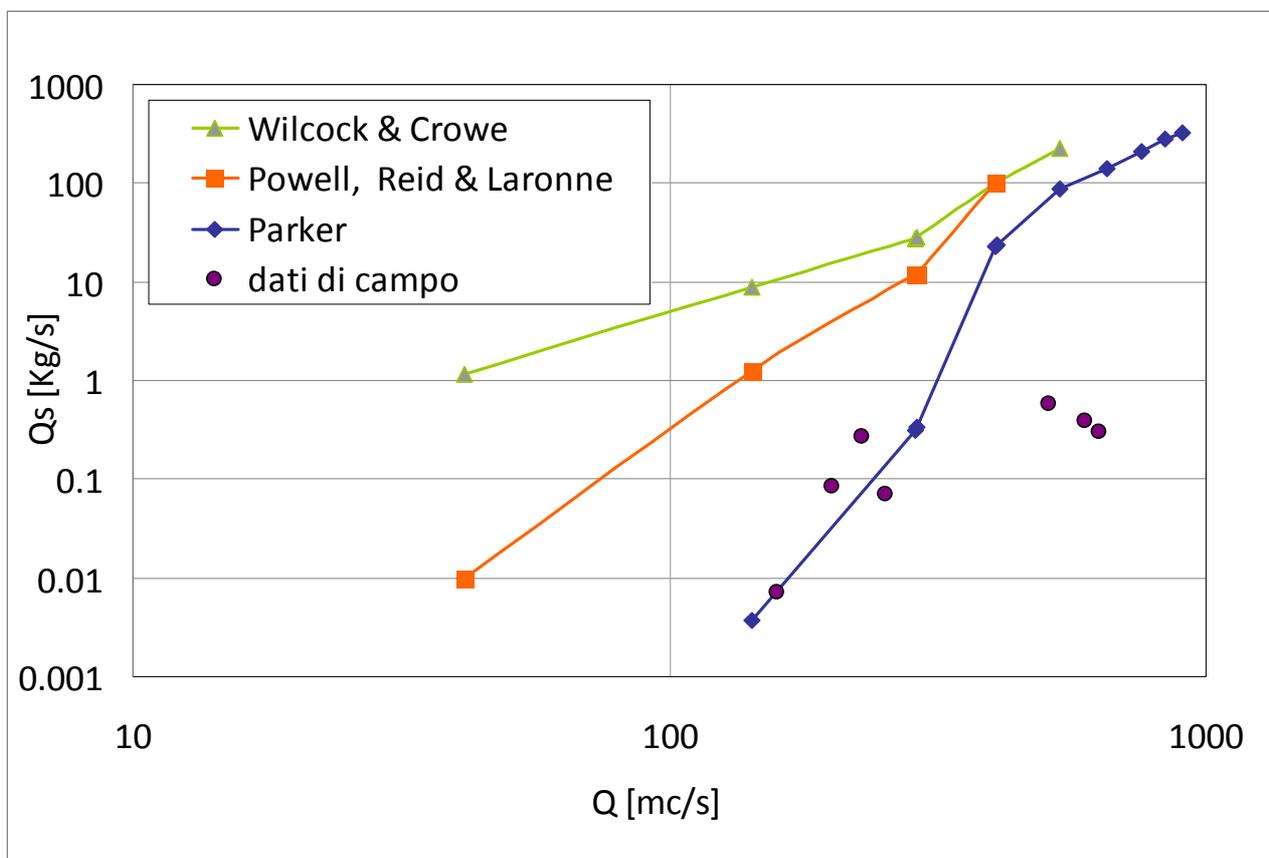


Figura 6-25: La portata solida al fondo adimensionale in funzione del parametro di Shields secondo diverse formule e confronto con le misure di campo.

