



REGIONE TOSCANA

Direzione Generale Politiche Territoriali e Ambientali

SETTORE SERVIZIO IDROLOGICO REGIONALE



**PROGETTO GENERALE DI MONITORAGGIO
DEL TRASPORTO SOLIDO NEI CORSI D'ACQUA TOSCANI**

Relazione
Tecnica n.1

RELAZIONE TECNICA GENERALE

Responsabile:
Prof. Ing. Enio Paris

Collaboratore:
Dott. Ing. Alessandro Moscatelli

Novembre 2005

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INTRODUZIONE	9
3. ANALISI DELLE ATTUALI ATTIVITÀ DI MISURA, DEI RILIEVI FLUVIALI, E DEI DATI DISPONIBILI	15
4. STRATEGIE DI MONITORAGGIO	32
4.1 Generalità.....	32
4.1.1 Il monitoraggio delle caratteristiche morfologiche	33
4.1.2 Il monitoraggio delle caratteristiche sedimentologiche	33
4.1.3 Il monitoraggio del trasporto solido.....	34
4.1.4 Il monitoraggio del portate liquide	35
4.2 Criteri utilizzati per il progetto di monitoraggio.....	38
5. IL PROGETTO DI MONITORAGGIO	41
5.1 Le stazioni idrometriche significative	41
5.2 I tratti fluviali rappresentativi	43
5.3 I rilievi sedimentologici.....	44
5.3.1 Criteri per il rilievo sedimentologico	46
5.4 Le caratteristiche dei bacini idrografici	48
5.5 Le stazioni di monitoraggio	51
6. ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E STRUMENTAZIONE	56
6.1 Criteri generali per le attività di misura.....	57
6.1.1 Definizione delle verticali di misura.....	59

6.1.2	Definizione dell'altezza d'acqua nelle verticali di misura	61
6.1.3	Misura della velocità della corrente e della portata liquida	61
6.1.4	Misura del trasporto solido in sospensione	63
6.1.5	Strumenti per la misura diretta della concentrazione	64
6.1.6	Strumenti per la misura indiretta della concentrazione.....	65
6.1.7	Misura del trasporto solido al fondo.....	69
6.2	La strumentazione.....	71
6.2.1	La strumentazione fissa	71
6.2.2	La strumentazione mobile.....	73
7.	ATTUAZIONE DEL PROGETTO DI MONITORAGGIO.....	74
7.1	Attività della prima fase	75
7.1.1	Sezioni fluviali	75
7.1.2	Rilievi sedimentologici.....	76
7.1.3	Risorse umane.....	77
7.1.4	Le attrezzature e la strumentazione	78
7.2	Attività della fase sperimentale	78
7.3	Attività della seconda fase	79
7.4	Attività della terza fase	81
7.5	Analisi dei costi e cronoprogramma attività	81
7.5.1	Stima dei costi PRIMA FASE.....	81
7.5.2	Stima dei costi FASE SPERIMENTALE	82
7.5.3	Stima dei costi SECONDA FASE	83
7.5.4	Stima dei costi TERZA FASE	84
7.6	Cronoprogramma delle attività di monitoraggio.....	85
8.	BIBLIOGRAFIA	88

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico affidato allo scrivente dal Servizio Idrologico Regionale – Direzione Generale delle Politiche Territoriali in data 1 febbraio 2005 con D.D. n. 8414 del 13/12/2004, avente per oggetto la redazione del “*Progetto Generale di Monitoraggio del Trasporto Solido nei corsi d’acqua della Toscana*”, nella presente Relazione Tecnica si illustrano i criteri, le metodologie e i risultati dello studio.

Gli obiettivi di riferimento del “Progetto Generale di Monitoraggio del Trasporto Solido nei corsi d’acqua della Toscana” risultano, in sintesi, i seguenti:

- A. **analisi delle attuali attività di misura, dei rilievi fluviali, e dei dati disponibili:** tale fase comprende la raccolta delle informazioni sulle attività di monitoraggio fluviale con riferimento sia all’organizzazione e gestione della rete e delle attrezzature in ambito regionale ed extra-regionale, sia alla disponibilità dei dati idrometrici, topografici e sedimentologici per i corsi d’acqua ricadenti nel territorio regionale;
- B. **strategie di monitoraggio:** tale fase comprende lo sviluppo di strategie generali di monitoraggio in relazione alle principali finalità (rischio idraulico, risorse idriche, protezione civile, pianificazione), nonché alle priorità, alle risorse, alle caratteristiche territoriali, alle attività esistenti e programmate;
- C. **definizione delle tipologie di misura:** tale fase definisce le grandezze fisiche oggetto del monitoraggio, le attrezzature di misura e le loro caratteristiche, le modalità di esercizio e/o di installazione, i criteri di integrazione con il sistema attuale di monitoraggio;
- D. **definizione degli standard qualitativi di misura:** tale fase è finalizzata all’individuazione delle metodologie idonee alla caratterizzazione delle grandezze fisiche di interesse attraverso un apposito protocollo di operazioni e attività, finalizzate all’acquisizione di dati significativi e

omogenei (es.: frequenza spazio-temporale delle misure, modalità di campionamento, archiviazione ed elaborazione dei dati);

- E. **taratura delle stazioni e restituzione del dato:** in tale fase vengono definite le procedure di taratura delle stazioni di misura (scala di deflusso liquida e solida), nonché i criteri per la validazione e restituzione dei dati rilevati.

Nell'ambito degli obiettivi sopra richiamati, il presente studio ha affrontato in particolare:

- l'individuazione delle stazioni significative in ambito regionale per la loro predisposizione e inserimento nella rete di monitoraggio (OBIETTIVO A);
- le caratteristiche fisiche, strumentali e territoriali di ciascuna stazione significativa e del tratto fluviale di afferenza (OBIETTIVO A);
- la descrizione delle caratteristiche fisiche dei bacini sottesi dalle stazioni significative, attraverso la predisposizione di carte tematiche relative al DTM, uso del suolo, geolitologia, reticolo idrografico (OBIETTIVO A);
- l'elaborazione dei dati territoriali per la realizzazione della carta dell'erosività per ciascun bacino considerato (OBIETTIVO A);
- la definizione dei rilievi integrativi necessari alla completa caratterizzazione delle stazioni significative e dei tratti fluviali di interesse (OBIETTIVO B);
- la definizione delle principali strategie di monitoraggio (OBIETTIVO B);
- lo schema del progetto di monitoraggio (OBIETTIVO B);
- le caratteristiche di funzionamento, di impiego e di installazione delle attrezzature di monitoraggio (OBIETTIVI C e D).

Per quanto attiene agli obiettivi A e B, si ritiene che quanto sviluppato nell'ambito del presente studio sia già ad un livello adeguato per avviare la fase esecutiva del progetto stesso. I dettagli circa le specifiche esigenze di

installazione di particolari attrezzature nelle sezioni di monitoraggio potranno essere definiti solo nella fase esecutiva e di concerto con il Servizio Idrografico.

Le attività connesse al raggiungimento degli obiettivi C e D vengono descritte nel presente studio ad un dettaglio sufficiente a definire le caratteristiche di funzionamento, di impiego e di installazione delle attrezzature di monitoraggio previste. Ulteriori approfondimenti e dettagli operativi saranno forniti attraverso la predisposizione di apposite *Linee Guida per il Monitoraggio del Trasporto Solido* (in corso di attuazione) e di un corso di formazione per operatori addetti al monitoraggio (in corso di realizzazione).

Per quanto riguarda l'obiettivo E, questo può solo essere raggiunto avviando quanto prima le fasi operative del progetto di monitoraggio, come descritto nella presente relazione.

Prima di illustrare in dettaglio le diverse fasi del presente lavoro, si ritiene utile fornirne una descrizione di sintesi.

* Dapprima sono state individuate, di concerto con il Committente, 25 stazioni idrometriche candidate ad essere inserite nella rete di monitoraggio delle portate liquide e solide (v. Tabella 1). Per i tratti fluviali afferenti a tali stazioni, sono stati ricercati e analizzati i dati relativi alle caratteristiche sedimentologiche, topografiche e idrauliche che risultano contenuti negli studi, lavori e progetti disponibili, come riportato nella Tabella 8 del Capitolo 3. e nell'elenco in Bibliografia.

* Sulla base di quest'analisi, sono state definite le integrazioni al quadro conoscitivo necessarie a completare per tutte le stazioni considerate i dati di base (sezioni fluviali e rilievi sedimentologici), come descritto nei paragrafi 5.2 e 5.3.

* Per ciascuna stazione è stata redatta una monografia contenente le informazioni di base (bacino idrografico e corso d'acqua di appartenenza, amministrazione provinciale e comunale di competenza), l'ubicazione (coordinate geografiche, estratto di mappa CTR 1:10.000), l'immagine fotografica e la sezione fluviale. L'insieme delle monografie per tutte le stazioni considerata è riportato nel Documento **Monografie delle Stazioni di Monitoraggio**.

* La descrizione delle caratteristiche fisiche dei bacini sottesi dalle stazioni di monitoraggio è stata condotta attraverso la predisposizione di carte tematiche relative al Digital Terrain Model, all'uso del suolo, alla geologia, al reticolo idrografico. Questi stessi dati sono stati successivamente elaborati per la costruzione di un modello di erodibilità a scala di bacino.

* Nel Documento **Dati Territoriali e Modello di Erodibilità** sono descritte nel dettaglio le caratteristiche dei dati territoriali e del modello di erodibilità sviluppato nell'ambito del presente studio. La notevole mole dei dati trattati, che coprono tutto il territorio regionale e parte del territorio ligure, non ha consentito la loro restituzione in formato cartaceo. Tutti i dati territoriali, le loro elaborazioni, e i risultati del modello di erodibilità sono disponibili su supporto informatico allegato al presente lavoro, in formato .pdf e in formato ASCII.

* A solo scopo dimostrativo, nella TAVOLA 1 sono riportati in cartaceo i dati elaborati per il bacino del Fiume Elsa.

* Le strategie di monitoraggio sono illustrate nel Capitolo 4. Esse si basano sulla esperienza in ambito scientifico e sul campo, tenendo anche conto delle importanti attività già svolte dalla Regione Toscana nel bacino del Fiume Ombrone Grossetano, In particolare, la strategia di fondo si basa sull'impiego di stazioni mobili di misura che, per la loro flessibilità di impiego, risultano ad oggi affidabili ed economiche. Peraltro, la realizzazione di stazioni fisse per il trasporto solido è oggi limitata alle attività puramente sperimentali. Le attività di misura sono svolte in corrispondenza delle attuali stazioni idrometriche, per le quali saranno elaborate, al termine delle rilevazioni, le scale di deflusso liquido e solido necessarie alla stima della portata liquida e del trasporto solido associata al livello idrometrico.

* Il progetto e le fasi operative del monitoraggio sono descritte nei Capitoli 5 e 6 con riferimento alle attrezzature di campo e di laboratorio, alle loro modalità di impiego, alle grandezze da rilevare e ai criteri di analisi dei dati. Nel Documento **Attrezzature e Strumentazione di Misura** sono riportate in dettaglio le caratteristiche tecniche della strumentazione necessaria, del personale addetto alle misurazioni, nonché una stima preliminare dei costi.

* Nel Capitolo 7 vengono definite le fasi di attuazione del progetto di monitoraggio. In particolare si individuano 3 FASI fondamentali, più una SPERIMENTALE destinata a verificare, per un ristretto numero di stazioni, l'insieme delle attività previste, la loro organizzazione, il coordinamento e lo svolgimento per una corretta pianificazione della SECONDA E TERZA FASE. La PRIMA FASE è viceversa finalizzata alle attività di integrazione del quadro conoscitivo, al reperimento della strumentazione, al reclutamento

e addestramento del personale addetto alle misure. Per ciascuna fase viene infine riportata la stima dei costi e il cronoprogramma delle attività.

I prodotti forniti nell'ambito del presente studio sono i seguenti:

- 1) *Relazione Tecnica Generale*
- 2) *Dati territoriali e modello di erodibilità – Relazione Tecnica*
- 3) *Attrezzature e strumentazione di misura – Relazione Tecnica*
- 4) *Monografie delle stazioni di monitoraggio*
- 5) *Generazione della mappa dell'erodibilità per il bacino del fiume Elsa –
Tavola*
- 6) *CD contenente i suddetti elaborati in formato pdf e i dati territoriali in
formato ASCII.*

Nei capitoli seguenti sono descritte le attività di studio sopra elencate.

2. INTRODUZIONE

Le attività di monitoraggio sui corsi d'acqua costituiscono la fonte primaria delle conoscenze che sono alla base delle strategie di difesa del territorio, di tutela delle risorse, di prevenzione del rischio, di pianificazione e gestione delle opere.

