



**REALIZZAZIONE DEL PRIMO STRALCIO
DELLA RETE DI MONITORAGGIO SU TRE
CORSI D'ACQUA DELLA REGIONE
TOSCANA**

Committente: Regione Toscana - Servizio Idrologico Regionale

**RELAZIONE TECNICA
PARTE II - SCALE DI DEFLUSSO**

Responsabile della Ricerca:

Prof. Ing. Enio Paris

Gruppo di lavoro:

*Prof. Ing. Enio Paris
Dott. Ing. Giulio Bechi
Dott. Ing. Francesco Canovaro
Dott. Ing. Simona Francalanci
Dott. Ing. Beatrice Mengoni
Dott. Ing. Luca Solari
Sig. Fabrizio Vannacci*

Retignano di Stazzema (LU), Novembre 2008

INDICE

PARTE II	70
4 INTRODUZIONE	70
5 LE STAZIONI DI MONITORAGGIO	72
5.1 FIUME SERCHIO	72
5.2 FIUME VERSILIA	78
5.3 FIUME CAMAIORE.....	83
6 MISURE DI CAMPO ED ANALISI DI LABORATORIO	88
6.1 FIUME SERCHIO	93
6.1.1 <i>EVENTO S-1</i>	93
6.1.2 <i>EVENTO S-2</i>	96
6.1.3 <i>EVENTO S-3</i>	99
6.1.4 <i>EVENTO S-4</i>	102
6.1.5 <i>EVENTO S-5</i>	105
6.1.6 <i>EVENTO S-6</i>	108
6.1.7 <i>EVENTO S-7</i>	112
6.1.8 <i>EVENTO S-8</i>	118
6.1.9 <i>EVENTO S-9</i>	121
6.1.10 <i>EVENTO S-10</i>	124
6.2 FIUME VERSILIA	127
6.2.1 <i>EVENTO V-1</i>	127
6.2.2 <i>EVENTO V-2</i>	130
6.2.3 <i>EVENTO V-3</i>	133
6.2.4 <i>EVENTO V-4</i>	136
6.2.5 <i>EVENTO V-5</i>	140
7 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI	143
7.1 FIUME VERSILIA	143
7.2 FIUME SERCHIO	147
8 DEFINIZIONE DELLE SCALE DI DEFLUSSO	152
8.1 LE SCALE DI DEFLUSSO A FONDO FISSO.....	152
8.1.1 <i>Portate liquide sul Fiume Versilia</i>	152
8.1.2 <i>Portate liquide sul Fiume Serchio</i>	155
8.1.3 <i>Incipiente trasporto solido sul Fiume Versilia</i>	156
8.1.4 <i>Incipiente trasporto sul Fiume Serchio</i>	161
8.1.5 <i>Portate solide sul Fiume Versilia</i>	164
8.1.6 <i>Portate solide sul Fiume Serchio</i>	169

8.2	LE SCALE DI DEFLUSSO A FONDO MOBILE	175
8.2.1	<i>Fiume Versilia</i>	175
8.2.2	<i>Fiume Serchio</i>	178
9	CONSIDERAZIONI FINALI	182
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	184

PARTE II

4 INTRODUZIONE

Nella parte II vengono descritte le attività svolte nel periodo ottobre 2006 – marzo 2008, necessarie alla misura di 15 eventi di piena significativi ed alla loro analisi al fine di determinare le scale di deflusso liquide e solide nei tre corsi d'acqua Serchio, Versilia e Camaiore.

Data la particolarità delle misure richieste e le difficoltà sia insite in tali tipi di rilievi, sia legate all'aleatorietà degli eventi atmosferici, è stato necessario suddividere le attività in varie fasi, riassumibili nelle fasi organizzativa, di misura e di elaborazione.

La fase organizzativa, comune a tutte le stazioni e propedeutica a qualunque misura in alveo, si è dapprima incentrata sull'individuazione delle sezioni di misura ottimali al fine dell'obiettivo del presente lavoro, mediante ripetuti sopralluoghi ed analisi di cartografie ed eventi passati, per poi concentrarsi sull'organizzazione logistica, fondamentale in particolare nei corsi d'acqua monitorati, dove l'ampia distanza fra le sezioni di misura ed il breve tempo di risposta dei bacini all'evento meteorologico, imponevano una precisa organizzazione sia della gestione della strumentazione che dell'individuazione dei migliori percorsi da seguire per giungere in tempo utile sulle stazioni di monitoraggio.

Successivamente, al concretizzarsi di ogni evento di piena utile ai fini del presente lavoro su una delle tre stazioni di monitoraggio individuate, si sono raccolte le misure di campo necessarie, relative sia al trasporto solido al fondo ed in sospensione, sia ai valori di profondità d'acqua e velocità della corrente, che hanno costituito la base delle successive analisi di laboratorio ed elaborazione dei dati.

Infine, al raggiungimento di un numero sufficiente di eventi significativi, si è proceduto alla definizione delle scale di deflusso solide e liquide richieste nel contratto di fornitura di cui in narrativa.

Sebbene la fase organizzativa sia stata un elemento cardine per l'ottimale riuscita delle successive attività, nella presente relazione verranno descritte con maggior enfasi le fasi più prettamente legate alla misura dei parametri ed elaborazione dei dati.

Seguendo tale approccio, la relazione è così strutturata:

- il capitolo 4 “Le stazioni di monitoraggio” sono specificati l'ubicazione e le principali caratteristiche dei siti di misura

- il capitolo 5 “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 6 “Analisi ed elaborazione dei dati” è dedicato alla fase di elaborazione dati relativi alle misure svolte ed 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.

5 LE STAZIONI DI MONITORAGGIO

Le stazioni di monitoraggio 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.

Nel seguito vengono riportate l'ubicazione e le principali caratteristiche delle stazioni di monitoraggio.

5.1 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 5-1) sulla strada statale 12 dell'Abetone, come risulta dalla foto satellitare in Figura 5-2 e dalla planimetria in Figura 5-3. La stazione di monitoraggio è situata immediatamente a monte della stazione idrometrica di Ripafratta (Figura 5-2). 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 5-4).

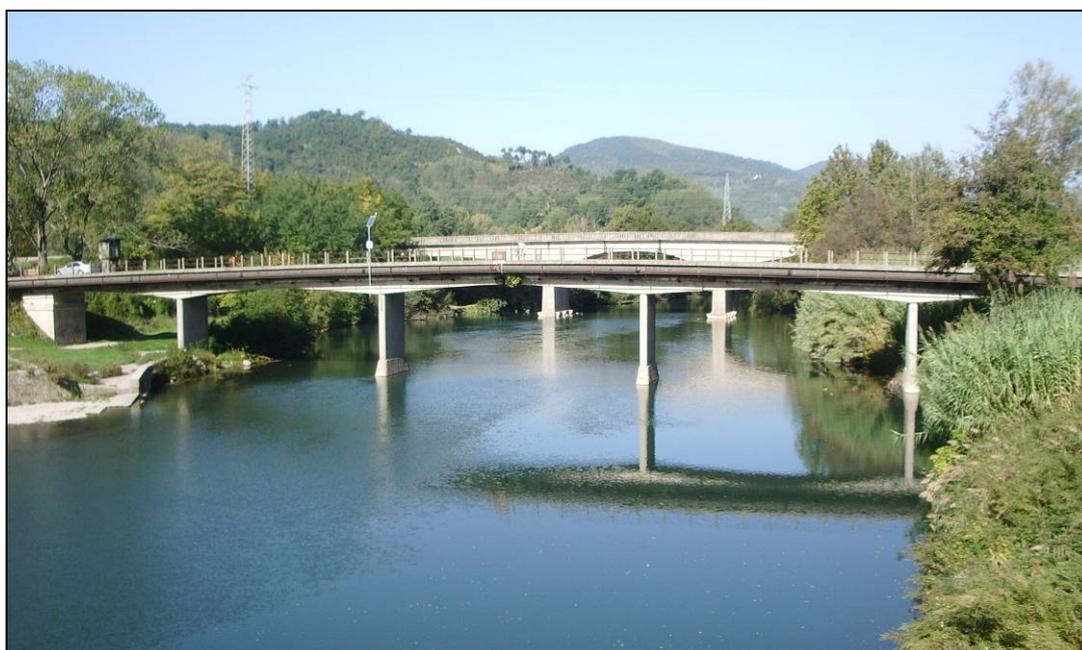


Figura 5-1: Fotografia del ponte di Ripafratta sul fiume Serchio ove è collocata la stazione di monitoraggio del trasporto solido.



Figura 5-2: Immagine satellitare del tratto del fiume Serchio in corrispondenza della stazione di monitoraggio del trasporto solido (linea tratteggiata) sul ponte di Ripafratta e della stazione idrometrica di Ripafratta.



Figura 5-3: Inquadramento planimetrico della stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Serchio.

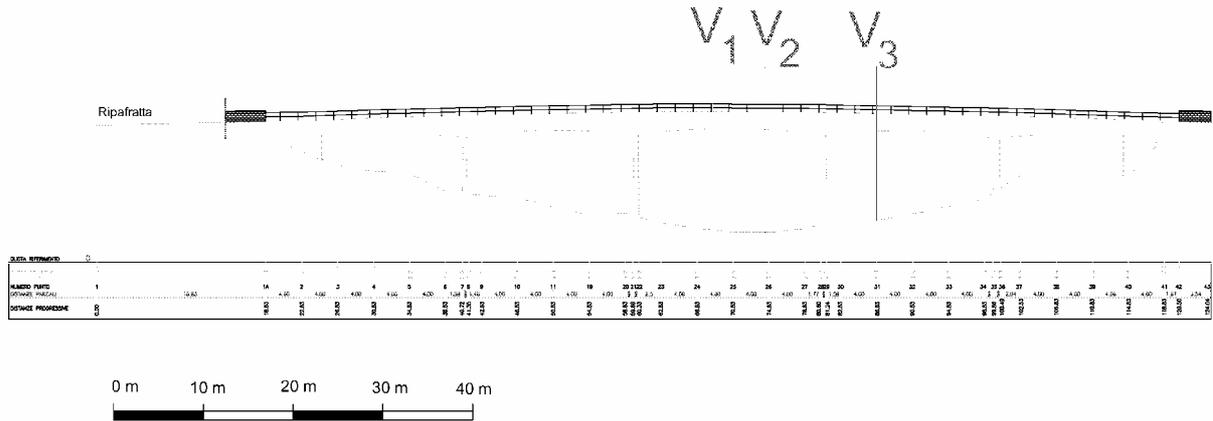




Figura 5-6: Il sito di campionamento sedimentologico sul f. Serchio;
(a sinistra: vista da monte verso valle; a destra: vista da valle verso monte).

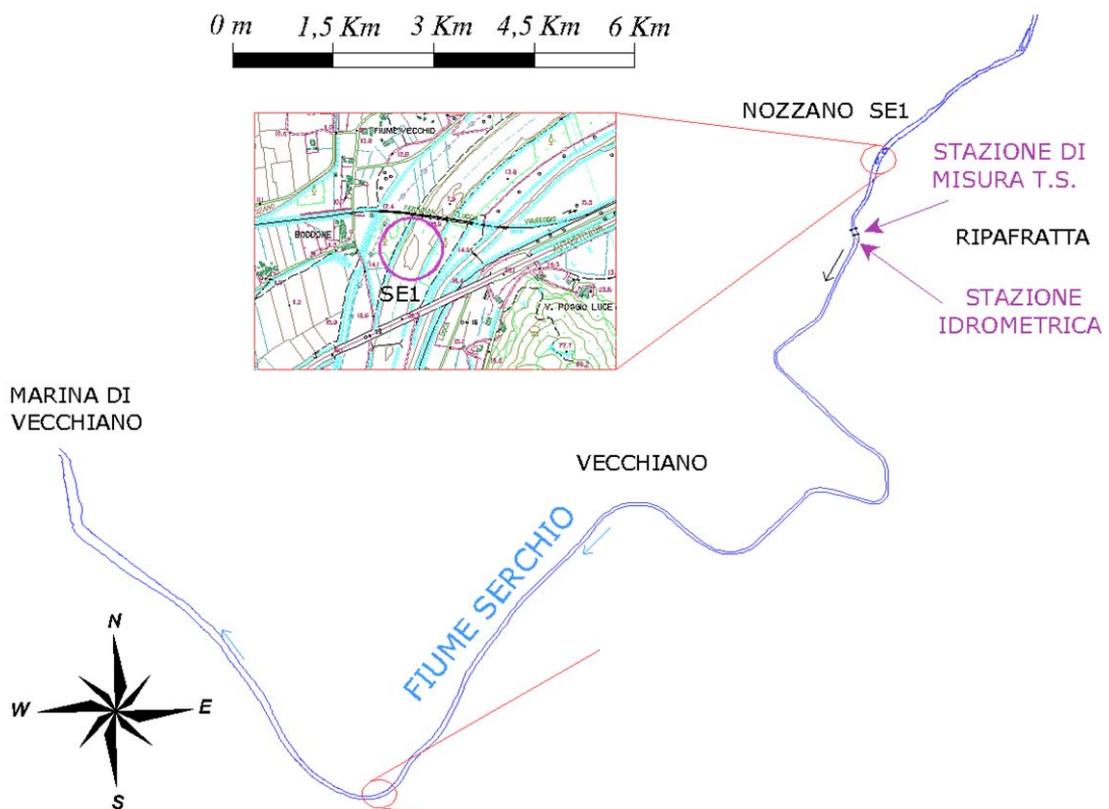


Figura 5-7: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico
in località Nozzano sul fiume Serchio.

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 5-8 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 1 e in Figura 5-9. 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 5-8: 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 5-1: 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.

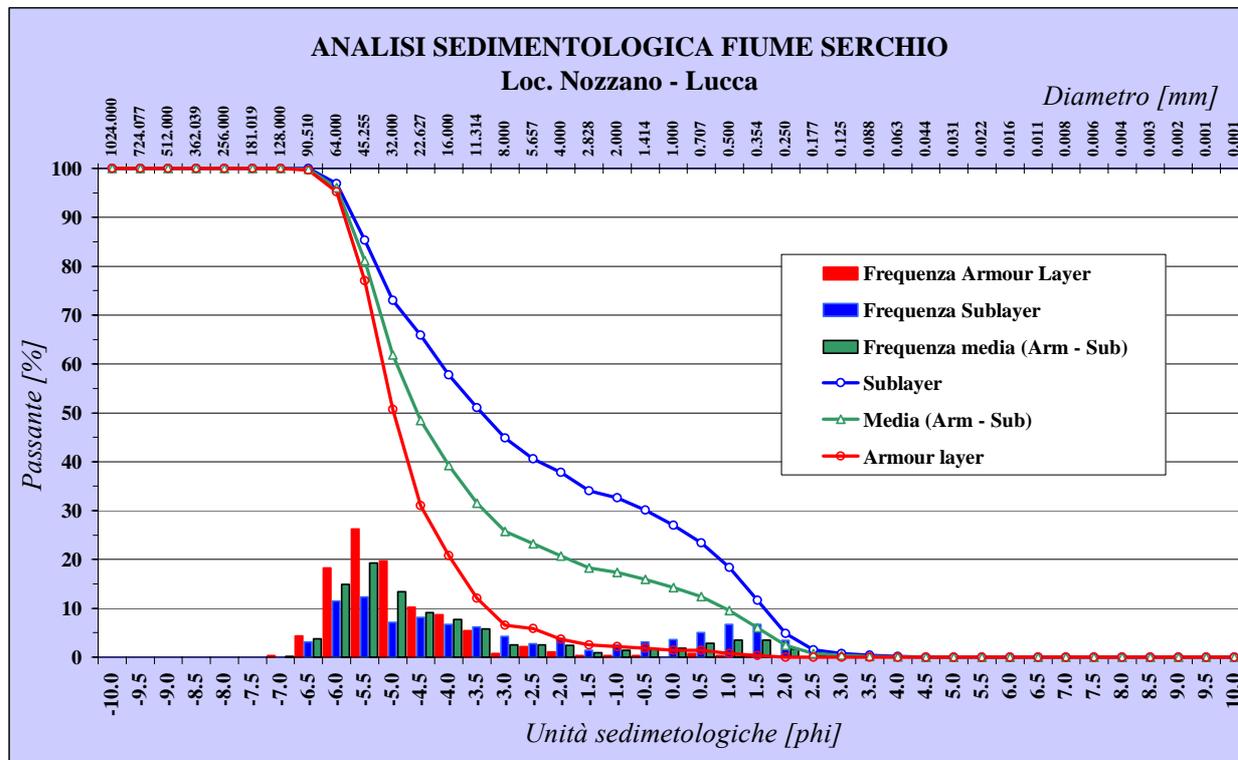


Figura 5-9: Le curve granulometriche dei campioni sedimentologici del materiale d'alveo il località Nozzano sul fiume Serchio.

5.2 FIUME VERSILIA

La stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Versilia è situata su un ponte (si veda la fotografia in Figura 5-10) 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 5-11 e Figura 5-12. Le misure vengono effettuate su 4 verticali (Figura 5-13) poste nella parte sinistra della sezione a causa della configurazione in curva del fiume nel tratto in esame.

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 5-14 e dalle fotografie in Figura 5-15. 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*'. In Figura 5-16 è riportata una scheda informativa dei campionamenti effettuati. Le curve granulometriche dei campioni di sedimenti raccolti, ottenute tramite setacciatura in laboratorio, sono illustrate nella tabella 2 e Figura 5-17. I risultati mostrano un alveo prevalentemente di tipo ghiaioso avente un D_{50} dell'*armour layer* pari a circa 36 mm ed un D_{50} del *sublayer* pari a circa 11 mm.

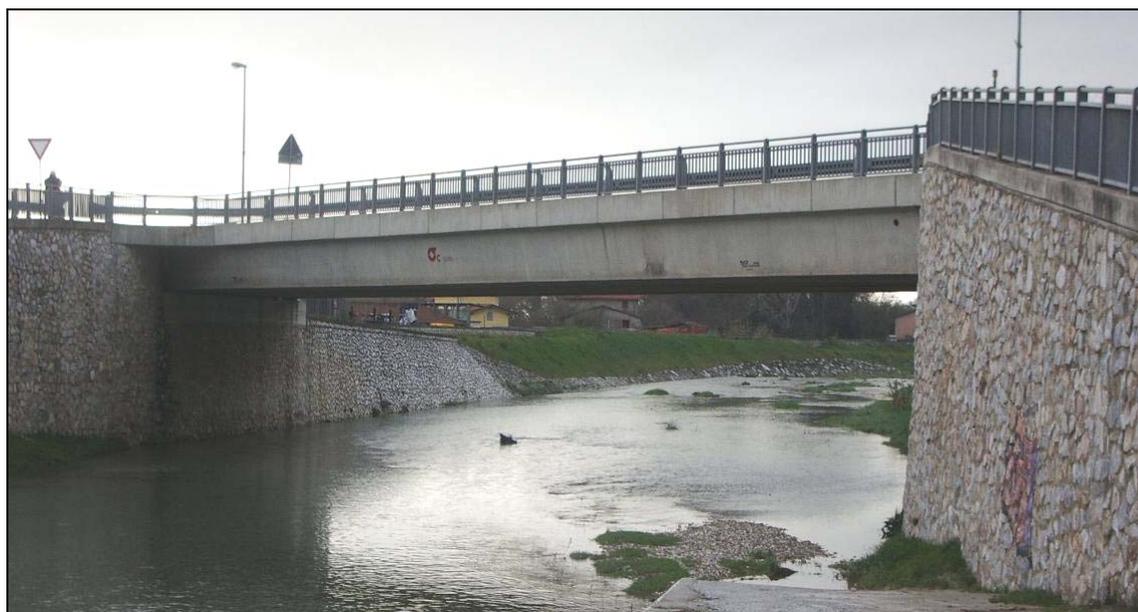


Figura 5-10: Fotografia del ponte sul fiume Versilia ove è collocata la stazione di monitoraggio del trasporto solido.



Figura 5-11: Immagine satellitare del tratto del fiume Versilia in corrispondenza della stazione di monitoraggio del trasporto solido (linea tratteggiata) e della stazione idrometrica di Ponte Tavole.



Figura 5-12: Inquadramento planimetrico della stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Versilia e della stazione idrometrica di Ponte Tavole.

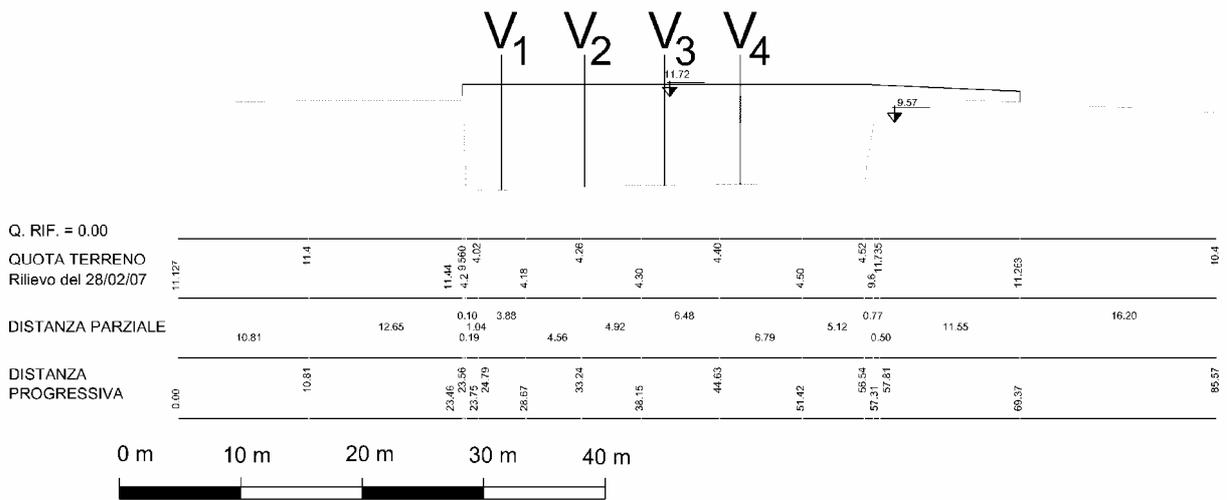


Figura 5-13: Stazione di monitoraggio Ponte Tavole sul fiume Versilia con indicazioni delle verticali di misura.

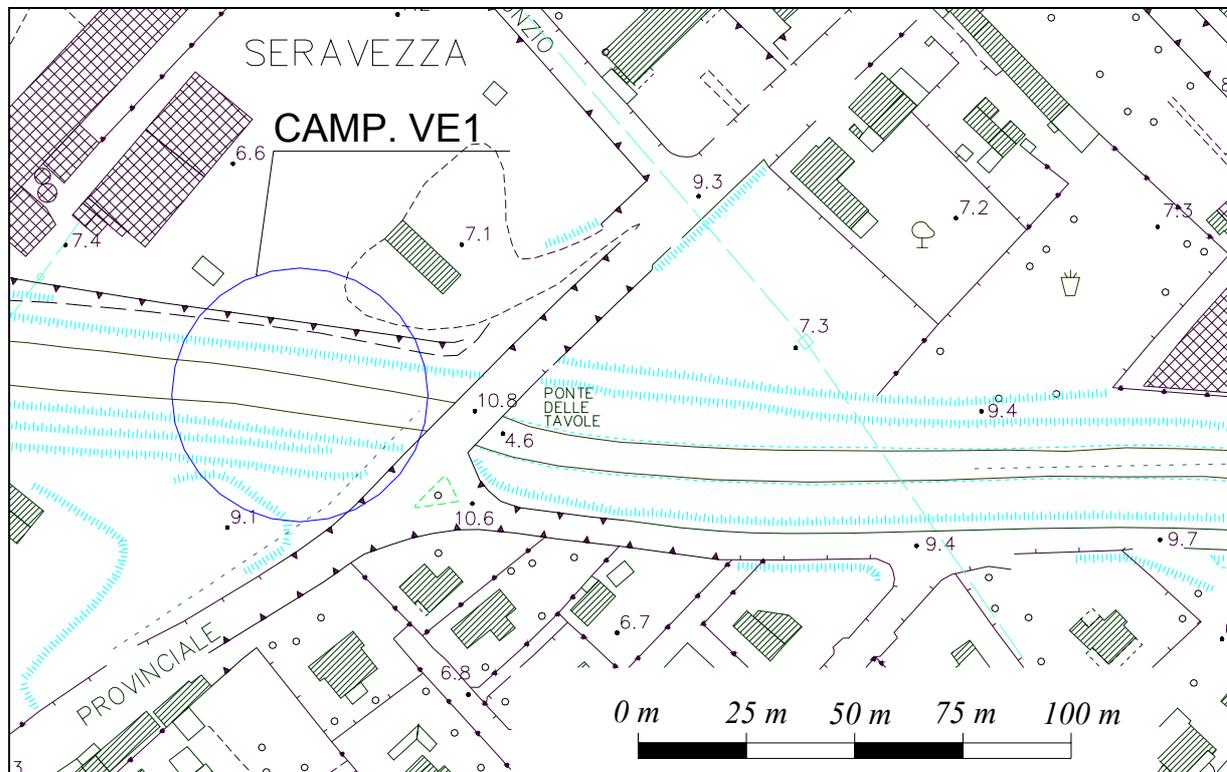


Figura 5-14: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico alla stazione di monitoraggio di Ponte Tavole.



Figura 5-15: 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 n° VE1		Letto Fiume Versilia	
Data campionamento		02/11/2006	
Località:		Seravezza - Ponte Tavole	
Descrizione campionamento superficiale <i>armour layer</i>			
Metodo di campionamento		Grid Counts	
Dimensioni "griglia"		20x6	Dimensione maglie "griglia" 0.5x0.5
Numero dei campioni analizzati:		326	
Descrizione campionamento volumetrico <i>sublayer</i>			
Peso totale campione [gr]		697095	Setacciatura a secco
Φ_{max} del campione		-7,5	Diametro max granulo [mm] 258
Quartatura	si	In sito e in laboratorio	Peso iniziale quartato [gr] 14557

Figura 5-16: Scheda informativa dei campionamenti sedimentologici in località Ponte Tavole sul fiume Versilia.

Totale			Armour layer			Sublayer		
	Φ	D (mm)		Φ	D (mm)		Φ	D (mm)
D10	-0,1174	1,1	D10	-3,5115	11,4	D10	0,7058	0,6
D16	-0,9714	2,0	D16	-3,8877	14,8	D16	0,1885	0,9
D25	-2,8698	7,3	D25	-4,2554	19,1	D25	-0,4915	1,4
D35	-3,9478	15,4	D35	-4,6122	24,5	D35	-1,2550	2,4
D40	-4,2467	19,0	D40	-4,7933	27,7	D40	-2,0342	4,1
D50	-4,8274	28,4	D50	-5,1750	36,1	D50	-3,5220	11,5
D75	-6,1017	68,7	D75	-6,1136	69,2	D75	-6,0798	67,6
D84	-6,4465	87,2	D84	-6,3804	83,3	D84	-6,5506	93,7
D90	-6,7140	105,0	D90	-6,6067	97,5	D90	-6,7943	111,0
MEAN	-4,16	17,9	MEAN	-5,13	34,9	MEAN	-3,20	9,2
DEV STANDARD		2,46	DEV STANDARD		1,21	DEV STANDARD		2,97
SKEWNESS		0,92	SKEWNESS		0,27	SKEWNESS		0,21
KURTOSIS		2,91	KURTOSIS		2,56	KURTOSIS		1,67
% Gravel		83,79	% Gravel		100,00	% Gravel		67,58
% Sand		16,21	% Sand		0,00	% Sand		32,42
% Silt		0,00	% Silt		0,00	% Silt		0,00
% Clay		0,00	% Clay		0,00	% Clay		0,00

Tabella 5-2: 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.

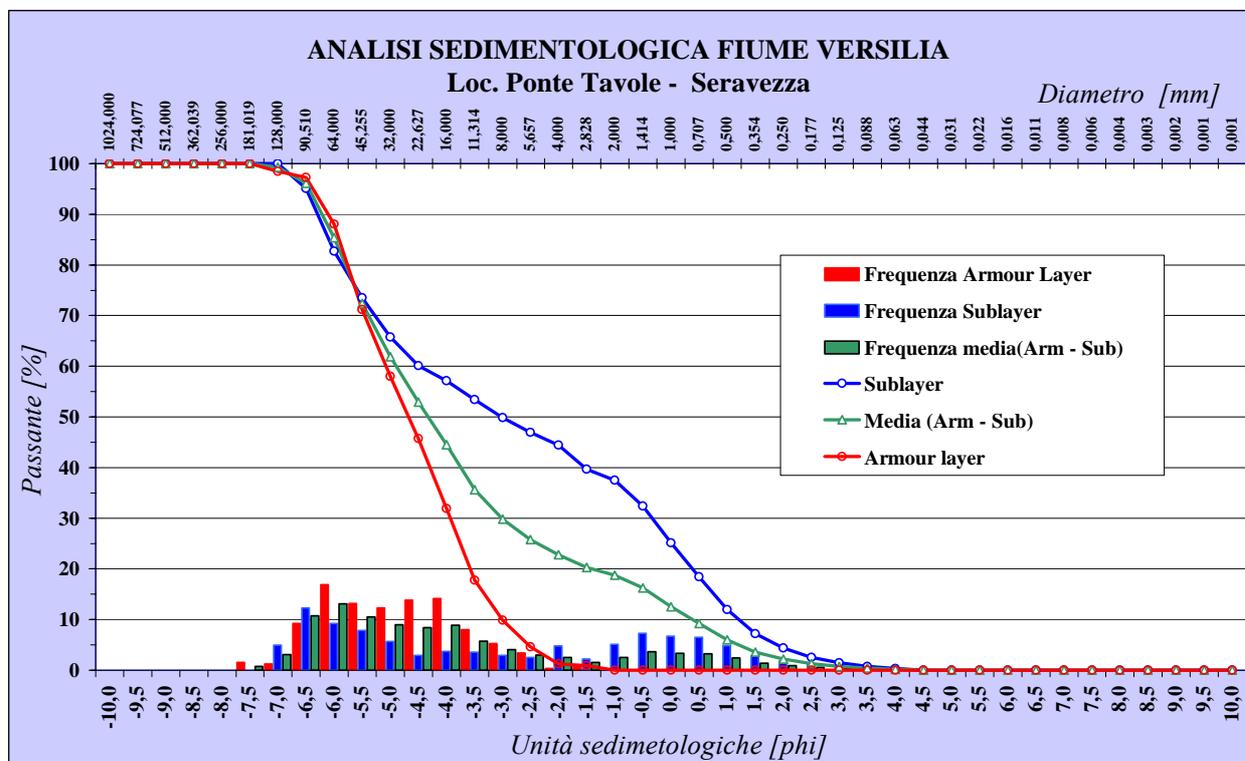


Figura 5-17: Le curve granulometriche dei campioni sedimentologici del materiale d'alveo in località Ponte Tavole sul fiume Versilia.

5.3 FIUME CAMAIORE

La stazione di monitoraggio del trasporto solido è situata sul ponte 'Le Bocchette' (si veda la fotografia in Figura 5-18) in prossimità del ponte ferroviario Genova-Roma, come risulta dalla planimetria in Figura 5-19. La stazione idrometrica di riferimento è la stazione Camaiole in località Molino Duccini ed è situata a circa 5 Km a monte rispetto alla stazione di monitoraggio (Figura 5-20). Nella stazione di monitoraggio sono state individuate 4 verticali di misura (Figura 5-21).



Figura 5-18: Fotografia del ponte sul fiume Camaiole ove è collocata la stazione di monitoraggio del trasporto solido.



Figura 5-19: Inquadramento planimetrico della stazione di monitoraggio del trasporto solido sul fiume Camaiole.

I campionamenti sedimentologici sono stati effettuati su una barra emersa in località 'Le Bocchette' situata circa 900 m a monte rispetto alla stazione di monitoraggio del trasporto solido, si veda la planimetria generale in Figura 5-22 e quella di dettaglio in Figura 5-23. Le fotografie del sito di campionamento sono illustrate nella Figura 5-24. In questo caso, data la dimensione fine del materiale d'alveo, è stato effettuato un unico campionamento con tecnica di tipo volumetrico. In Figura 5-25 è riportata una scheda informativa dei campionamenti effettuati. La curva granulometrica del campione dei sedimenti raccolti, ottenute tramite setacciatura in laboratorio, è illustrata nella Tabella 5-7 e Figura 5-26. I risultati mostrano un alveo con materiale complessivamente di tipo sabbioso avente un D_{50} pari a circa 0.4 mm.