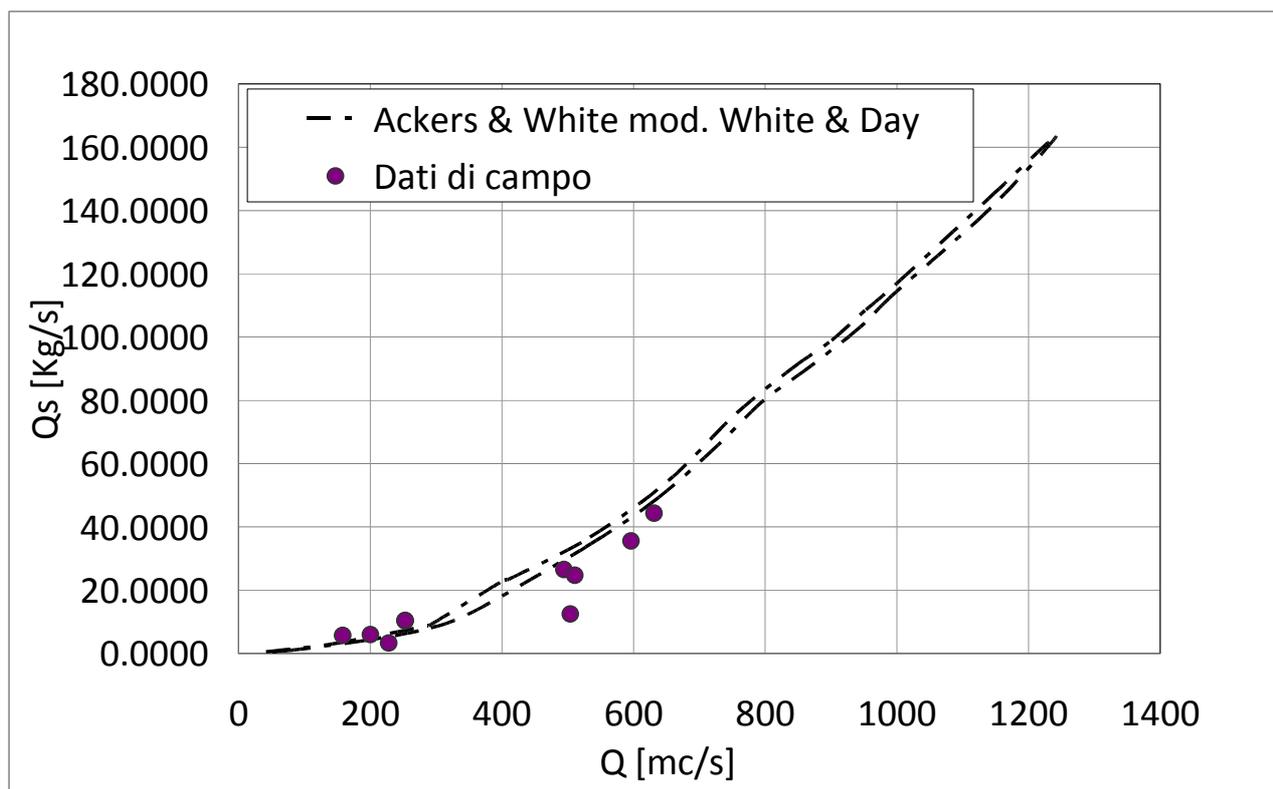


Figura 6-26: Scala di deflusso della portata solida totale adimensionale per un evento con tempo di ritorno di 2 anni e confronto con le misure di campo.

6.3.2 Scale di deflusso a fondo mobile

La determinazione delle scale di deflusso a fondo mobile è stata eseguita impiegando il modello numerico morfodinamico SNUMB (si veda il paragrafo 3.2.2 della relazione ‘Realizzazione del primo stralcio della rete di monitoraggio su tre corsi d’acqua della Regione Toscana, Parte I – Metodologie’).

Le simulazioni di moto vario sono state effettuate utilizzando un idrogramma sintetico, nella fattispecie l’idrogramma di piena relativo all’evento con tempo di ritorno 2 anni calcolato mediante ALTO (Figura 6-18), valutando le variazioni morfodinamiche che si verificano durante il passaggio dell’onda di piena.

Il rilievo utilizzato è stato fornito dal Servizio Idrologico Regionale – Regione Toscana, ed è stato effettuato nell’anno 2002 per conto del *Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Toscana* (Figura 6-17: Planimetria del tratto inserito in HEC-RAS, dalla sezione di monte (687) a quella di valle (666).).