La qualità e la quantità dei dati territoriali oggi disponibili (es.: morfologia, uso del suolo, reticoli idrografici) è enormemente cresciuta rispetto ai decenni passati, viceversa i dati sui corsi d'acqua risultano ancora scarsi e frammentari, e comunque per molti aspetti non adeguati a fornire un quadro conoscitivo sufficiente alla valutazione delle principali dinamiche del corso d'acqua.

Ad esempio, le stazioni idrometriche necessitano di operazioni di taratura al fine di stimare correttamente la portata associata ad un determinato livello. Ciò è basilare per tutte le attività connesse alla valutazione del rischio idraulico, alla validazione di modelli idrologici e idraulici, alla redazione di piani di protezione civile, alla quantificazione delle risorse idriche, alla gestione delle opere.

La definizione e la progettazione di interventi sui corsi d'acqua necessitano altresì delle conoscenze sulla dinamica evolutiva dell'alveo, connessa ai fenomeni di trasporto solido e alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Gli interventi a scala di bacino (uso del suolo, versanti) influenzano l'assetto plano-altimetrico dei corsi d'acqua, alterando il regime dei deflussi liquidi e solidi e, conseguentemente, l'efficienza delle stesse opere e degli interventi di manutenzione.

Il presente studio intende appunto affrontare le diverse problematiche relative alla caratterizzazione del regime dei deflussi solidi nei corsi d'acqua. Poiché il regime dei deflussi solidi è fortemente correlato a quello dei deflussi liquidi, che a loro volta ne sono influenzati, il progetto di monitoraggio non può prescindere da questi ultimi.

I punti base per lo sviluppo del progetto di monitoraggio sono pertanto i seguenti:

- le attività di monitoraggio sono finalizzate alla caratterizzazione del regime dei deflussi liquidi e solidi in corsi d'acqua significativi della Regione Toscana; in particolare esse sono finalizzate a fornire un quadro conoscitivo di base sufficientemente rappresentativo della dinamica generale del bacino nei riguardi delle portate generate, liquide e solide;
- le attività di monitoraggio consistono in rilievi delle caratteristiche geometriche e sedimentologiche dei corsi d'acqua, e in misure delle portate liquide e solide con l'obiettivo di determinare la scala dei deflussi liquidi e la scala dei deflussi solidi per i corsi d'acqua considerati;
- le scale di deflusso liquido e solido, una volta tarate, consentiranno la stima delle portate e del trasporto solido in transito a partire dai dati idrometrici rilevabili alle stazioni del Servizio Idrografico.

Punto di partenza del progetto di monitoraggio sono pertanto le stazioni idrometriche del Servizio Idrografico Regionale, in funzione delle quali occorre:

- selezionare un primo insieme di stazioni che, per significatività di dati e rappresentatività del territorio, costituisca la rete di base sulla quale sviluppare le future attività di monitoraggio;
- permettere, ove possibile, la continuità delle serie storiche dei dati attualmente disponibili;
- garantire un'adeguata ubicazione degli strumenti fissi di misura e un loro corretto funzionamento;
- offrire un'adeguata accessibilità per le operazioni di installazione, di misura e di esercizio degli strumenti di misura.

Pertanto, una volta definite le stazioni idrometriche da inserire nella rete di monitoraggio, di seguito indicate per brevità stazioni di monitoraggio, il Progetto si articola nelle seguenti fasi:

- 1) Definizione dei rilievi topografici e sedimentologici dei tratti fluviali interessati dalle stazioni di monitoraggio;
- 2) Definizione delle caratteristiche territoriali dei bacini idrografici sottesi dalle stazioni di monitoraggio;
- 3) Individuazione della strumentazione e delle attrezzature necessarie alle operazioni di monitoraggio;
- 4) Definizione dei criteri di impiego delle attrezzature e della strumentazione;
- 5) Modalità di taratura delle stazioni di monitoraggio;
- 6) Definizione dei criteri operativi di gestione delle stazioni di monitoraggio;
- 7) Profili professionali del personale addetto alle misure.

Nello schema di FIGURA 1 sono riassunte le diverse fasi del Progetto di Monitoraggio.

Le attività del monitoraggio saranno riferite alle stazioni idrometriche del Servizio Idrografico che, come già richiamato, costituiscono il punto di partenza per il Progetto.

Di concerto con la Regione Toscana, è stato individuato un primo gruppo di stazioni idrometriche ritenute significative ai fini del monitoraggio dei deflussi liquidi e solidi e per le quali sono state valutate le possibilità e le strategie di monitoraggio descritte nella presente relazione.

L'elenco delle suddette stazioni è riportato nella TABELLA 1

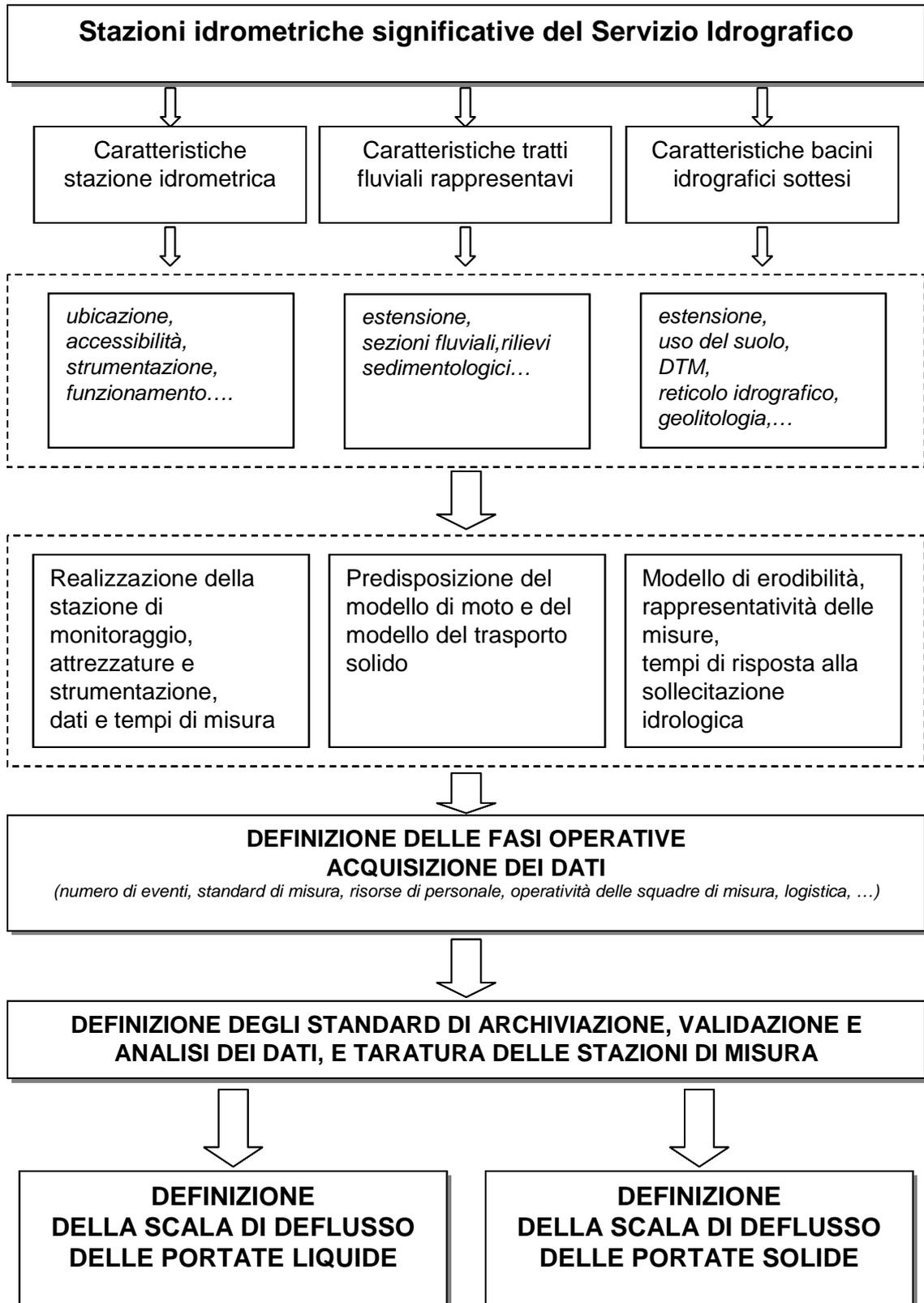


Figura 1 – Schema generale del Progetto di Monitoraggio

Tabella 1 - Elenco delle stazioni idrometriche significative ai fini del monitoraggio (Servizio Idrografico Regionale)

Id Staz	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
1	Magra	Magra	Calamazza
2	Vara	Vara	Piana Battolla
3	Magra	Magra	Torchi
4	Carrione	Carrione	Carrara
5	Frigido	Frigido	Canevara
6	Versilia	Versilia	Ponte Tavole
7	Camaione	Camaione (o Fossa dell'Abate)	Camaione
8	Serchio	Serchio	Fornoli
9	Serchio	Lima	Chifenti
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico
11	Arno	Arno	Nave di Rosano
12	Arno	Bisenzio	Poggio a Caiano
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa
14	Arno	Arno	San Giovanni alla Vena
15	Arno	Era	Belvedere
16	Arno	Arno	Leoncini
17	Fine	Fine	Ponte SS206
18	Cecina	Cecina	Ponte di Monterufoli
19	Cornia	Cornia	P.te ex SS n1
20	Bruna	Bruna	Lepri
21	Ombrone GR	Merse	Ponte a Montepescini
22	Ombrone GR	Orcia	S. Angelo Cinigiano

Id Staz	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
23	Ombrone GR	Ombrone	Ponte d'Istia
24	Albegna	Albegna	Marsiliana
25	Veza	Veza	Ruosina

3. ANALISI DELLE ATTUALI ATTIVITÀ DI MISURA, DEI RILIEVI FLUVIALI, E DEI DATI DISPONIBILI

Nel presente capitolo vengono richiamate le principali attività già effettuate in ambito regionale in relazione al monitoraggio del trasporto solido. In particolare, si elencano le misure, i dati e i rilievi disponibili che possono costituire, almeno in parte, il quadro conoscitivo necessario alla realizzazione del progetto di monitoraggio.

Vengono infine citate alcune esperienze di monitoraggio svolte in ambito extra-regionale.

Per quanto riguarda le attività di misura svolte in tempi recenti e/o attualmente in corso nella Regione Toscana, si ritiene opportuno menzionare prima di tutto il *“Progetto di monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del fiume Ombrone Grossetano”*, 2001 [1].

Tale progetto, al quale hanno partecipato come consulenti il prof. Paolo Billi e lo scrivente, costituisce uno dei primi esempi significativi, anche a scala nazionale, di attività finalizzate all’acquisizione di dati e conoscenze sui fenomeni di trasporto solido.

In particolare, il Progetto, finanziato nel 1995 dall’Ufficio del Genio Civile di Grosseto, si è concluso nel 2002 con il completamento delle seguenti attività:

- progetto di installazione di tre stazioni di misura per il monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del fiume Ombrone;
- definizione delle strumentazioni di misura e loro acquisizione;
- progetto ed esecuzione dei rilievi topografici e sedimentologici degli alvei di interesse;
- esecuzione delle misure di taratura delle stazioni di monitoraggio in occasione di eventi significativi;

- analisi di laboratorio per la caratterizzazione sedimentologica dei campioni di trasporto solido;
- elaborazione dei dati relativi al trasporto liquido e solido, e determinazione delle scale di deflusso delle portate liquide e solide nelle stazioni di monitoraggio.

Le tre stazioni di monitoraggio (Ombrone a Ponte d'Istia, Merse a Montepescini, Orcia a S. Angelo a Cinigiano), sono ubicate in corrispondenza delle stazioni del Servizio Idrografico le cui caratteristiche sono riportate nella TABELLA 2.

Tabella 2 – Caratteristiche delle stazioni idrometriche nel bacino del fiume Ombrone
Grossetano

Stazione	GB N	GB E	UTM N	UTM E	Quota [m slm]	Tipologia
Ombrone a Ponte d'Istia	4738463	1679021	4738648	679073	12.04	Asta idrometrica (rif. a idrometro)
					12.07	Asta idrometrica (viadotto)
Orcia a S. Angelo Cinigiano	4759136	1697872	4759320	697924	-	Sensore idrometrico
					98.75	Asta idrometrica
Merse a Montepescini	4774244	1689402	4774428	689454	-	Sensore idrometrico
					121.31	Asta idrometrica

Nella FIGURA 2 sono indicati le sezioni sedimentologiche nelle quali sono stati prelevati i campioni del materiale del letto e che risultano disponibili, in termini di dati originari e di elaborazione degli stessi, negli studi [1,2, 3]. Altri dati sulle caratteristiche sedimentologiche del Fiume Ombrone e di alcuni suoi affluenti sono disponibili in [4, 5, 6].

Nella TABELLA 3 sono riportati i valori dei diametri caratteristici del materiale del letto rilevato nelle suddette sezioni sedimentologiche.