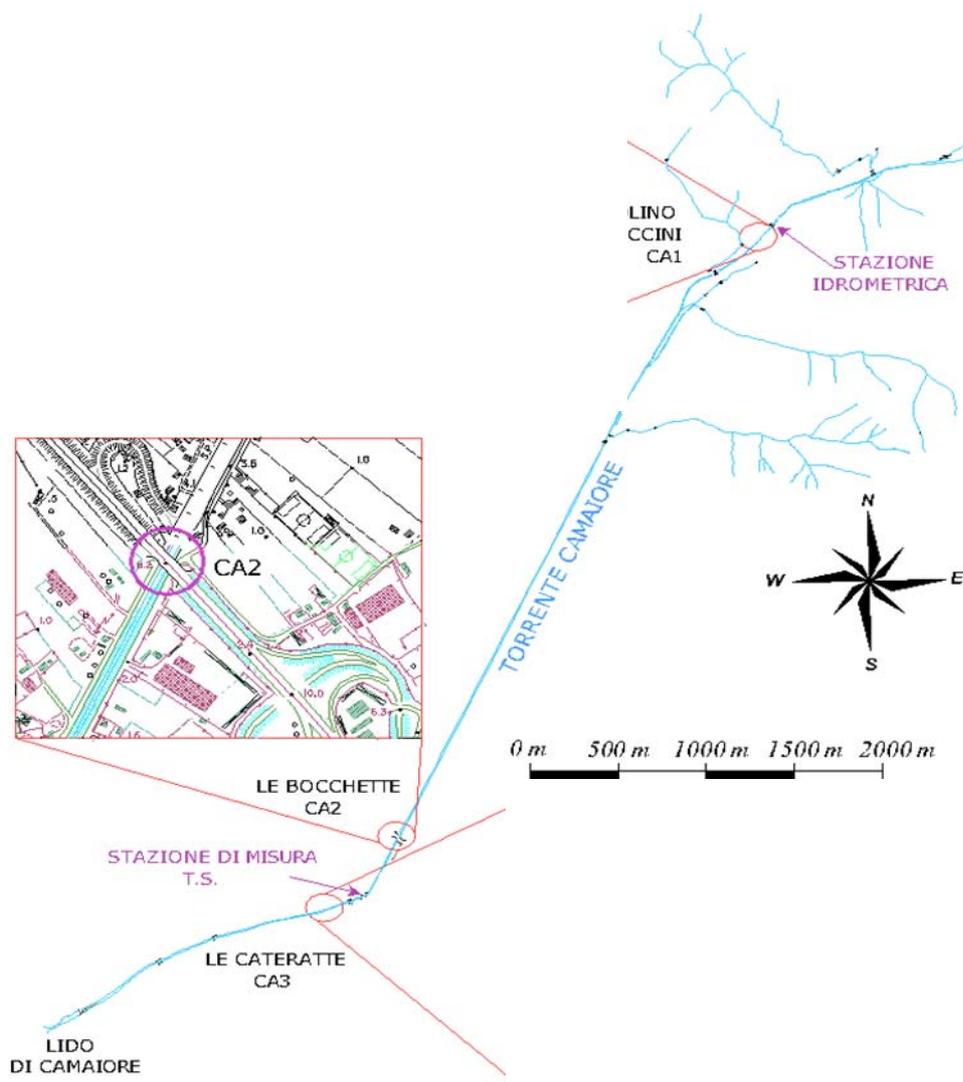


Figura 5-22: Ubicazione del sito di campionamento sedimentologico in località 'Le Bocchette' sul torrente Camaiore e della stazione di monitoraggio del trasporto solido.

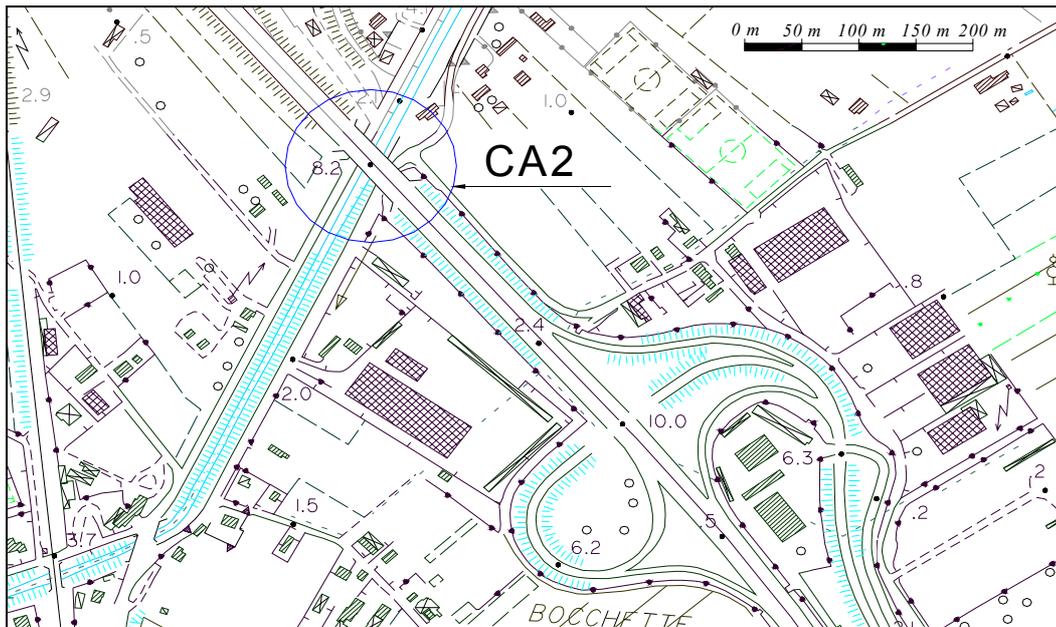


Figura 5-23: Inquadramento planimetrico del sito di campionamento sedimentologico alla stazione di monitoraggio in località 'Le Bocchette'.



Figura 5-24: Il sito di campionamento sedimentologico sul f. Camaioire; (a sinistra: vista da monte verso valle; a destra: vista da valle verso monte).

Campionamento n° CA2	Letto Torrente Camaioire		
Data campionamento	18/04/2007		
Località:	Le Bocchette - Viareggio		
Descrizione campionamento			
Peso totale campione [gr]	17076	Setacciatura	a umido
Φ_{max} del campione	-5	Diametro max granulo [mm]	32
Quartatura	parziale	Peso iniziale quartato [gr]	10386

Figura 5-25: Scheda informativa del campionamento sedimentologico in località Le Bocchette sul fiume Camaioire.

Sublayer		
	Φ	D (mm)
D10	4,2675	0,052
D16	4,1281	0,057
D25	3,4104	0,094
D35	2,1721	0,222
D40	1,8666	0,274
D50	1,4036	0,378
D75	-0,4403	1,357
D84	-2,2848	4,873
D90	-3,4641	11,036
MEAN	1,01	0,495

DEV STANDARD	2,68
SKEWNESS	-0,58
KURTOSIS	2,39
% Gravel	22,18
% Sand	56,31
% Silt	0,22
% Clay	0,00

Tabella 5-3: I principali percentili e parametri statistici relativi alla curva granulometrica del materiale d'alveo del campione del sottostrato, nel sito in località 'Le Bocchette' sul f. Camaioere.

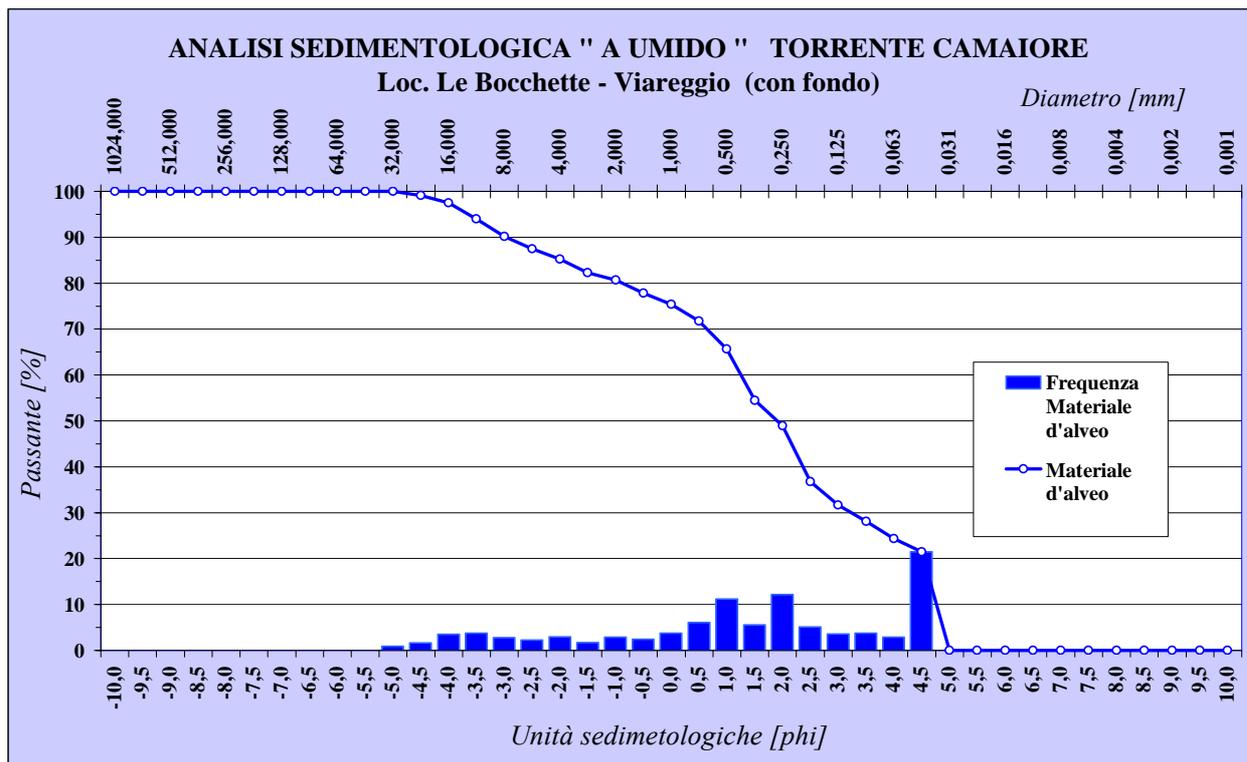


Figura 5-26: La curva granulometrica del campione di sedimenti in località Le Bocchette sul fiume Camaioere.

6 MISURE DI CAMPO ED ANALISI DI LABORATORIO

Le misure svolte alla data di compilazione della presente relazione risultano complessivamente 15 di cui 5 sul fiume Versilia e 10 sul fiume Serchio come risulta dallo schema riassuntivo in tabella 4, 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-1	VERSILIA	Ponte Cateratte	09/12/2006
2	S-1	SERCHIO	Ripafratta	09/12/2006
3	V-2	VERSILIA	Ponte Tavole	23/01/2007
4	S-2	SERCHIO	Ripafratta	08/02/2007
5	S-3	SERCHIO	Ripafratta	08/02/2007
6	V-3	VERSILIA	Ponte Tavole	28/05/2007
7	S-4	SERCHIO	Ripafratta	12/01/2008
8	V-4	VERSILIA	Ponte Tavole	12/01/2008
9	V-5	VERSILIA	Ponte Tavole	16/01/2008
10	S-5	SERCHIO	Ripafratta	17/01/2008
11	S-6	SERCHIO	Ripafratta	17/01/2008
12	S-7	SERCHIO	Ripafratta	17/01/2008
13	S-8	SERCHIO	Ripafratta	22/03/2008
14	S-9	SERCHIO	Ripafratta	22/03/2008
15	S-10	SERCHIO	Ripafratta	22/03/2008

Tabella 6-1: Schema riassuntivo delle misure svolte.

Si noti che fino ad oggi le misure sono state effettuate nei soli fiumi Serchio e Versilia, mentre nel fiume Camaiore non risulta alcun misura; ciò è dovuto alle caratteristiche idrografiche del Camaiore che presenta un bacino di piccola estensione con piene improvvise, di breve durata, caratterizzate da bassi tempi di corrivazione e scarsamente predicibili; si consideri inoltre che l'anno 2007 è risultato particolarmente siccitoso.

Si noti che, per motivi organizzativi, la prima misura sul fiume Versilia, denominata V-1, è stata effettuata nella sezione di Ponte Cateratte posta più a valle rispetto alla stazione di monitoraggio Ponte Tavole.

Dal punto di vista logistico, le misure sono state effettuate da operatori provenienti dall'area di Firenze, mentre il furgone attrezzato con gli strumenti di misura è stato collocato nel magazzino di Valentosa della Protezione Civile di Lucca in via Lombardi 1314 nel Comune di Seravezza. Per realizzare la misura è stato pertanto necessario dapprima raggiungere il

magazzino di Valventosa partendo da Firenze, successivamente, sulla base delle previsioni meteo e dei dati di intensità di pioggia e di livello d'acqua provenienti dai sensori dalle rete di monitoraggio gestita dal Centro Funzionale della Regione Toscana, la squadra si è spostata con il furgone attrezzato verso una delle stazioni di monitoraggio in esame per effettuare la misura. La durata media del viaggio da Firenze al magazzino di Valventosa è risultata pari a circa 2 ore, a cui occorre aggiungere il tempo impiegato per raggiungere le stazioni di monitoraggio; in Tabella 6-2 vengono riportati i tempi di percorrenza con le relative distanze.

PERCORSO	DISTANZA [km]	TEMPO DI PERCORRENZA [min]
Firenze - magazzino Valventosa	120	110
magazzino Valventosa - stazione monitoraggio f. Serchio	44	36
magazzino Valventosa - stazione monitoraggio f. Versilia	12	8
magazzino Valventosa - stazione monitoraggio f. Camaione	23	22

Tabella 6-2: Distanze e tempi di percorrenza medi per raggiungere le stazioni di monitoraggio.

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 6.3.

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 6-3: 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 relative alla fase di campo e le schede della fase di laboratorio relative alle 15 misure oggetto del primo stralcio della rete di monitoraggio.

6.1 FIUME SERCHIO

6.1.1 EVENTO S-1

La misura S-1 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena registrato il 9/12/2006 in un intervallo di tempo tra le 14:00 e le 16:00 (figura 6-1). 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.

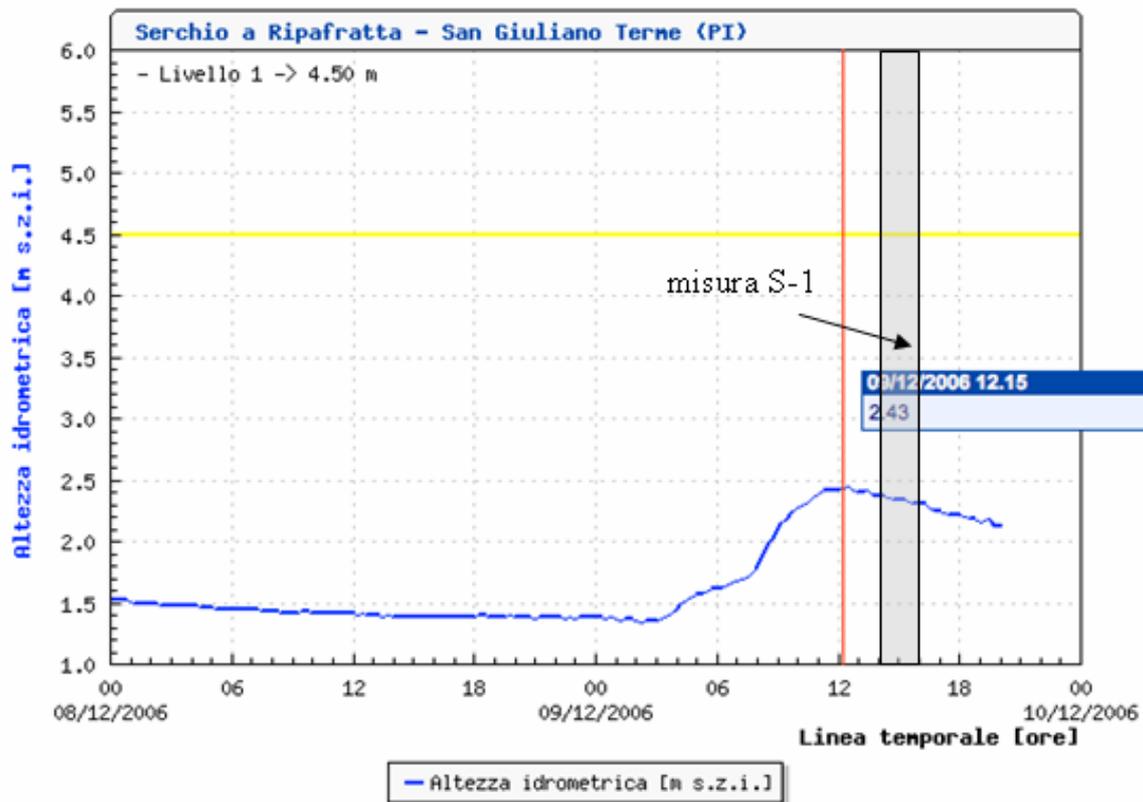


Figura 6-1: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-1.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

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

- il 16% 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 $5 \cdot 10^{-4}$ e $8 \cdot 10^{-4}$;
- il trasporto solido al fondo è principalmente costituito da sedimenti di tipo sabbioso aventi un diametro mediano della distribuzione granulometrica D50 compreso tra circa 0.4 mm a 0.7 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 misura	09/12/2006				
Codice identificativo	S-1				
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni				
Larghezza Pelo Libero (PL)	66,1 metri				
Verticali	Nome	V2	V1	V3	
	Distanza da spalletta sx [m]	32.1	48.7	67.3	
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	13.55	15.00	15.46	
Altezza d'acqua	Y [m]	3.07	5.53	4.59	
I misura velocità	U [m/s]	1.725	1.557	1.108	
	Distanza dal fondo [m]	0.64	1.12	0.9	
II misura velocità	U [m/s]	1.84	1.761	1.165	
	Distanza dal fondo [m]	1.28	2.24	1.8	
III misura velocità	U [m/s]	1.556	1.564	1.129	
	Distanza dal fondo [m]	2.56	4.48	3.6	
Integratore	Tempo campionamento [s]	60	30	90	
	Ugello	piccolo	piccolo	piccolo	
	nome campione	2-INT	1-INT	3-INT	
Helley-Smith	Tempo campionamento [min]	5	1	5	5
	nome campione	2-H	1a-H	1b-H	3-H

Tabella 6-4: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-1.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO				
Sezione	RIPAFRATTA				
Codice identificativo	S-1				
Data misura	09/12/2006				
Operatori	Vannacci				
Verticali	Nome	V2	V1	V3	
Integratore	nome campione	2-INT	1-INT	3-INT	
	peso acqua [g]	453	449	504	
	peso sedimento [g]	0.316	0.346	0.240	
	peso sabbia [g]	0.050	0.055	0.038	
	concentrazione (peso sed./acqua)	6.978E-04	7.706E-04	4.758E-04	
	% sabbia	0.16	0.16	0.16	
	% limo - argilla	0.84	0.84	0.84	
Helley-Smith	nome campione	2-H	1a-H	1b-H	3-H
	peso sedimenti [g]	363	807	3930	51
	D16 [mm]	0.28	0.41	0.51	0.28
	D50 [mm]	0.38	0.62	0.71	0.41
	D84 [mm]	0.52	1.05	1.14	0.66
	% ghiaia	0	5.33	5.06	1.96
	% sabbia	100	94.67	94.94	98.04
	deviazione standard [ϕ]	0.46	0.98	1.01	0.7

Tabella 6-5: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-1.

6.1.2 EVENTO S-2

La misura S-2 è stata eseguita durante una fase pressoché stazionaria di un evento di piena iniziato il 7/2/2007 in un intervallo di tempo tra le 9:00 e le 11:30 (figura 6-2). 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.

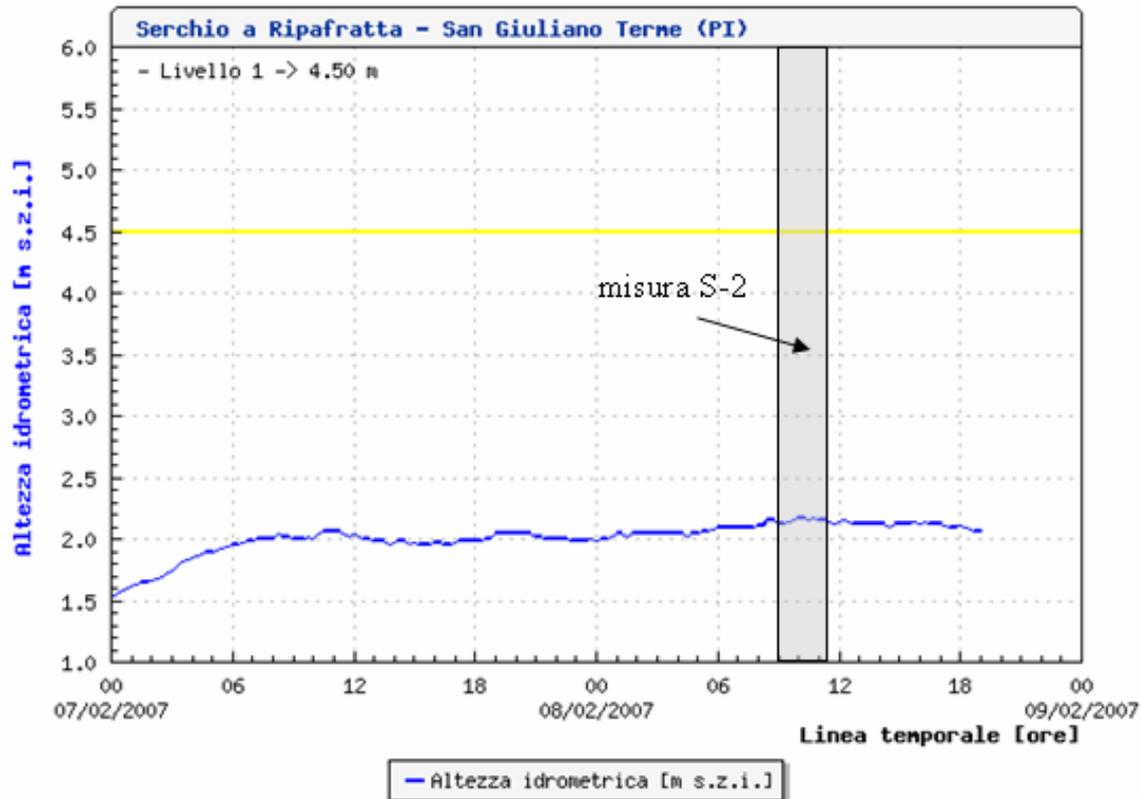


Figura 6-2: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-2.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il 90% del trasporto solido in sospensione è costituito dalla componente 'wash load';
- il restante 10% 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 dell'ordine di $2 \cdot 10^{-4}$;
- il trasporto solido al fondo è principalmente costituito da sedimenti sabbiosi aventi un D50 compreso tra circa 0.6 mm a 1.2 mm;

- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica un materiale da discretamente a mediamente classato (si veda la tabella 6-7).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data misura	08/02/2007			
Codice identificativo	S-2			
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	66 m			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora solare inizio [hh:mm]		9.05	9.40	10.15
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.48	7.50	7.38
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	12.88	12.90	11.62
Profondità acqua	Y [m]	5.40	5.40	4.24
I misura velocità	U [m/s]	1.32	1.42	0.975
	Distanza dall'estradosso [m]	11.72	11.70	10.90
II misura velocità	U [m/s]	1.36	1.653	0.926
	Distanza dall'estradosso [m]	10.55	10.62	10.15
III misura velocità	U [m/s]	1.173	1.556	0.978
	Distanza dall'estradosso [m]	8.4	8.43	9.1
Integratore	Ora solare [hh:mm]	11.30	11.35	10.30
	Tempo campionamento [s]	40	33	38
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	9.10	9.43	10.30
	Tempo campionamento [min]	15	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H

Tabella 6-6: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-2.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data misura	08/02/2007			
Codice identificativo	S-2			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	665	598	531
	peso sedimento [g]	0.137	0.108	0.090
	peso sabbia [g]	0.014	0.011	0.009
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.06E-04	1.81E-04	1.70E-04
	% sabbia	0.10	0.10	0.10
	% limo - argilla	0.90	0.90	0.90
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	7190	144	103
	D16 [mm]	0.59	0.39	0.71
	D50 [mm]	0.82	0.60	1.16
	D84 [mm]	1.11	1.09	1.88
	% ghiaia	1.11	7.64	12.62
	% sabbia	98.78	92.36	87.38
	deviazione standard [ϕ]	0.49	0.9	0.68

Tabella 6-7: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-2.

6.1.3 EVENTO S-3

La misura S-3 è stata eseguita durante lo stesso evento di piena associato alla misura S-2 in un intervallo di tempo tra le 13:00 e le 14:00 (figura 6-3). Le condizioni idrauliche di questa misura risultano simili a quelle osservate nella misura S-2. 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.

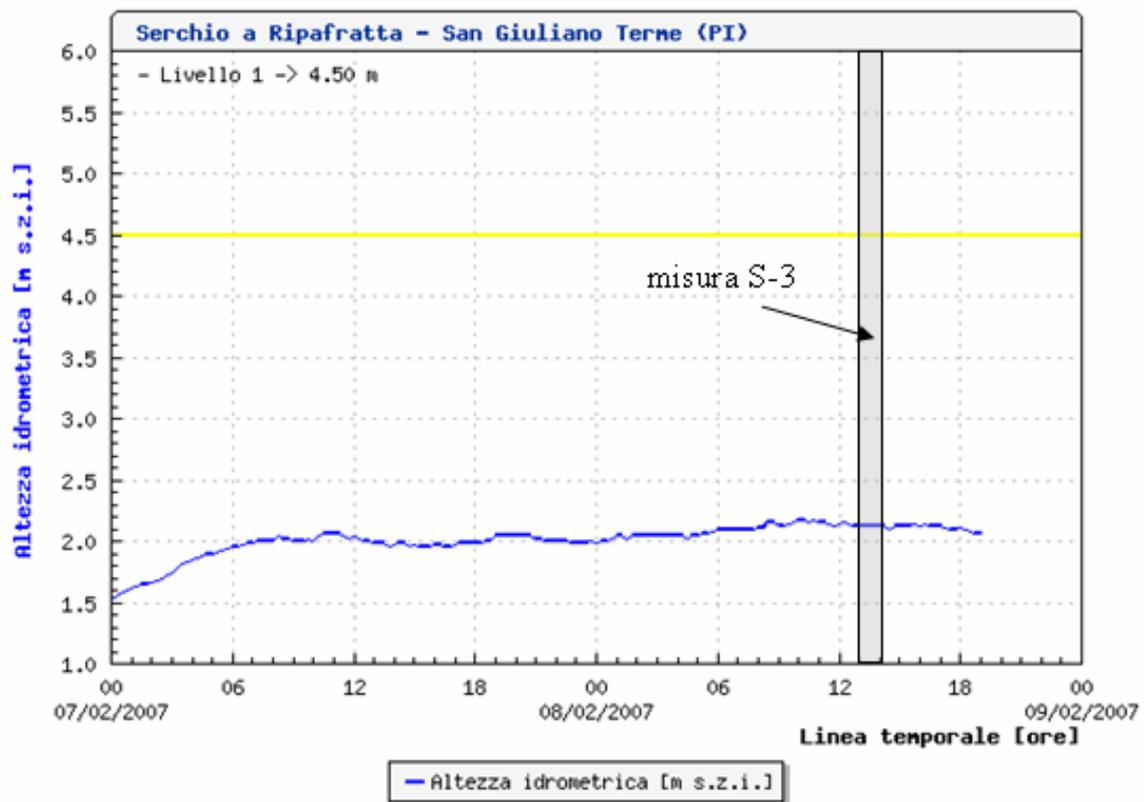


Figura 6-3: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-3.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il 90% del trasporto solido in sospensione è costituito dalla componente 'wash load';
- il restante 10% 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 dell'ordine di $2 \cdot 10^{-4}$;

- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 2-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 compreso tra circa 0.4 mm a 0.9 mm;
- il campione 3-H è di tipo ghiaioso con un D50 di 7.9 mm.
- i campioni 1-H e 2-H presentano una miscela da discretamente a mediamente classata;
- il campione 3-H risulta assortito.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data misura	08/02/2007			
Codice identificativo	S-3			
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	66 metri			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	13.10	13.22	13.38
Distanza da estradosso	Y [m]	5.33	5.42	4.27
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.55	7.50	7.32
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	12.80	12.92	11.50
Profondità acqua	Y [m]	5.25	5.42	4.18
I misura velocità	U [m/s]	1.226	1.652	0.968
	Distanza dall'estradosso [m]	11.70	11.66	10.58
II misura velocità	U [m/s]	1.234	1.661	0.904
	Distanza dall'estradosso [m]	10.60	10.58	9.65
III misura velocità	U [m/s]	1.167	1.594	1.009
	Distanza dall'estradosso [m]	8.47	8.43	8.00
Integratore	Ora solare [hh:mm]	13.10	13.00	13.45
	Tempo campionamento [s]	33	35	36
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	13.20	14.10	13.00
	Tempo campionamento [min]	15	15	15
	nome campione	1-H	2-H	3-H

Tabella 6-8: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-3.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data misura	08/02/2007			
Codice identificativo	S-3			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	627	796	539
	peso sedimento [g]	0.118	0.150	0.098
	peso sabbia [g]	0.012	0.015	0.010
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.887E-04	1.887E-04	1.822E-04
	% sabbia	0.10	0.10	0.10
	% limo - argilla	0.90	0.90	0.90
Helly-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	628	277	255
	D16 [mm]	0.29	0.53	0.68
	D50 [mm]	0.40	0.91	7.91
	D84 [mm]	0.53	1.88	17.24
	% ghiaia	0.48	13.72	69.41
	% sabbia	99.52	86.28	30.59
	deviazione standard [ϕ]	0.49	0.99	2.03

Tabella 6-9: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-3.

6.1.4 EVENTO S-4

La misura S-4 è stata eseguita durante la fase crescente di un evento di piena registrato il 12/1/2008 ed in un intervallo di tempo tra le 10:45 e le 12:30 (figura 6-4). 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; poiché nell'intervallo di misura si è riscontrato un incremento sensibile del livello della corrente, le misure di velocità lungo la verticale di misura V3, da cui sono iniziate le misure, sono state ripetute.

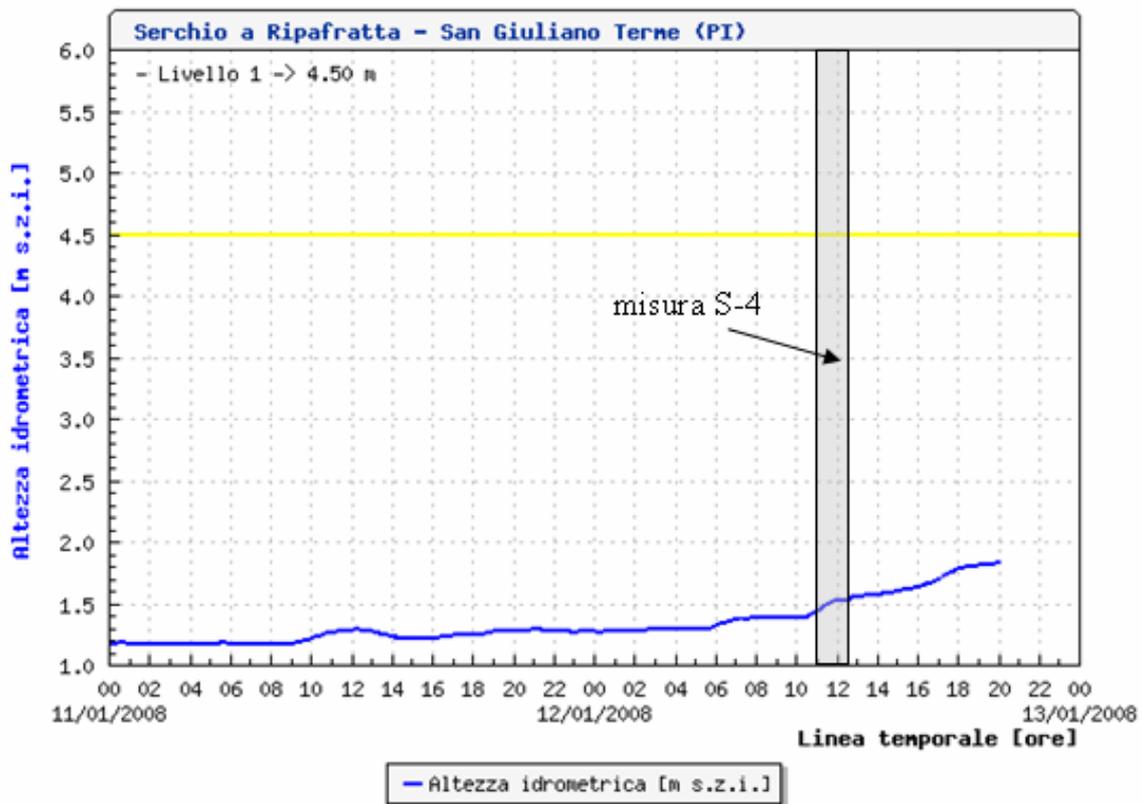


Figura 6-4: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-4.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il 100% del trasporto solido in sospensione è costituito dalla componente '*wash load*';
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è molto ridotta e dell'ordine di $1 \cdot 10^{-5}$;
- lungo la verticale V1 il trasporto solido al fondo è risultato nullo;

- i campioni del trasporto solido al fondo 2-H e 3-H sono costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 compreso tra circa 0.3 mm a 0.44 mm;
- i campioni 1-H e 2-H presentano una mistura da discretamente a discretamente classata.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO				
Sezione	RIPAFRATTA				
Data	12/01/2008				
Codice identificativo	S-4				
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari				
Larghezza Pelo Libero (PL)	61.10 m				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68	
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	12.08	12.00	10.47	12.30
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	8.39	8.35	8.32	8.12
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.04	13.20	11.72	11.77
Profondità acqua	Y [m]	4.65	4.85	3.40	3.65
I misura velocità	U [m/s]	0.377	0.658	0.278	0.357
	Distanza dall'estradosso [m]	12.10	12.10	11.77	11.57
II misura velocità	U [m/s]	0.568	0.603	0.123	0.398
	Distanza dall'estradosso [m]	10.8	10.8	9.00	10.00
III misura velocità	U [m/s]	0.459	0.644	-	0.383
	Distanza dall'estradosso [m]	9.25	9.25	-	9.25
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12.10	12.20	12.25	
	Tempo [s]	60	60	80	
	Ugello	grande	grande	grande	
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	10.50	10.34	11.10	
	Tempo [min]	15	15	15	
	nome campione	1-H	2-H	3-H	

Tabella 6-10: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-4.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data misura	12/01/2008			
Codice identificativo	S-4			
Operatore	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	563	820	508
	peso sedimenti [g]	0.0124	0.0091	0.0123
	peso sabbia [g]	0	0	0
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.20E-05	1.11E-05	2.42E-05
	% sabbia	0	0	0
	% limo - argilla	100	100	100
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	0	77	6
	D16 [mm]	–	0.32	0.17
	D50 [mm]	–	0.44	0.30
	D84 [mm]	–	0.64	0.51
	% ghiaia	–	0	0
	% sabbia	–	100	100
	deviazione standard [ϕ]	–	0.5	0.65

Tabella 6-11: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-4.