Il tratto di corso d’acqua modellato, di circa 3556 m, è stato schematizzato mediante 28 sezioni ($\Delta x_{max} = 355$ m, $\Delta x_{min} = 2.7$ m).

Nelle simulazioni condotte utilizzando il modello proposto, il valore NCFL è stato posto pari a 0,9, e, per semplicità e senza perdita di generalità, il coefficiente di contrazione c_c è stato posto pari a 1, pertanto l'area nella sezione contratta di un ponte coincide con l'area della luce del ponte stesso.

Le condizioni al contorno imposte riguardano, oltre ovviamente la portata in ingresso, la quota del fondo a monte del tratto analizzato e a valle l'altezza di moto uniforme corrispondente alla portata in transito.

La formula impiegata per la valutazione della capacità di trasporto totale è la formula di Ackers & White (1973).

In Figura 6-27 e 6-28 sono riportate rispettivamente le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo mobile per la stazione di misura Nave a Rosano e il confronto con i dati di campo. Come evidenziato dalle figure, il modello numerico a fondo mobile fornisce un'ottima stima dei valori di portata liquida e solida totale che transitano in alveo, consentendo di estrapolare tali grandezze anche per valori di portata maggiori di quelli raccolti nelle misure di campo.

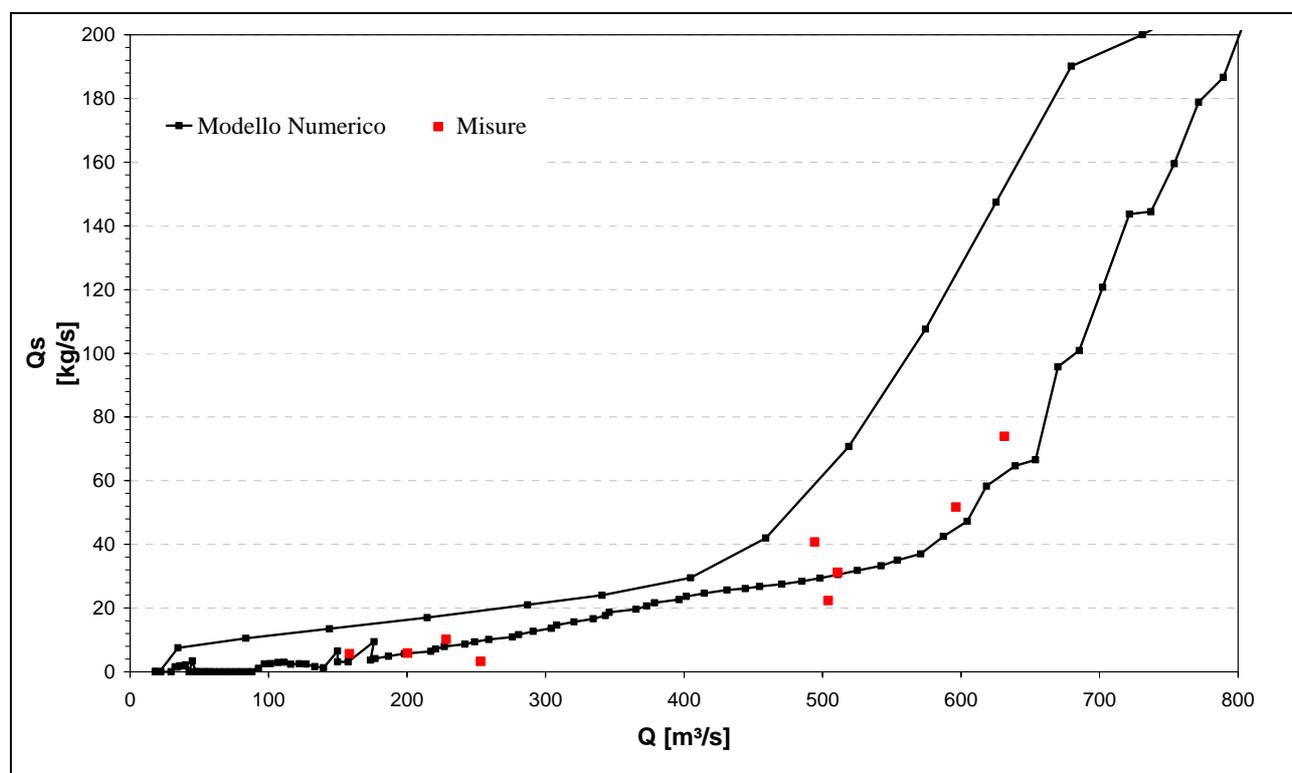


Figura 6-27: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Nave a Rosano.