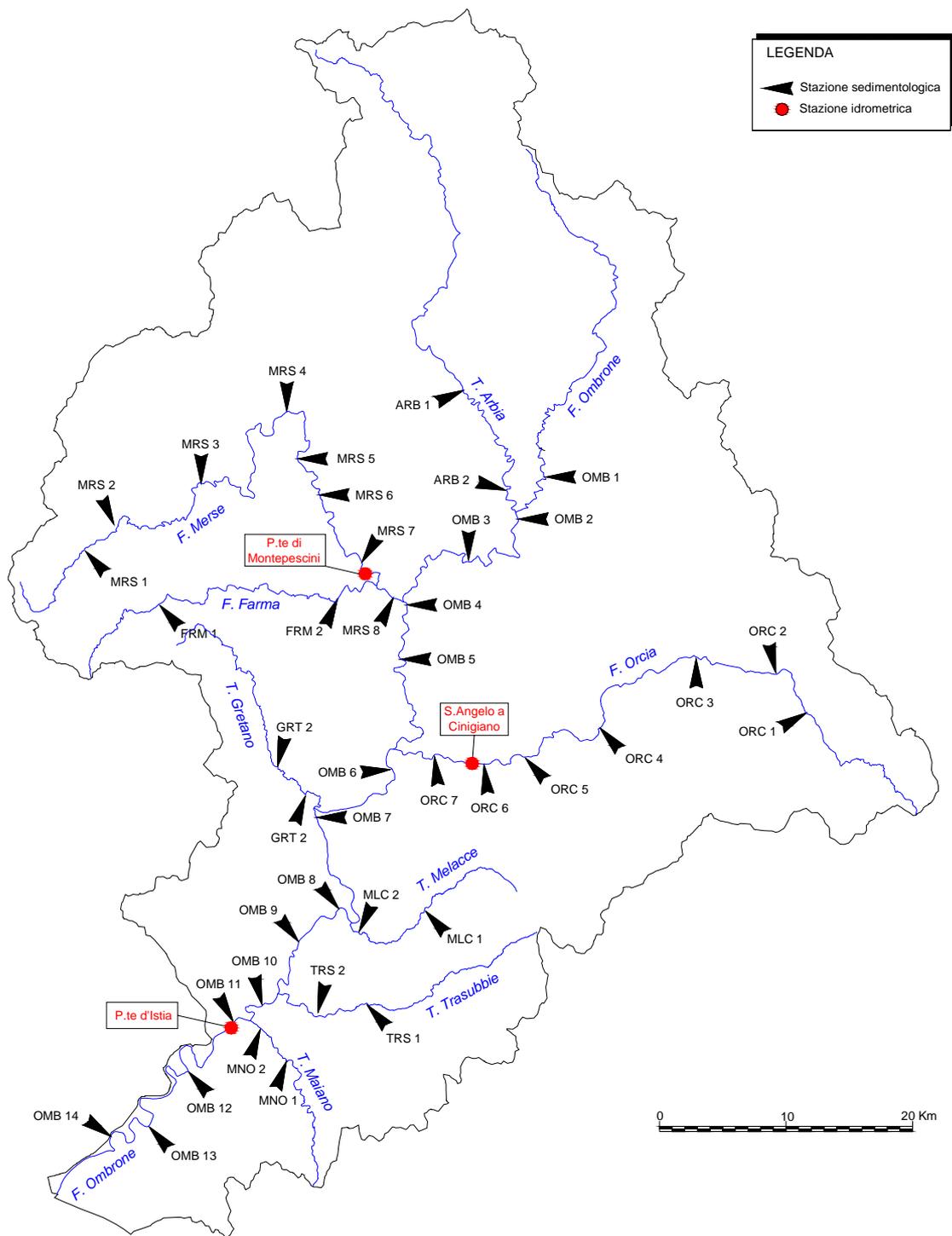


Figura 2 – Ubicazione delle stazioni sedimentologiche e idrometriche nel bacino dell'Ombrone Grossetano

Tabella 3 - Diametri caratteristici dei campioni d'alveo [1,2,3]

Codice campione	D15 [mm]	D30 [mm]	D50 [mm]	D85 [mm]	Codice campione	D15 [mm]	D30 [mm]	D50 [mm]	D85 [mm]
OMB-1	0.326	0.599	0.921	6.520	MRS-1	6.757	34.276	73.225	226.561
OMB-2	0.343	0.790	5.088	30.933	MRS-2	1.684	5.020	10.802	65.098
OMB-3	2.349	20.145	43.549	97.841	MRS-3	3.119	24.716	44.829	114.643
OMB-4	5.086	25.220	44.333	100.193	MRS-4	26.502	53.018	76.447	119.477
OMB-5	0.414	3.981	25.830	107.110	MRS-5	5.387	16.028	27.220	69.931
OMB-6	11.41	36.332	61.190	117.133	MRS-6	15.342	30.254	40.777	71.602
OMB-7	18.89	67.863	93.372	158.749	MRS-7	5.065	26.920	51.289	121.769
OMB-8	13.00	43.137	64.015	117.223	MRS-8	4.927	35.778	60.208	137.345
OMB-9	2.189	19.736	42.550	109.407	ARB-1	4.195	15.199	23.073	54.310
OMB-10	15.83	52.522	74.885	117.902	ARB-2	15.488	74.079	104.022	178.932
OMB-11	2.668	9.706	16.607	53.921	FRM-1	18.167	86.471	118.811	255.931
OMB-12	2.529	7.348	11.358	24.404	FRM-2	15.488	74.079	104.022	178.932
OMB-13	0.621	8.687	17.460	42.809	GRT-1	5.463	25.319	46.994	137.605
OMB-14	0.550	0.750	0.934	2.553	GRT-2	5.460	32.266	47.808	105.438
ORC-1	8.795	35.889	59.617	130.126	MLC-1	11.378	29.460	44.150	115.888
ORC-2	6.835	26.297	42.184	108.166	MLC-2	6.953	23.263	45.601	113.554
ORC-3	5.134	28.209	45.065	116.428	MAN-1	0.584	18.209	40.593	98.058
ORC-4	20.191	63.143	90.261	190.683	MAN-2	0.480	13.354	29.403	71.155
ORC-5	5.390	24.640	50.536	130.788	TRS-1	6.722	26.610	46.864	121.872
ORC-6	14.984	39.822	84.294	160.652	TRS-2	0.722	2.917	18.291	91.375
ORC-7	5.486	31.248	54.947	131.192					

I dati raccolti nella campagna di misure svolta in occasione dello studio citato [4], durante la quale furono effettuati 14 campionamenti dello strato superficiale

dei corpi sedimentari emergenti in condizioni di magra, comprendono: 4 campioni sul fiume Ombrone, 4 sull'Orcia, 4 sulla Merse, uno sul T. Gretano e uno sul T. Trasubbie, secondo l'ubicazione riportata nella FIGURA 2. Nella TABELLA 4 sono riportati i parametri caratteristici delle distribuzioni granulometriche relative a ciascun campionamento.

Tabella 4 - Parametri caratteristici delle distribuzioni granulometriche ottenute dai campioni di sedimenti rilevati in [4]: sb= percentuale in sabbia; d50 dimensione granulometrica di cui il 50% del materiale 'piu' fine, in millimetri e in unita' phi (phi= logaritmo in base 2 del diametro in millimetri); σ = deviazione standard; Sk=skewness; Ku = kurtosis.

sigla campione	sb %	d50 mm	d50 phi	σ phi	Sk phi	Ku phi
S1	7.6	34.9	5.12	2.46	1.37	2.28
S2	0	67.5	6.08	1.11	0.91	0.74
S3	6	30.9	4.95	1.81	1.13	0.87
S4	3.3	45.2	5.5	1.46	1.87	3.87
S5 ^(o)	100	0.6	-0.84	1.36	0	0
S6	3	38.9	5.28	2.04	0.35	-0.82
S7	0	45.2	5.53	1.21	0.76	0.34
S8	2.4	53.8	5.75	1.76	0.97	0.58
S9	5.9	101.2	6.66	2.43	0.98	0.04
S10	15.1	25.6	4.69	2.31	0.93	-0.23
S11	28.4	22.1	4.47	3.69	0.73	-1.2
S12	13.6	99.1	6.63	3.5	1.38	0.68
S13	15.3	32	5	2.59	1.08	0.12
S14	2.9	47.4	5.57	1.79	0.92	-0.09
S15	29.9	13.2	3.72	2.35	0.16	-1.46

^(o)Nota: il campionamento S5 e' stato svolto durante la campagna di misure del CNR citata in [6].

Nella campagna di misure svolta dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze nel 1991 sul F.Orcia, sono stati effettuati 13 campionamenti volti a caratterizzare le varie forme sedimentarie presenti (barre,

riffle e pool). Nella TABELLA 5 sono riportati i diametri caratteristici rilevati in ciascuna stazione di campionamento [5].

Tabella 5 - Diametri caratteristici (in millimetri) dei campionamenti effettuati in [5].

sigla	superficie barra			sottostrato barra			riffle			pool		
camp	d84	d50	d16	d84	d50	d16	d84	d50	d16	d84	d50	d16
1	108	37	6.3	152	20.2	1.7	152	97.7	54	16	4.6	0.8
2	97	40	0.9	158	81	8.1	111	69.5	25	42.2	19.3	2.8
3	81.6	18.1	0.6	201	86.8	18	111	91.8	60	152	106	54
6	81.6	27.5	6.5	163	97.7	14	115	88.6	42	100	68.1	29
7	90.5	22.4	0.2	84.4	37.8	1.3	73.5	29.9	18	59.7	35	17
9	53.8	13.7	0.1	163	122	6.3	115	83.9	38	108	65.3	28
10	61.8	10.7	0.6	163	136	9.8	84.4	48.5	19	53.8	31.3	16
17	215	89.4	11.3	104	45.9	1.2	119	92.4	64	152	88	27
18	137	47	10.9	169	103	3.1	119	92.4	54	147	85	40
19	142	30.4	1.3	81.6	37.3	1.3	53.8	24.6	7.2	152	83.3	38
21	175	71.7	16	108	36	4.8	147	102	69	142	98.4	39
23	87.4	29	3.5	90.5	40.2	14	152	112	91	108	75.1	37
24	111	29.5	2	158	89.3	39	152	103	54	128	24	37

Piuttosto scarse sono le informazioni sul trasporto solido dell'Ombrone. Dati sul materiale trasportato in sospensione sono stati rilevati dal Servizio Idrografico e risultano disponibili dal 1953 fino al 1990 per la stazione di Monte Amiata sull'Orcia e di Sasso d'Ombrone sull'Ombrone. Le misure consistono nel rilievo del carico solido in sospensione medio giornaliero, ma non risultano dati sulle granulometrie del materiale trasportato. A tale proposito un'analisi delle caratteristiche granulometriche basata su alcuni campioni prelevati dal Servizio Idrografico presso la stazione di Sasso d'Ombrone e' stata svolta da Milano [7].

Altri dati sul trasporto in sospensione sono stati raccolti dal Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze per conto dell'Ente Toscano di Sviluppo Agricolo e Forestale, allo scopo di verificare l'impatto ambientale conseguente alla realizzazione dell'invaso sul Fiume Merse. I risultati ottenuti dalla campagna di

misure svolta negli anni 1982-85 sui corsi d'acqua Merse, Farma, Feccia, Saio, Gonna, Gretano sono riportati in [8].

Per quanto riguarda i rilievi topografici nel bacino del Fiume Ombrone Grossetano, nella FIGURA 3 sono indicati i tratti fluviali e le ubicazioni delle sezioni topografiche disponibili [9].