6.1.5 EVENTO S-5

La misura S-5 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena registrato il 17/1/2008 ed in un intervallo di tempo tra le 9:00 e le 10:45 (figura 6-5). 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. Sulla verticale V2 sono stati raccolti due campioni di trasporto solido al fondo (2a-H e 2b-H) con diversi tempi di campionamento.

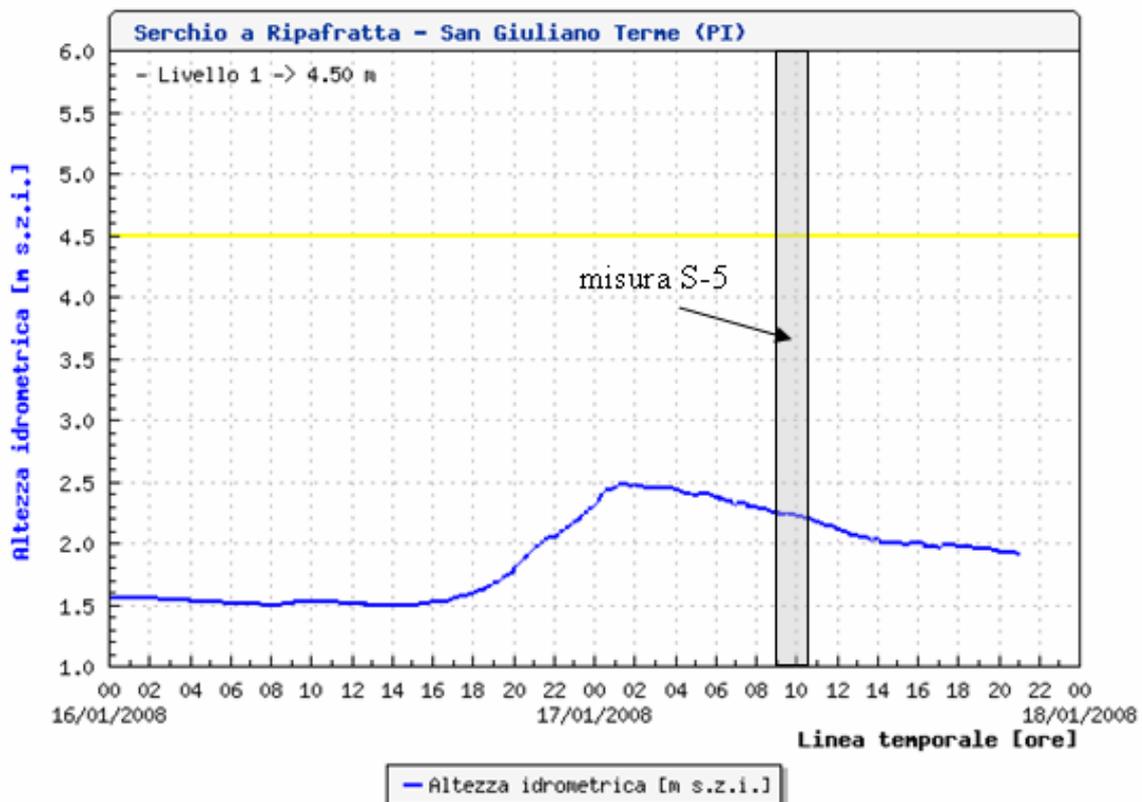


Figura 6-5: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-5

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è principalmente costituito dalla componente 'wash load' con frazioni che vanno dal 92% al 98% del trasporto solido in sospensione totale;
- il restante 2%-8% del trasporto solido in sospensione è attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da circa $2 \cdot 10^{-4}$ a circa $8 \cdot 10^{-4}$;

- i campioni del trasporto solido al fondo 1-H e 3-H sono essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi, aventi un D50 rispettivamente di circa 1 mm a 0.8 mm;
- i campioni 2a-H e 2b-H sono principalmente di tipo ghiaioso con un D50 rispettivamente di circa 14 mm e 4 mm;
- i campioni 1-H e 3-H presentano una mistura da discretamente a mediamente classata;
- i campioni 2a-H e 2b-H risultano poco classati.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO				
Sezione	RIPAFRATTA				
Data	17/01/2008				
Codice identificativo	S-5				
Operatori	Bechi, Mengoni, Francalanci, Solari				
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	65.17				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68	
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	9.00	9.30	10.15	
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.75	7.68	7.50	
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.20	13.30	11.80	
Profondità acqua	Y [m]	5.45	5.62	4.30	
I misura velocità	U [m/s]	1.430	1.715	1.06	
	Distanza dall'estradosso [m]	12.20	12.30	10.80	
II misura velocità	U [m/s]	1.176	1.895	1.112	
	Distanza dall'estradosso [m]	10.2	10.80	9.65	
III misura velocità	U [m/s]	1.259	1.536	0.97	
	Distanza dall'estradosso [m]	9.20	8.68	8.50	
IV misura velocità	U [m/s]	1.30	–	–	
	Distanza dall'estradosso [m]	8.20	–	–	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	10.30	10.32	10.40	
	Tempo [s]	43	40	50	
	Ugello	medio	medio	medio	
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	8.40	9.22	9.40	10.15
	Tempo [min]	15	5	10	15
	nome campione	1-H	2a-H	2b-H	3-H

Tabella 6-12: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-5.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO				
Sezione	RIPAFRATTA				
Data	17/01/2008				
Codice identificativo	S-5				
Operatori	Vannacci				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	
	peso acqua [g]	723	727	616	
	peso sedimenti [g]	0.159	0.565	0.191	
	peso sabbia [g]	0.011	0.010	0.003	
	concentrazione (peso sed/acqua)	2.20E-04	7.77E-04	3.10E-04	
	% sabbia	0.07	0.02	0.02	
	% limo - argilla	0.93	0.98	0.98	
Helley-Smith	nome campione	1-H	2a-H	2b-H	3-H
	peso sedimenti [g]	10908	326	148	118
	D16 [mm]	0.61	3.90	1.47	0.48
	D50 [mm]	1.05	13.65	4.05	0.82
	D84 [mm]	2.40	30.70	9.70	1.28
	% ghiaia	19.89	88.96	74.32	2.54
	% sabbia	80.11	11.04	25.68	97.46
	deviazione standard [ϕ]	1.16	1.68	1.42	0.75

Tabella 6-13: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-5

6.1.6 EVENTO S-6

La misura S-6 è stata eseguita in successione alla misura S-5 in un intervallo di tempo tra le 12:00 e le 13:15 (figura 6-6). Il livello dell'acqua in questa misura risulta sensibilmente più basso rispetto a quello osservato nella misura S-5. 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. Sulla verticale V2 e V3 sono stati raccolti due campioni di trasporto solido in sospensione con diversi tempi di campionamento.

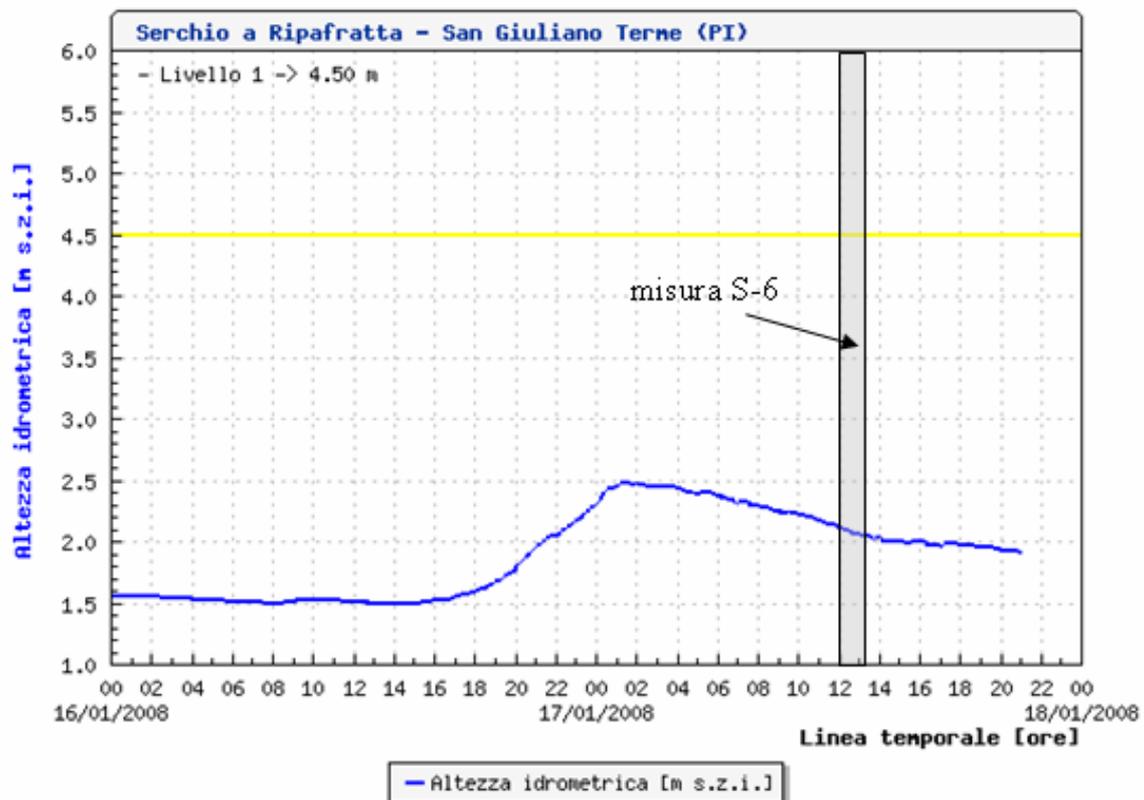


Figura 6-6: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-6.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- in tutti i campioni il trasporto solido in sospensione è principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con frazioni che vanno dall' 83% al 100% del trasporto solido in sospensione totale;

- la componente del trasporto solido in sospensione attribuibile al *bed material* rappresenta una percentuale relativamente bassa, dal 17% del campione 2b-INT fino a zero del campione 3a-INT;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $1.4 \cdot 10^{-4}$ a $2 \cdot 10^{-4}$;
- 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 mm a 0.8 mm;
- il campione 2-H presenta un D50 pari a 2.6 mm ed è costituito per una frazione pari al 57% da sedimenti ghiaiosi;
- i campioni 1-H e 3-H sono caratterizzati da una mistura da discretamente a mediamente classata;
- il campione 2-H risulta poco classato.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO					
Sezione	RIPAFRATTA					
Data	17/01/2008					
Codice identificativo	S-6					
Operatori	Bechi, Mengoni, Francalanci, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.17					
Verticali	Nome	V1	V2	V3		
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68		
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	12.20	12.10	12.00		
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.85	7.85	7.62		
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.10	13.2	11.88		
Profondità acqua	Y [m]	5.25	5.35	4.26		
I misura velocità	U [m/s]	1.273	1.486	0.956		
	Distanza dall'estradosso [m]	12.10	12.2	10.9		
II misura velocità	U [m/s]	1.203	1.518	0.966		
	Distanza dall'estradosso [m]	10.5	10.55	9.9		
III misura velocità	U [m/s]	1.037	1.535	0.897		
	Distanza dall'estradosso [m]	8.85	8.85	8.8		
IV misura velocità	U [m/s]	–	–	1.047		
	Distanza dall'estradosso [m]	–	–	8.12		
Integratore	Ora solare [hh:mm]	12.48	12.38	12.40	13.06	13.08
	Tempo [s]	31	40	32	37	54
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3a-INT	3b-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	11.45	12.01		12.41	
	Tempo [min]	5	15		15	
	nome campione	1-H	2-H		3-H	

Tabella 6-14: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-6.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO					
Sezione	RIPAFRATTA					
Data	17/01/2008					
Codice identificativo	S-6					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2		V3	
Integratore	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3a-INT	3b-INT
	peso acqua [g]	575	774	599	428	700
	peso sedimenti [g]	0.082	0.161	0.103	0.063	0.096
	peso sabbia [g]	0.009	0.011	0.017	0.000	0.010
	concentrazione (peso sed/acqua)	1.43E-04	2.08E-04	1.71E-04	1.47E-04	1.36E-04
	% sabbia	11.07	6.96	16.86	0.00	10.37
	% limo - argilla	88.93	93.04	83.14	100.00	89.63
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H		3-H	
	peso sedimenti [g]	7000	96		44	
	D16 [mm]	0.42	0.53		0.38	
	D50 [mm]	0.59	2.62		0.82	
	D84 [mm]	0.86	5.10		1.62	
	% ghiaia	0.57	57.29		9.09	
	% sabbia	99.43	42.71		90.91	
	deviazione standard [ϕ]	0.52	1.58		1.11	

Tabella 6-15: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-6.

6.1.7 EVENTO S-7

La misura S-7 è stata eseguita in successione alle misure S-5 e S-6 in un intervallo di tempo tra le 15:00 e le 15:45 (figura 6-7), questa misura presenta livelli della corrente più bassi rispetto alle misure S-5 e S-6. 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.

A completamento della misura S-7 sono stati eseguiti 9 campionamenti del trasporto solido al fondo con lo strumento Helley-Smith ad intervalli di tempo costante di 30 minuti sulla verticale V2 dove si è osservato la maggiore intensità di trasporto solido. L'obiettivo di questa serie di campionamenti è di osservare eventuali periodicità nel trasporto solido al fondo connesse alla propagazione di forme di fondo quali le dune. La serie di campionamenti raccolta è illustrata nel Tabella 20.

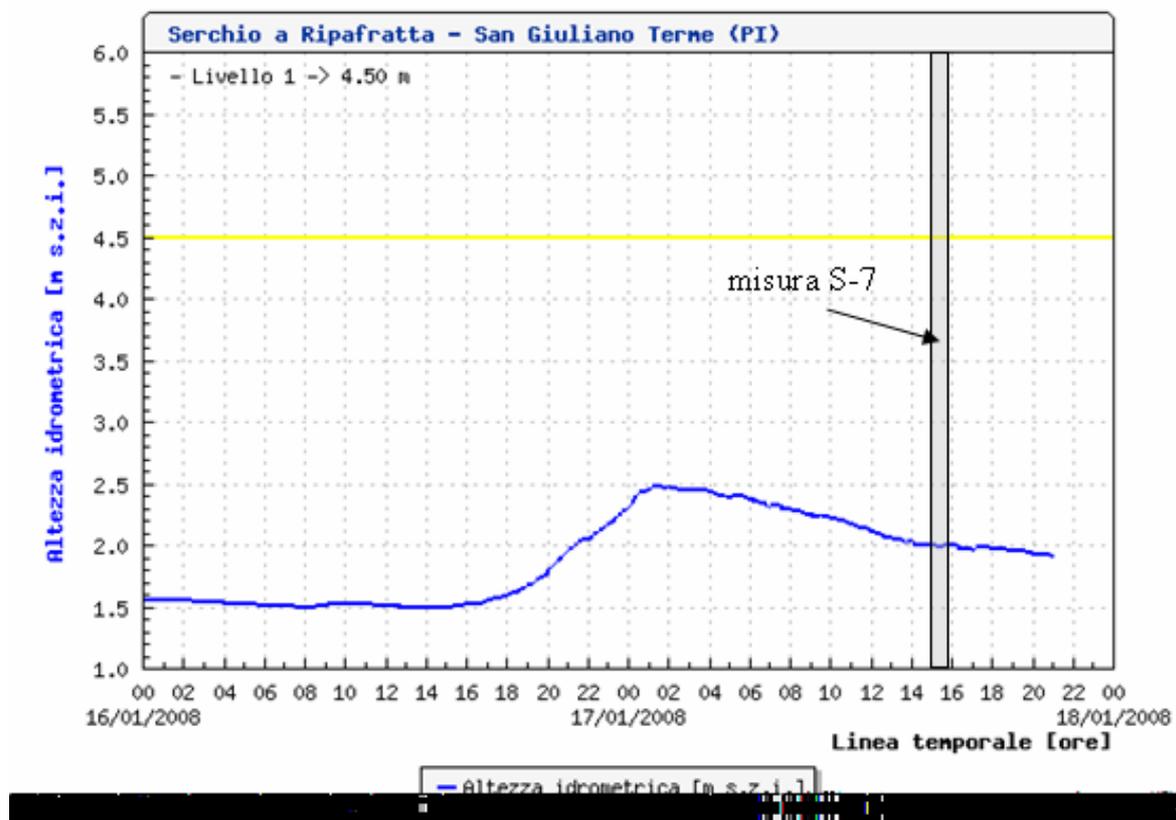


Figura 6-7: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-7.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni principalmente costituito dalla componente di '*wash load*' con frazioni dell'ordine del 96-97% del trasporto solido in sospensione totale;
- il restante 3-4% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da $1.3 \cdot 10^{-4}$ a $2.3 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo sono tutti essenzialmente costituiti da sedimenti sabbiosi e presentano un D50 di circa 0.5 mm;
- i campioni del trasporto solido al fondo sono caratterizzati da una mistura da discretamente classata;
- la serie di campionamenti effettuata con lo strumento Helley-Smith (tabella 6-18) mostra che le misture raccolte sono tutte principalmente di tipo sabbioso con percentuali comprese nell'intervallo tra 82% ed il 99.5% del peso totale, il D50 risulta compreso tra 0.5 mm e 1.1 mm e la deviazione standard è nell'intervallo 0.47ϕ e 1.01ϕ .

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	17/01/2008			
Codice identificativo	S-7			
Operatori	Bechi, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.17			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	15.30	15.45	15.00
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.93	7.93	7.75
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.20	13.20	11.85
Profondità acqua	Y [m]	5.27	5.27	4.10
I misura velocità	U [m/s]	1.159	1.41	0.86
	Distanza dall'estradosso [m]	12.20	12.20	10.85
II misura velocità	U [m/s]	1.078	1.273	0.918
	Distanza dall'estradosso [m]	10.60	10.60	9.80
III misura velocità	U [m/s]	0.904	1.215	0.817
	Distanza dall'estradosso [m]	8.95	8.95	8.85
Integratore	Ora solare [hh:mm]	15.35	15.40	15.05
	Tempo [s]	49	46	50
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	14.59	15.12	15.35
	Tempo [min]	5	15	15
	n° campioni	1-H	2-H	3-H

Tabella 6-16: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-7.

Corso d'acqua	SERCHIO	
Sezione	RIPAFRATTA	
Data	17/01/2008	
Operatori	Bechi, Mengoni, Francalanci, Solari	
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	65.17	
Verticale	Nome	V1
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	11.15
	Tempo campionamento [min]	10
	numero progressivo campione	1
	Ora solare [hh:mm]	11.45
	Tempo campionamento [min]	5
	n° campioni	2
	Ora solare [hh:mm]	12.26
	Tempo campionamento [min]	5
	n° campioni	3
	Ora solare [hh:mm]	13.06
	Tempo campionamento [min]	5
	n° campioni	4
	Ora solare [hh:mm]	13.33
	Tempo campionamento [min]	5
	n° campioni	5
	Ora solare [hh:mm]	13.43
	Tempo campionamento [min]	5
	n° campioni	6
	Ora solare [hh:mm]	14.05
	Tempo campionamento [min]	5
n° campioni	7	
Ora solare [hh:mm]	14.32	
Tempo campionamento [min]	5	
n° campioni	8	
Ora solare [hh:mm]	14.59	
Tempo campionamento [min]	5	
n° campioni	9 (1-H)	

Tabella 6-17: Scheda della serie dei campioni di trasporto solido al fondo.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	17/01/2008			
Codice identificativo	S-7			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	570	780	563
	peso sedimenti [g]	0.074	0.109	0.130
	peso sabbia [g]	0.003	0.004	0.004
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.29E-04	1.40E-04	2.30E-04
	% sabbia	3.93	3.84	2.78
	% limo - argilla	96.07	96.16	97.22
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	6746	91	16
	D16 [mm]	0.37	0.37	0.28
	D50 [mm]	0.50	0.51	0.47
	D84 [mm]	0.67	0.77	0.76
	% ghiaia	0.47	3.30	0.00
	% sabbia	99.53	96.70	100.00
	deviazione standard [ϕ]	0.47	0.73	0.74

Tabella 6-18: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-7.

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	17/01/2008			
Operatori	Vannacci			
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.17			
Verticale	Nome	V1		
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8		
Helley-Smith	numero progressivo campione	1	n°campione (in comune con S-6)	2
	peso sedimenti [g]	9072	peso sedimenti [g]	7000
	D16 [mm]	0.55	D16 [mm]	0.42
	D50 [mm]	0.85	D50 [mm]	0.59
	D84 [mm]	1.50	D84 [mm]	0.86
	% ghiaia	7.66	% ghiaia	0.57
	% sabbia	92.34	% sabbia	99.43
	deviazione standard [ϕ]	0.91	deviazione standard [ϕ]	0.52
	n° campioni	3	n° campioni	4
	peso sedimenti [g]	2061	peso sedimenti [g]	4860
	D16 [mm]	0.37	D16 [mm]	0.53
	D50 [mm]	0.50	D50 [mm]	0.83
	D84 [mm]	0.69	D84 [mm]	1.64
	% ghiaia	0.19	% ghiaia	0.45
	% sabbia	99.81	% sabbia	89.47
	deviazione standard [ϕ]	0.47	deviazione standard [ϕ]	1.01
	n° campioni	5	n° campioni	6
	peso sedimenti [g]	153	peso sedimenti [g]	513
	D16 [mm]	0.63	D16 [mm]	0.39
	D50 [mm]	1.12	D50 [mm]	0.57
	D84 [mm]	2.15	D84 [mm]	0.90
	% ghiaia	17.65	% ghiaia	0.78
	% sabbia	82.35	% sabbia	99.22
	deviazione standard [ϕ]	0.92	deviazione standard [ϕ]	0.61
	n° campioni	7	n° campioni	8
	peso sedimenti [g]	6155	peso sedimenti [g]	2946
	D16 [mm]	0.46	D16 [mm]	0.41
	D50 [mm]	0.68	D50 [mm]	0.60
	D84 [mm]	1.16	D84 [mm]	0.93
	% ghiaia	3.18	% ghiaia	1.77
	% sabbia	96.72	% sabbia	98.23
	deviazione standard [ϕ]	0.71	deviazione standard [ϕ]	0.64
	n° campioni (in comune con S-7)	9		
	peso sedimenti [g]	6746		
	D16 [mm]	0.37		
	D50 [mm]	0.50		
D84 [mm]	0.67			
% ghiaia	0.47			
% sabbia	99.53			
deviazione standard [ϕ]	0.47			

Tabella 6-19: Scheda delle analisi di laboratorio per la serie dei campioni di trasporto solido al fondo.

6.1.8 EVENTO S-8

La misura S-8 è stata eseguita durante la fase crescente di un evento di piena registrato il 22/03/2008 in un intervallo di tempo tra le 8:00 e le 9:00 (figura 6-8). 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.

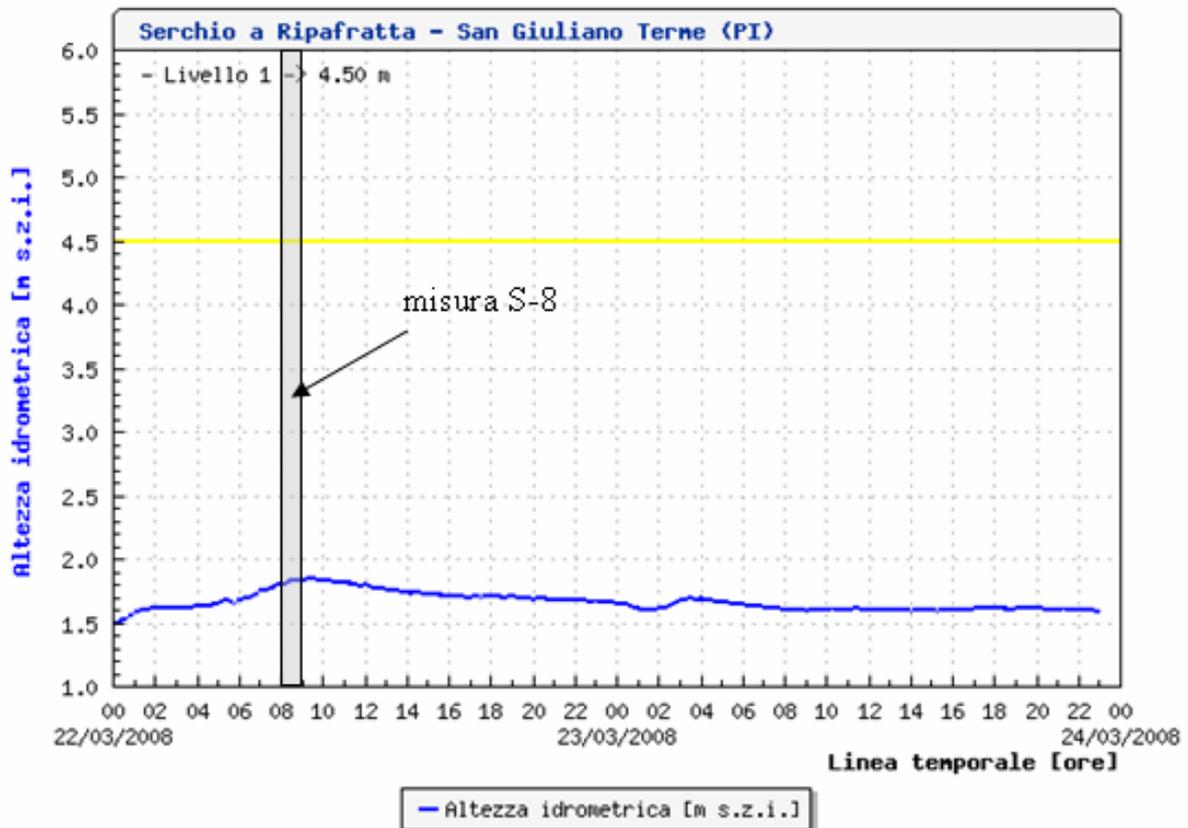


Figura 6-8: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-8.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni quasi completamente costituito dalla componente di *'wash load'* con frazioni dal 95% al 100% del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione dal 5% a 0% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è dell'ordine di $1.5 \cdot 10^{-4}$;
- nella verticale V2 il trasporto solido al fondo è risultato nullo;

- nella verticale V3 il campione del trasporto solido al fondo 3-H presenta un peso pressoché trascurabile e pari ad 1 grammo
- il trasporto solido risulta concentrato nella sola verticale V1, il campione 1-H risulta composto per la quasi totalità da sedimenti sabbiosi, presenta un D50 di circa 0.6 mm ed una deviazione standard di 0.84 ϕ (mistura mediamente classata).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-8			
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.2			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	8.25	8.15	8.00
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	8.10	8.10	7.85
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.00	13.15	11.75
Profondità acqua	Y [m]	4.90	5.05	3.90
I misura velocità	U [m/s]	0.987	1.106	0.666
	Distanza dall'estradosso [m]	12.00	12.15	10.75
II misura velocità	U [m/s]	0.827	1.167	0.627
	Distanza dall'estradosso [m]	10.05	11.15	9.75
III misura velocità	U [m/s]	0.808	0.985	0.592
	Distanza dall'estradosso [m]	9.10	9.10	8.75
Integratore	Ora solare [hh:mm]	8.36	8.40	8.44
	Tempo [s]	53	54	53
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	8.00	8.47	8.21
	Tempo [min]	10	15	15
	n° campioni	1-H	2-H	3-H

Tabella 6-20: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-8.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-8			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	572	735	572
	peso sedimenti [g]	0.090	0.110	0.099
	peso sabbia [g]	0.000	0.005	0.003
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.57E-04	1.49E-04	1.74E-04
	% sabbia	0.00	4.64	3.02
	% limo - argilla	100.00	95.36	96.98
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	176	0	1
	D16 [mm]	0.41	–	0.07
	D50 [mm]	0.62	–	0.07
	D84 [mm]	1.02	–	0.08
	% ghiaia	4.55	–	0.00
	% sabbia	95.45	–	100.00
	deviazione standard [ϕ]	0.84	–	0.00

Tabella 6-21: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-8.

6.1.9 EVENTO S-9

La misura S-9 è stata eseguita in successione alla misura S-8 durante la fase calante di un evento di piena registrato il 22/03/2008 in un intervallo di tempo tra le 9:48 e le 10:50 (figura 6-9). 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.

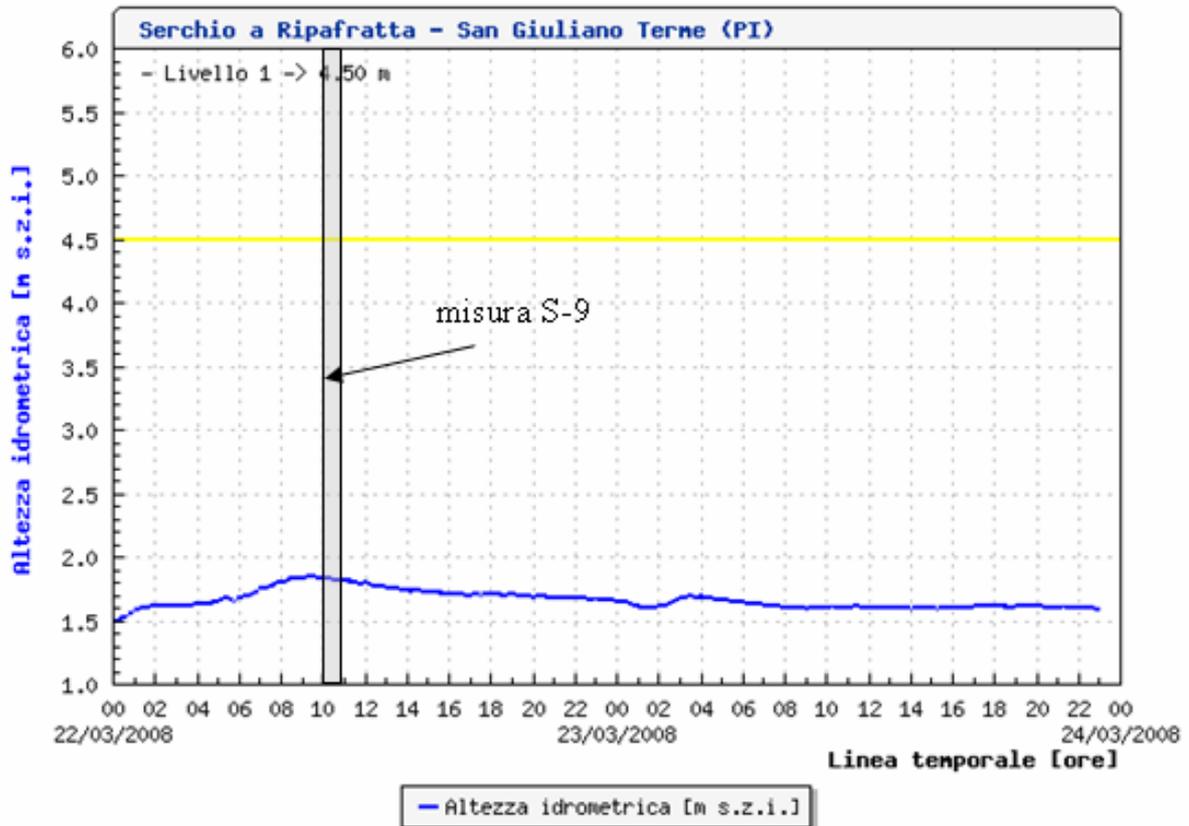


Figura 6-9: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-9.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni quasi completamente costituito dalla componente di *'wash load'* con frazioni da circa il 93% al 100% del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione dal 7% a 0% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è dell'ordine di $2 \cdot 10^{-4}$;

- nella verticale V2 il trasporto solido al fondo è risultato nullo;
- nella verticale V3 il campione del trasporto solido al fondo 3-H presenta un peso pressoché trascurabile essendo pari ad 1 grammo
- il trasporto solido risulta concentrato nella sola verticale V1, il campione 1-H risulta prevalentemente composto da sedimenti sabbiosi, presenta un D50 di circa 0.68 mm ed una deviazione standard di 1.4ϕ (mistura poco classata).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-9			
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.2			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	10.21	10.00	9.48
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	8.10	8.05	7.85
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.00	13.17	11.85
Profondità acqua	Y [m]	4.90	5.12	4.00
I misura velocità	U [m/s]	0.927	1.12	0.729
	Distanza dall'estradosso [m]	12.00	12.10	10.90
II misura velocità	U [m/s]	0.956	0.752	0.709
	Distanza dall'estradosso [m]	10.95	11.05	9.85
III misura velocità	U [m/s]	0.825	1.011	0.67
	Distanza dall'estradosso [m]	10.00	10.00	8.85
IV misura velocità	U [m/s]	0.70	0.999	–
	Distanza dall'estradosso [m]	9.00	9.05	–
Integratore	Ora solare [hh:mm]	10.18	10.15	9.48
	Tempo [s]	45	47	44
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	9.48	10.36	10.13
	Tempo [min]	15	15	15
	n° campioni	1-H	2-H	3-H

Tabella 6-22: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-9.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-9			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	480	642	463
	peso sedimenti [g]	0.098	0.128	0.097
	peso sabbia [g]	0.000	0.009	0.000
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.05E-04	2.00E-04	2.09E-04
	% sabbia	0.00	7.25	0.00
	% limo - argilla	100.00	92.75	100.00
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H
	peso sedimenti [g]	91	0	1
	D16 [mm]	0.38	-	0.07
	D50 [mm]	0.68	-	0.07
	D84 [mm]	2.89	-	0.08
	% ghiaia	20.88	-	0.00
	% sabbia	79.12	-	100.00
	deviazione standard [ϕ]	1.40	-	0.00

Tabella 6-23: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-9.