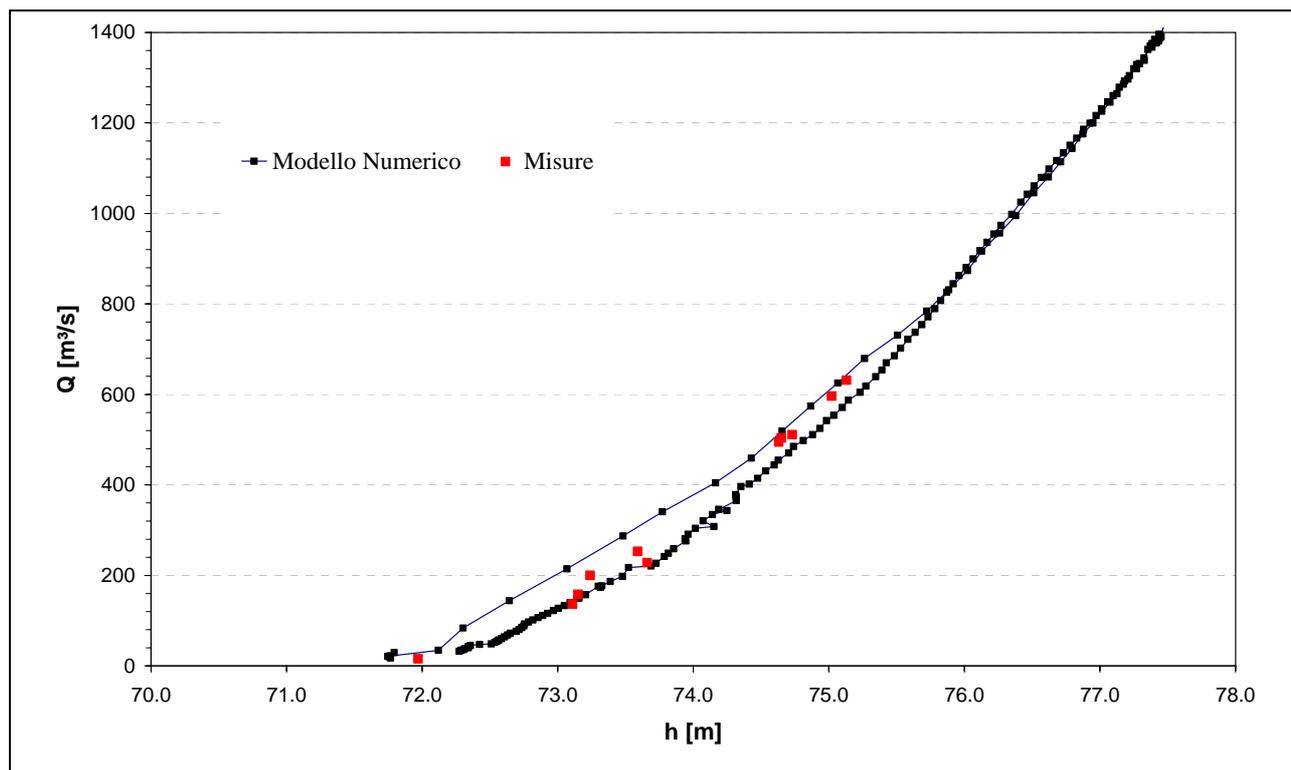


Figura 6-28: Scala di deflusso delle portate liquide confronto con i dati di campo, stazione di misura Nave a Rosano.