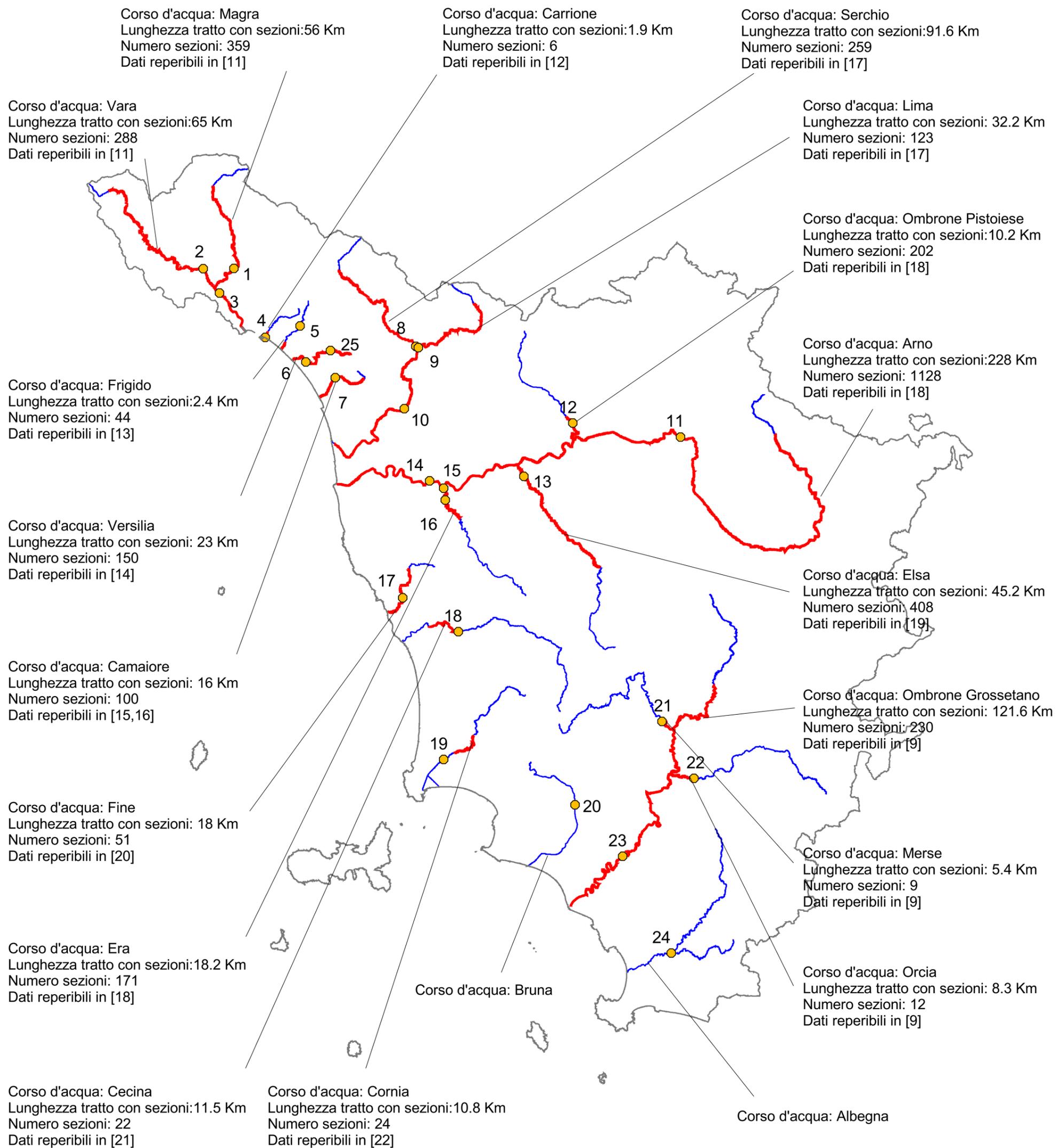
Il numero delle sezioni fluviali rilevate per ciascun corso d'acqua e nelle diverse campagne di rilievo è riportato in TABELLA 6.

Tabella 6 - Sezioni fluviali rilevate nel bacino del f. Ombrone Grossetano

Corso d'acqua	n. sezioni rilevate da IRTEF [9]	Rilievi precedenti
Ombrone	160	Servizio Idrografico 1971-73
Merse	9	assenti
Arbia	19	assenti
Farma	10	assenti
Maiano	5	assenti
Melacce	8	assenti
Orcia	12	assenti

Per quanto riguarda le scale di deflusso delle portate, queste sono state ricavate e calibrate in funzione dei dati misurati delle portate liquide e dei livelli in occasione degli eventi di piena rilevati durante il periodo di svolgimento dello studio (1995-2000).

A titolo esemplificativo, nella FIGURA 4 è riportata la curva di deflusso per il Fiume Ombrone a Ponte d'Istia con l'indicazione dei punti misurati e il tratto di estrapolazione.

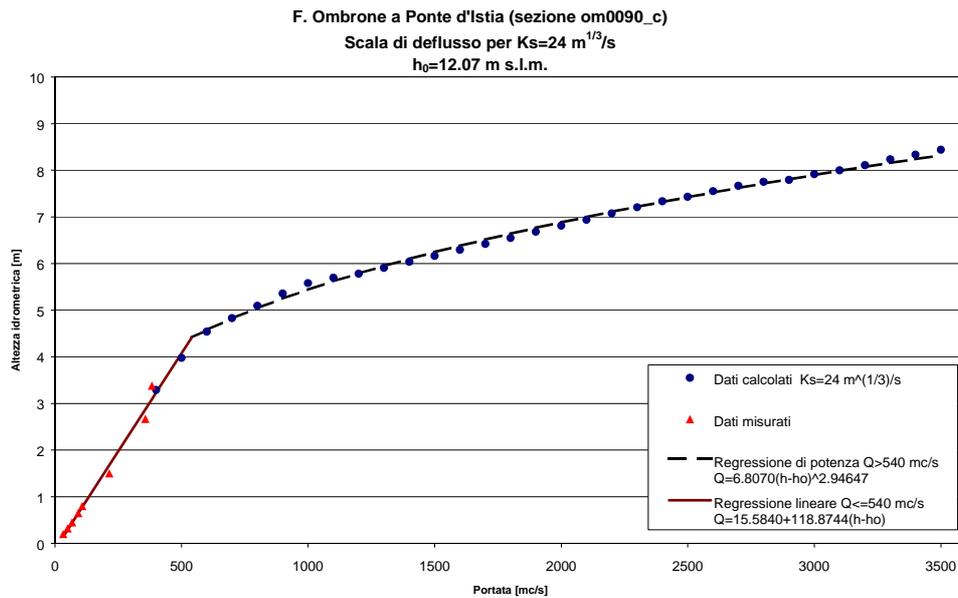


LEGENDA

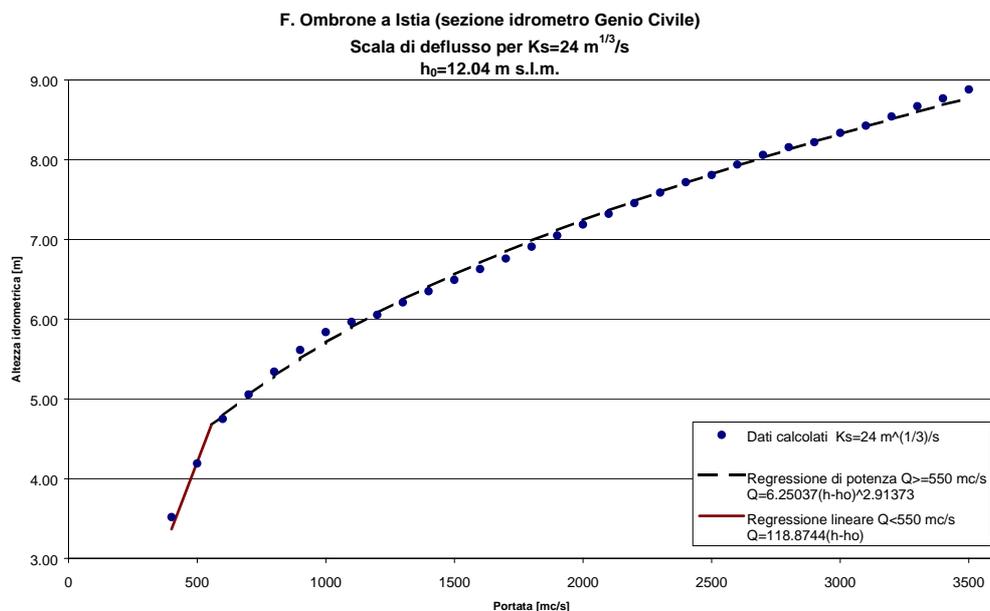
- Stazione idrometrica
- Tratto per il quale non si dispone di sezioni
- Tratto per il quale si dispone di sezioni



Figura 3 - Ubicazione delle stazioni idrometriche e tratti fluviali per i quali si dispone delle sezioni



Nella FIGURA 5 è riportata la scala di deflusso del Fiume Ombrone nella sezione ove è ubicato l'idrometro, circa 500 metri a monte del Ponte d'Istia. Per tale sezione, viceversa, non risultano disponibili punti di misura. La scala di deflusso è ottenuta simulando il tratto in moto permanente, calibrando i parametri del modello con i dati misurati a Ponte d'Istia.



La scala di deflusso delle portate solide (relativa al materiale costituente il letto) è stata ricavata per il fiume Ombrone a Ponte d'Istia, in quanto solo per questa sezione sono risultati significativi gli eventi monitorati nel periodo 1998-2000. Il confronto tra dati misurati e dati calcolati con la formula di Ackers - White è riportato nella FIGURA 6 .

Si può notare una certa discrepanza tra la formula teorica e i dati misurati, discrepanza che tuttavia è possibile ridurre approfondendo l'analisi dei dati e le modalità di impiego della formula stessa.

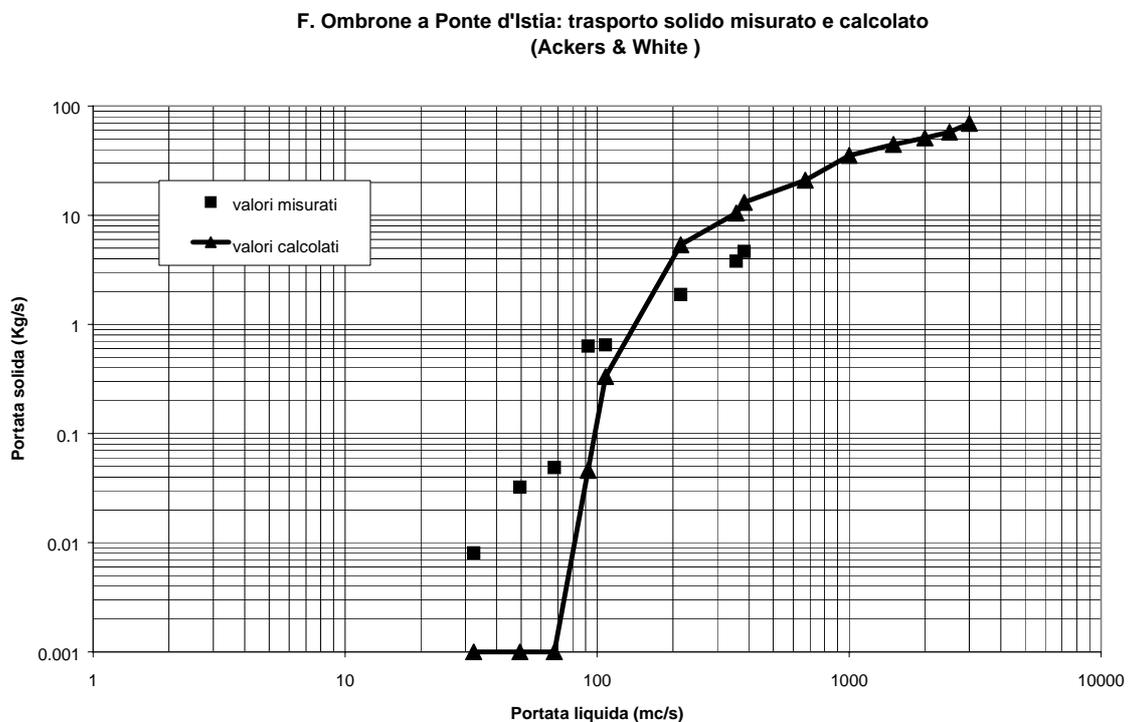


Figura 6 - Scala di deflusso delle portate solide del Fiume Ombrone a Ponte d'Istia

Per quanto riguarda il trasporto in sospensione, le analisi granulometriche dei campioni di materiale prelevato in sospensione durante gli eventi di piena hanno mostrato che, anche per l'evento più intenso registrato, con portata di circa 400 mc/s, non si è manifestato il fenomeno della sospensione per nessuna componente granulometrica caratterizzante l'alveo. Le misure di

concentrazione solida effettuate sono pertanto da attribuirsi alla componente di wash-load, costituita da materiale molto fine non presente in alveo e proveniente dal dilavamento dei versanti. I valori misurati di wash-load in termini di portata solida sono riportati nella FIGURA 7.