6.1.10 EVENTO S-10

La misura S-10 è stata eseguita in successione alla misura S-9 durante la fase calante di un evento di piena registrato il 22/03/2008 in un intervallo di tempo tra le 11:00 e le 12:00 (figura 6-10). A causa di un malfunzionamento del mulinello, le misure correntometriche sono state limitate alla sola misura della velocità sul pelo libero. Sono stati prelevati dei campioni di trasporto in sospensione lungo tutte le verticali di misura; il campionamento del trasporto solido al fondo nella verticale V2 non è stato effettuato visti i risultati ottenuti nelle misure S-8 e S-9 nella stessa verticale e durante lo stesso evento di piena.

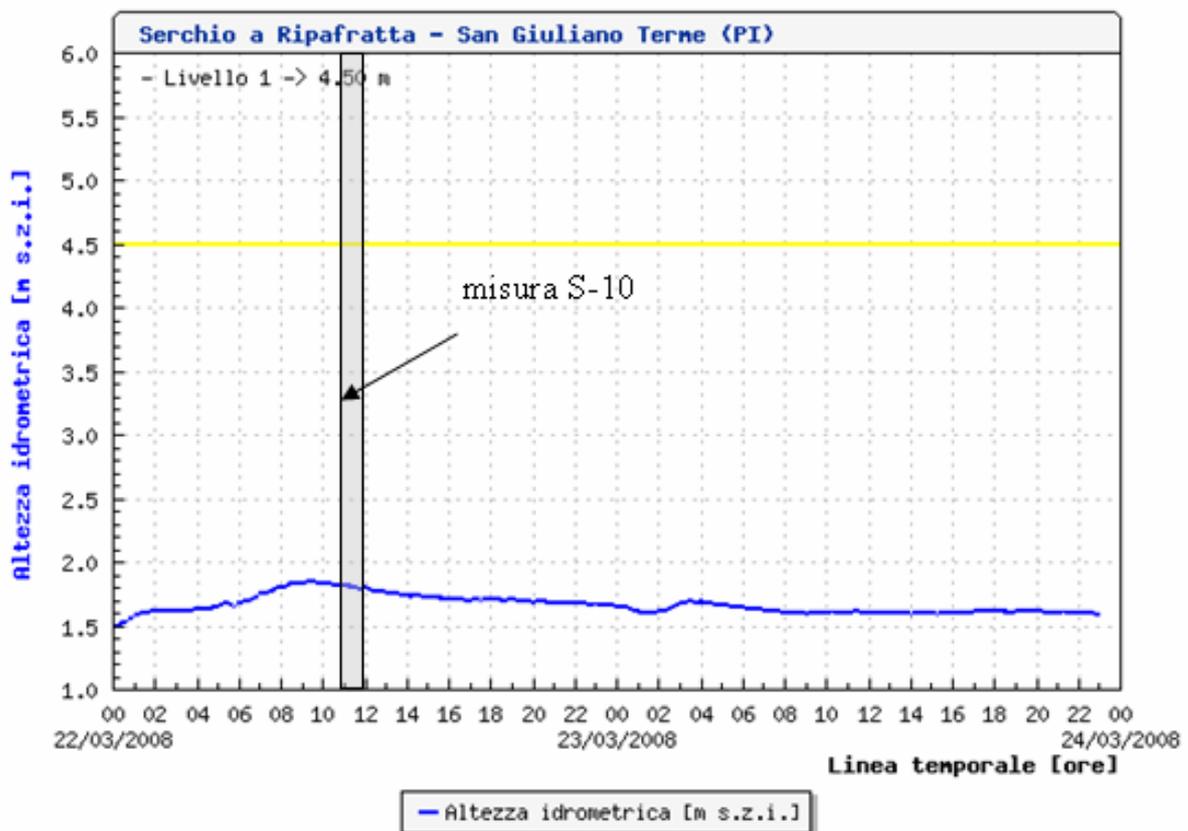


Figura 6-10: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ripafratta con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura S-10.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni quasi completamente costituito dalla componente di 'wash load' con frazioni da circa il 94% al 100% del trasporto solido in sospensione totale;

- la restante porzione dal 6% a 0% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo $1.8 \cdot 10^{-4}$ e $2.7 \cdot 10^{-4}$;
- nella verticale V3 il campione del trasporto solido al fondo 3-H presenta un peso limitato pari a 7 grammi di cui una componente rilevante, pari al 43%, è costituita da sedimenti ghiaiosi. Il D50 è pari 1.2 mm, e la deviazione standard risulta molto elevata e pari 2.2ϕ (mistura assortita).
- nella verticale V1, il campione 1-H risulta prevalentemente composto da sedimenti sabbiosi, presenta un D50 di circa 0.70 mm ed una deviazione standard di 1.16ϕ (mistura mediamente classata).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-10			
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Francalanci, Solari			
Larghezza Pelo Libero (PL)	65.2			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
	Distanza da spalletta sx [m]	49.8	55.4	68
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	11.03	11.45	11.00
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	8.10	8.10	7.90
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	13.05	13.15	11.85
Profondità acqua	Y [m]	4.95	5.05	3.95
I misura velocità	U [m/s]	66 giri in 60 s	(87, 94) giri in 60 s	52 giri in 60 s
	U [m/s]	0.745	1.019	0.588
	Distanza dall'estradosso [m]	8.15	8.15	7.95
Integratore	Ora solare [hh:mm]	11.17	11.24	11.30
	Tempo [s]	42	42	42
	Ugello	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	11.28	–	11.04
	Tempo [min]	15	–	15
	n° campioni	1-H	–	3-H

Tabella 6-24: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura S-10.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	SERCHIO			
Sezione	RIPAFRATTA			
Data	22/03/2008			
Codice identificativo	S-10			
Operatori	Vannacci			
Verticali	Nome	V1	V2	V3
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT
	peso acqua [g]	528	642	471
	peso sedimenti [g]	0.093	0.175	0.013
	peso sabbia [g]	0.006	0.007	0.000
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.77E-04	2.72E-04	2.70E-05
	% sabbia	6.43	4.18	0.00
	% limo - argilla	93.57	95.82	100.00
Helley-Smith	nome campione	1-H	-	3-H
	peso sedimenti [g]	684	-	7
	D16 [mm]	0.43	-	0.18
	D50 [mm]	0.70	-	1.19
	D84 [mm]	1.88	-	5.43
	% ghiaia	14.33	-	42.86
	% sabbia	85.67	-	57.14
	deviazione standard [ϕ]	1.16	-	2.22

Tabella 6-25: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura S-10.

6.2 FIUME VERSILIA

6.2.1 EVENTO V-1

La misura V-1 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena registrato il 9/12/2006 in un intervallo di tempo tra le 7:15 e le 10:30 (figura 6-11). A differenza delle altre misure eseguite sul f. Versilia alla stazione Ponte Tavole, la stazione di monitoraggio relativa a questa misura è costituita dal Ponte Cateratte. Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati dei campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura. I campioni di trasporto solido al fondo sono stati raccolti nella sola parte centrale della sezione perché sulle restanti verticali (V1 e V5) non si è osservato (a vista) alcun trasporto.

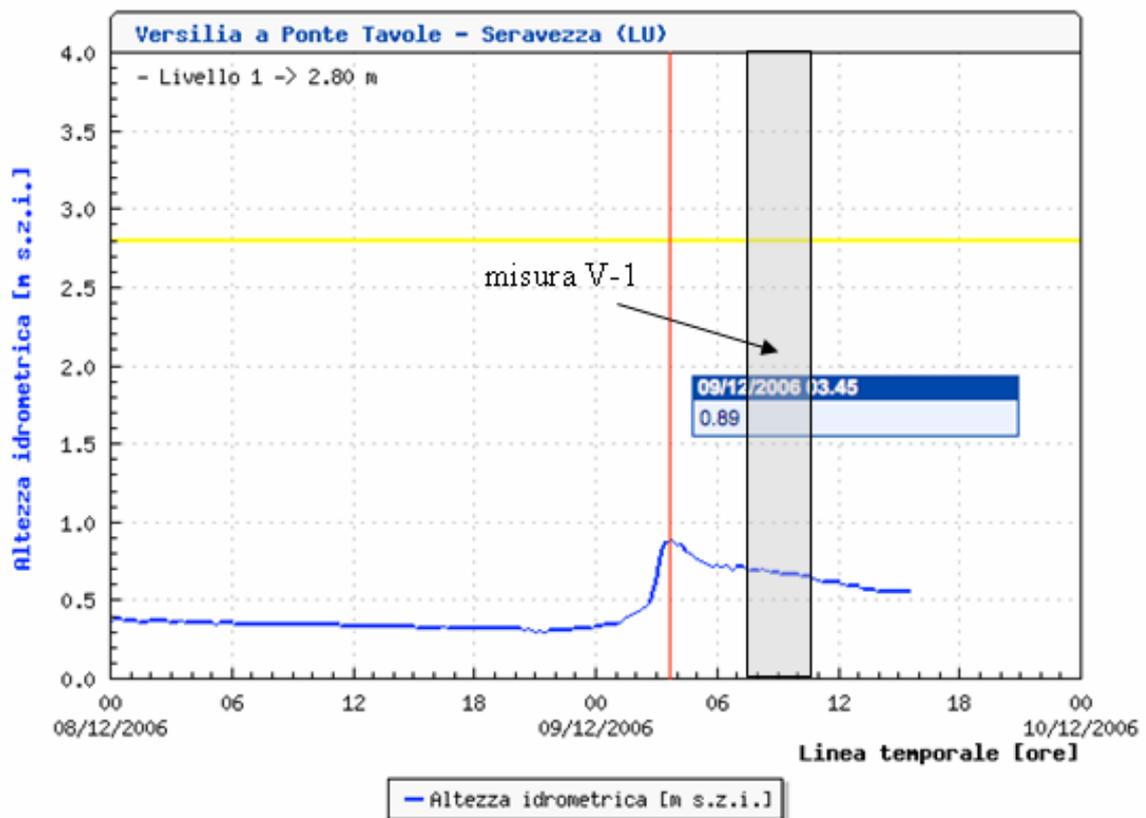


Figura 6-11: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-1.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo da circa $3 \cdot 10^{-4}$ e $8 \cdot 10^{-4}$;
- il trasporto solido al fondo risulta presente nella sola verticale V4;
- il campione del trasporto solido al fondo è composto esclusivamente da sedimenti nel campo delle sabbie, presenta un D50 pari a 0.36 mm ed una deviazione standard pari a 0.47ϕ (mistura ben classata).
- Si noti che nella fase di laboratorio, limitatamente a questa misura, non è stato determinato il peso della componente sabbiosa costituente i campioni in sospensione in quanto tutti i campioni restanti sono stati prelevati alla stazione di Ponte Tavole.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE DELLE CATERATTE						
Data	09/12/2006						
Codice identificativo	V-1						
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni						
Larghezza Pelo Libero (PL)	28,8 metri						
Verticali	Nome	V1	V2	V3		V4	V5
	Distanza da spalletta sx [m]	14.82	19.58	24.28		28.97	33.73
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	10.20	9.40	7.20	10.30	8.30	9.20
Altezza d'acqua	Y [m]	1.4	1.9	1.6	1.75	2.1	1.8
I misura velocità	U [m/s]	0.166	0.300	0.529	0.304	0.304	0.224
	Distanza dal fondo [m]	0.28	0.38	0.32	1.05	0.42	0.36
II misura velocità	U [m/s]	0.266	0.556	0.546	–	0.501	0.405
	Distanza dal fondo [m]	0.7	0.95	0.85	–	1.05	0.9
III misura velocità	U [m/s]	0.17	0.52	0.563	–	0.476	0.43
	Distanza dal fondo [m]	1.12	1.52	1.30	–	1.68	1.44
Integratore	Tempo campionamento [s]	135	80	34	34	60	100
	Ugello	grande	grande	grande	piccolo	grande	grande
	nome campione	1-INT	2-INT	3a-INT	3b-INT	4-INT	5-INT
Helley-Smith	Tempo campionamento [min]	–	15	10	–	10	–
	nome campione	–	2-H	3-H	–	4-H	–

Tabella 6-26: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-1.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA						
Sezione	PONTE DELLE CATERATTE						
Codice identificativo	V-1						
Operatori	Vannacci						
Verticali	Nome	V1	V2	V3		V4	V5
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3a-INT	3b-INT	4-INT	5-INT
	peso acqua [g]	800	641	588	299	614	737
	peso sedimenti [g]	0.207	0.327	0.417	0.247	0.242	0.248
	peso sabbia [g]	-	-	-	-	-	-
	concentrazione (peso sed./acqua)	2.588E-04	5.103E-04	7.090E-04	8.247E-04	3.943E-04	3.369E-04
	% sabbia	-	-	-	-	-	-
	% limo - argilla	-	-	-	-	-	-
Helley-Smith	nome campione	-	2-H	3-H	-	4-H	-
	peso sedimenti [g]	-	0	0	-	19	-
	D16 [mm]	-	-	-	-	0.26	-
	D50 [mm]	-	-	-	-	0.36	-
	D84 [mm]	-	-	-	-	0.48	-
	% ghiaia	-	-	-	-	0.00	-
	%sabbia	-	-	-	-	100.00	-
	deviazione standard [ϕ]	-	-	-	-	0.47	-

Tabella 6-27: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-1.

6.2.2 EVENTO V-2

La misura V-2 è stata eseguita durante una fase pressoché stazionaria di un evento di piena iniziato il 23/1/2007 in un intervallo di tempo tra le 13:15 e le 14:30 (figura 6-12). Sono state effettuate le misure correntometriche e sono stati prelevati campioni di trasporto solido in sospensione lungo tutte le verticali di misura. E' stato raccolto un solo campione trasporto solido al fondo sulla verticale V1 perché nella parte restante della sezione non si è osservato (a vista) alcun trasporto.

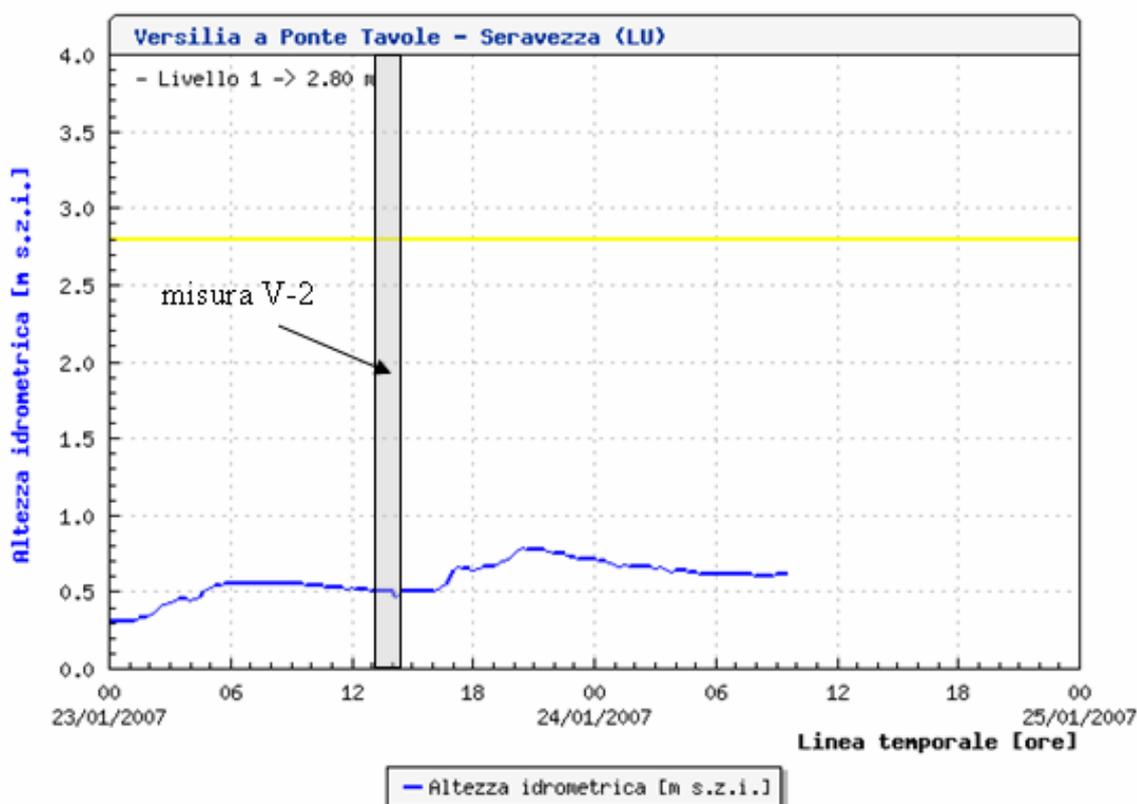


Figura 6-12: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-2.

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 dall' 88% del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione dal 12% 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 $3 \cdot 10^{-4}$;
- il trasporto solido al fondo è risultato nullo.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	23/01/2007				
Codice identificativo	V-2				
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni, Solari				
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	31.25				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	13.40	13.15	13.48	13.55
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.05	7.05	7.05	7.07
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.78	7.48	7.41	7.26
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.73	0.43	0.36	0.19
I misura velocità	U [m/s]	0.289	0.844	0.791	0.609
	Distanza dal fondo [m]	0.29	0.17	7.27	7.25
II misura velocità	U [m/s]	0.307	–	–	–
	Distanza dall'estradosso [m]	7.29	–	–	–
Integratore	Tempo campionamento [s]	60	60	60	60
	Ugello	medio	medio	medio	grande
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Tempo campionamento [min]	15	–	–	–
	nome campione	1-H	–	–	–

Tabella 6-28: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-2.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	23/01/2007				
Codice identificativo	V-2				
Operatori	Vannacci				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	113	802	709	526
	peso sedimento [g]	0.037	0.032	0.034	0.035
	peso sabbia [g]	0.004	0.004	0.004	0.004
	concentrazione (peso sed./acqua)	3.301E-04	3.928E-05	4.781E-05	6.578E-05
	% sabbia	12.00	12.00	12.00	12.00
	% limo - argilla	88.00	88.00	88.00	88.00
Helley-Smith	nome campione	1-H	-	-	-
	peso sedimenti [g]	0	-	-	-

Tabella 6-29: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-2.

6.2.3 EVENTO V-3

La misura V-3 è stata eseguita durante la fase calante di un evento di piena iniziato il 28/5/2007 in un intervallo di tempo tra le 16:45 e le 18:30 (figura 6-13). 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 raccolti i campioni del trasporto solido al fondo sulle sole verticali V1 e V2 perché nella parte restante della sezione non si è osservato (a vista) alcun trasporto.

Dalle analisi della fase di laboratorio, il trasporto solido al fondo è risultato nullo, inoltre, poiché la concentrazione dei sedimenti in sospensione è risultata piuttosto bassa, l'analisi dei campioni raccolti con lo strumento integratore è stata effettuata su un singolo campione complessivo ottenuto mescolando i vari campioni raccolti nelle 4 verticali di misura.

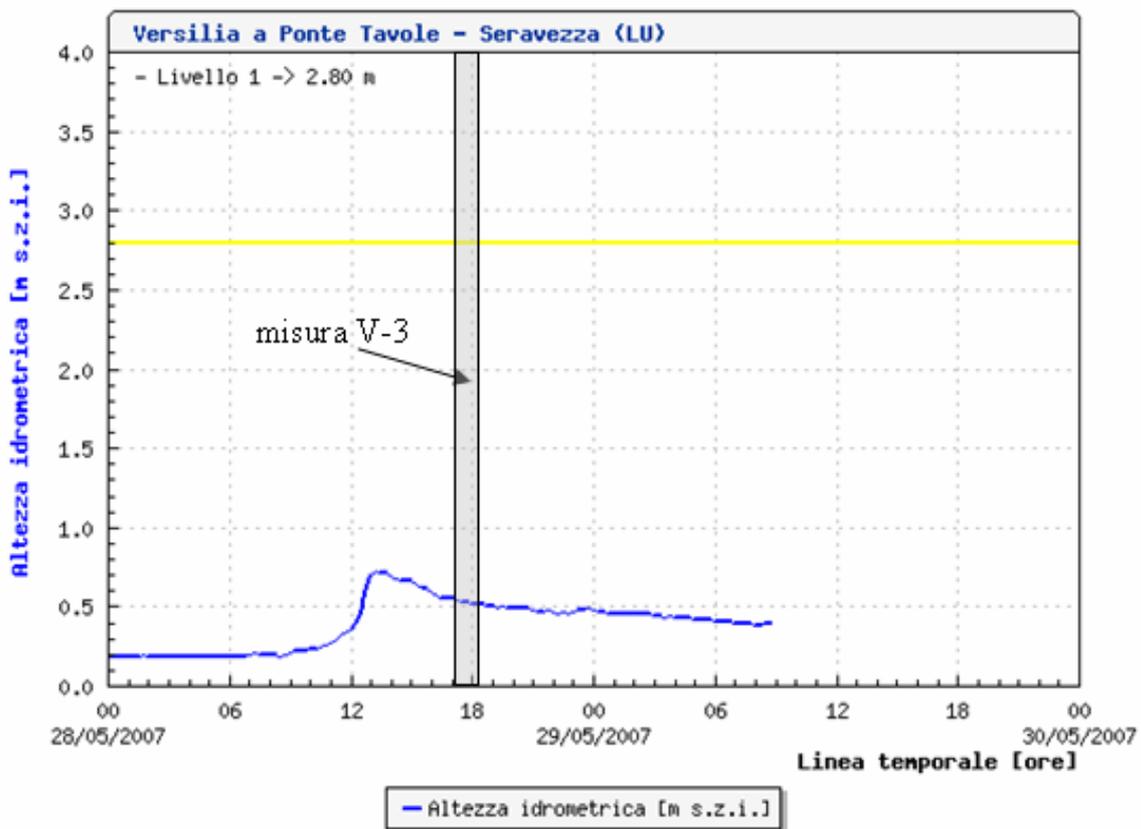


Figura 6-13: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Ponte Tavole con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-3.

In particolare, i risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è costituito per la quasi totalità dalla componente di 'wash load';
- la restante porzione pari a 1.48% del trasporto solido in sospensione rappresenta la componente attribuibile al *bed material*;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è risultata pari a circa $1.4 \cdot 10^{-4}$.

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data	28/05/2007				
Codice identificativo	V-3				
Operatori	Bechi, Canovaro, Mengoni, Solari				
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	31.25				
Distanza peso idrodinamico - mulinello [m]	0.15				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
	Distanza da spalletta sx [m]	3	10	17	23
Ora inizio	Ora solare [hh:mm]	18.22	17.20	16.45	16.50
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	6.85	6.85	6.85	6.9
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.55	7.35	7.35	7.35
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.7	0.5	0.5	0.45
Misura 1 velocità	U [m/s]	0.306	0.782	0.775	0.709
	Distanza dall'estradosso [m]	7.4	7.2	7.2	7.2
Misura 2 velocità	U [m/s]	0.389	-	-	-
	Distanza dall'estradosso [m]	7.1	-	-	-
Integratore	Tempo campionamento [s]	40	40	30	40
	Ugello	grande	grande	grande	grande
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Tempo campionamento [min]	15	15	-	-
	nome campione	1-H	2-H	-	-

Tabella 6-30: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-3.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA				
Sezione	PONTE TAVOLE				
Data misura	28/05/2007				
Codice identificativo	V-3				
Operatori	Vannacci				
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g] (totale su tutti i campioni)	2883			
	peso sedimento [g] (totale su tutti i campioni)	0.388			
	peso sabbia [g] (totale su tutti i campioni)	0.006			
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.35E-04			
	% sabbia	1.48			
	% limo - argilla	98.52			
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	-	-
	peso sedimenti [g]	0	0	-	-
	D16 [mm]	-	-	-	-
	D50 [mm]	-	-	-	-
	D84 [mm]	-	-	-	-
	% ghiaia	-	-	-	-
	% sabbia	-	-	-	-
	deviazione standard	-	-	-	-

Tabella 6-31: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-3.

6.2.4 EVENTO V-4

La misura V-4 è stata eseguita durante la fase di colmo di un evento di piena iniziato il 12/1/2008 in un intervallo di tempo tra le 15:20 e le 17:20 (figura 6-14). 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. Durante la misura si è verificato un malfunzionamento del mulinello a causa del quale non è stato possibile eseguire le misure correntometriche lungo la verticale V4. Sulla verticale V4 sono stati raccolti due campioni di trasporto solido in sospensione con diversi tempi di campionamento.

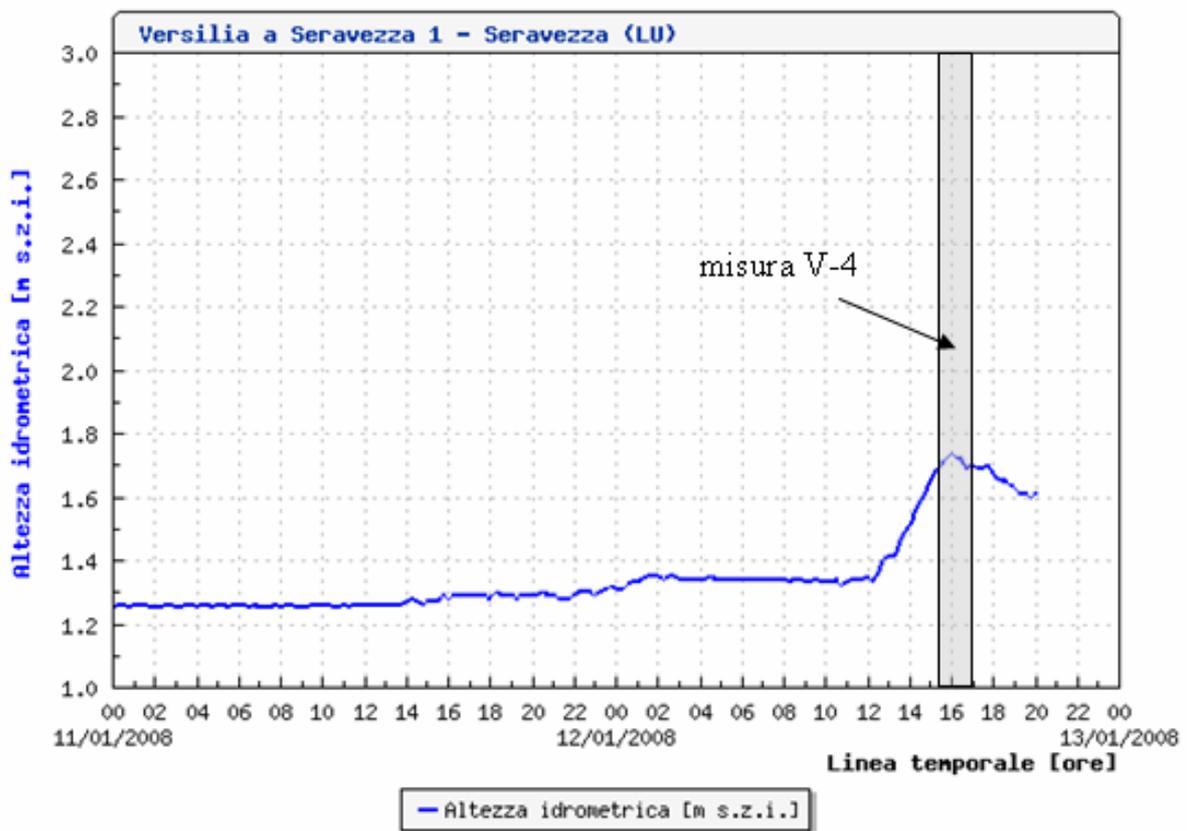


Figura 6-14: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Seravezza con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-4.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è nei campioni raccolti nelle verticali V2, V3 e V4 principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con frazioni comprese tra il

74% ,per il campione 4b-INT, ed il 95%, per il campione 3-INT, del trasporto solido in sospensione totale;

- nel campione 1-INT raccolto lungo la verticale V1, il trasporto in sospensione da *bed material* costituisce la parte principale essendo pari al 65% di quello totale;
- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo $7 \cdot 10^{-4}$ e $1.35 \cdot 10^{-3}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo sono principalmente composti da sedimenti sabbiosi con frazioni dal 75% (campione 1-H) al 90% (campione 4-H) del peso del campione complessivo;
- il D50 dei campioni di trasporto solido al fondo risulta compreso nell'intervallo tra 0.19 mm e 0.47 mm;
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una mistura da mediamente (campioni 2-H, 3-H, 4-H) a poco classata (campione 1-H).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	12/01/2008					
Codice identificativo	V-4					
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni, Solari					
Larghezza Pelo Libero (PL) [m]	33.10					
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]		15.20	15.25	15.32	17.20	
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.12	7.12	7.05	7	
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.60	7.88	8.00	7.98	
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.48	0.76	0.95	0.98	
I misura velocità	U [m/s]	0.442	1.237	1.773	-	
	Distanza dall'estradosso [m]	7.58	7.80	7.80	-	
II misura velocità	U [m/s]	0.543	1.250	2.033	-	
	Distanza dall'estradosso [m]	7.35	7.42	7.40	-	
Integratore	Ora solare [hh:mm]	15.39	15.37	15.35	15.50	16.00
	Tempo [s]	50	27	32	37	21
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4a-INT	4b-INT
Helley-Smith	Tempo [min]	15	15	15	15	
	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	

Tabella 6-32: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-4.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	12/01/2008					
Codice identificativo	V-4					
Operatore	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2	V3	V4	
Integratore	nome campione	1-INT	2-INT	3-INT	4a-INT	4b-INT
	peso acqua [g]	463	484	800	863	633
	peso sedimenti [g]	0.324	0.372	0.810	1.165	0.684
	peso sabbia [g]	0.211	0.081	0.040	0.286	0.180
	concentrazione (peso sed./acqua)	7.00E-04	7.68E-04	1.01E-03	1.35E-03	1.08E-03
	% sabbia	65.02	21.81	4.96	24.52	26.24
	% limo - argilla	34.98	78.19	95.04	75.48	73.76
Helley-Smith	nome campione	1-H	2-H	3-H	4-H	
	peso sedimenti [g]	60	101	654	281	
	D16 [mm]	0.09	0.28	0.26	0.17	
	D50 [mm]	0.19	0.46	0.47	0.37	
	D84 [mm]	1.15	1.10	1.09	0.63	
	% ghiaia	11.67	5.94	7.65	2.49	
	% sabbia	75	94.06	92.35	97.51	
	deviazione standard [ϕ]	1.98	1.04	1.23	1.07	

Tabella 6-33: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-4.

6.2.5 EVENTO V-5

La misura V-5 è stata eseguita durante la fase crescente di un evento di piena iniziato il 16/1/2008 in un intervallo di tempo tra le 16:45 e le 18:00 (figura 6-15). 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. Sulla verticale V2 sono stati raccolti due campioni di trasporto solido in sospensione con diversi tempi di campionamento.

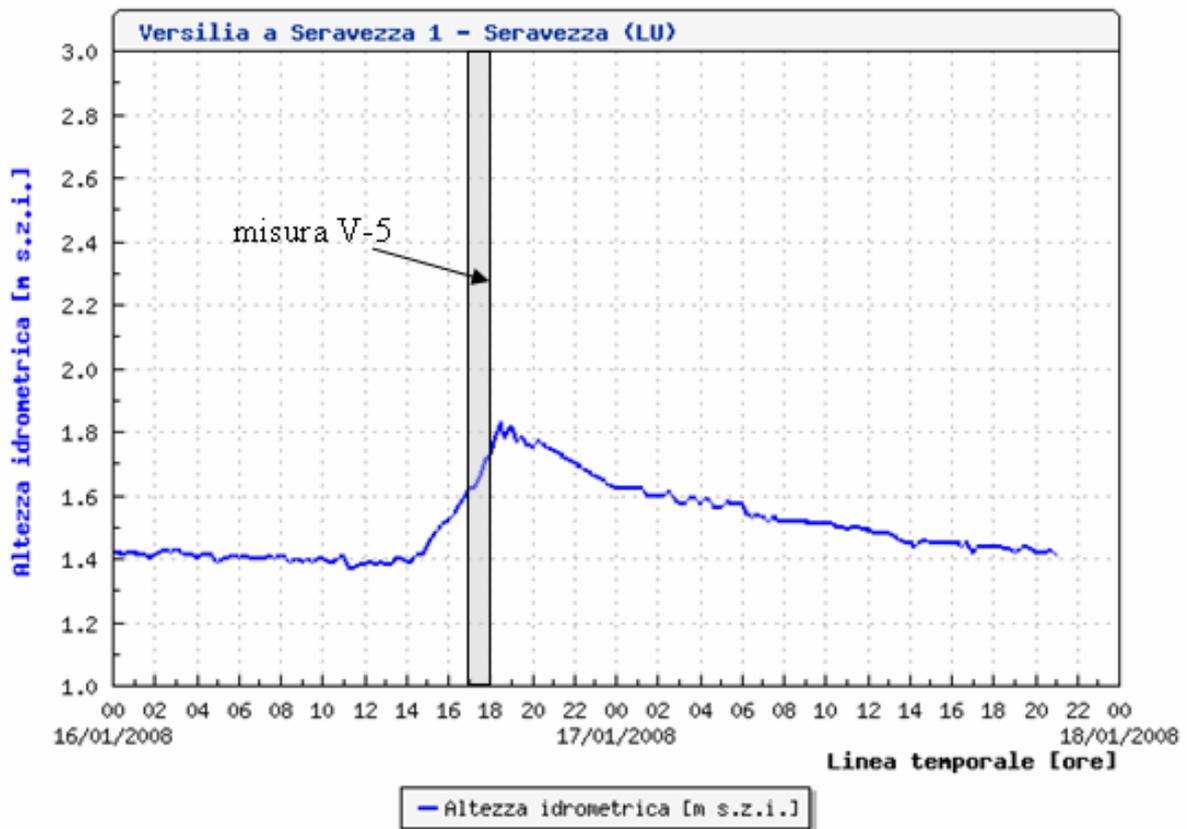


Figura 6-15: Idrogramma di piena alla stazione idrometrica di Seravezza con indicazione dell'intervallo di tempo nel quale è stata effettuata la misura V-5.