In Figura 6-29 sono riportati i confronti tra le scale di deflusso della portata liquida a fondo mobile e quella elaborata dal CFR per la stazione di misura Nave a Rosano. Si può osservare il buon accordo tra i risultati nella fase decrescente dell'idrogramma per portate fino a $400 \text{ m}^3/\text{s}$; per portate superiori la scala di deflusso elaborata dal CFR sovrastima i valori della quota della superficie libera.

In Figura 6-30 sono riportati i profili longitudinali delle quote del thalweg iniziale, finale, minimo e massimo per il tratto analizzato. Come evidenziato dalla figura, tutto il tratto si trova in sostanziale equilibrio, fa eccezione il tratto immediatamente a cavallo della sezione di misura che si trova in erosione a monte ($\Delta z = -0.49 \text{ m}$) ed in deposito a valle ($\Delta z = 0.68 \text{ m}$).

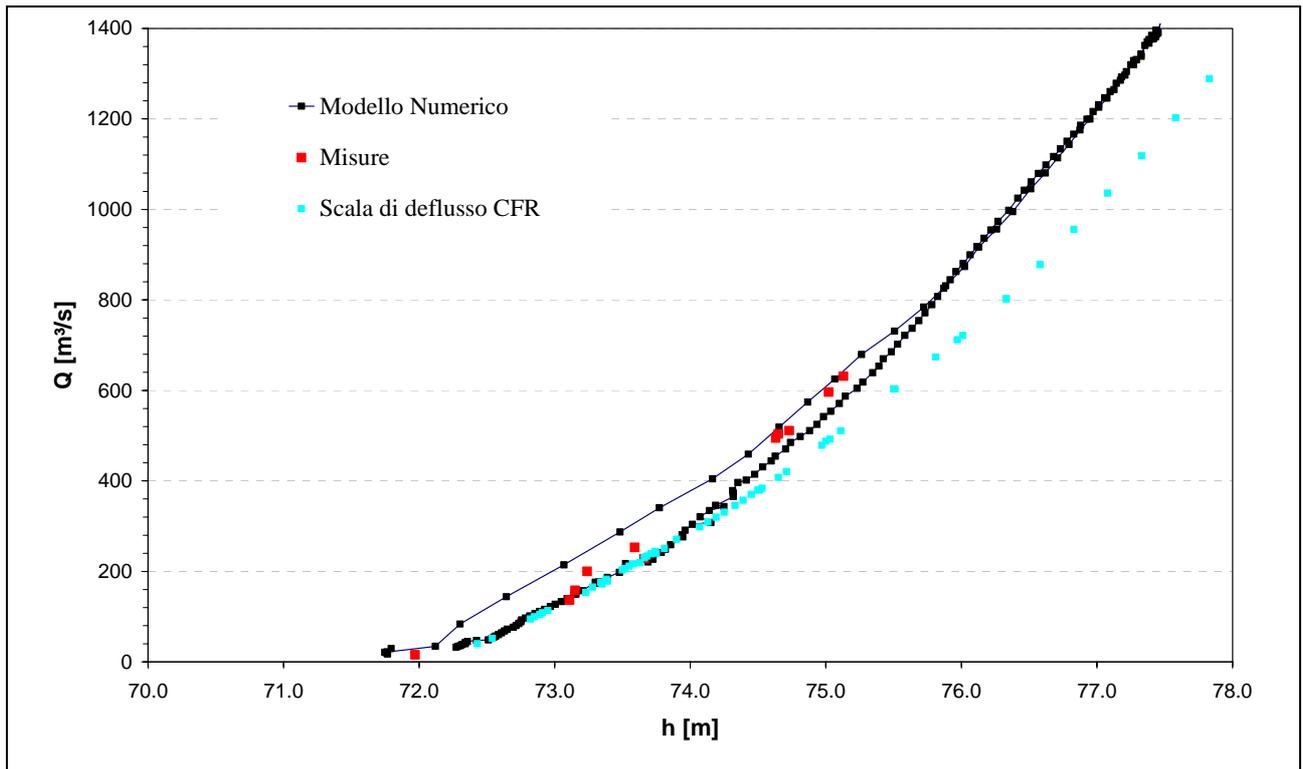


Figura 6-29: Scala di deflusso delle portate liquide confronto con i dati di campo e con la scala di deflusso elaborata dal CFR, stazione di misura Nave a Rosano.