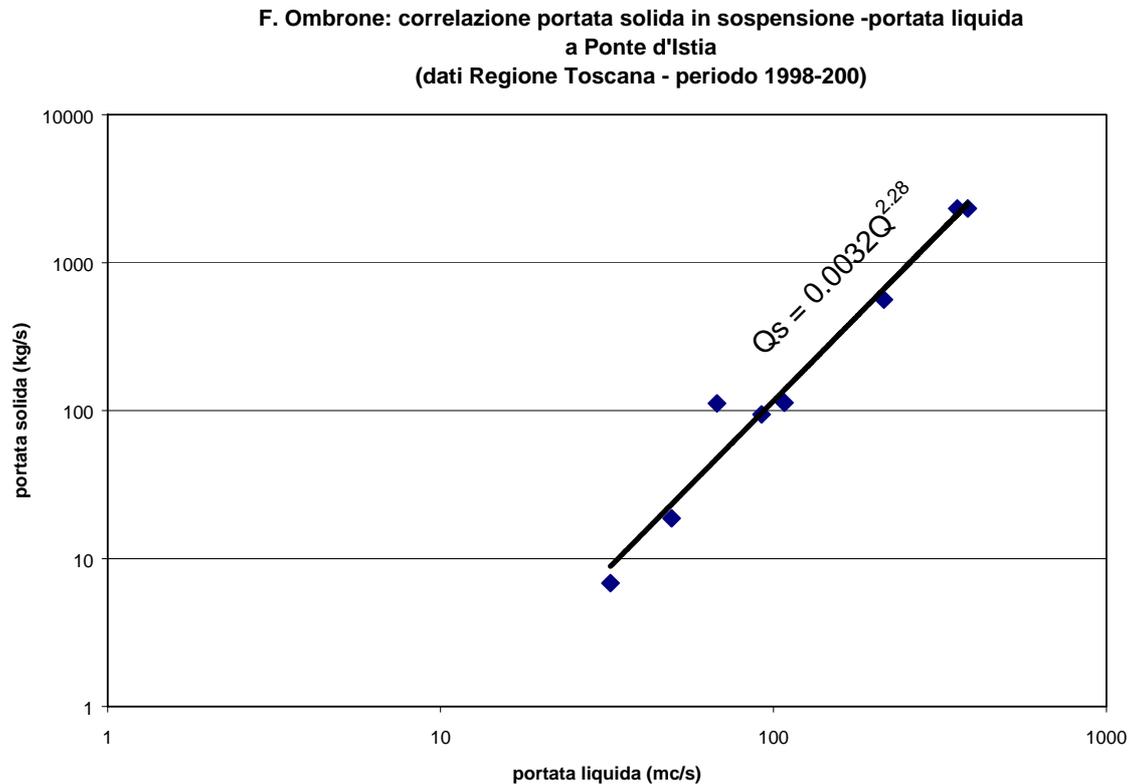


Figura 7 - Portata solida in sospensione (wash-load) a Ponte d'Istia

Nella FIGURA 8 è riportato il confronto tra le misure torbidometriche effettuate dal Servizio Idrografico e le misure di concentrazione effettuate nell'ambito dello studio [1].

Si può notare una certa discrepanza riconducibile a cause diverse, di non immediata identificazione (differenze nella strumentazione e nella metodologia di misura, differenze nella dinamica locale del trasporto solido..).

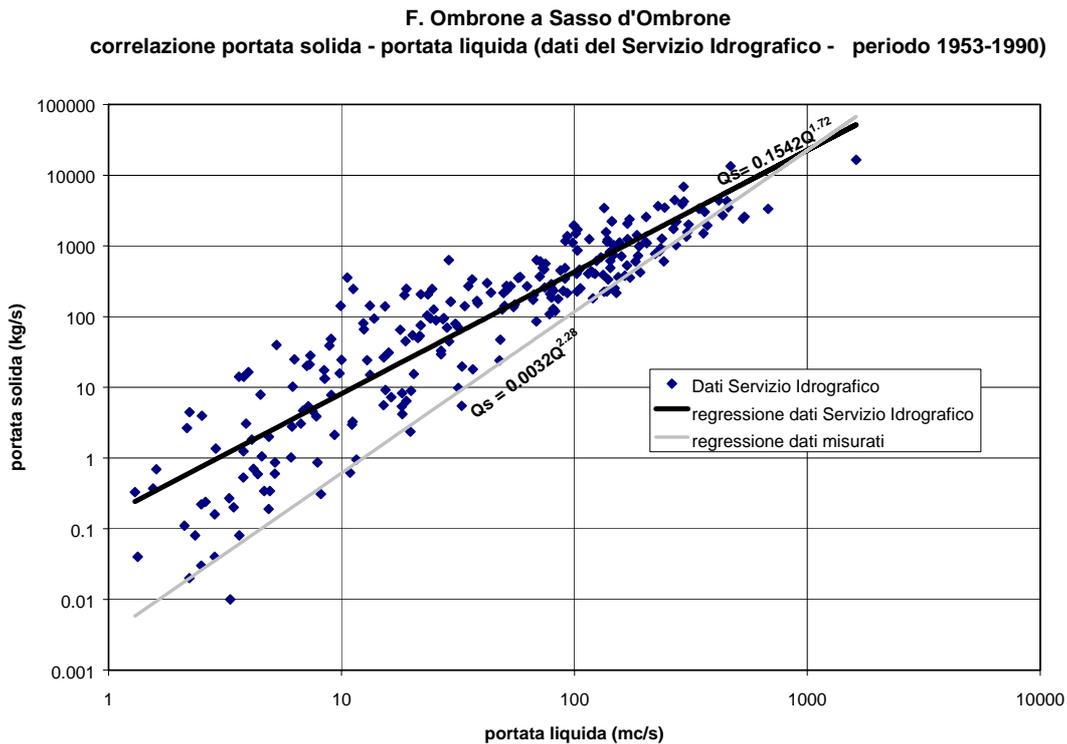


Figura 8 - Confronto tra misure del Servizio Idrografico e misure effettuate in [1]

Le attività condotte nello studio [1], oltre a fornire nuove e importanti informazioni sulla dinamica fluviale e sul regime del trasporto solido del Fiume Ombrone, hanno consentito una preziosa attività di sperimentazione, in relazione sia alle attrezzature impiegate (modalità di utilizzo, livello di adeguatezza, efficienza), sia al personale disponibile (addestramento, coordinamento, reperibilità) e, infine, alle problematiche organizzative di intervento in occasione degli eventi di piena (sistema di preannuncio, gestione della stazione mobile, tempestività delle misure).

Uno studio più generale sulle scale di deflusso liquido è stato condotto per conto della Regione Toscana - Servizio Idrografico Regionale [10], nel quale le stesse scale sono state ricavate per tutte le stazioni afferenti a tratti fluviali caratterizzati da sezioni topografiche, il cui elenco è riportato in TABELLA 7

(risultano evidenziate le stazioni idrometriche che sono comprese nel presente studio).

Le scale di deflusso sono state ricavate adottando un modello di moto permanente a fondo fisso per il tratto fluviale interessato dalla stazione idrometrica, tarato sulle misure di portata e di livello disponibili.

Occorre osservare a tale proposito che, data la scarsità dei dati sperimentali, molte scale di deflusso necessitano ancora di taratura e verifica.

Nello stesso studio [10] sono state redatte, tra l'altro, le monografie delle singole stazioni idrometriche considerate, evidenziandone la tipologia di strumentazione, le caratteristiche geografiche, la fonte dei dati utilizzati.

Tabella 7 – Elenco delle stazioni idrometriche ricadenti nel territorio regionale toscano

Codice	Nome	Descrizione	Bacino	Corso acqua	Zero idrom. m slm
4028	Seravezza monte	Seravezza_1_auto	Versilia	Versilia	45.59
4115	Camporgiano	Camporgiano_auto	Serchio	Serchio	378.89
4195	Calavorno	Calavorno_auto	Serchio	Serchio	105.96
4203	Fornoli	Fornoli_auto	Serchio	Serchio	93.53
4215	Casotti Cutigliano	Casotti_Cutigliano_auto	Serchio	Lima	571.61
4255	Chifenti	Chifenti_auto	Serchio	Lima	97.18
4286	Mutigliano	Mutigliano_auto	Serchio	Freddana	33.44
4311	Ripafratta	Ripafratta_auto	Serchio	Serchio	6.84
4365	Vecchiano	Vecchiano_auto	Serchio	Serchio	-1.08
4411	Subbiano	Subbiano_automatica	Arno	Arno	249.95
4571	Montevarchi	Montevarchi_automatica	Arno	Arno	132.51

Codice	Nome	Descrizione	Bacino	Corso acqua	Zero idrom. m slm
4659	Nave di Rosano	Nave_di_Rosano_automatic	Arno	Arno	72.33
4661	Nave di Rosano valle	Nave_Rosano_valle_autom a	Arno	Arno	69.49
4705	Greve	Greve_auto	Arno	Greve	227.30
4723	Tavarnuzze	Tavarnuzze_auto	Arno	Greve	66.42
4731	Scandicci	P-te_di_Scandicci_auto	Arno	Greve	42.31
4779	Gamberame	Gamberame_automatica	Arno	Bisenzio	93.73
4782	Prato	Prato_auto	Arno	Bisenzio	54.00
4791	S.Piero a Ponti	S_Piero_a_Ponti_auto	Arno	Bisenzio	32.46
4811	Ponte a Signa	Ponte_a_Signa_auto	Arno	Arno	28.06
4837	Pontelungo	Pontelungo_automatica	Arno	Ombrone	64.91
4901	Brucianesi	Brucianesi_automatica	Arno	Arno	25.49
4965	Poggibonsi	Poggibonsi_automatica	Arno	Elsa	83.22
4981	Ponte a Elsa	Ponte_a_Elsa_auto	Arno	Elsa	26.02
4999	Fucecchio monte	Ponte_di_Fucecchio_monte	Arno	Arno	9.92
5161	Belvedere	Belvedere_auto	Arno	Era	7.69
5181	Leoncini	Leoncini_automatica	Arno	Arno	9.13
5231	Pisa Sostegno	Pisa_a_Sostegno_auto	Arno	Arno	-0.10
5471	Ponte per Montioni	P-te_per_Montioni_auto	Cornia	Cornia	40.26
5655	Podere Nuovo	Podere_Nuovo_auto	Ombrone GR	Arbia	144.42
5671	Buonconvento	Buonconvento_auto	Ombrone GR	Ombrone GR	131.05
5711	Ponte a Montepescini	P-te_Montepescini	Ombrone GR	Merse	121.31
5725	Petriolo	Petriolo_auto	Ombrone GR	Farma	148.5

Codice	Nome	Descrizione	Bacino	Corso acqua	Zero idrom. m slm
5781	S. Angelo Cinigiano	S-Angelo_Cinigiano_auto	Ombrone GR	Orcia	98.75
5792	Sasso d'Ombrone	Sasso_d- Ombrone_GR_auto	Ombrone GR	Ombrone GR	54.68
5821	Ponte d'Istia	Ponte_d-Istia_auto	Ombrone GR	Ombrone GR	12.07
5841	Berretino	Berrettino_auto	Ombrone GR	Ombrone GR	1.98

Per quanto riguarda i dati topografici relativi alle sezioni fluviali dei tratti interessati da tutte le stazioni idrometriche considerate nel presente studio, si veda la TABELLA 8 che riporta, tra l'altro, i richiami bibliografici della documentazione disponibile contenente i dati sulle sezioni fluviali.

Tabella 8 - Sezioni fluviali disponibili per le stazioni idrometriche considerate

Id Stazione	Stazione	Corso d'acqua	Lunghezza tratto [Km]	Numero sezioni	Rif Bib
1	Calamazza	Magra	56	359	[11]
3	Torchi	Magra			
2	Piana Battolla	Vara	65	288	[11]
4	Carrara	Carrione	1.9	6	[12]
5	Canevara	Frigido	2.4	44	[13]
6	Ponte Tavole	Versilia	23	150	[14]
7	Camaiore	Camaiore (o Fossa dell'Abate)	16	100	[15, 16]
8	Fornoli	Serchio	92	259	[17]
10	Monte S. Quirico	Serchio			
9	Chifenti	Lima	32	123	[17]

Id Stazione	Stazione	Corso d'acqua	Lunghezza tratto [Km]	Numero sezioni	Rif Bib
12	Poggio a Caiano	Ombrone Pistoiese	10.2	202	[18]
13	Ponte a Elsa	Elsa	45	408	[19]
11	Nave di Rosano	Arno	228	1128	[18]
14	San Giovanni alla Vena	Arno			
16	Leoncini	Arno			
15	Belvedere	Era	18	171	[18]
17	Ponte SS206	Fine	18	51	[20]
18	Ponte di Monterufoli	Cecina	11.5	22	[21]
19	P.te ex SS n1	Cornia	10.8	24	[22]
20	Lepri	Bruna	-	-	-
21	Ponte a Montepescini	Merse	5.4	9	[9]
22	S. Angelo Cinigiano	Orcia	8.3	12	[9]
23	Ponte d'Istia	Ombrone	121.6	230	[9]
24	Marsiliana	Albegna	-	-	-
25	Ruosina	Veza	2.9	35	[23]

Nella planimetria della FIGURA 3 sono riportati i tratti fluviali interessati da tutte le stazioni idrometriche considerate, insieme alla rappresentazione grafica dei tratti provvisti di sezioni fluviali, secondo quanto riportato nella TABELLA 8.

Al fine di richiamare altre iniziative che, in analogia al presente Progetto di Monitoraggio, sono state avviate o sono in programma di attuazione in ambito extra-regionale, si citano le seguenti:

L'Autorità di Bacino del Fiume Reno ha avviato, in collaborazione con l'Università di Bologna, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, e con

l'Università di Ferrara, Dipartimento di Scienza della Terra, un'attività di monitoraggio su tre stazioni sperimentali ubicate in corsi d'acqua appenninici e una sul tratto terminale del fiume Reno. Obiettivi del monitoraggio sono la misura del trasporto solido al fine di quantificare i fenomeni erosivi dei corsi d'acqua e gli apporti di materiale alla costa.