I risultati della fase di laboratorio mostrano quanto segue:

- il trasporto solido in sospensione è in tutti i campioni raccolti principalmente costituito dalla componente di 'wash load' con frazioni comprese tra il 76%, per il campione 4-INT, ed il 92%, per il campione 1-INT, del trasporto solido in sospensione totale;
- la restante porzione del trasporto in sospensione costituisce la componente attribuibile al *bed material*:

- la concentrazione dei sedimenti in sospensione è compresa nell'intervallo tra circa $2 \cdot 10^{-4}$ e circa $4 \cdot 10^{-4}$;
- i campioni del trasporto solido al fondo nelle verticali V1, V3 e V4 sono principalmente composti da sedimenti sabbiosi con frazioni dal 89% (campione 3-H) al 100% (campione 1-H) del peso del campione complessivo;
- il campione del trasporto solido al fondo 2-H nella verticale V2 è principalmente costituito da sedimenti ghiaiosi, questi ultimi rappresentano circa il 62% del peso del campione totale;
- il D50 dei campioni di trasporto solido al fondo risulta compreso nell'intervallo tra 0.3 mm e 0.6 mm per i campioni sabbiosi, il campione 2-H presenta un D50 pari a circa 16 mm ;
- la deviazione standard dei campioni di sedimenti trasportati al fondo indica una miscela da mediamente (campioni 1-H, 3-H, 4-H) a non classata (campione 2-H).

FASE DI CAMPO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	16/01/2008					
Codice identificativo	V-5					
Operatori	Bechi, Canovaro, Francalanci, Mengoni, Solari					
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]		17.03	17	16.50	18.00	17.52
Distanza PL da estradosso	$\Delta 1$ [m]	7.18	7.18	7.15	6.98	7.08
Distanza FONDO da estradosso	$\Delta 2$ [m]	7.60	7.80	7.90	7.80	7.90
Profondità acqua [m]	Y [m]	0.42	0.62	0.75	0.82	0.82
Misura 1 velocità	U [m/s]	0.386	0.97	1.20	1.30	1.38
	Distanza dall'estradosso [m]	7.60	7.80	7.90	7.80	7.90
Misura 2 velocità	U [m/s]	0.684	1.264	1.657	1.836	1.912
	Distanza dall'estradosso [m]	7.48	7.6	7.60	7.60	7.60
Misura 3 velocità	U [m/s]	–	–	–	–	2.196
	Distanza dall'estradosso [m]	–	–	–	–	7.40
Integratore	Ora solare [hh:mm]	17.23	17.26	17.31	17.41	17.49
	Tempo campionamento [s]	50	60	40	40	40
	Ugello	medio	medio	medio	medio	medio
	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3-INT	4-INT
Helley-Smith	Ora solare [hh:mm]	18.02	17.34	17.14		16.49
	Tempo campionamento [min]	15	15	15		15
	nome campione	1-H	2-H	3-H		4-H

Tabella 6-34: Scheda delle misure di campo raccolte durante la misura V-5.

FASE DI LABORATORIO

Corso d'acqua	VERSILIA					
Sezione	PONTE TAVOLE					
Data misura	16/01/2008					
Codice identificativo	V-5					
Operatori	Vannacci					
Verticali	Nome	V1	V2		V3	V4
Integratore	nome campione	1-INT	2a-INT	2b-INT	3-INT	4-INT
	peso acqua [g]	408	871	637	815	920
	peso sedimento [g]	0.072	0.231	0.168	0.264	0.402
	peso sabbia [g]	0.006	0.021	0.024	0.049	0.098
	concentrazione (peso sed./acqua)	1.75E-04	2.65E-04	2.63E-04	3.23E-04	4.37E-04
	% sabbia	7.96	8.92	14.25	18.70	24.37
	% limo - argilla	92.04	91.08	85.75	81.30	75.63
Helley- Smith	nome campione	1-H	2-H		3-H	4-H
	peso sedimenti [g]	12	282		921	108
	D16 [mm]	0.17	0.45		0.34	0.31
	D50 [mm]	0.29	16.16		0.57	0.53
	D84 [mm]	0.43	34.23		1.39	1.32
	% ghiaia	0.00	61.70		11.18	7.41
	% sabbia	100.00	38.30		88.82	92.59
	deviazione standard [ϕ]	0.65	2.75		1.42	1.04

Tabella 6-35: Scheda delle analisi di laboratorio sui campioni raccolti durante la misura V-5.

7 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 della elaborazione delle misure di campo per la stima della portate liquide e solide.

7.1 Fiume Versilia

Si riportano alcuni risultati di sintesi ottenuti dall'analisi dei dati di laboratorio e desunti dalle schede di laboratorio, precedentemente riportate, relative agli eventi denominati V2, V3, V4 e V5; i dati relativi all'evento V1 non vengono illustrati in quanto si riferiscono ad una diversa stazione di monitoraggio (Ponte Cateratte).

Per quanto riguarda il trasporto solido al fondo, la Figura 7-1 mostra la composizione granulometrica media, 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, si noti che durante gli eventi V2 e V3 il trasporto solido al fondo è risultato assente.

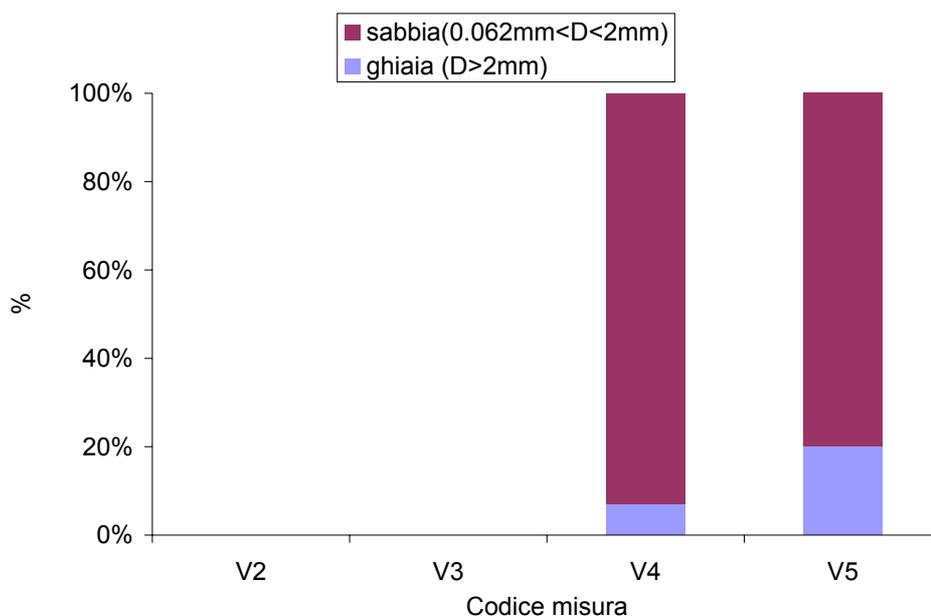


Figura 7-1: La composizione granulometrica media dei campioni di sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

La composizione granulometrica media dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo durante ciascun evento di misura è illustrata in Figura 7-2; risulta che il D_{50} è nel campo delle sabbie per il campione V4, e nel campo della ghiaia fine per il campione V5. Eseguendo una media dei percentili caratteristici su tutti i campioni raccolti negli eventi V4 e V5 si ottiene un D_{16} pari a 0.26 mm; un D_{50} pari a 2.38 mm ed un D_{90} pari a 5.17 mm.

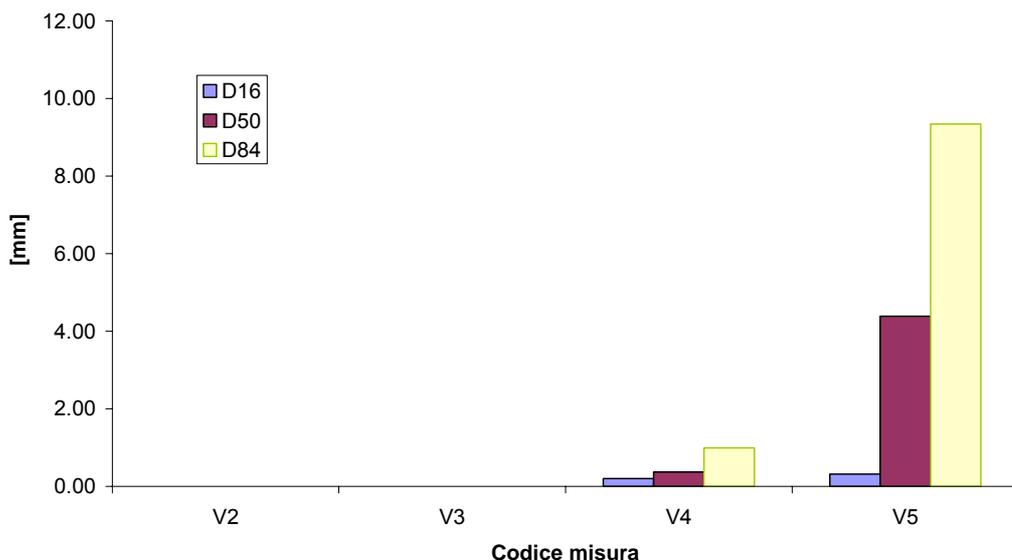


Figura 7-2: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure

Per quanto riguarda i campioni dei sedimenti trasportati in sospensione, la concentrazione media dei sedimenti trasportati in sospensione risulta variabile da un massimo di circa 0.98 g/l nella misura V4 fino ad un minimo di circa 0.12 g/l nella misura V2.

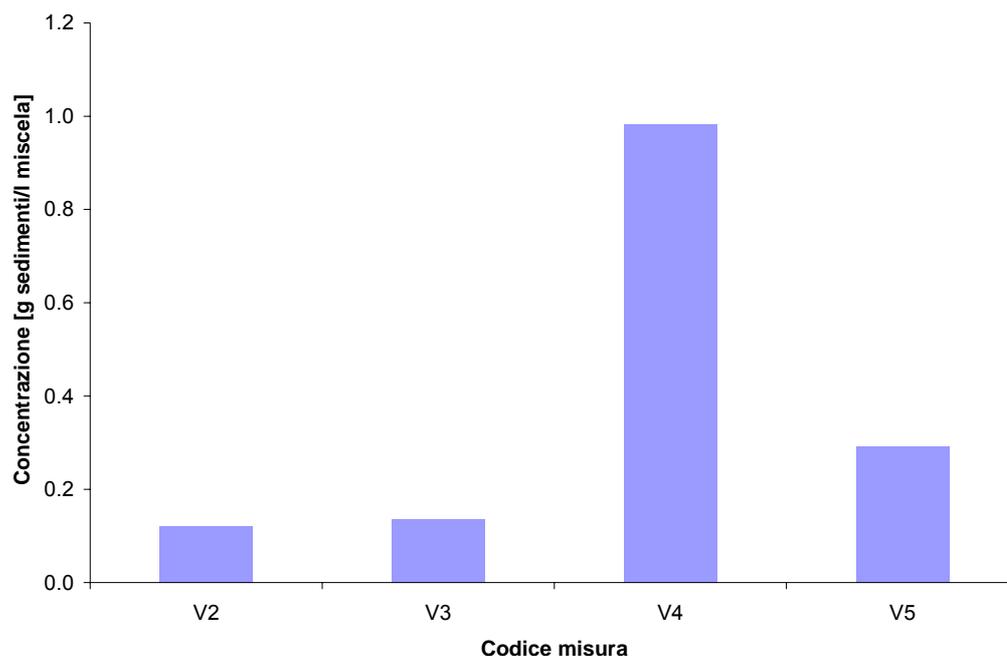


Figura 7-3: La concentrazione media dei sedimenti nei campioni di trasporto solido in sospensione nelle varie misure.

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 7-4), pertanto risulta che il trasporto in sospensione risulta per la quasi totalità (mediamente circa 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.

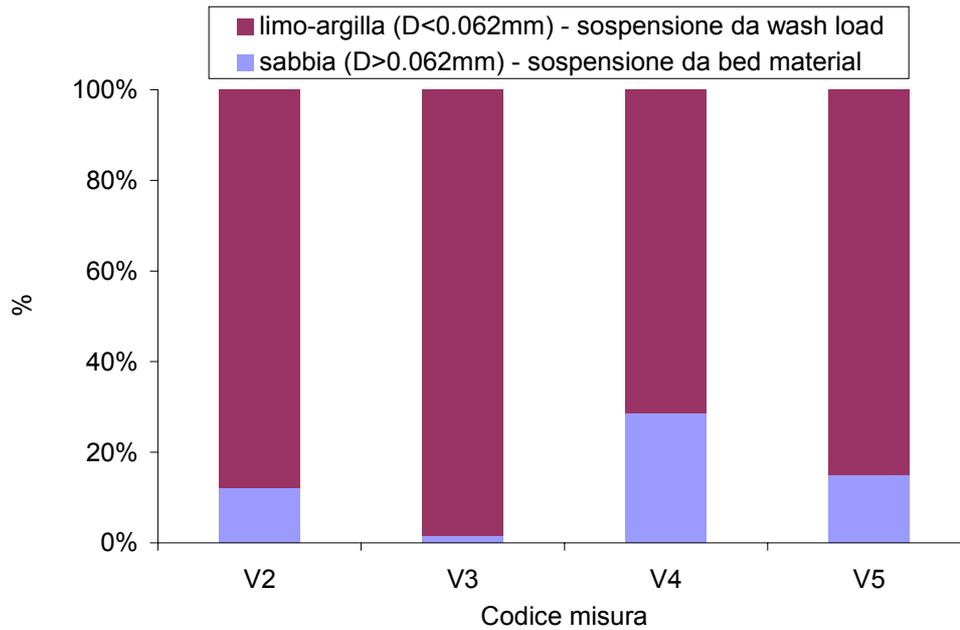


Figura 7-4: La composizione media dei campioni di sedimenti trasportati in sospensione.

La sintesi delle portate stimate nei vari eventi di misura è riportata in Tabella 7-1, la misura V-1 non viene riportata in quanto è stata effettuata in una diversa stazione di monitoraggio (Ponte Cateratte).

Codice	Data	Misura	Portata liquida (m ³ /s)	h pelo libero (m s.l.m.)	Portata solida al fondo (Kg/s)	Portata solida sospensione (Kg/s)	Portata solida totale (Kg/s)
V-2	23/01/2007	1	7.18	4.68	0.00	0.10	0.10
V-3	28/05/2007	1	11.05	4.88	0.00	0.03	0.03
V-4	12/01/2008	1	35.89	4.60	0.13	9.24	9.37
V-5	16/01/2008	1	31.00	4.66	0.14	1.50	1.64

Tabella 7-1. Fiume Versilia: sintesi delle portate liquide e solide al fondo, in sospensione e totali stimate alla stazione di monitoraggio Ponte Tavole.

La Figura 7-9 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 è quella in sospensione essendo pari mediamente al 97% del trasporto solido totale.

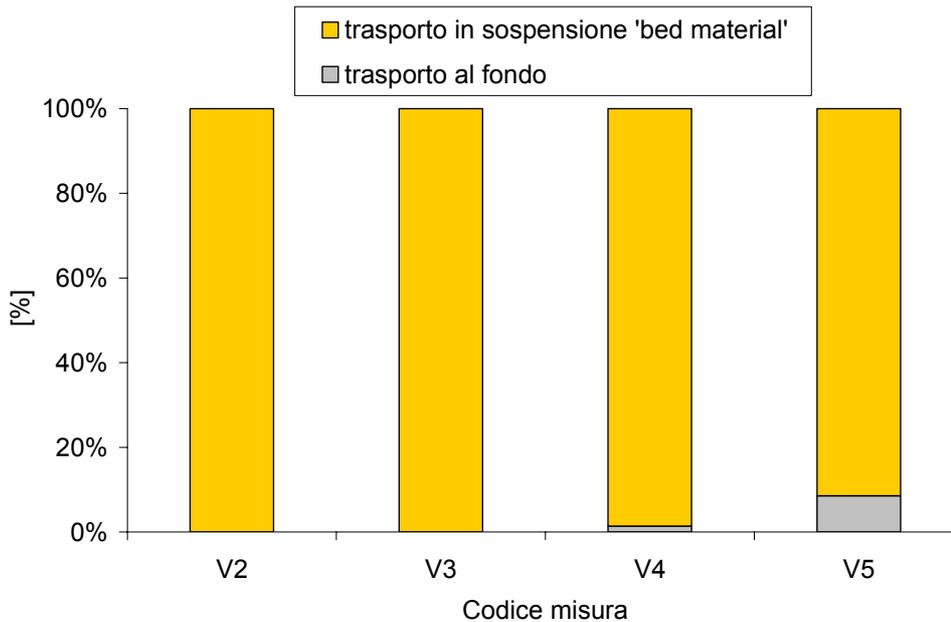


Figura 7-5: La composizione della portata solida totale, intesa come somma della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi, nelle varie misure.

7.2 Fiume Serchio

Per quanto riguarda il trasporto solido al fondo, la Figura 7-6 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.

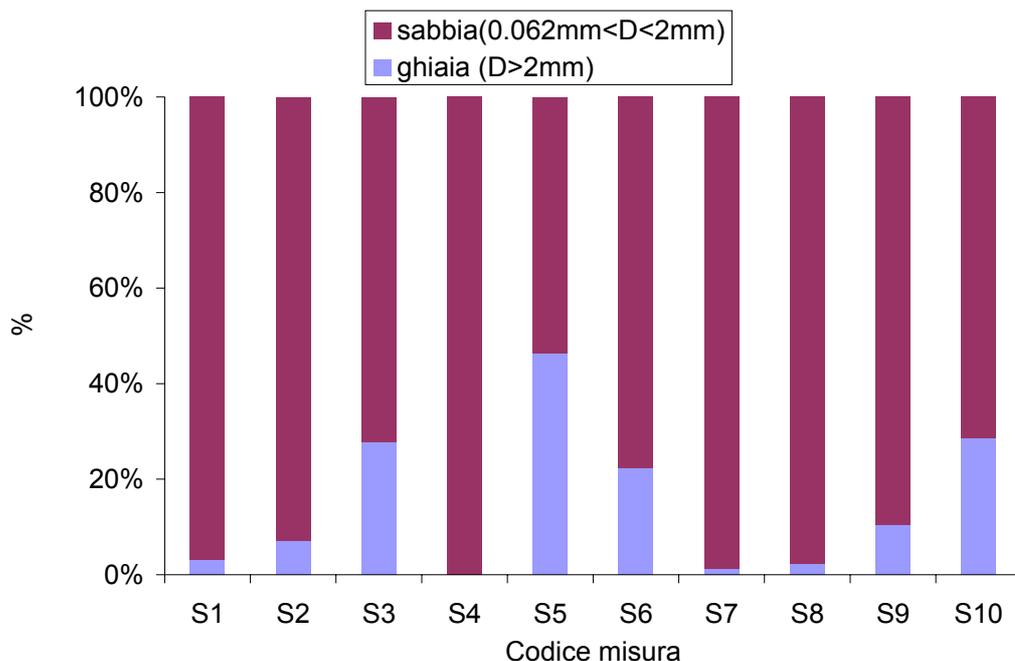


Figura 7-6: La composizione granulometrica media dei campioni di sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

La composizione granulometrica media dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo durante ciascun evento significativo è illustrata in Figura 7-7; risulta che il D_{50} è nel campo delle sabbie in quasi tutti i campioni ad eccezione delle misure S3 e S5 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 0.49 mm; un D_{50} pari a 1.32 mm ed un D_{90} pari a 2.93 mm.

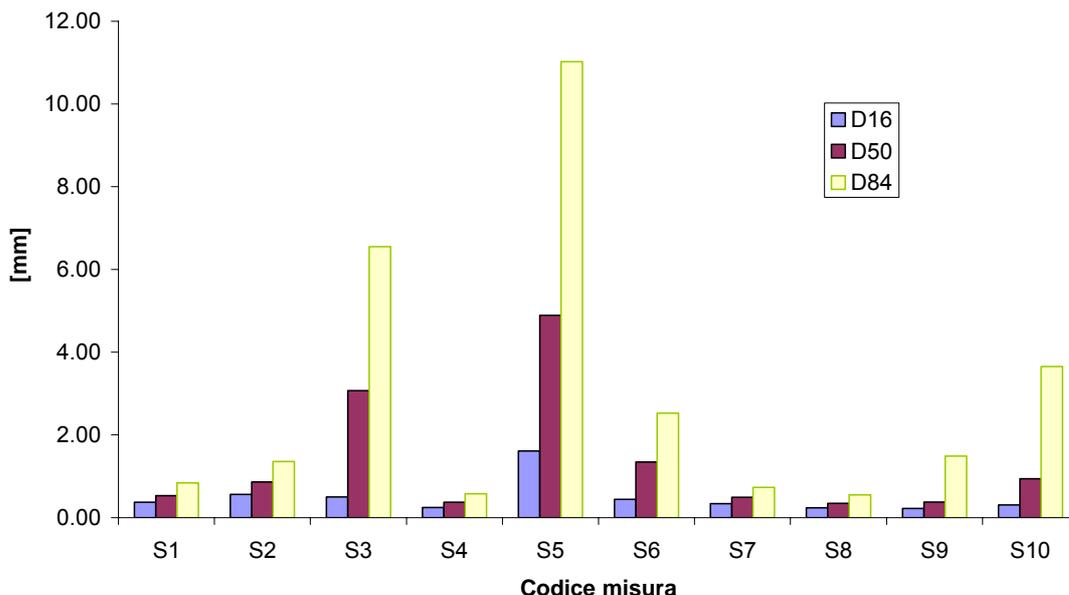


Figura 7-7: I percentili caratteristici della distribuzione granulometrica dei campioni dei sedimenti trasportati al fondo nelle varie misure.

Per quanto riguarda i campioni dei sedimenti trasportati in sospensione, la concentrazione media dei sedimenti risulta variabile da un massimo di circa 0.65g/l nella misura S1 fino ad un minimo di circa 0.02 g/l nella misura S4; si veda la figura 7-8.

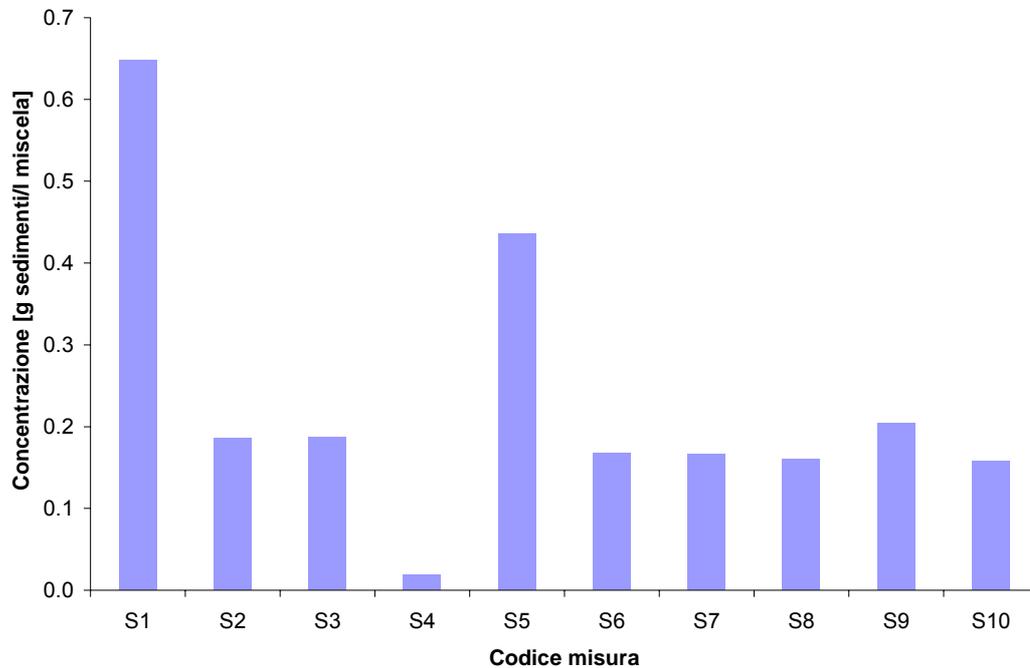


Figura 7-8: La concentrazione media dei sedimenti nei campioni di trasporto solido in sospensione nelle varie misure.

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 7-9), pertanto risulta che il trasporto in sospensione è per la quasi totalità (mediamente circa il 95%) 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.

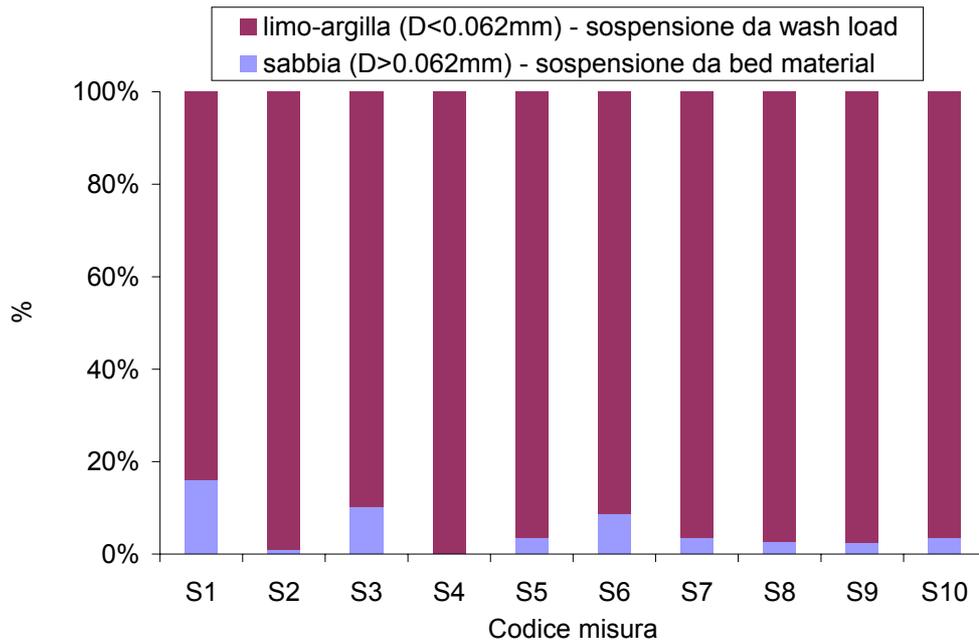


Figura 7-9: La composizione media dei campioni di sedimenti trasportati in sospensione.

La sintesi delle portate ottenute nei vari eventi di misura è riportata in Tabella 7-2.

Codice	Data	Livello [m]	Qliquida [m ³ /s]	QSF [kg/s]	QSS [kg/s]	QST [kg/s]
S1	09/12/2006	9.72	396.53	2.57	41.09	43.66
S2	08/02/2007	9.35	292.85	1.46	5.50	6.96
S3		9.28	285.8	0.189	5.39	5.58
S4	12/01/2008	8.44	92.92	0.011	0.00	0.01
S5	17/01/2008	9.06	288.59	2.24	3.57	5.81
S6		8.98	259.64	4.19	3.81	8.00
S7		8.90	228.05	4.04	1.28	5.32
S8	22/03/2008	8.73	154.13	0.053	0.63	0.68
S9		8.78	164.73	0.018	0.79	0.81
S10		8.70	137.93	0.137	1.04	1.18

Tabella 7-2. 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 7-10 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 in 6 delle misure effettuate (S1, S2, S3, S8, S9, S10) la portata solida in sospensione risulta predominante, nella misura S4 il trasporto solido è solo costituito dalla componente di fondo, nelle misure S5, S6 e S7 il trasporto solido al fondo ed in sospensione risultano simili.

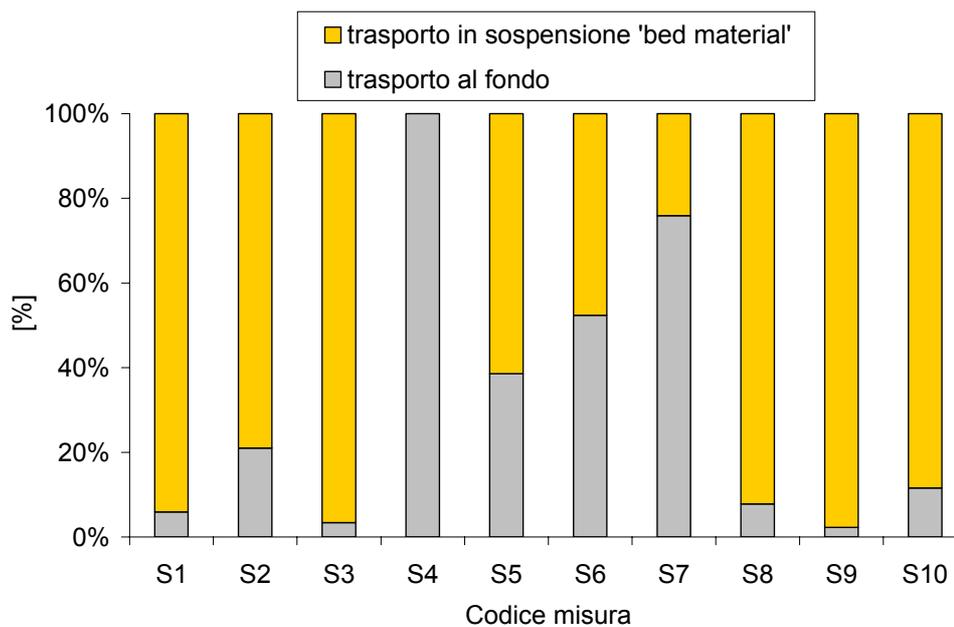


Figura 7-10: La composizione della portata solida totale, intesa come somma della portata solida al fondo e della portata solida in sospensione associata ai sedimenti sabbiosi, nelle varie misure.

8 DEFINIZIONE DELLE SCALE DI DEFLUSSO

8.1 LE SCALE DI DEFLUSSO A FONDO FISSO

La scala di deflusso delle portate liquide è stata ottenuta mediante modellazione idrodinamica del tratto di corso d'acqua ove sono ubicate le stazioni di monitoraggio, impiegando un modello idrodinamico a fondo fisso, di moto permanente, uni-dimensionale.

I corsi d'acqua nei tratti in esame risultano di tipo ghiaioso ed aventi diametri caratteristici nel campo delle sabbie grosse - ghiaia fine; la scabrezza del corso d'acqua oggetto di modellazione è stata determinata sulla base dei rilievi sedimentologici dello strato superficiale.

Le condizioni al contorno sono state poste in sezioni caratteristiche aventi condizioni idrauliche note e fisicamente congruenti. Ad esempio, nel caso della simulazione del F. Serchio, la condizione al contorno di valle è rappresentata dalla profondità critica che si instaura sulla traversa situata immediatamente a valle della stazione di monitoraggio. Le scale di deflusso così ottenute sono state successivamente oggetto di taratura, principalmente per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza ed utilizzando le scale di deflusso delle stazioni idrometriche della Regione Toscana situate in prossimità delle stazioni di monitoraggio.

Di seguito viene descritto il modello idraulico a fondo fisso utilizzato per la definizione delle scale di deflusso delle portate liquide, e la sua applicazione ai fiumi Versilia e Serchio.

8.1.1 Portate liquide sul Fiume Versilia

In Tabella 7-1, sono stati riassunti i risultati dell'elaborazione delle quattro misure effettuate per il F. Versilia (V-2, V-3, V-4, V-5). Tali valori di portata sono stati utilizzati per effettuare le simulazioni idrodinamiche con il software Hec- Ras.

In Figura 8-1, viene mostrato il confronto grafico, fra scala di deflusso liquida teorica ricavata alla stazione di misura Ponte Tavole e i dati di campo. La scala di deflusso viene fornita, con riferimento a due diverse altezze del pelo libero H : la prima considera la geometria che caratterizzava il fondo alveo all'inizio della campagna di monitoraggio, mentre la scala di deflusso ribassata tiene conto degli effetti dei lavori di riprofilatura del corso d'acqua effettuati recentemente (nel periodo in cui è stata condotta la campagna di monitoraggio e ancora in corso), i quali hanno causato un abbassamento medio del fondo alveo in corrispondenza del fondo pari a circa 0.6 m. In attesa del termine dei lavori e dell'effettuazione di un nuovo rilievo topografico dell'alveo, la scala

di deflusso è stata traslata verso il basso di una quota pari all'escavazione media misurata nella sezione di monitoraggio. In Tabella 8-1 vengono presentati i valori numerici della scala di deflusso teorica del F.Versilia, alla sezione Ponte Tavole.