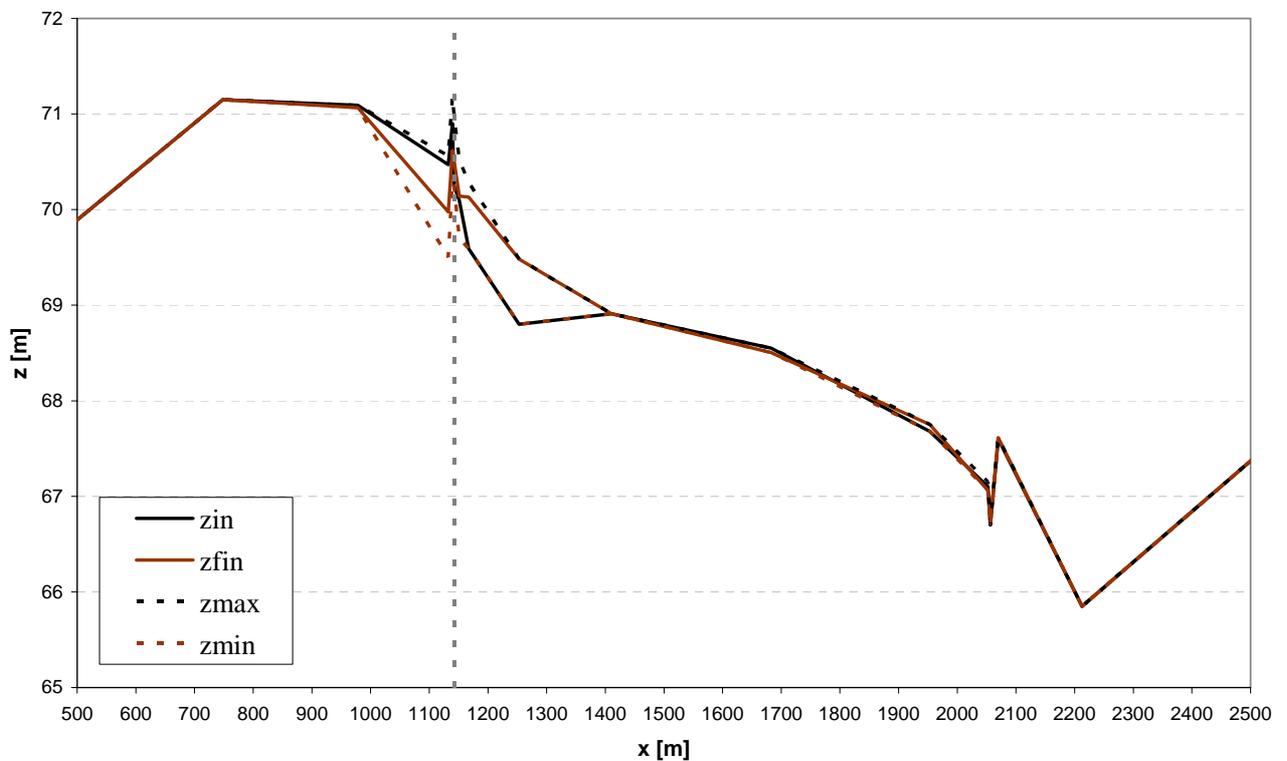


Figura 6-30: Profili longitudinale delle quote del thalweg iniziale, finale, minimo e massimo. Il tratteggio grigio indica la posizione della sezione trasversale di Nave a Rosano.

7 CONSIDERAZIONI FINALI

Nella presente relazione sono riportate le misure relative al secondo stralcio del monitoraggio del trasporto solido nei corsi d'acqua della Toscana, ovvero 6 misure sul Fiume Serchio, 7 misure sul Fiume Versilia e 9 misure sul Fiume Arno. Le misure effettuate sui Fiumi Versilia e Serchio costituiscono la prosecuzione del primo stralcio.