L'Amministrazione Federale Svizzera, tramite l' Ufficio Federale delle Acque e della Geologia (UFAEG) ha avviato il monitoraggio di alcuni torrenti alpini per la valutazione del trasporto solido.

L'Autorità di Bacino del Fiume Po, nell'ambito degli obiettivi previsti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, ha individuato, negli Studi di Fattibilità, le linee prioritarie per l'analisi degli interventi di sistemazione idraulica. Tali studi devono definire, tra l'altro, le caratteristiche e avviare l'impianto dei sistemi di monitoraggio sulle diverse componenti (idrologica, morfologica, trasporto solido, stato delle opere, fascia ripariale) che sono previsti dal PAI e che sono indispensabili all'aggiornamento della conoscenza e alla valutazione dell'efficacia degli interventi progressivamente realizzati.

La Regione Emilia-Romagna, nel progetto "*Gestione Integrata delle zone costiere*" viene previsto il Monitoraggio morfologico e del trasporto solido degli alvei da attuarsi secondo le seguenti attività:

- monitoraggio delle sezioni trasversali d'alveo e rilievi planimetrici d'alveo;
- monitoraggio delle caratteristiche granulometriche dei depositi di fondo alveo;
- monitoraggio delle caratteristiche del trasporto solido in sospensione e di fondo.

Le esigenze di monitoraggio definite nel progetto costituiscono gli elementi di base per il controllo della dinamica fluviale del reticolo idrografico principale del bacino; esse possono essere integrate con ulteriori misure che risultino necessarie in relazione a specifiche esigenze connesse alla difesa dai fenomeni di piena e di dissesto morfologico individuati nello sviluppo della sperimentazione.

L’Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Veneto ha in funzione una rete di monitoraggio nella parte alta del bacino del Rio Cordon, situato nell’Agordino in provincia di Belluno ove, dal 1985 è soggetta ad indagini territoriali e ad un monitoraggio permanente attraverso un dispositivo per la misura integrale dei deflussi liquidi e solidi.

4. STRATEGIE DI MONITORAGGIO

4.1 Generalità

Le strategie di monitoraggio devono essere definite in funzione degli obiettivi prefissati che, a loro volta, scaturiscono dalle funzioni che il servizio di monitoraggio è chiamato a svolgere nell'ambito delle attività del Servizio Idrografico.

In generale, il monitoraggio dei corsi d'acqua ricopre un ruolo fondamentale e trasversale nelle molteplici attività connesse al governo del territorio e alla tutela dell'ambiente, come ad esempio: la pianificazione e la programmazione di interventi per la difesa dal rischio idraulico, la progettazione e manutenzione delle opere e dei corsi d'acqua, la tutela dall'inquinamento, la valutazione della dinamica fluviale e costiera, l'utilizzo e la gestione delle risorse idriche, la predisposizione di piani di allertamento ai fini della protezione civile.

Premesso che nell'ambito del presente studio non saranno considerate le attività di monitoraggio connesse alla caratterizzazione delle condizioni meteorologiche e pluviometriche, alla qualità dei corpi idrici, allo stato delle opere e dei manufatti, in via generale si ritiene necessario che il monitoraggio dei corsi d'acqua sia in via prioritaria finalizzato al rilievo e controllo delle:

- **caratteristiche morfologiche** dell'alveo (sezione trasversale, configurazione plano-altimetrica);
- **caratteristiche sedimentologiche** (materiale del letto e dei corpi sedimentari);
- **caratteristiche del trasporto solido** (portate solide al fondo e in sospensione, granulometria del materiale trasportato);
- **caratteristiche idrauliche** (livelli idrici, portate liquide, coefficienti di scabrezza).

Prima di illustrare le varie fasi della strategia di monitoraggio, di seguito si descrivono sinteticamente le caratteristiche fluviali sopra richiamate, rimandando al documento “*Linee Guida per il Monitoraggio Fluviale*”, in corso di predisposizione, per tutti gli eventuali approfondimenti.

4.1.1 Il monitoraggio delle caratteristiche morfologiche

L’attività di monitoraggio delle caratteristiche morfologiche riveste particolare importanza nella valutazione dei fenomeni di dinamica fluviale che, attraverso i meccanismi di erosione e deposito tendono a modificare nel tempo l’assetto plano-altimetrico del corso d’acqua, influenzando così le altre caratteristiche fluviali (sedimentologia, trasporto solido, trasporto liquido).

Le attività di monitoraggio qui previste sono limitate al rilievo delle sezioni fluviali e al controllo della loro evoluzione attraverso la ripetizione nel tempo e nello spazio dei rilievi topografici. Può essere successivamente valutata l’opportunità di integrare eventualmente i rilievi topografici con rilievi aerofotogrammetrici e/o con tecniche di laser-scanning.

4.1.2 Il monitoraggio delle caratteristiche sedimentologiche

Tale attività è finalizzata alla caratterizzazione del materiale costituente l’alveo. I fenomeni del trasporto solido sono infatti connessi sia alle condizioni di alimentazione imposte dal bacino a monte del tratto di interesse, sia alle caratteristiche del tratto stesso che ne determinano, insieme alle condizioni idrauliche, la capacità di trasporto potenziale e le tendenze evolutive plano-altimetriche.

Tale attività si concretizza attraverso l'individuazione di idonei siti di campionamento in alveo, il prelievo di quantità significative del materiale del letto e l'analisi delle sue componenti granulometriche. Come per le caratteristiche morfologiche, anche quelle sedimentologiche possono manifestare tendenze evolutive nel tempo e nello spazio e, pertanto, è necessario provvedere ad una sistematica pianificazione dei rilievi nel tempo in relazione alle caratteristiche di ciascun corso d'acqua.

4.1.3 Il monitoraggio del trasporto solido

Il corso d'acqua convoglia, oltre alle portate liquide, le portate di materiale solido proveniente dal bacino di appartenenza e, eventualmente, dall'erosione dell'alveo e delle sponde.

Il fenomeno del trasporto solido è alquanto complesso e scaturisce dalla continua interazione tra le caratteristiche del materiale d'alveo e le caratteristiche della corrente liquida, a loro volta influenzate dalla dinamica del trasporto solido.

Le attuali conoscenze non consentono, in generale, un inquadramento teorico sufficientemente affidabile del fenomeno del trasporto solido.

Pertanto, la sua valutazione è tanto più realistica quanto maggiore è la conoscenza sperimentale del corso d'acqua specifico, acquisita attraverso misure e rilievi delle grandezze fisiche di interesse.

Oltre alle caratteristiche morfologiche e idrauliche, le caratteristiche sedimentologiche in precedenza descritte costituiscono il primo riferimento per la stima del trasporto solido, sia essa effettuata attraverso l'impiego di formule teoriche, sia derivata da misure dirette. Nel primo caso, la stima è comunque affetta da incertezza praticamente non quantificabile.

Le misure del trasporto solido rappresentano pertanto la conoscenza basilare per consentire l'adozione e la taratura di un modello (formula) del trasporto solido per quel corso d'acqua che potrà poi essere utilizzato come modello predittivo, una volta definita la sua affidabilità.

Poiché il presente studio è specificatamente rivolto all'attività di monitoraggio del trasporto solido, le attrezzature e le metodologie di misura vengono più in dettaglio illustrate nel Capitolo 6.

4.1.4 Il monitoraggio del portate liquide

Le portate liquide sono di norma valutate a partire dalla scala di deflusso, che stabilisce il legame tra queste e le altezze d'acqua. Pertanto, il monitoraggio delle portate liquide deve intendersi più precisamente come monitoraggio dei livelli idrici. Tale attività costituisce indubbiamente quella più diffusa e per certi aspetti più consolidata nell'ambito del monitoraggio fluviale. Infatti, le misure dei livelli idrici nei corsi d'acqua sono state avviate in modo sistematico già a partire dalla fine del diciannovesimo secolo, grazie alla relativa semplicità della misura stessa.

A questa si aggiunge la maggiore conoscenza teorica e sperimentale sul moto dell'acqua che, rispetto ai fenomeni del trasporto solido, consente l'utilizzo di schemi interpretativi sicuramente molto più affidabili.

Ciò tuttavia non deve far ritenere che il solo monitoraggio dei livelli idrici, insieme alle equazioni del moto, siano sufficienti a caratterizzare completamente la corrente liquida in termini di velocità, portata, cadente piezometrica.

Infatti, anche i modelli di moto della corrente liquida richiedono almeno un parametro di taratura che è costituito dal coefficiente di scabrezza dell'alveo che, negli alvei naturali, non è costante nel tempo e nello spazio.

Occorre inoltre considerare che la stima delle portate attraverso la scala di deflusso può essere influenzata più o meno significativamente dai fenomeni di moto vario e dalla mobilità dell'alveo conseguente al trasporto solido.

A titolo esemplificativo degli effetti indotti sulla scala di deflusso dalla non stazionarietà del moto, nella FIGURA 9 è riportato il confronto tra la scala di deflusso stimata in moto permanente con quella ricavata dal modello di moto vario, a fondo fisso, per il fiume Arno a Fucecchio.

Conviene inoltre osservare che l'affidabilità degli schemi di moto della corrente liquida basati sull'ipotesi del "fondo fisso" decade rapidamente quando l'alveo manifesta una dinamica più o meno pronunciata in relazione ai fenomeni del trasporto solido (erosione, deposito) e quindi risulta soggetto nel tempo e nello spazio alle evoluzioni plano-altimetriche.

A titolo esemplificativo, si riporta nella FIGURA 10, tratta dal citato studio [1], la dinamica rilevata per il profilo altimetrico della sezione del Fiume Ombrone a Ponte d'Istia durante la campagna di misura nel periodo 1998-2000. Nonostante l'assenza di eventi di piena particolarmente intensi, il profilo del fondo rilevato in ciascuno degli 8 eventi monitorati, ha mostrato variazioni altimetriche significative rispetto alla sezione topografica rilevata (rilievo 31/08/99) fino a valori di oltre 2 metri. Ciò ovviamente si ripercuote sull'andamento della scala di deflusso e sulla stima delle portate liquide da quella derivata.

Di qui la necessità di considerare inscindibili le attività di monitoraggio della fase solida e della fase liquida, come di seguito descritto.

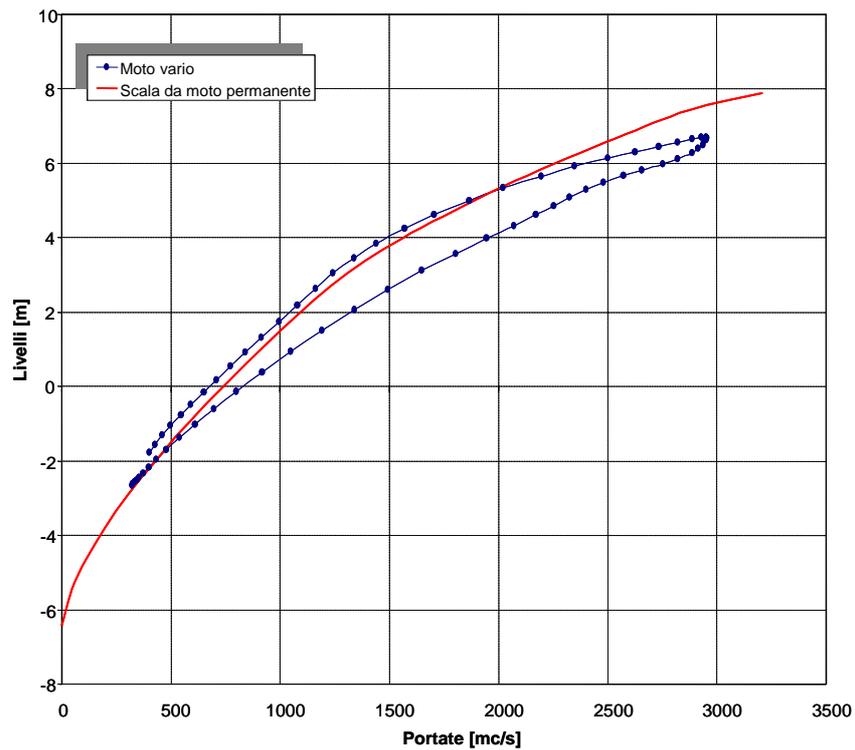


FIGURA 9 – Scala di deflusso per l'Arno a Fucecchio (valle)

F. Ombrone a Ponte d'Istia: profilo del fondo rilevato con rilievo topografico a confronto con i profili rilevati durante gli eventi nel periodo 1998-2000 (solo sezione alveo inciso)