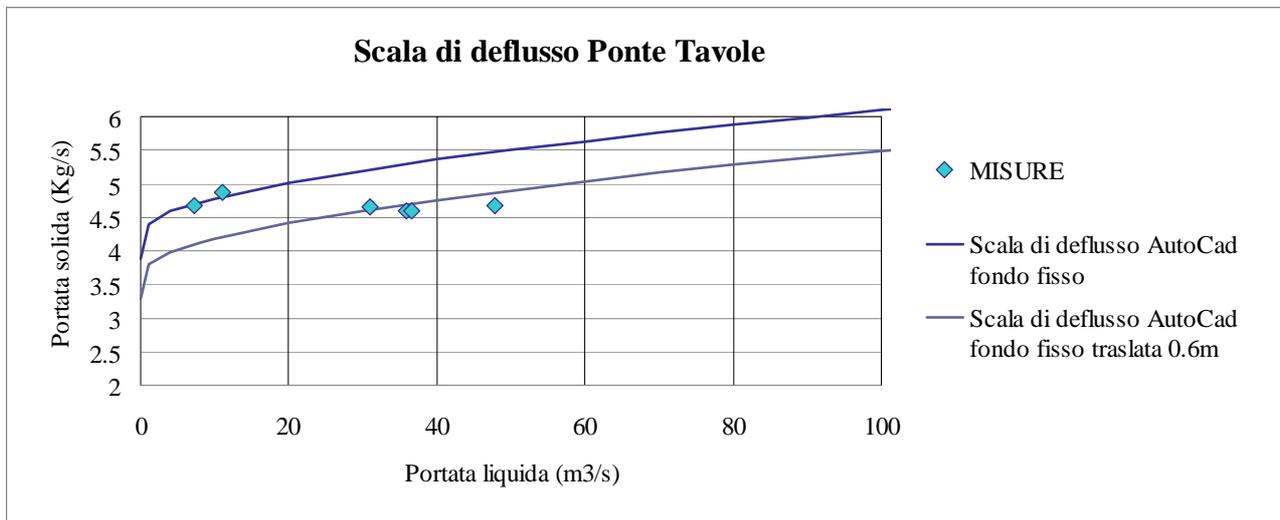


Figura 8-1: Confronto fra scala di deflusso liquida teorica e dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

Q [m³/s]	H slm [m]	H slm +0.6 [m]
0	3.89	3.29
1	4.4	3.8
4	4.59	3.99
8	4.72	4.12
10	4.77	4.17
11.6	4.82	4.22
20	5.01	4.41
30	5.19	4.59
40	5.36	4.76
50	5.5	4.9
60	5.63	5.03
70	5.76	5.16
80	5.88	5.28
90	5.98	5.38
100	6.09	5.49
150	6.52	5.92
200	6.92	6.32
250	7.25	6.65
300	7.54	6.94
350	7.81	7.21
400	8.08	7.48
430	8.26	7.66

Tabella 8-1: Fiume Versilia, sezione Ponte Tavole: scala di deflusso teorica.

8.1.2 Portate liquide sul Fiume Serchio

In Tabella 7-2, sono stati riassunti i risultati dell'elaborazione delle dieci misure effettuate per il F. Serchio (da S-1 a S-10).

Successivamente tali valori di portata sono stati utilizzati per effettuare le simulazioni idrodinamiche con il software Hec- Ras.

In Figura 8-2 viene mostrato il confronto grafico fra scala di deflusso liquida teorica ricavata alla stazione di misura Ripafratta e i dati di campo.

In Tabella 8-2, vengono presentati i valori numerici della scala di deflusso teorica del Fiume Serchio, alla sezione Ripafratta.

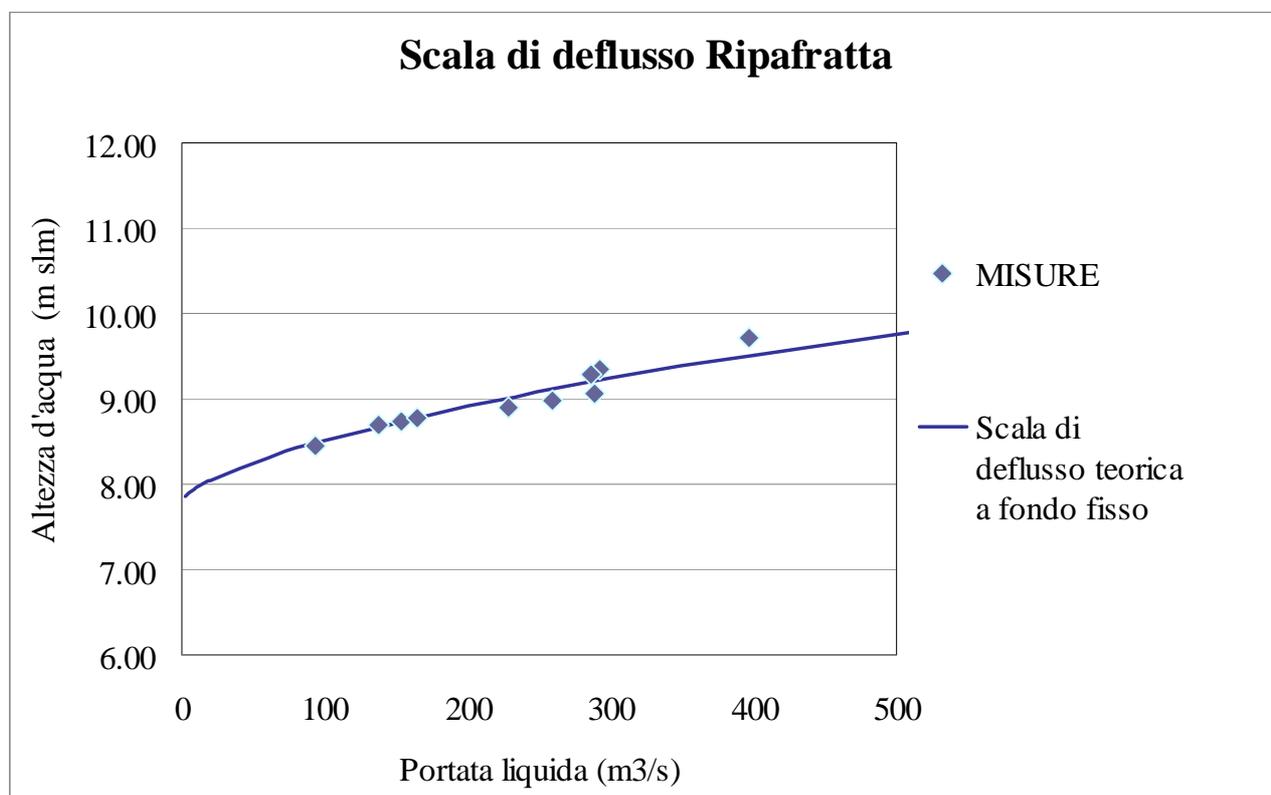


Figura 8-2: Confronto fra scala di deflusso liquida teorica e dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

Q [m ³ /s]	H_{slm} [m]
2	7.85
5	7.9
8	7.93
10	7.96
18.5	8.04
20	8.05
40	8.19
60	8.31
73	8.38
80	8.42
100	8.52
200	8.92
234	9.03
248	9.08
300	9.24
349	9.38
400	9.52
600	9.99
800	10.4
1000	10.77
1100	10.94
1200	11.12
1300	11.26
1400	11.39
1500	11.52
1600	11.65
1700	11.77
1800	11.88
1900	11.98
2000	12.08

Tabella 8-2: Fiume Serchio, sezione Ripafratta: scala di deflusso teorica.

8.1.3 Incipiente trasporto solido sul Fiume Versilia

Seguendo la procedura descritta nel par. 3.2.3, sono state ricavate le curve di incipiente trasporto al fondo per il *sublayer* e per l'*armour layer*.

Le teorie prese in considerazione per determinare il parametro critico di Shields relativo al D_{50} sono quelle di Brownlie modificato, Parker et al. (2003), Ackers & White (1973) e Schoklitsch (1963): tra le varie stime, è stato preso un valore medio del parametro calcolato con Brownlie e Ackers & White.

Per calcolare il parametro di Shields per le altre frazioni granulometriche presenti nella mistura, si è preso in considerazione il fattore di nascondimento proposto da Ashida & Michiue (1972) e Parker et al. (1982).

In totale, per ogni grafico, si hanno quattro curve:

- $\theta_{cr}(D_{50})$ calcolato con il valore medio tra Brownlie e Ackers & White con fattore di nascondimento di Ashida & Michiue;
- $\theta_{cr}(D_{50})$ calcolato come sopra ma con fattore di nascondimento di Parker;
- $\theta_{cr}(D_{50})$ calcolato con Schoklitsch e fattore di nascondimento di Ashida & Michiue;
- $\theta_{cr}(D_{50})$ calcolato con Schoklitsch e fattore di nascondimento di Parker.

I livelli del pelo libero di incipiente trasporto al fondo per il *sublayer* sono stati tracciati prendendo in considerazione solo il fattore di nascondimento proposto da Ashida & Michiue (1972) anche se le possibili curve di inizio del moto sono due (Figura 8-6); la sezione con i livelli di incipiente trasporto per il *sublayer* è inserita in appendice D.

Armour layer

Le curve di incipiente trasporto al fondo per l'*armour layer* sono rappresentate in Figura 8-3.

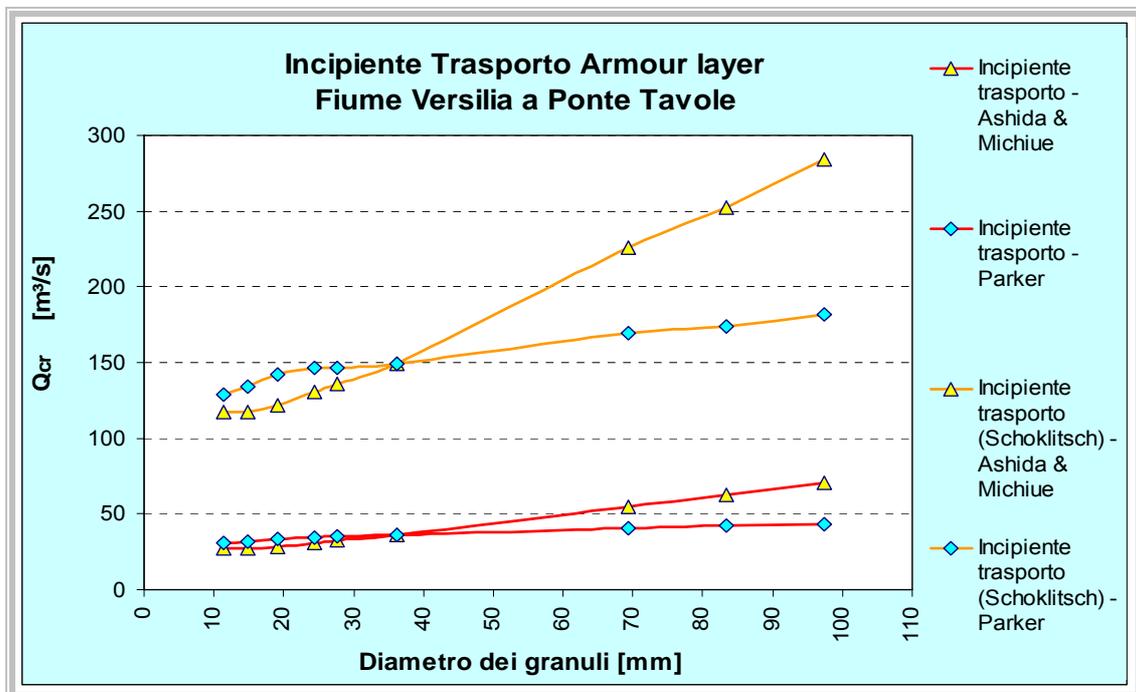


Figura 8-3 - Incipiente trasporto al fondo, *armour-layer* (Brownlie - Ackers & White e Schoklitsch)

Poichè la teoria di Schoklitsch (1963) è adatta maggiormente a bacini montani e il tratto del Versilia in esame è sviluppato totalmente in pianura, le curve ottenute tramite tale teoria non sono state ritenute significative. Si può notare che, essendo l'alveo in superficie costituito completamente da materiale grossolano, i granuli non si mettono in movimento fino al raggiungimento di una portata di $25-30 \text{ m}^3/\text{s}$.

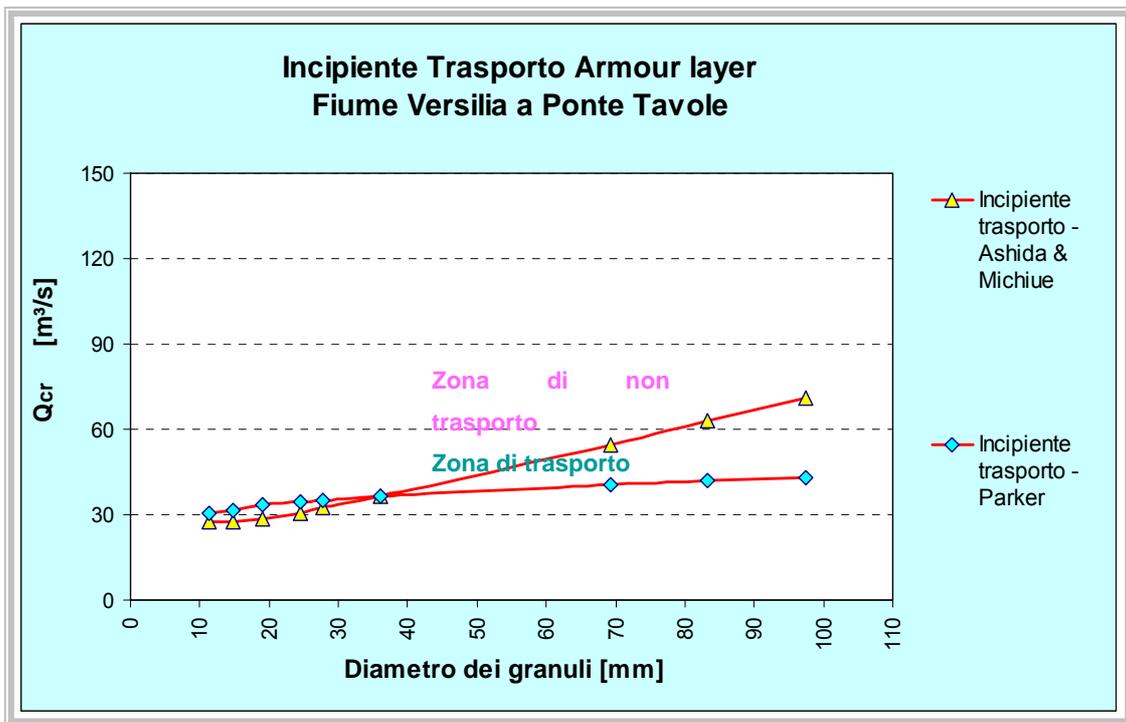


Figura 8-4 - Incipiente trasporto al fondo, *armour-layer* (Brownlie - Ackers & White)

Sublayer

Le curve di incipiente trasporto al fondo per il *sublayer* sono rappresentate in Figura 8-5.

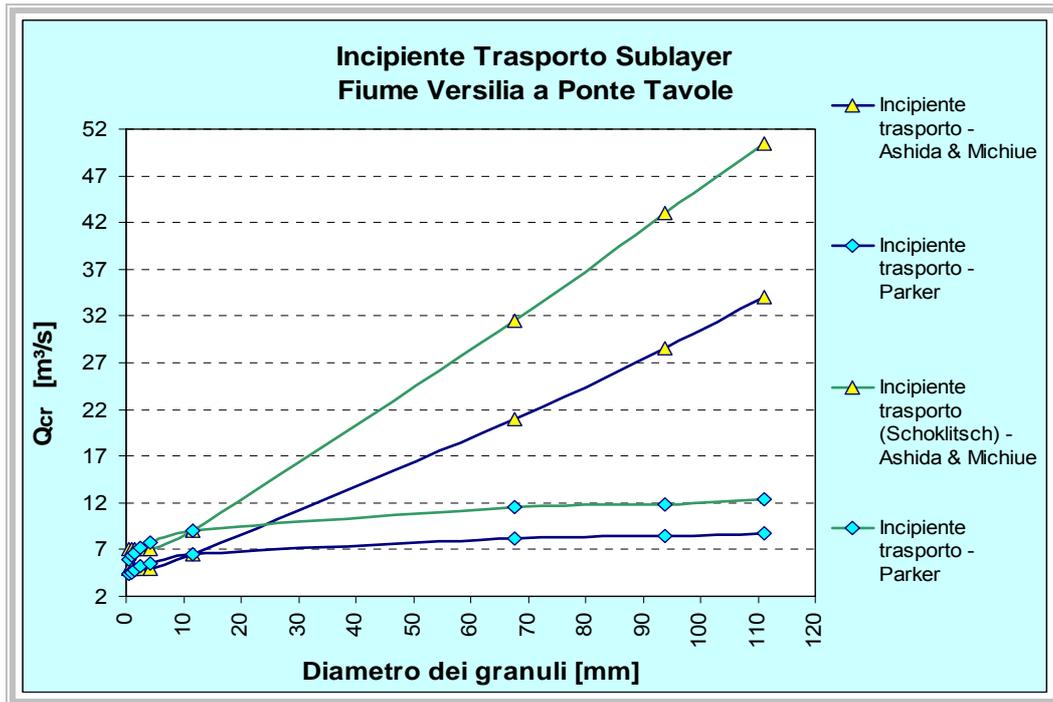


Figura 8-5 - Incipiente trasporto al fondo, sublayer (Brownlie - Ackers & White e Schoklitsch)

Come detto per l'*armour layer*, si escludono le curve ottenute con la teoria di Schoklitsch; restano pertanto le altre due (Figura 8-6).

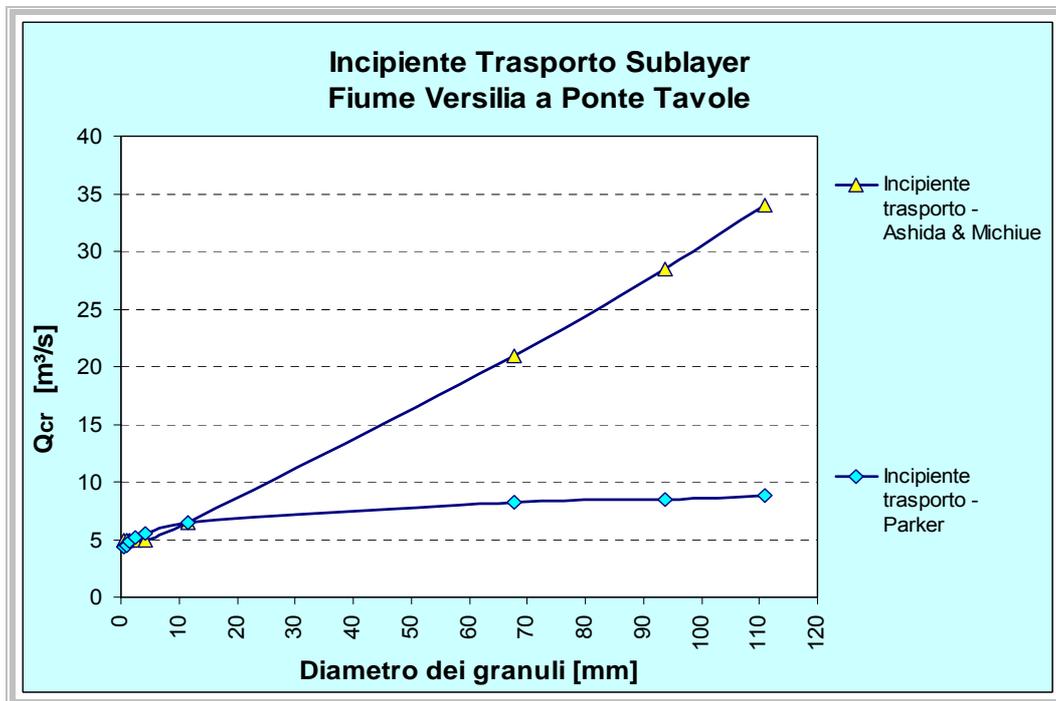


Figura 8-6 - Incipiente trasporto al fondo, sublayer (Brownlie - Ackers & White)

Dalla Figura 8-6 appare evidente che le due curve ottenute con il fattore di nascondimento proposto da Ashida & Michiue e Parker, per diametri maggiori di 10 mm, sono molto distanti.

Pertanto, solo con dei dati di campo relativi al massimo diametro mobilitato al fondo, sarà possibile stabilire quale curva è migliore per rappresentare l'incipiente movimento al fondo in corrispondenza della stazione di misura. Per il momento, si assumono valide entrambe le curve.

Curva di incipiente trasporto in sospensione

Seguendo la procedura descritta nel par. 5.4.1, si è ricavata la curva di incipiente trasporto in sospensione per il *sublayer* con la teoria di Bagnold (1966). La curva è stata calcolata nella sezione fittizia con i parametri idraulici locali e messa in relazione con la sezione di misura del trasporto solido in sospensione.

La curva di incipiente sospensione per il Fiume Versilia, viene riportata in Figura 8-7 con i diametri massimi mobilitati durante le misure del 23/1/07 e 28/5/07 stimati con il comparatore visivo, a seguito dell'analisi del campione.

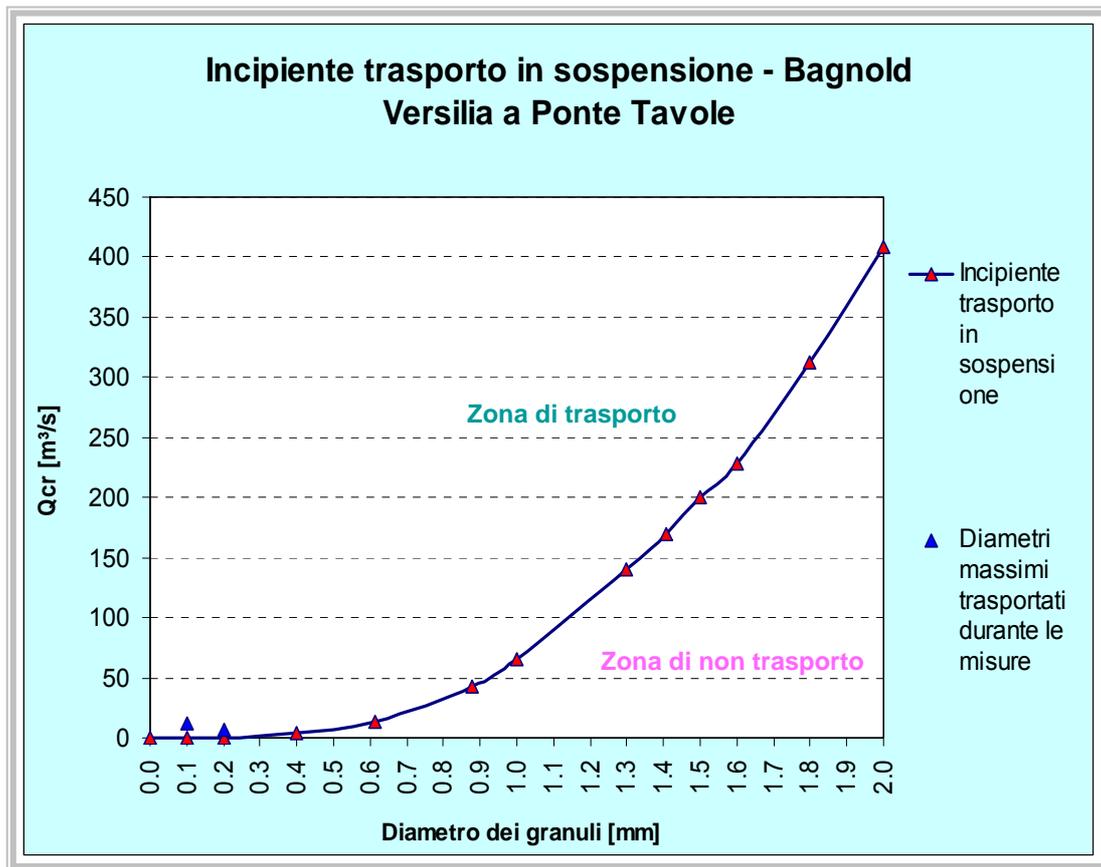


Figura 8-7 - Incipiente trasporto in sospensione e diametri massimi trasportati, *sublayer* (Bagnold)

8.1.4 Incipiente trasporto sul Fiume Serchio

Le curve di incipiente trasporto al fondo per l'*armour layer* sono rappresentate in Figura 8-8.

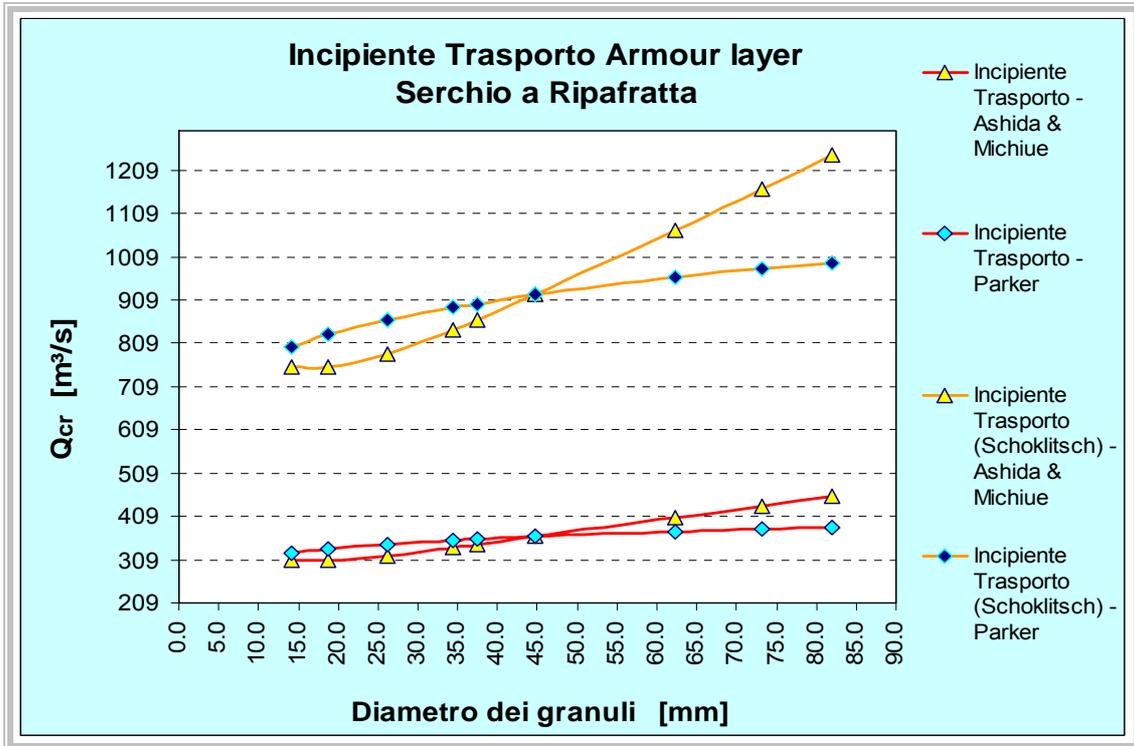


Figura 8-8 - Incipiente trasporto al fondo, *armour layer* (Brownlie - Ackers & White e Schoklitsch)

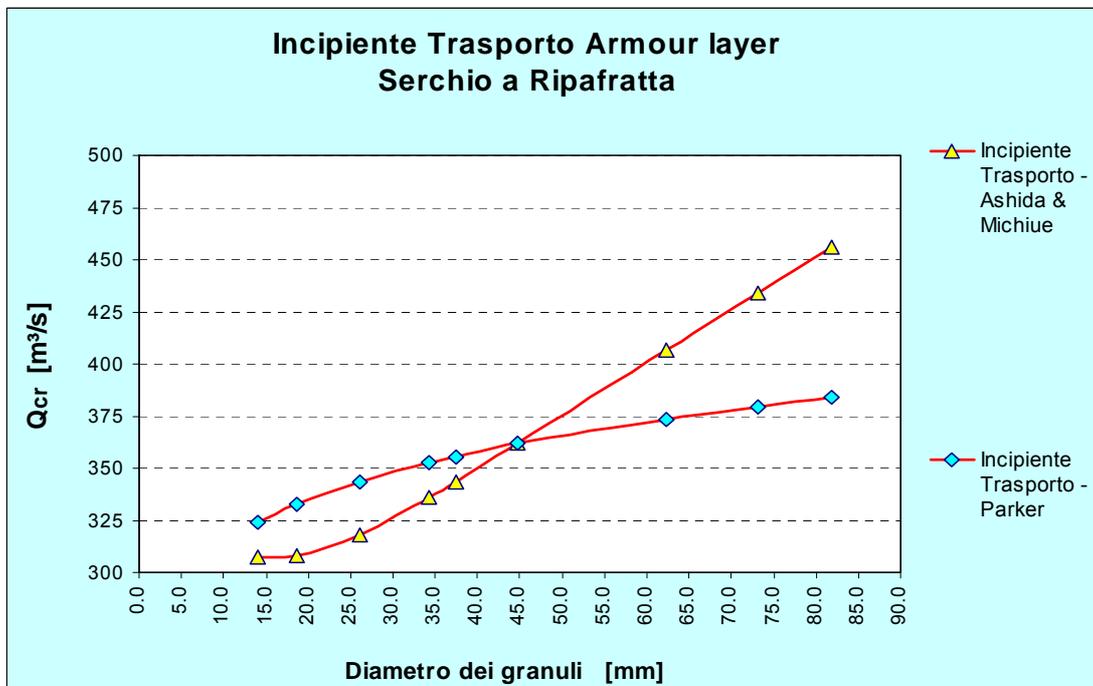


Figura 8-9 - Incipiente trasporto al fondo, *armour-layer* (Brownlie - Ackers & White)

Sublayer

Le curve di incipiente trasporto al fondo per la *sublayer* sono riportate in fig. Figura 8-10. Come detto per l'*armour-layer*, sono state escluse le curve ottenute con la teoria di Schoklitsch. Restano pertanto le altre due (Figura 8-11).

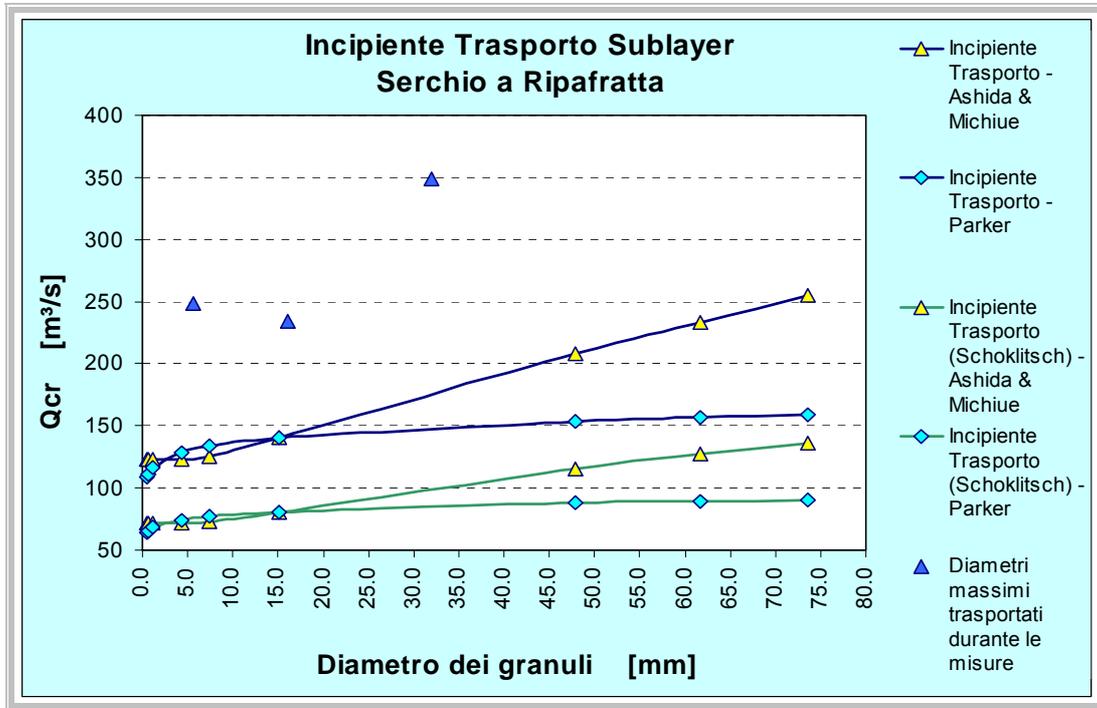


Figura 8-10 - Incipiente trasporto al fondo e diametri massimi trasportati, *sublayer* (Brownlie - Ackers & White e Schoklitsch)

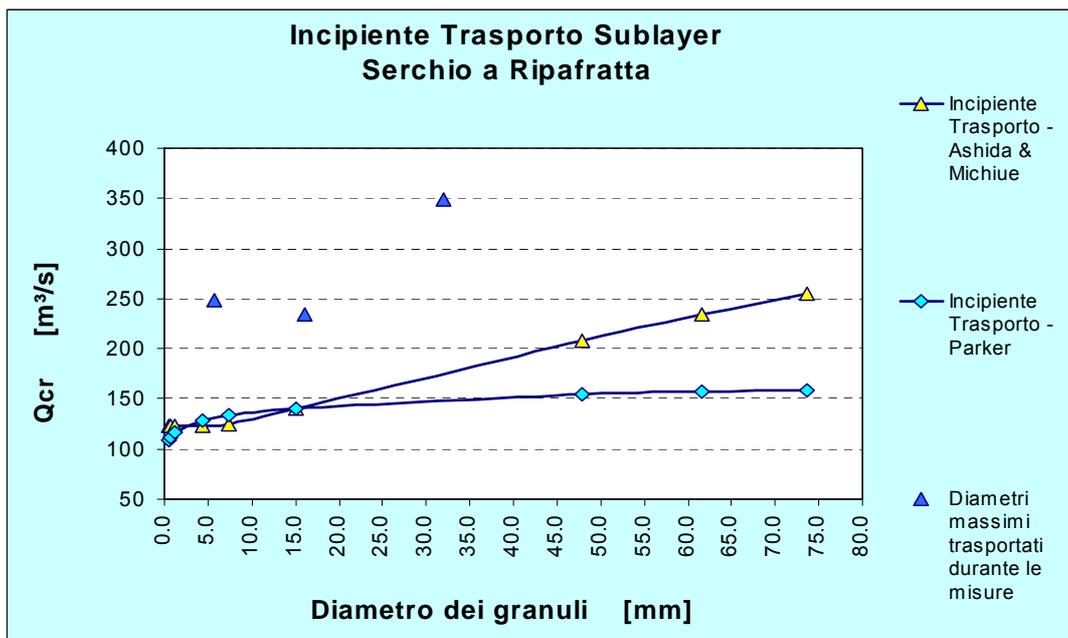


Figura 8-11 - Incipiente trasporto al fondo e diametri massimi trasportati, *sublayer* (Brownlie - Ackers & White)

I livelli del pelo libero di incipiente trasporto al fondo, per i diametri caratteristici del *sublayer* (D_i), sono stati tracciati prendendo in considerazione solo il fattore di nascondimento proposto da Ashida & Michiue anche se le possibili curve di inizio del moto sono due (Figura 8-11).