Allo stato attuale dell'attività di monitoraggio le misure complessive effettuate sul Fiume Serchio, comprendendo anche le 10 misure effettuate nel primo stralcio del monitoraggio, risultano 16. Tali dati sono stati utilizzati per elaborare una scala di deflusso delle portate liquide e solide di primo e di secondo livello, in quanto coprono un intervallo di valori di portate e livelli in alveo sufficientemente ampio, per effettuare la taratura anche alle alte portate.

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di ottenere un buon adattamento per la scala di deflusso delle portate liquide, sia di primo che di secondo livello. La scala di deflusso delle portate solide totali è stata ricavata sulla base della formula di Ackers & White (1973), modificata da White & Day (1982) per materiale d'alveo eterogeneo. La scala di deflusso del trasporto solido al fondo è stata invece ben interpretata dalla formula di Powell, Reid e Laronne (2001) e dalla formula di Parker et al. (1982): la dispersione dei valori di trasporto solido al fondo misurata può essere dovuta alle variazioni associate al trasporto al fondo in concomitanza con il verificarsi di eventi di piena, infatti tale meccanismo di trasporto è fortemente influenzato dalle variazioni di portata liquida che si verificano nel ramo ascendente e discendente di un idrogramma di piena, quali quelli verificatisi.

Sul Fiume Versilia sono state acquisite 12 misure di trasporto solido, comprendendo anche le 5 misure del primo stralcio, di cui 11 misure sono state effettuate alla Stazione di Ponte Tavole, e 1 in corrispondenza del Ponte delle Cateratte. Anche sul Fiume Versilia sono state elaborate le scale di deflusso delle portate liquide e solide. Per potere definire delle scale di deflusso attendibili, sarebbe necessario proseguire l'attività di monitoraggio sul Fiume Versilia al verificarsi dei prossimi eventi di piena in modo da disporre di un set di dati confrontabile con quello del Serchio.

Infatti, i dati del monitoraggio effettuato sul Fiume Versilia sono concentrati nel campo delle portate liquide medio-basse. Dall'analisi e dall'elaborazione delle scale di deflusso liquide e solide è invece emerso che gli effetti di non stazionarietà del moto sono decisamente rilevanti nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno di 20 anni, anche in ragione della non-linearità del legame tra portate liquide e solide, e dell'influenza della fase temporale dell'evento di piena (ramo ascendente/discendente). Pertanto si segnala l'opportunità di proseguire l'attività di monitoraggio

del trasporto solido sul Fiume Versilia per effettuare delle misure anche durante eventi di piena più intensi di quelli finora misurati.

Sul Fiume Arno è stata preliminarmente verificata la fattibilità operativa delle misure, che sono state eseguite in corrispondenza del primo ponte a Nave di Rosano. Le 9 misure di trasporto solido già acquisite costituiscono un primo set di dati che è stato utilizzato per tarare le scale di deflusso delle portate liquide e solide: i risultati evidenziano una eccellente taratura della scala di deflusso delle portate liquide, un buon adattamento per il trasporto solido totale, mentre evidenziano una marcata incertezza nei dati di campo relativi al trasporto solido al fondo. Per questi motivi, e nell'ottica di poter disporre di un più ampio set di dati per le tarature delle scale di deflusso, sarebbe necessario proseguire l'attività di monitoraggio al verificarsi dei prossimi eventi di piena.

Infine, si ritiene utile formulare alcune considerazioni finali in relazione alle attività svolte fino ad oggi. In particolare, i risultati ottenuti consentono già di poter effettuare le prime elaborazioni circa il trasporto solido medio annuo a scala di bacino che, per la sua solida base sperimentale, costituirebbe un attendibile riferimento per la pianificazione di interventi e strategie di difesa del suolo anche in relazione alla tutela dell'ambiente costiero. A tal fine, la estensione della campagna di monitoraggio anche su altri corsi d'acqua, porterebbe ad avere un primo quadro conoscitivo alla scala regionale, utile alla valutazione e controllo della dinamica evolutiva degli alvei e dei bacini idrografici. Ciò costituirebbe un valido riferimento per tutti gli interventi di sistemazione idraulica e di mitigazione del rischio idrogeologico nelle diverse fasi di pianificazione, progettazione, manutenzione e controllo.