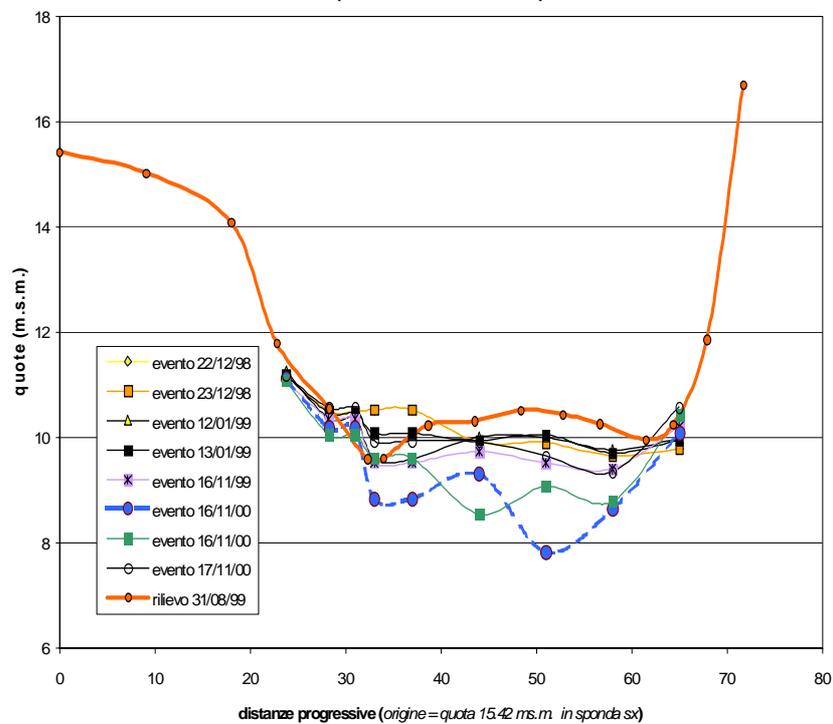


FIGURA 10 - Evoluzione del fondo per il Fiume Ombrone Grossetano a Ponte d'Istia

4.2 Criteri utilizzati per il progetto di monitoraggio

L'analisi delle caratteristiche generali dei bacini potenzialmente interessati al monitoraggio delle portate liquide e solide, nonché delle esigenze prioritarie illustrate in precedenza, porta alla assunzione dei seguenti criteri per la predisposizione del progetto di monitoraggio:

- le attività di monitoraggio sono finalizzate alla caratterizzazione del regime dei deflussi liquidi e solidi in corsi d'acqua significativi della Regione Toscana; in particolare esse sono dirette a fornire un quadro conoscitivo di base sufficientemente rappresentativo della dinamica generale del bacino nei riguardi delle portate generate, liquide e solide;
- le attività di monitoraggio consistono in rilievi delle caratteristiche geometriche e sedimentologiche dei corsi d'acqua e in misure delle portate liquide e solide con l'obiettivo di determinare la scala dei deflussi liquidi e la scala dei deflussi solidi per i corsi d'acqua considerati;
- le scale di deflusso liquido e solido, una volta tarate, permetteranno la stima delle portate e del trasporto solido in transito a partire dai dati idrometrici rilevabili alle stazioni del Servizio Idrografico.

Punto di partenza del progetto di monitoraggio sono pertanto le stazioni idrometriche del Servizio Idrografico Regionale, in funzione delle quali occorre:

- selezionare un primo insieme di stazioni che per significatività di dati e rappresentatività del territorio, costituisca la rete di base sulla quale sviluppare le future attività di monitoraggio;
- permettere, ove possibile, la continuità delle serie storiche dei dati attualmente disponibili;
- garantire un'appropriata ubicazione degli strumenti fissi di misura e un loro corretto funzionamento;

- offrire un'adeguata accessibilità per le operazioni di installazione, di misura e di esercizio degli strumenti di misura.

Una volta definite le stazioni idrometriche della rete di monitoraggio, di seguito indicate per brevità stazioni di monitoraggio, il Progetto si articola nelle seguenti fasi:

- Definizione dei rilievi topografici e sedimentologici dei tratti fluviali interessati dalle stazioni di monitoraggio;
- Definizione delle caratteristiche territoriali dei bacini idrografici sottesi dalle stazioni di monitoraggio;
- Individuazione della strumentazione e delle attrezzature necessarie alle operazioni di monitoraggio;
- Definizione dei criteri di impiego delle attrezzature e della strumentazione;
- Definizione dei criteri operativi di gestione delle stazioni di monitoraggio.

Nello schema di FIGURA 11 sono riassunte le diverse fasi del Progetto di Monitoraggio, mentre nei capitoli successive ne viene fornita la descrizione.

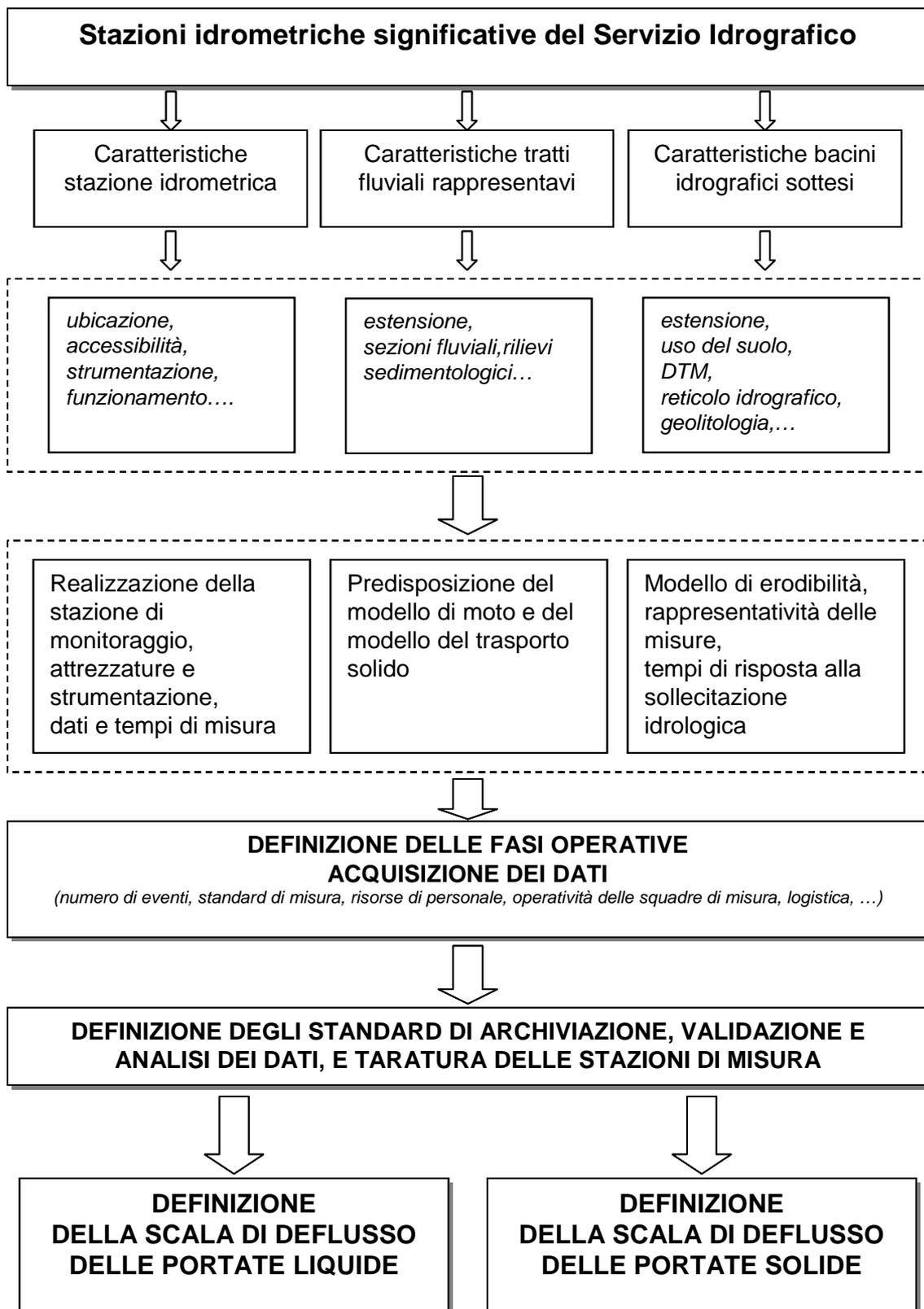


Figura 11 – Schema generale del Progetto di Monitoraggio

5. IL PROGETTO DI MONITORAGGIO

5.1 Le stazioni idrometriche significative

Un primo elenco di stazioni ritenute significative ai fini del monitoraggio delle portate liquide e solide è stato fornito dal Servizio Idrografico in occasione del presente studio, come riportato nella TABELLA 1, di seguito richiamata per comodità di lettura.

Tabella 1 – Elenco delle stazioni idrometriche significative ai fini del monitoraggio (Servizio Idrografico Regionale)

Id Stazione	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
1	Magra	Magra	Calamazza
2	Vara	Vara	Piana Battolla
3	Magra	Magra	Torchi
4	Carrione	Carrione	Carrara
5	Frigido	Frigido	Canevara
6	Versilia	Versilia	Ponte Tavole
7	Camaioere	Camaioere (o Fossa dell'Abate)	Camaioere
8	Serchio	Serchio	Fornoli
9	Serchio	Lima	Chifenti
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico
11	Arno	Arno	Nave di Rosano
12	Arno	Bisenzio	Poggio a Caiano
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa
14	Arno	Arno	San Giovanni alla Vena
15	Arno	Era	Belvedere

Id Stazione	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
16	Arno	Arno	Leoncini
17	Fine	Fine	Ponte SS206
18	Cecina	Cecina	Ponte di Monterufoli
19	Cornia	Cornia	P.te ex SS n1
20	Bruna	Bruna	Lepri
21	Ombrone GR	Merse	Ponte a Montepescini
22	Ombrone GR	Orcia	S. Angelo Cinigiano
23	Ombrone GR	Ombrone	Ponte d'Istia
24	Albegna	Albegna	Marsiliana
25	Veza	Veza	Ruosina

In totale sono 25 stazioni di cui 22 ricadenti nel territorio regionale, e 3 ricadenti nel territorio della regione Liguria (Calamazza sul fiume Magra, Torchi sul fiume Magra e Piana Battola sul fiume Vara). Una prima analisi ha consentito di stabilire, in funzione delle condizioni di accessibilità e di operatività per le misure del trasporto solido, l'idoneità delle ubicazioni attuali.

A tal fine sono risultate idonee tutte le stazioni idrometriche, ad eccezione delle stazioni di Torchi (Magra), Fornoli (Serchio), S.Giovanni alla Vena (Arno), Leoncini (Arno), per le quali non è possibile eseguire le attività di monitoraggio previste in corrispondenza della sezione medesima.

Per queste stazioni sono state individuate sezioni alternative ritenute idonee e ubicate nei ponti posti nelle immediate vicinanze delle stazioni stesse, come illustrato nel Documento n. 4: "*Monografia delle stazioni di monitoraggio*".

Sempre dall'analisi preliminare si osserva che la stazione di Leoncini è posta immediatamente a monte dello Scolmatore d'Arno, mentre quella di S.Giovanni alla Vena poco a valle.

Poiché il bacino sotteso è praticamente lo stesso per entrambi le stazioni, ai fini del trasporto solido che prosegue verso la foce appare più significativa la stazione di S.Giovanni alla Vena.

Pertanto, la stazione di Leoncini non verrà di seguito considerata.

5.2 I tratti fluviali rappresentativi

Tutti i tratti fluviali in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio considerate risultano manifestare caratteristiche idrauliche di corrente lenta e pertanto il regime dei deflussi è condizionato dalle caratteristiche del tratto di valle.

Pertanto, affinché i tratti fluviali possano essere considerati "rappresentativi" è necessario che siano note le loro caratteristiche soprattutto a valle della stazione stessa, in termini di sezioni fluviali, scabrezza, e condizione al contorno.

La definizione di quest'ultima risulta tanto meno delicata quanto maggiore è la sua distanza dalla stazione di monitoraggio. In via indicativa, tale distanza risulta, in metri, dell'ordine dell'inverso della pendenza espressa in "per mille".

Dall'analisi svolta nel Capitolo 3, e in particolare dai dati riportati nella TABELLA 8, si nota come gran parte delle stazioni di monitoraggio ricadano in tratti fluviali per i quali sono disponibili le sezioni topografiche.

Risultano, a conoscenza di chi scrive, mancanti o comunque carenti i rilievi topografici dei tratti relativi alle stazioni di:

- Bruna a Lepri (n. 20);

- Albegna a Marsiliana (24);
- Carrione a Carrara (4);
- Frigido a Canevara (5).

In via indicativa, si può assumere che, per ciascun corso d'acqua citato, sia necessario il rilievo di circa 50 sezioni fluviali per un'estensione di almeno 500 metri a monte e circa 5 km a valle in media per ciascun tratto, per un totale di circa 200 nuove sezioni.

Tali sezioni dovranno essere rilevate secondo gli standard del Servizio Idrologico.