Curva di incipiente trasporto in sospensione

Seguendo la procedura descritta nel par. 5.4.1, si è ricavata la curva di incipiente trasporto in sospensione per il *sublayer* con la teoria di Bagnold (1966). Non conoscendo in modo esatto la granulometria d'alveo in prossimità del ponte, la curva è stata calcolata nella sezione fittizia con i parametri idraulici locali e messa in relazione con la sezione di misura del trasporto solido in sospensione. La scelta della sezione di monte è giustificata, oltre che dalla ricerca di condizioni di moto uniforme, anche dal fatto che il materiale che transita trasportato in sospensione è quello che si è messo in moto a monte della stazione di misura.

La curva di incipiente sospensione per il Fiume Serchio viene riportata in Figura 8-12.

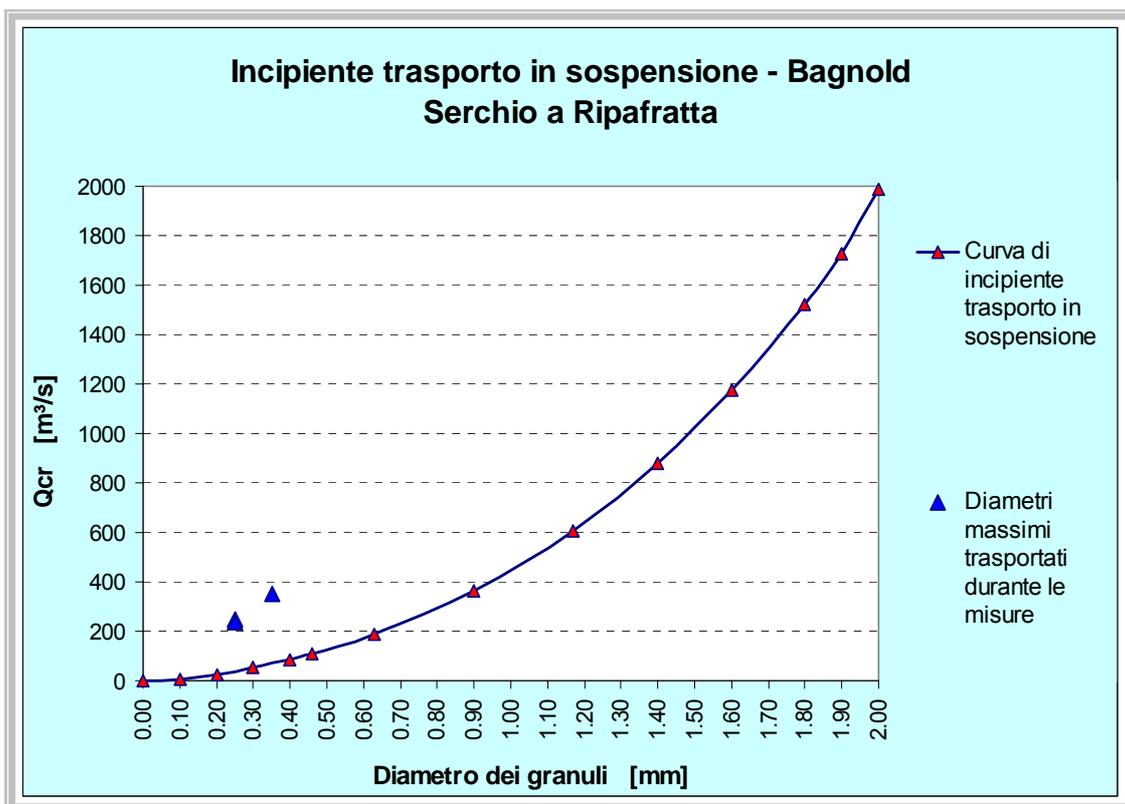


Figura 8-12 - Incipiente trasporto in sospensione e diametri massimi trasportati, *sublayer* (Bagnold)

8.1.5 Portate solide sul Fiume Versilia

In Figura 8-13 si può osservare il confronto tra i dati di campo e la scala di deflusso teorica delle portate solide al fondo, per il F. Versilia alla sezione Ponte Tavole.

La stima della scala di deflusso teorica è stata effettuata utilizzando le formule di Parker (1990) e di Powell, Reid & Laronne (2001); i valori sono riportati in dettaglio in Tabella 8-3.

Come rilevato sul campo, due punti di misura corrispondevano ad assenza di trasporto solido al fondo, mentre in occasione degli altri due eventi è stata misurata una portata solida al fondo che ben si accorda con quanto predetto dalle scale di deflusso teoriche.

In Figura 8-14 si può osservare il confronto tra i dati di campo e la scala di deflusso teorica delle portate solide in sospensione, per il F. Versilia alla sezione Ponte Tavole.

La stima della scala di deflusso teorica è stata effettuata utilizzando la metodologia tramite frazionamento della portata solida totale, calcolata a sua volta tramite la formula di Ackers e White mod. (1982); i valori sono riportati in dettaglio in Tabella 8-4.

Anche nel caso della portata solida in sospensione si può osservare che l'ordine di grandezza del trasporto è ben predetto dalla scala di deflusso teorica: in particolare nel caso delle due portate più basse si è osservato che il trasporto in sospensione era costituito essenzialmente da *wash load*, mentre nel caso delle portate liquide più elevate la percentuale di *bed material* che viene trasportata in sospensione è maggiore.

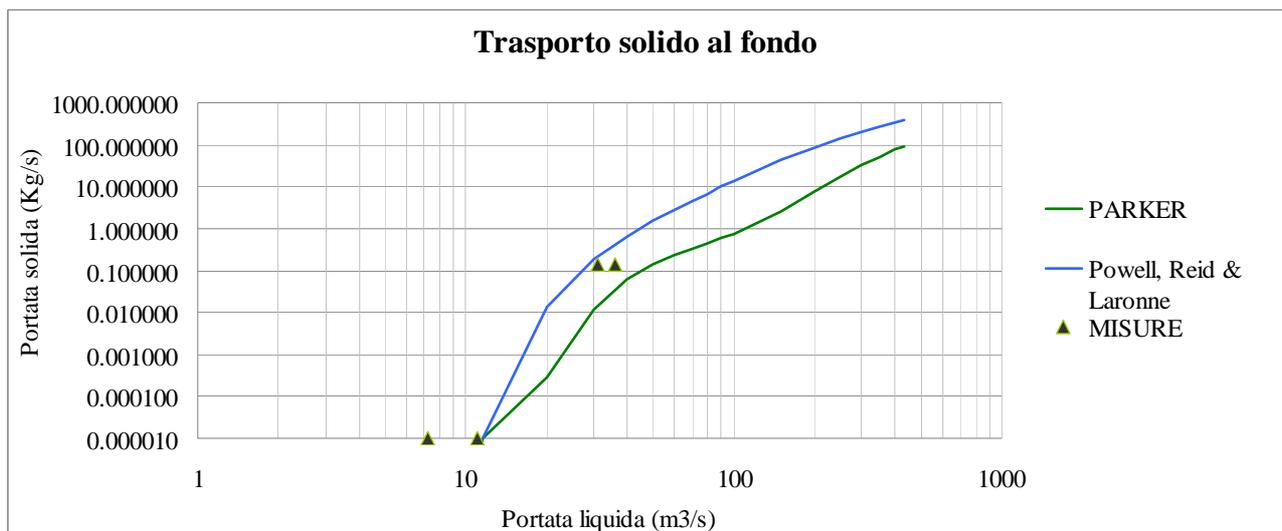


Figura 8-13: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

In Figura 8-15 si può osservare il confronto tra i dati di campo e la scala di deflusso teorica delle portate solide al fondo, per il F. Versilia alla sezione Ponte Tavole.

La stima della scala di deflusso teorica è stata effettuata utilizzando la formula di Ackers & White (1973) mod. White & Day (1982) per materiale d'alveo eterogeneo; i valori sono riportati in dettaglio in Tabella 8-5.

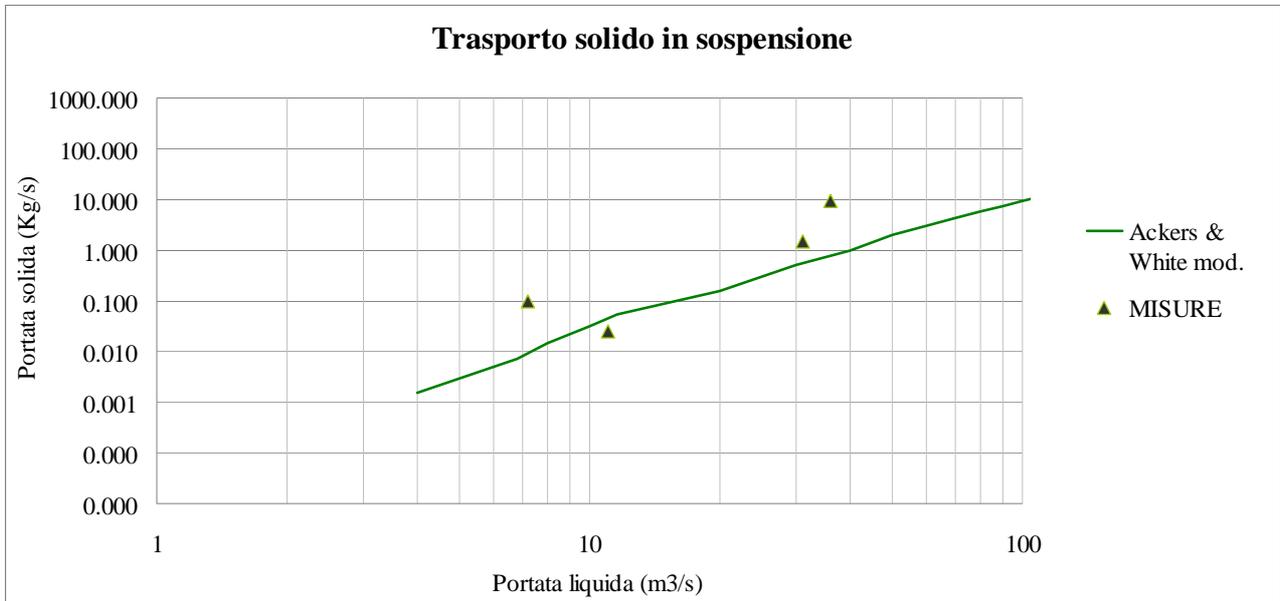


Figura 8-14: Scala di deflusso del trasporto solido in sospensione e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

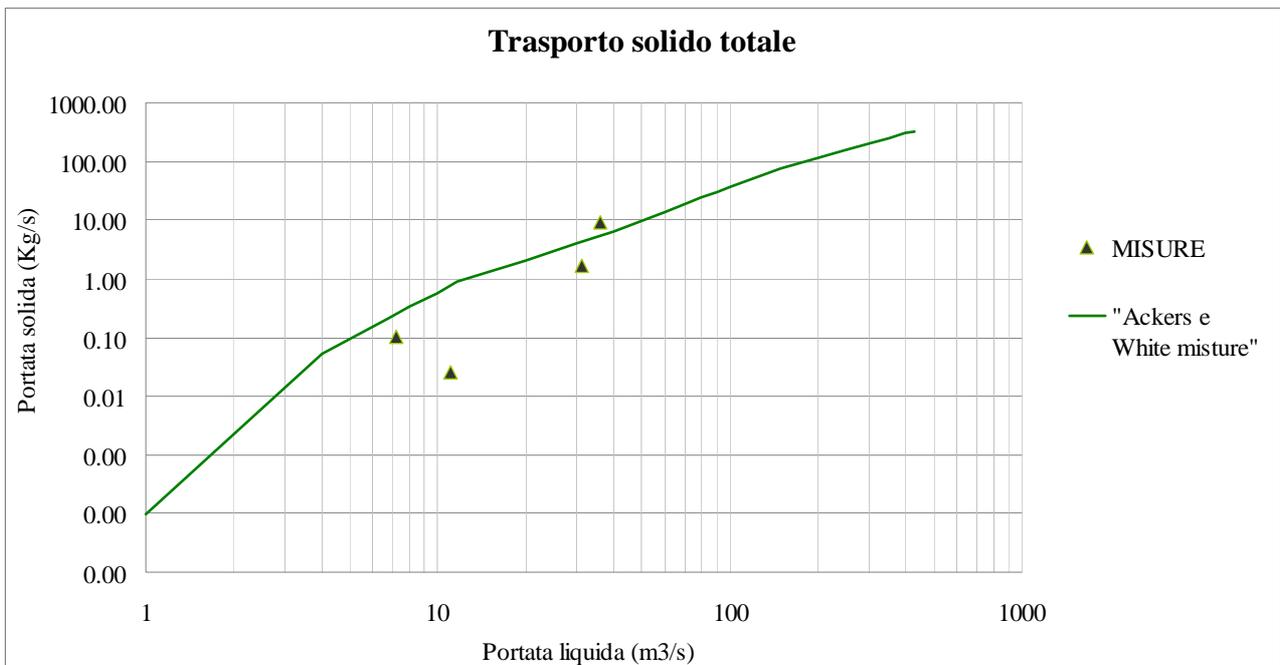


Figura 8-15: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

<i>Trasporto al fondo</i>		
Q [m³/s]	Qs Parker [Kg/s]	Qs P, R&L [Kg/s]
1	0.000000	0.000
4	0.000000	0.000
6.8	0.000000	0.000
8	0.000000	0.000
10	0.000000	0.000
11.6	0.000010	0.00001
20	0.000281	0.01368
30	0.012094	0.18800
40	0.063978	0.65841
50	0.140258	1.50523
60	0.224642	2.74718
70	0.322586	4.47478
80	0.436944	6.73377
90	0.593293	9.94308
100	0.744901	13.28265
150	2.552048	43.67431
200	7.709851	83.07285
250	17.449995	138.29628
300	32.406924	201.86498
350	52.280443	275.17471
400	76.108900	342.30347
430	87.628672	374.792

Tabella 8-3: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo, stazione di misura Ponte Tavole

<i>Trasporto in sospens.</i>	
Q [m³/s]	Qs A&W [Kg/s]
1	0.000
4	0.002
6.8	0.007
8	0.014
10	0.032
11.6	0.054
20	0.153
30	0.504
40	0.985
50	1.978
60	3.009
70	4.280
80	5.714
90	7.526
100	9.267
150	21.805
200	34.739
250	50.264
300	67.458
350	86.429
400	103.539
430	110.652

Tabella 8-4: Scala di deflusso del trasporto solido in sospensione, stazione di misura Ponte Tavole

<i>Trasporto totale</i>	
Q [m ³ /s]	Qs [Kg/s]
1	0.000
4	0.053
6.8	0.210
8	0.342
10	0.567
11.6	0.915
20	2.076
30	3.929
40	6.273
50	9.742
60	13.869
70	18.772
80	24.211
90	30.718
100	36.485
150	75.711
200	113.157
250	158.061
300	204.419
350	254.202
400	297.525
430	317.053

Tabella 8-5: Scala di deflusso del trasporto solido totale, stazione di misura Ponte Tavole

8.1.6 Portate solide sul Fiume Serchio

In Figura 8-16 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 8-6.

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, mentre le altre due formule costituiscono dei limiti inferiori e superiori alla portata solida al fondo stimata. La dispersione dei valori di trasporto al fondo misurata è senz'altro 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 8-17 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 8-7.

Entrambe le formule di trasporto solido in sospensione predicono 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 in funzione della portata liquida transitante.

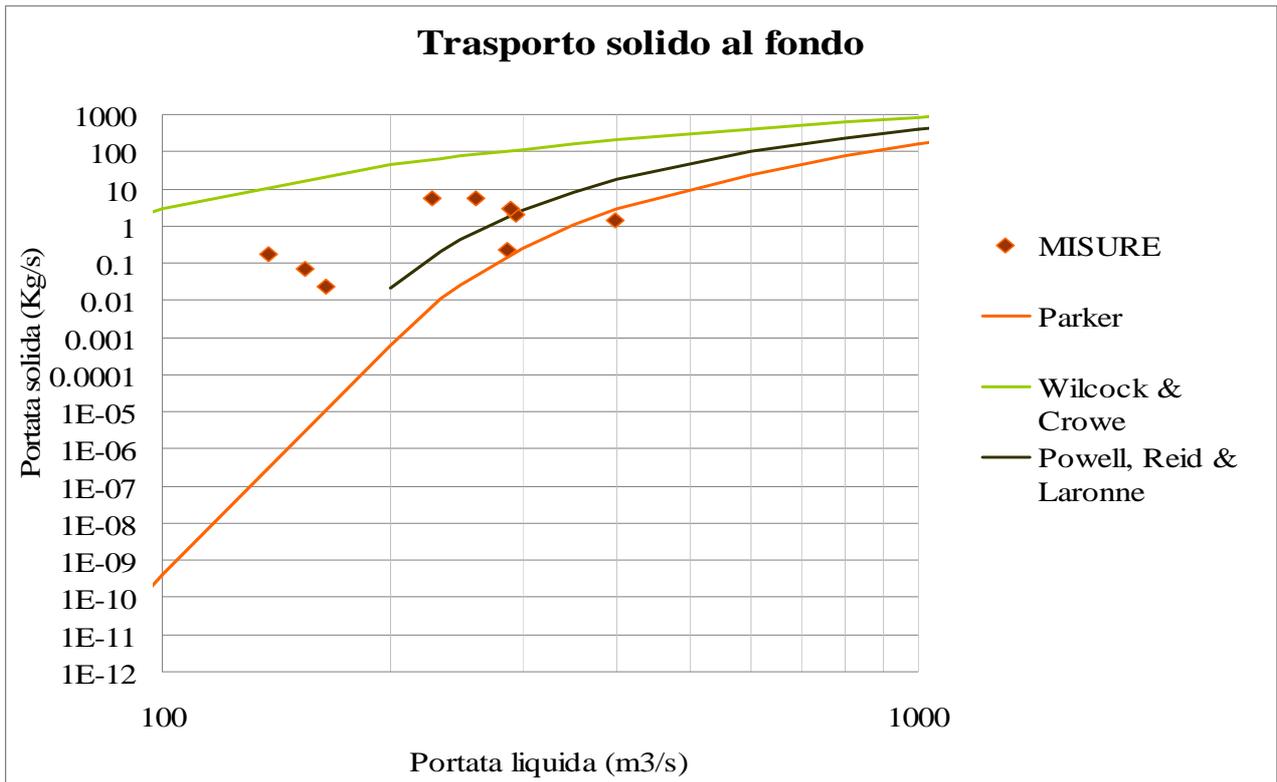


Figura 8-16: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

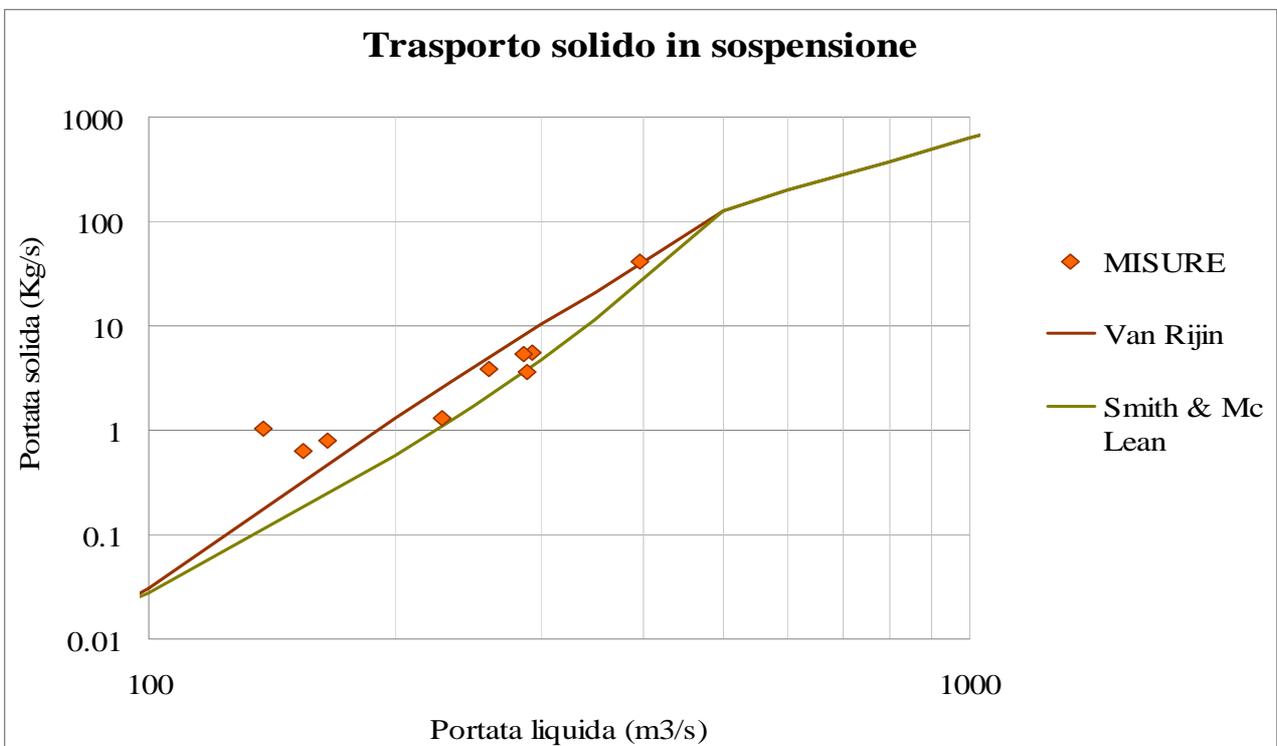


Figura 8-17: Scala di deflusso del trasporto solido in sospensione e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

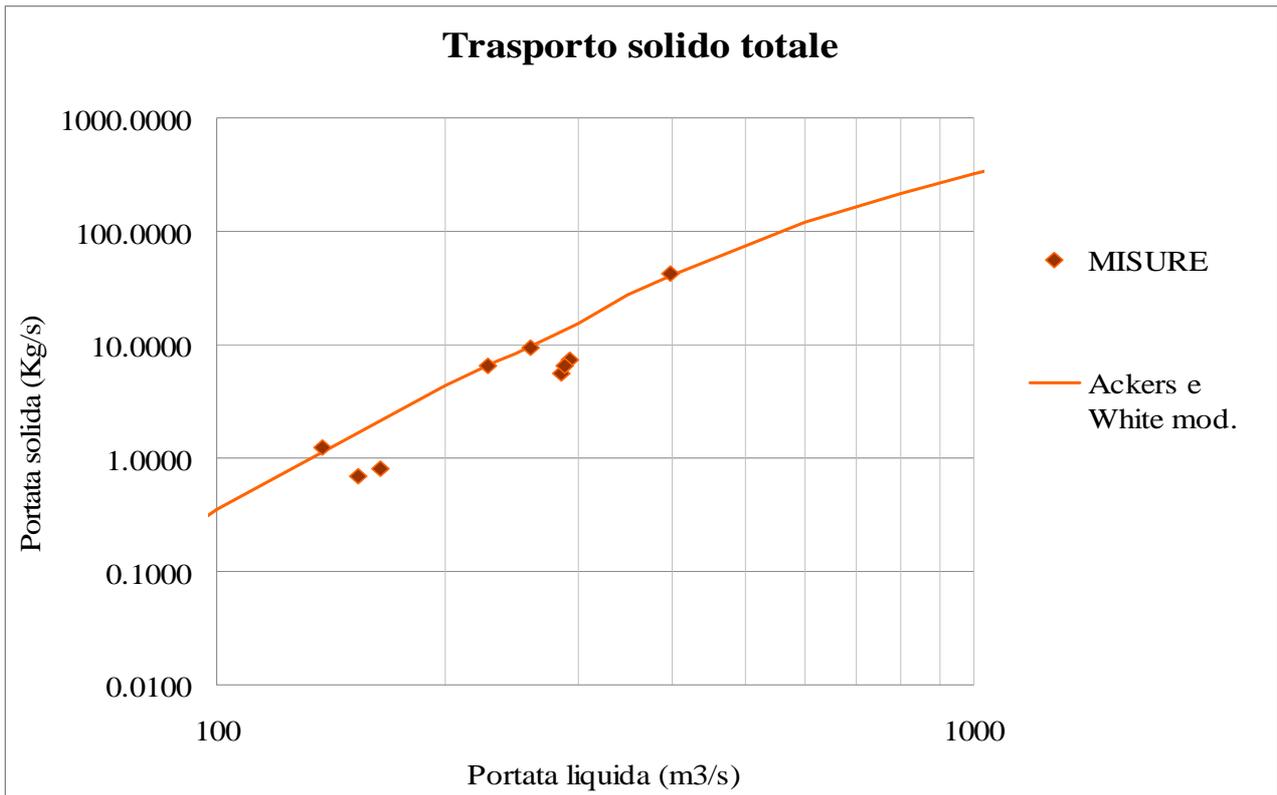


Figura 8-18: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

<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 8-6: 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 8-7: Scala di deflusso del trasporto solido al fondo, stazione di misura Ripafratta.

<i>Trasporto totale</i>	
Q [m³/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 8 - 1: Scala di deflusso del trasporto solido totale, stazione di misura Ripafratta

8.2 LE SCALE DI DEFLUSSO A FONDO MOBILE

8.2.1 Fiume Versilia

La determinazione delle scale di deflusso a fondo mobile è stata eseguita impiegando il modello numerico morfodinamico descritto al paragrafo 3.2.2. 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 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). Il diametro mediano, D_{50} , del materiale costituente l'alveo è stato assunto pari a 0.0115 m, mentre la porosità dei sedimenti è stata posta pari a 0.3. Il coefficiente di Manning è stato assunto pari a 0.023 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 la quota della superficie libera a valle, che è stata posta pari a 0 sul livello medio mare.

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

In Figura 8-19 e 8-20 sono riportate rispettivamente le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo mobile per la stazione di misura Ponte Tavole e il confronto con i dati di campo. Come evidenziato dalle figure, il modello numerico a fondo mobile riproduce con buona accuratezza il fenomeno dell'inizio del moto dei sedimenti, senza la necessità di eseguire alcuna calibrazione della formula per il calcolo della capacità di trasporto dei sedimenti.

In Figura 8-21 e 8-22 sono riportati rispettivamente i confronti tra le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo fisso e a fondo mobile per la stazione di misura Ponte Tavole e il confronto con i dati di campo. Si osservano discrepanze essenzialmente dovute ad effetti di moto vario.

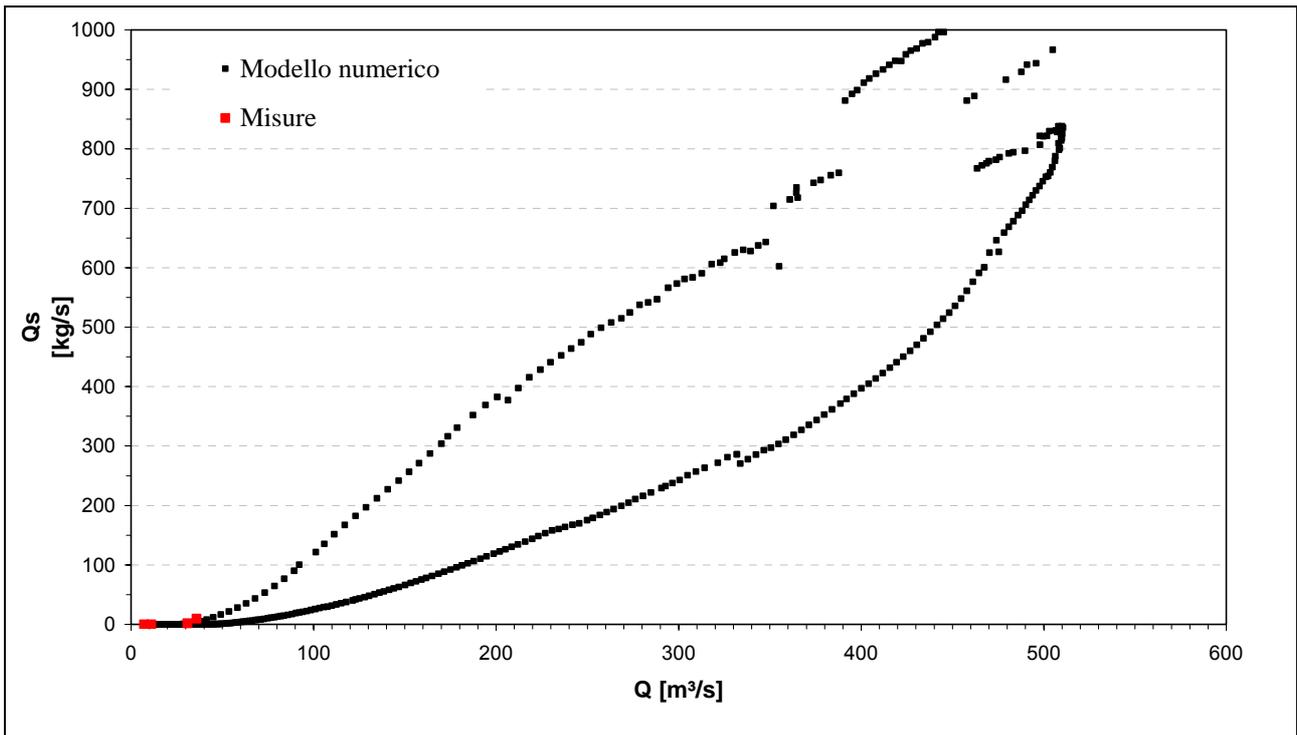


Figura 8-19: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

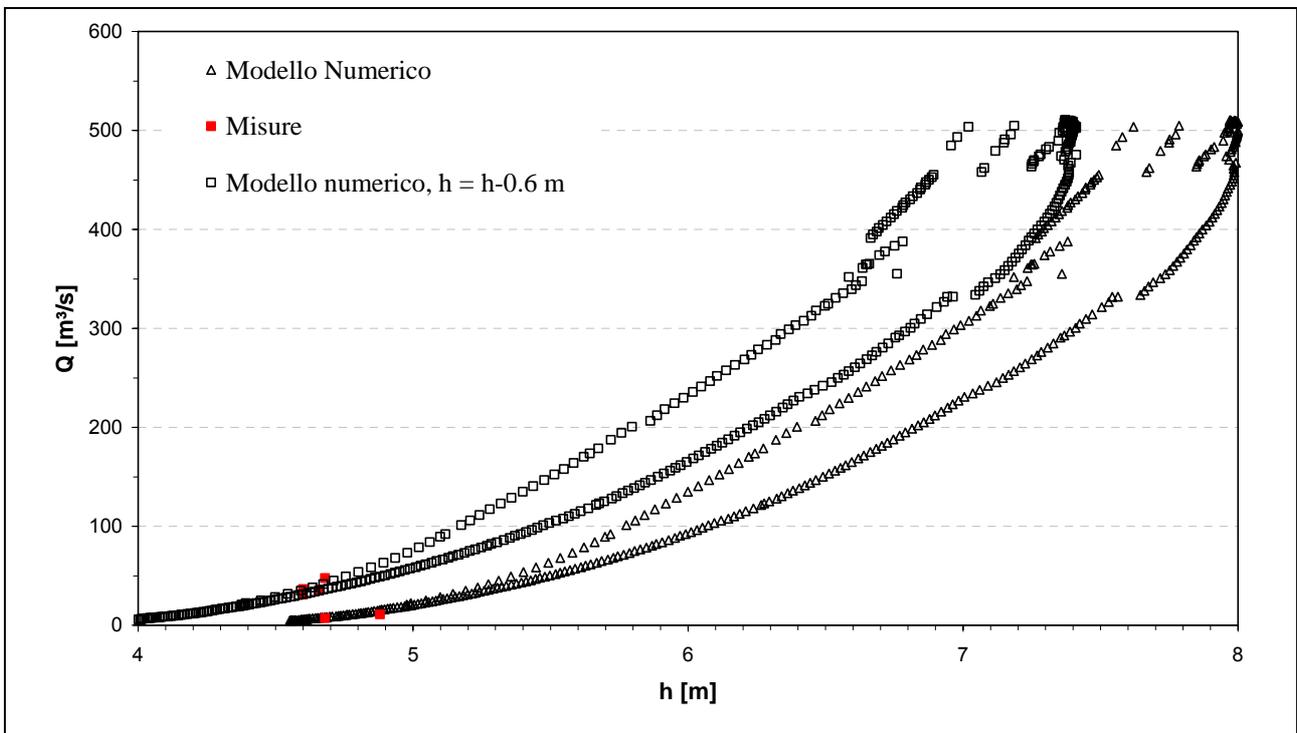


Figura 8-20: Scala di deflusso delle portate liquide confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

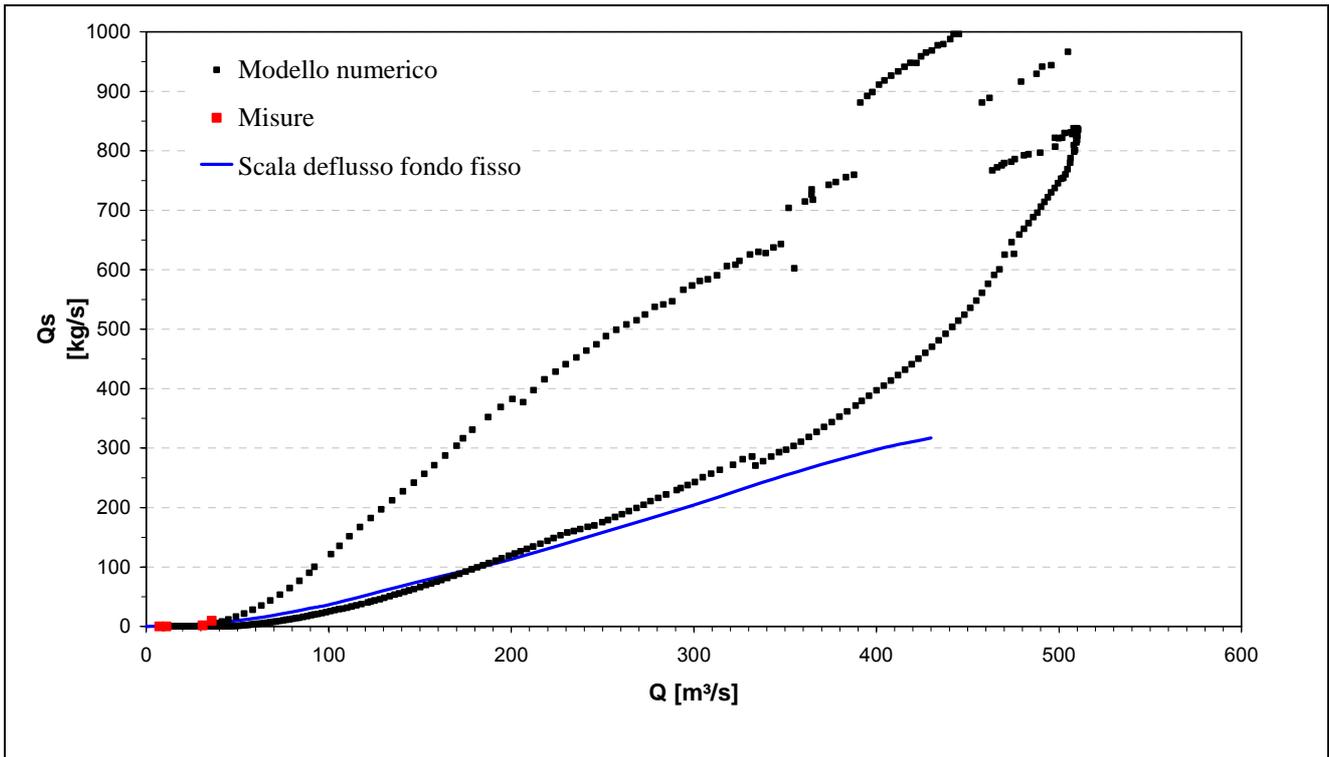


Figura 8-21: Scala di deflusso del trasporto solido totale a fondo fisso e mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

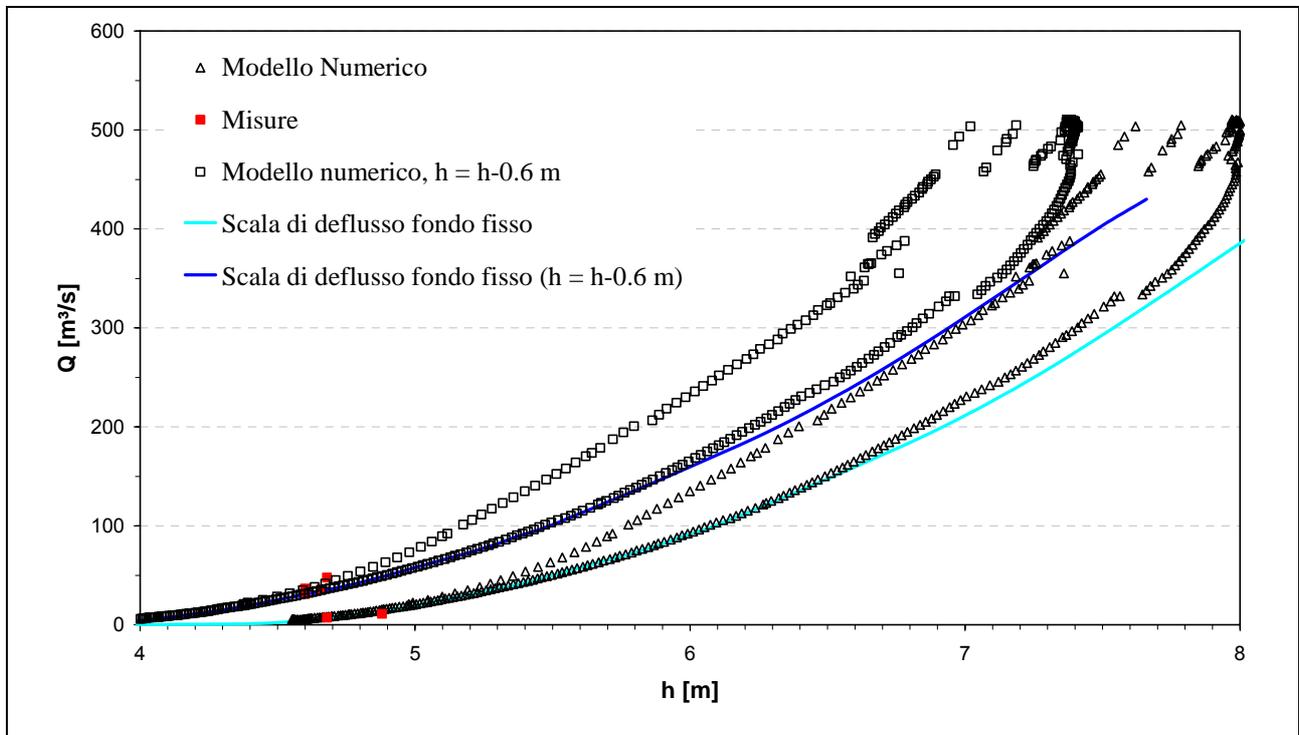


Figura 8-22: Scala di deflusso delle portate liquide a fondo fisso e a fondo mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ponte Tavole.

8.2.2 Fiume Serchio

La determinazione delle scale di deflusso a fondo mobile è stata eseguita impiegando il modello numerico morfodinamico descritto al paragrafo 3.2.2. 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).

In Figura 8-23 e 8-24 sono riportate rispettivamente le scala 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, consentendo di estrapolare tali grandezze anche per valori di portata maggiori di quelli raccolti nelle misure di campo.

In Figura 8-25 e 8-26 sono riportati rispettivamente i confronti tra le scale di deflusso del trasporto solido totale e della portata liquida a fondo fisso e a fondo mobile per la stazione di misura Ripafratta e il confronto con i dati di campo. Si può osservare l'ottimo accordo tra i risultati trovati; inoltre ciò costituisce una riprova del fatto che il tratto in esame si trovi sostanzialmente in equilibrio.

Nelle Figure 8-24 e 8-26 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 8-27.

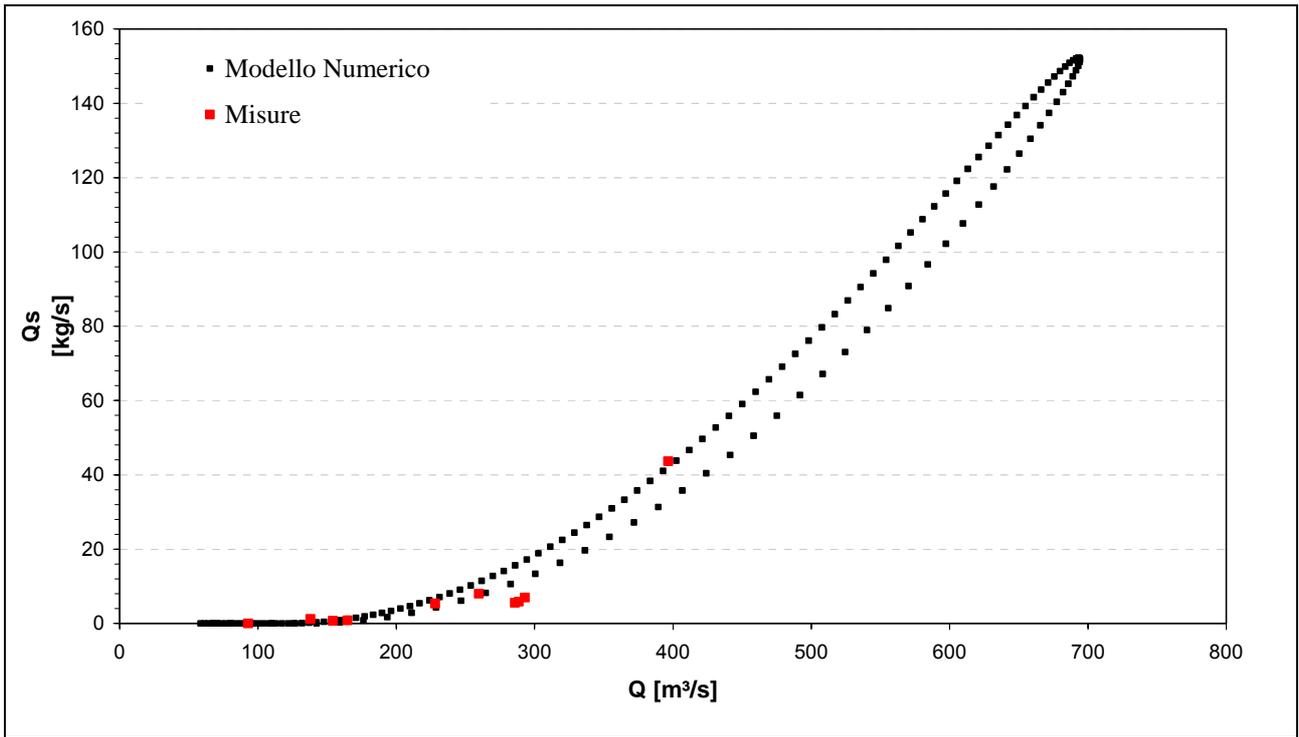


Figura 8-23: Scala di deflusso del trasporto solido totale e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafredda.

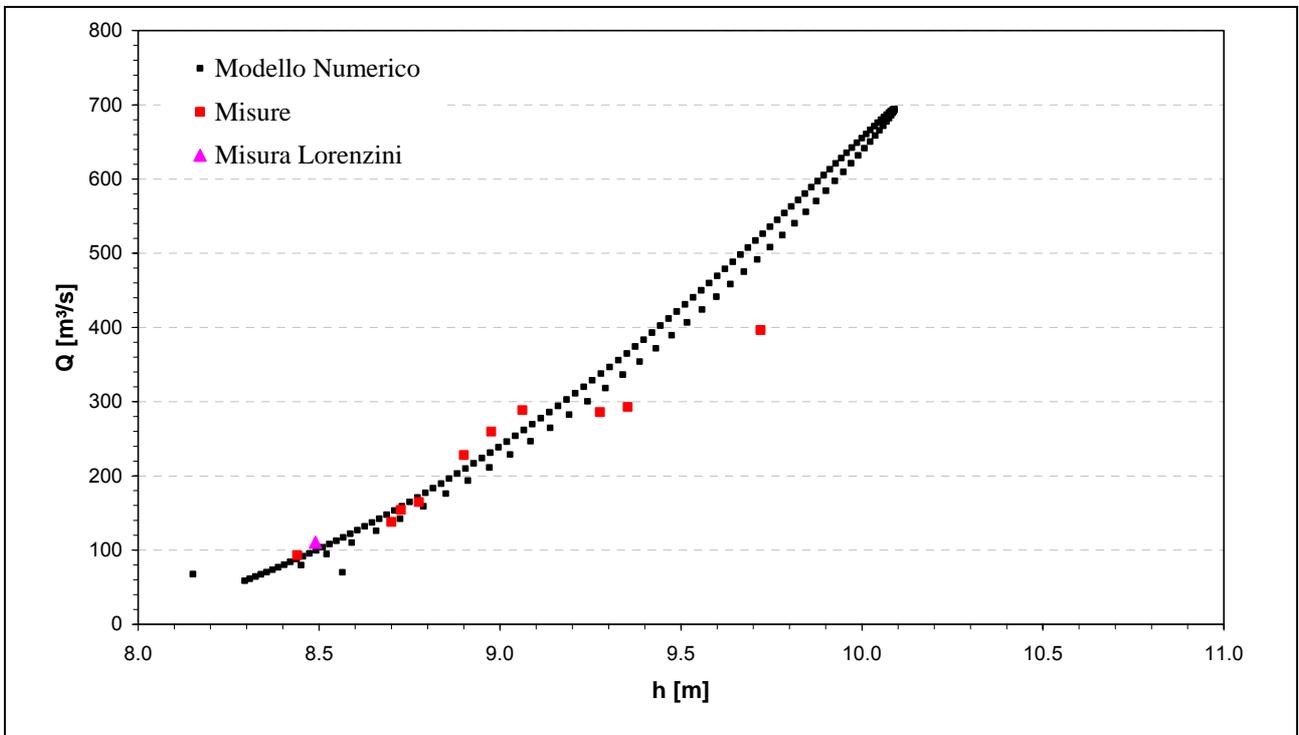


Figura 8-24: Scala di deflusso delle portate liquide confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafredda.

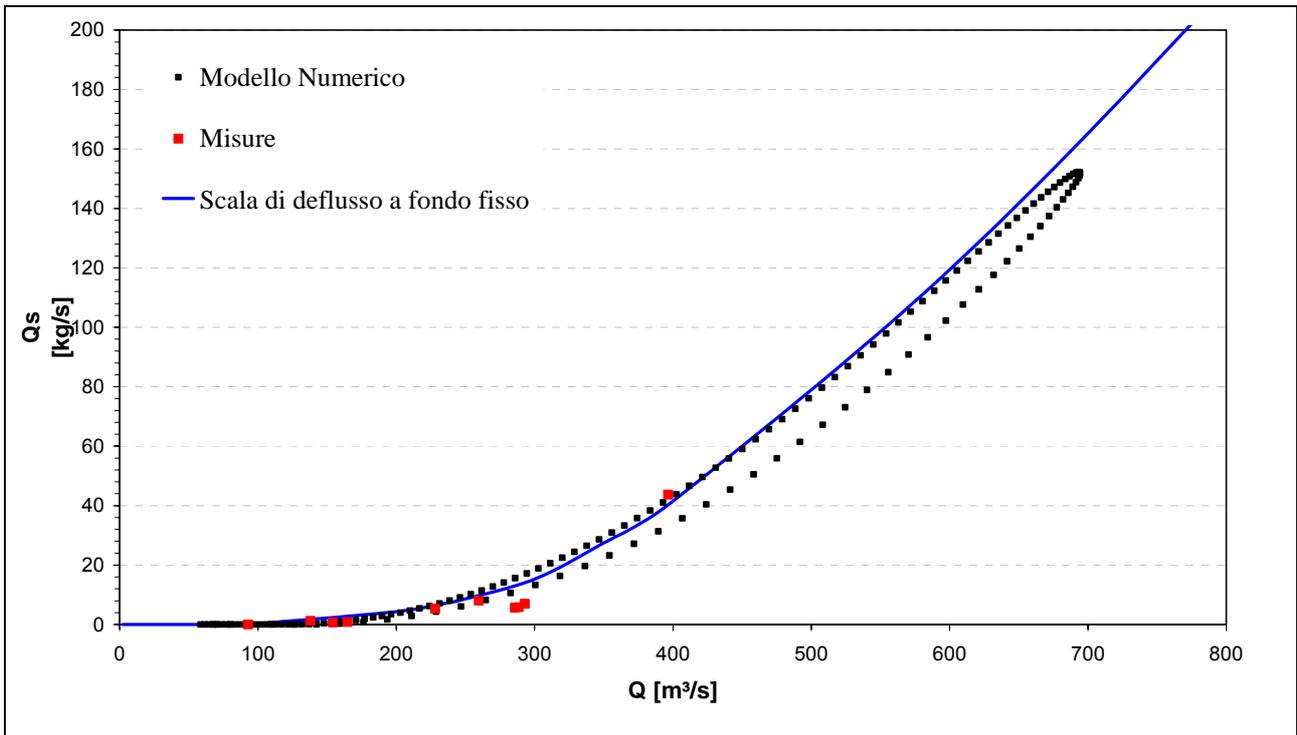


Figura 8-25: Scala di deflusso del trasporto solido totale a fondo fisso e mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

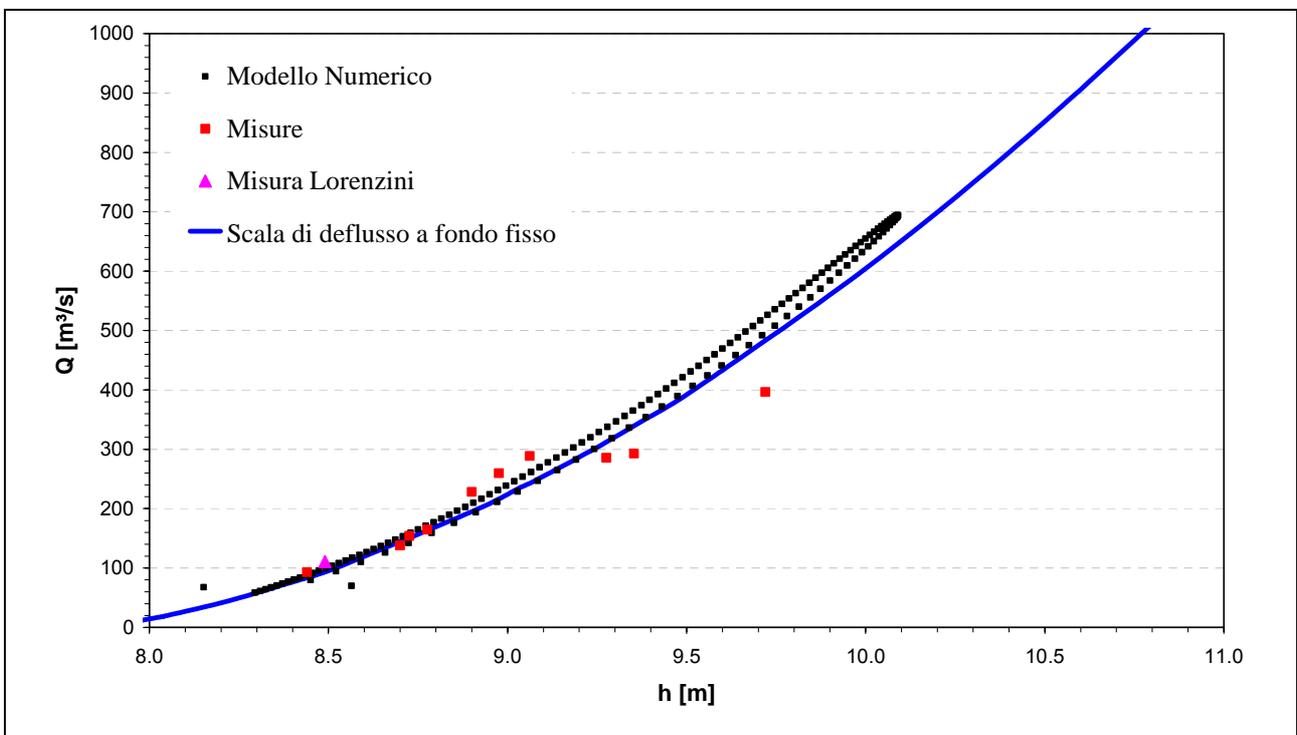


Figura 8-26: Scala di deflusso delle portate liquide a fondo fisso e a fondo mobile e confronto con i dati di campo, stazione di misura Ripafratta.

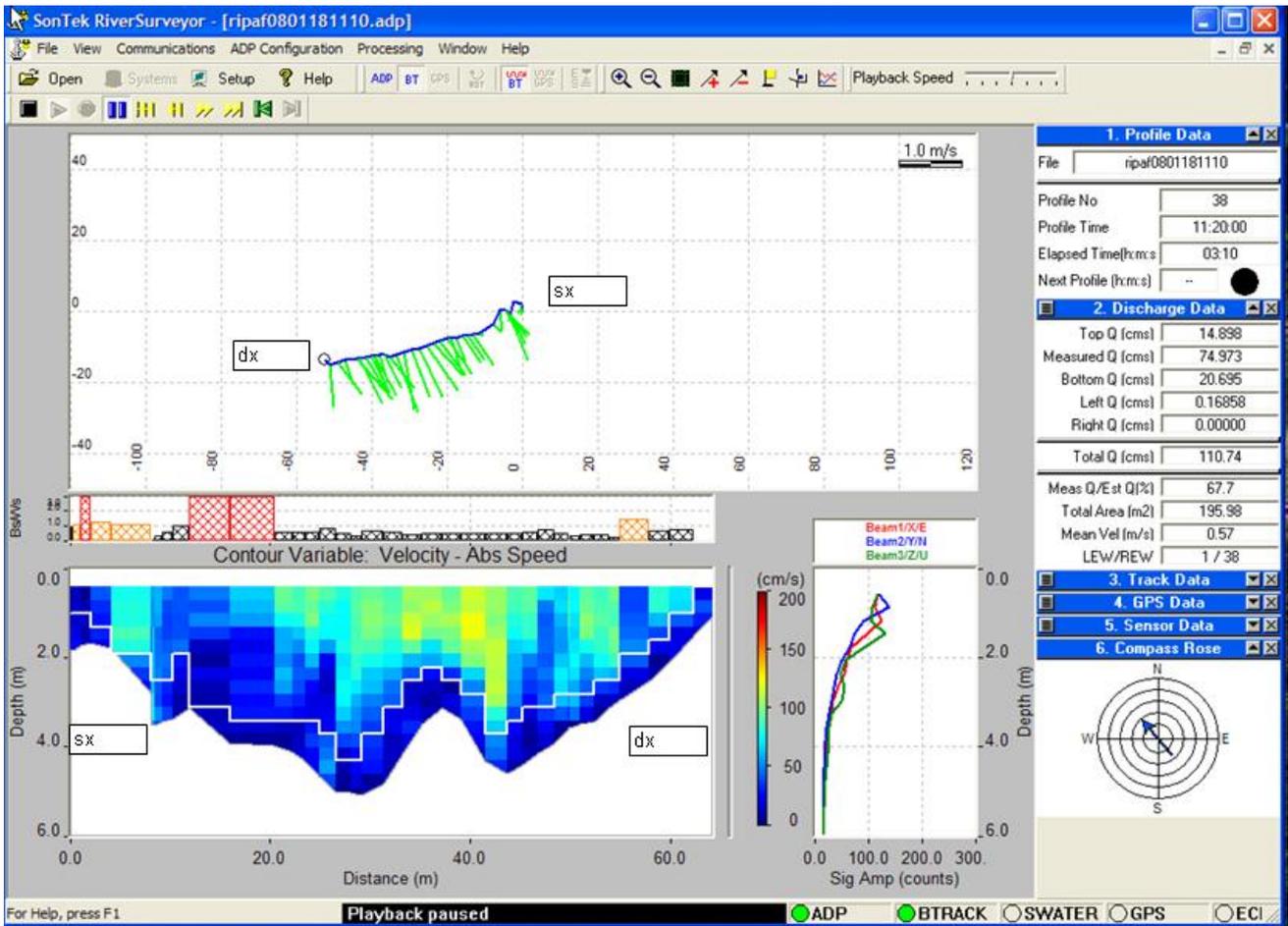


Figura 8-27: Misura di portata e velocità nella stazione di Ripafratta effettuata dal Dott. Lorenzini in data 18/01/08.

9 CONSIDERAZIONI FINALI

Nella presente relazione conclusiva – Parte II sono illustrate le metodologie utilizzate per l'analisi e l'interpretazione teorica dei dati di campo misurati durante l'attività di monitoraggio delle portate liquide e solide prevista nell'ambito della convenzione “Monitoraggio del trasporto solido nei corsi d'acqua toscani: primo stralcio”.

In particolare ciascuno degli eventi di piena significativi, durante i quali sono state svolte le misure di trasporto solido sui Fiumi Versilia e Serchio, è stato illustrato e descritto in dettaglio.

Dall'analisi dei campioni di trasporto solido al fondo e in sospensione misurati sono emerse alcune importanti considerazioni di carattere generale che sono qui di seguito riportate:

- Sia per il Versilia che per il Serchio il trasporto solido al fondo risulta costituito in larga parte da materiale sabbioso ($0.062 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$): per il Fiume Serchio questo fatto può essere collegato con la dimensione del materiale costituente il fondo alveo, per la maggior parte sabbioso; per il Fiume Versilia invece questo fatto è da imputarsi alle portate liquide relativamente basse in concomitanza delle quali sono state svolte le misure, infatti, in ragione del materiale più grossolano costituente il fondo alveo nella stazione di misura di Ponte Tavole e delle caratteristiche idrauliche e morfologiche del Versilia, alle portate liquide più elevate è atteso un quantitativo di ghiaia presente nel campione variabile a seconda della portata liquida.

- Nei corsi d'acqua monitorati il trasporto solido è essenzialmente dovuto a trasporto di materiale in sospensione, essendo il trasporto al fondo solo una piccola parte del trasporto totale, almeno per le portate monitorate.

- Si è osservato inoltre che il trasporto in sospensione da *bed material* è direttamente correlabile alla portata liquida transitante in alveo.

- Le misure hanno anche evidenziato una certa variabilità periodica nel trasporto al fondo, specialmente nel fiume Serchio; tale fatto potrebbe essere collegato alla presenza di forme di fondo a carattere dunale, in transito durante l'evento di piena.

- Per il Fiume Versilia il trasporto solido al fondo è ben predetto dalla formula di Powell, Reid e Laronne (2001), quello in sospensione con il metodo del frazionamento del trasporto solido totale calcolato con la formula di Ackers e White, quello totale con la formula di Ackers e White modificato da White e Day (1982).

- Per il Fiume Serchio il trasporto solido al fondo è ben predetto dalla formula di Powell, Reid e Laronne (2001), quello in sospensione con le formule di Van Rijn (1984) e Smith & Mc Lean (1977), quello totale con la formula di Ackers e White modificato da White e Day (1982).

- Per le scale di deflusso a fondo mobile del Fiume Versilia, è emerso che il fenomeno dell'inizio del moto dei sedimenti è bene riprodotto, mentre le discrepanze osservate sono essenzialmente imputabili ad effetti di moto vario, che potranno essere interpretati e compresi attraverso il confronto con un maggior numero di dati di campo.

- Per le scale di deflusso a fondo mobile del Fiume Serchio è stato osservato un ottimo accordo tra i valori di portata liquida e solida misurati in campo e stimati attraverso la modellazione a fondo mobile; il tratto in esame si trova pertanto in una situazione di sostanziale equilibrio e ciò consente l'estrapolazione della scala di deflusso anche a valori di portata maggiori di quelli raccolti nelle misure di campo.

In conclusione, sebbene gli eventi misurati siano significativi per una prima stima del trasporto solido presente nei corsi d'acqua monitorati, il non alto numero delle misure (15) che è stato possibile effettuare in concomitanza dei maggiori eventi di piena, suggerisce di considerare i risultati esposti come preliminari, indicando la necessità di effettuare nuove misure, al fine di consolidare le relazioni trovate, e di estenderle anche a valori più elevati di portate liquide e solide.

In particolare si ritiene necessario:

- proseguire l'acquisizione di dati di campo sulle stazioni del F. Versilia e del F. Serchio per almeno ulteriori 12 mesi;
- escludere dalle future campagne di rilievo le misure sul T. Camaiore, in quanto l'esperienza maturata in questa prima fase ha evidenziato la pratica impossibilità a monitorare questo corso d'acqua per la repentinità con cui gli eventi si formano e si esauriscono;
- approfondire ed aggiornare il quadro conoscitivo sulle granulometrie dell'alveo, che sono impiegate nelle formule del Trasporto Solido, per i tratti di interesse del F. Serchio e del F. Versilia.

10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ackers, P., & White, W. R.. Sediment transport: a new approach and analysis. *J. Hydr. Engineering*, 99(11), 2041-2060, 1973.
- Ashida, K., & Michiue, M. (1972). Study on hydraulic resistance and bedload transport rate in alluvial streams. *Transactions. Japan Society of Civil Engineering*, 206: 59-69 (in Japanese).
- Bagnold, R. A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. *US Geol. Survey Prof. Paper 422-I*, Washington, D.C.
- Becchi, I., Tazioli, G.S., Pennacchioni, E., Radicioni, F., Vivalda, P., Deodori, G. & D'Agnolo, G. Analisi comparate di trasporto solido in due bacini attrezzati delle Marche: il F. Esino ed il F. Musone, *Atti Convegno Int. su: Trasporto solido ed evoluzione morfologica nei corsi d'acqua*, Università di Trento, 9 - 10 giugno, 1988.
- Billi, P. & Paris, E. Bed load transport and channel dynamics of the Ombrone River (Tuscany, Central Italy), Abstract volume, *32° Int. Geological Congress*, Firenze, Agosto 20-28, 2004.
- Billi, P. & Salemi E. La misura del trasporto solido del Fiume Reno, 2° Giornata di Studio – Il monitoraggio idrotorbidimetrico dei corsi d'acqua per la stima dei processi erosivi e il bilancio dei solidi sospesi, Università di Ferrara, 8 ottobre, 2004.
- Brownlie, W. R. (1981). Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels, *Report No. KH-R-43A*, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA, 232 p.
- Bunte, K. & Abt, S.R. (2001) – *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 pp.
- Bunte, K. & Swingle, K.W. Adjustment Needed for Helley-Smith Bedload Samples collected at low Transport Rates on Coarse Gravel Beds. *Eos Trans. AGU*, 88(52), *Fall Meet. Suppl.*, Abstract H41A-0132, 2007.
- Catella, M., Paris, E. & Solari L. 1-D morphodynamic model for natural rivers, *Proc. IV I.A.H.R. Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, pp. 283-291, Urbana, Illinois (USA), 4-7 Ottobre, 2005.
- Catella M., Paris E. e Solari L. (2008) - *Conservative scheme for numerical modelling of flow in natural geometry*. DOI: 10.1061/ASCE0733-9429(2008)134:6(736).
- Cipriani, L.E., Morelli, F., Regoli, C., Sargentini, M. & Trambusti, M. Erosione costiera, in: *Segnali*

- ambientali in Toscana 2004 – Relazione sullo stato dell'ambiente costiero e marino*, Regione Toscana – Edifir, pp. 94-96, 2004.
- Egiazaroff, I. V. (1965). Calculation of non uniform sediment concentration. *Journal of Hydraulic Engineering*, 91(4), 225-248.
- Gaweesh, M.T.K. & van Rijn, L.C. Bed-load Sampling in Sand-Bed Rivers. *J. Hydr. Engineering*, 120 (12), pp. 1364-1384, 1994.
- Ginanni, F., Bastiani, G., Pancani, G. & Becchi, I. Image processing per l'analisi del trasporto solido al fondo. *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, 2006.
- Habersack, H.M. & Laronne, J.B. Evaluation and Improvement of Bed Load Discharge Formulas based on Helley–Smith Sampling in an Alpine Gravel Bed River. *J. Hydr. Engineering*, 128 (5), pp. 484-499, 2002.
- Helley, E. J., & Smith, W. (1971). *Development and calibration of a pressure-difference bed-load sampler*. U. S. Geol. Survey, Open-File Report.
- Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. Proc. 2nd Meeting IAHSR, 1-26. Stockholm, Sweden.
- Parker, G. Surface-based bedload transport relation for gravel rivers. *J. Hydr. Research*, 28(4), 417-437, 1990.
- Powell, D. M., Reid, I., & Laronne, J. B. (2001). Evolution of bedload grain-size distribution with increasing flow strength and the effect of flow duration on the caliber of bedload sediment yield in ephemeral gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, 37(5), 1463-1474.
- van Rijn, L.C.. Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. *J. Hydr. Engineering*, 110(11), 1613-1641, 1984.
- White, W. R. & Day, T. J. Transport of graded bed materials. In R. D. Hey, J. C. Bathurst & C. R. Thorne (Eds.), *Gravel-Bed Rivers*, Wiley Interscience Public, 1982.
- Wilcock, P. R., & Crowe, J. C. Surface-based transport model for mixed-size sediment. *J. Hydr. Engineering*, 129(2), 120-128, 2003.
- Wolman, M. G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions of the American Geophysical Union (EOS)*, 35, 951-956.
- Wong, M. (2003). Does the bedload equation of Meyer-Peter and Müller fit its own data? *Proceedings*, 30th Congress, International Association of Hydraulic Research. Thessaloniki, J.F.K. Competition Volume: 73-80.
- Wren, D.G., Barkdoll, B.D., Kuhnle, R.A. & Darrow, R.W. Field Techniques for Suspended-Sediment Measurement. *J. Hydr. Engineering*, 126 (2), pp. 97-104, 2000.