5.3 I rilievi sedimentologici

Dei corsi d'acqua oggetto del presente progetto di monitoraggio, solo alcuni dispongono di rilievi significativi delle caratteristiche sedimentologiche degli alvei. Tali corsi d'acqua risultano:

- Fiume Ombrone (Ponte d'Istia), Fiume Merse (Montepescini) e Fiume Orcia: (S. Angelo Cinigiano) dati reperibili in [1,2, 3];
- Fiume Versilia (Ponte Tavole) e Torrente Vezza (Ruosina): dati reperibili in [24];
- Fiume Cecina (Ponte di Monterufoli): dati reperibili in [8];
- Fiume Cornia (Ponte ex SS n.1): dati reperibili in [8];
- Fiume Magra (Torchi): dati reperibili in [25];
- Fiume Vara (Piana Battola): dati reperibili in [26];
- Fiume Elsa (Ponte Elsa): dati reperibili in [11].

Per i restanti corsi d'acqua, elencati nella TABELLA 9, si dovrà procedere all'acquisizione dei dati sedimentologici significativi mediante apposte campagne di rilievo, secondo i criteri di seguito descritti.

Tabella 9 - Stazioni di monitoraggio per le quali occorre definire le caratteristiche sedimentologiche

n. rif.	Bacino	Fiume	Stazione
1	Magra	Magra	Calamazza
4	Carrione	Carrione	Carrione
5	Frigido	Frigido	Canevara
7	Camaiore	Camaiore	Camaiore
8	Serchio	Serchio	Fornoli
9	Serchio	Lima	Chifenti
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico
12	Arno	Ombrone P.se	Poggio a Caiano
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa
11	Arno	Arno	Nave di Rosano
14	Arno	Arno	S.Giovanni alla Vena
16	Arno	Arno	Leoncini
15	Arno	Era	Belvedere
20	Bruna	Bruna	Lepri
17	Fine	Fine	P.te SS206 (Cast_M.ma)
23	Albegna	Albegna	Marsiliana

5.3.1 Criteri per il rilievo sedimentologico

Le attività di rilievo consisteranno in una serie di campionamenti realizzati con metodologie differenti a seconda delle caratteristiche morfo-sedimentarie dei tratti considerati. Le metodologie adottate dovranno comunque essere tali da fornire dati omogenei, confrontabili tra loro e in coerenza con le metodologie riconosciute in ambito scientifico.

I campionamenti saranno eseguiti di preferenza sui corpi sedimentari emersi; ove questi non fossero presenti saranno impiegate tecniche e strumentazioni idonee per prelevare campioni comunque significativi e rappresentativi del tratto d'alveo di riferimento. Saranno pertanto utilizzate le seguenti metodologie:

Barre emerse

a) Campionamento di un tratto rappresentativo centrato sulla stazione di misura per una lunghezza pari a 10 volte la larghezza o comunque quanto più prossimo alla stazione idrometrica nel caso vi siano opere in alveo od altri elementi di disturbo che palesemente alterino localmente la granulometria dei materiali in alveo e quelli trasportati al fondo.

Sarà effettuato il prelievo di un numero statisticamente significativo di sedimenti superficiali (metodo "transect line" con un minimo di 120 nodi della maglia) ed un campione volumetrico composito, formato da almeno tre sottocampioni di sottostrato di volume pari a 10 volte quello del ciottolo corrispondente al 90esimo percentile della distribuzione granulometrica. Questo tipo di campionamento sarà eseguito su tratti con sedimenti grossolani, ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi con percentuale di sabbia inferiore al 50% in volume.

b) Prelievo di un campione volumetrico superficiale composito rappresentativo, formato dalla somma di almeno tre sottocampioni prelevati, lungo una o più sezioni trasversali rappresentative, con apposito campionatore

meccanico o manuale. Questo tipo di campionamento sarà eseguito su tratti con sedimenti sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi fini con ghiaia fine inferiore al 40% in volume.

Barre ed alveo sommersi

c) Prelievo di un campione volumetrico superficiale composito rappresentativo, formato dalla somma di almeno tre sottocampioni prelevati, lungo una o più sezioni trasversali rappresentative, con apposito campionatore meccanico manovrato da ponte o da natante. Questo tipo di campionamento sarà eseguito su tratti con sedimenti sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi fini con ghiaia fine inferiore al 40% in volume.

I dati così raccolti dovranno essere elaborati al fine di fornire le caratteristiche granulometriche per ciascun campione analizzato e le altre informazioni generali in termini di:

- data, ubicazione del campione e dati identificativi del rilevatore;
- tipologia e attrezzatura di campionamento;
- unità sedimentaria di appartenenza del campione;
- documentazione fotografica del sito di campionamento;
- curve di distribuzione di frequenza e di frequenza cumulata;
- parametri statistici sintetici (valore medio, moda, mediana, deviazione standard).

5.4 Le caratteristiche dei bacini idrografici

Per ciascuna stazione idrometrica è stato individuato il bacino idrografico sotteso e caratterizzato mediante:

- DTM 100x100 m;
- Uso del suolo (fonte: CORINE);
- Geolitologica (fonte: Regione Toscana);
- Reticolo idrografico (fonte: Regione Toscana).

I dati territoriali sopra elencati sono stati informatizzati, georeferenziati e elaborati in mappe digitali (formato raster) che contengono i valori, assegnati cella per cella, delle diverse proprietà considerate (altimetria, uso del suolo, geolitologica, idrografia).

La risoluzione delle mappe raster è di 100x100 m e le loro caratteristiche sono descritte in dettaglio nel Documento n. 2: *“Dati Territoriali e modello di erodibilità”*.

A scopo illustrativo, le quattro mappe tematiche sopra richiamate sono riportate nella TAVOLA 1 per il bacino del fiume Elsa.

Le stesse mappe sono state successivamente utilizzate ed elaborate allo scopo di generare la Mappa dell'Erodibilità a scala di bacino, ottenuta applicando il modello elaborato da Wischmeier e Smith nel 1978 e denominato USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Si tratta di un modello parametrico su base empirica che fornisce una stima media annua della potenziale perdita di suolo da un versante causata dall'erosione idrica.

Tale modello è stato negli anni modificato, dando origine alla RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) che si differenzia dalla formulazione originale introducendo alcuni nuovi parametri che permettono un migliore adattamento del modello alle situazioni reali.

Il modello si presta ad essere applicato in forma distribuita e pertanto, le quattro mappe tematiche già descritte sono state utilizzate come dati di input per la costruzione del modello di erodibilità.

Rimandando alla già richiamata “Relazione Tecnica: *“Dati Territoriali e modello di erodibilità”* per una descrizione dettagliata della struttura del modello e dei criteri adottati per la sua applicazione al territorio regionale toscano, se ne sintetizzano di seguito le sue caratteristiche principali:

- il modello fornisce la quantità media annua di suolo che potenzialmente può essere eroso dai versanti del bacino considerato; in altre parole, consente di stimare la quantità di materiale che si rende potenzialmente disponibile ad essere convogliato nella rete idrografica;
- il modello non tiene in alcun conto dei fenomeni di deposito e di rimovimentazione che il materiale eroso subisce durante il tempo di convogliamento nella rete idrografica da parte dei deflussi superficiali;
- la quantità di materiale che potenzialmente può arrivare alla rete idrografica è quindi una frazione della quantità erosa stimata dal modello, frazione che viene di solito indicata come *Sediment Delivery Ratio – SDR*. Tale rapporto, notevolmente variabile da bacino a bacino, è attualmente valutabile solo su base sperimentale;
- Il confronto tra dati sperimentali reperiti in letteratura, quelli derivanti dalle osservazioni di trasporto torbido del Servizio Idrografico in alcune stazioni regionali, nonché altri dati provenienti da studi specifici, hanno confermato, anche per il territorio regionale, la grande variabilità del parametro SDR e quindi la necessità che, per ciascun bacino idrografico, vengano avviate le attività di monitoraggio indispensabili anche alla taratura del modello di erodibilità;

I risultati del modello e il confronto con i dati sopra richiamati sono ampiamente descritti nella Relazione Tecnica citata.

Altra caratteristica importante ai fini del monitoraggio è il tempo di riposta del bacino idrografico. Infatti, per poter pianificare e coordinare le attività di misura in relazione ai tempi di intervento e alle ubicazioni delle diverse stazioni di monitoraggio, occorre avere una valutazione del tempo con cui si manifesta l'evento.

A tal fine nella TABELLA 10 sono riportati, per ciascuna stazione di monitoraggio considerata, i tempi di risposta derivati dal Programma ALTO – Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana [27].

Tabella 10 – Tempi di risposta per i bacini di interesse

Id staz	Bacino	Fiume	Stazione	Area [kmq]	Tempo [h]
1	Magra	Magra	Calamazza	956	6.5
2	Vara	Vara	Piana Battolla	563	5.9
3	Magra	Magra	Torchi	1633	7.1
4	Carrione	Carrione	Carrione alla foce	52	2.7
5	Frigido	Frigido	Canevara	46	2.4
6	Versilia	Versilia	P-te Tavole	77	3.6
7	Camaiore	Camaiore	Camaiore	47	1.5
8	Serchio	Serchio	Fornoli	708	6.6
9	Serchio	Lima	Chifenti	316	6.6
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico	1258	11.2
11	Arno	Arno	Nave di Rosano	4083	18.9
12	Arno	Ombrone PT	Poggio a Caiano	435	6.2
13	Arno	Elsa	P-te a Elsa	858	11.7
14	Arno	Arno	S.Giovanni alla Vena	8186	31.6
15	Arno	Era	Belvedere	581	9.4
16	Arno	Arno	Leoncini	8184	31.6

Id staz	Bacino	Fiume	Stazione	Area [kmq]	Tempo [h]
17	Fine	Fine	Ponte SS 206	116	3.5
18	Cecina	Cecina	Ponte di Monterufoli	634	7.9
19	Cornia	Cornia	P.te ex SS n°1	356	7.3
20	Bruna	Bruna	Lepri	229	5.2
21	Ombrone GR	Merse	P-te a Montepescini	540	9.9
22	Ombrone GR	Orcia	S.Angelo Cinigiano	793	7.7
23	Ombrone GR	Ombrone GR	Ponte d'Istia	3354	18.0
24	Albegna	Albegna	Marsiliana	534	7.2
25	Veza	Versilia	Ruosina	29	1.7

5.5 Le stazioni di monitoraggio

Le stazioni dell'Ombrone a Ponte d'Istia, del Merse a Montepescini e dell'Orcia a S.Angelo Cinigiano sono state già oggetto di precedenti attività di monitoraggio, come riportato negli studi [1,2,3].

Di queste, solo la stazione dell'Ombrone a Ponte d'Istia dispone di una curva di taratura delle portate liquide e solide, che peraltro necessita ancora di verifiche ulteriori .

Nel Documento n. 4: *“Monografie delle stazioni di monitoraggio”* sono riportate le monografie di tutte le stazioni idrometriche sopra elencate comprendenti le seguenti informazioni:

- bacino idrografico di appartenenza;
- corso d'acqua sul quale è ubicata la stazione;
- amministrazione provinciale di competenza;
- amministrazione comunale di competenza;

- coordinate UTM della stazione idrometrica, se coincidente con quella di monitoraggio, altrimenti sono riportate le coordinate di quest'ultima;
- ubicazione geografica della stazione idrometrica e di quella di monitoraggio;
- estratto di mappa;
- immagine fotografica della stazione;
- sezione fluviale in corrispondenza della stazione di monitoraggio.

In corrispondenza della stazione di monitoraggio sono inoltre riportate, a titolo indicativo, le verticali di misura lungo le quali vengono effettuati i rilievi delle grandezze idrauliche (livelli idrometrici, velocità della corrente) e del trasporto solido (concentrazione in sospensione, trasporto solido al fondo), con le modalità e la strumentazione di misura descritte nel capitolo successivo.

Occorre inoltre precisare quanto segue:

- Le stazioni di monitoraggio consistono in attrezzature con installazione di tipo “fisso”, come per esempio, l'impianto di misura del livello idrometrico (sensore, centralina, asta idrometrica, campionatore automatico di torbida), nonché di attrezzature “mobili” che vengono trasportate sulla stessa sezione, utilizzate per il tempo delle misure e successivamente rimosse. (correntometri, campionatori manuali di trasporto solido al fondo e in sospensione);
- L'uso delle attrezzature mobili richiede una specifica competenza e esperienza, non essendo comunemente utilizzate, almeno in ambito nazionale, dai vari servizi tecnici delle Pubbliche Amministrazioni;
- È pertanto necessario prevedere un periodo iniziale durante il quale l'Ente Gestore dovrà reperire e addestrare tecnici da destinare all'esercizio delle stazioni stesse;
- La fase di taratura delle stazioni risulta particolarmente onerosa, in special modo per la misura dei deflussi solidi, e deve essere svolta da

personale qualificato. Poiché questa fase è legata da un lato, al verificarsi di eventi significativi e, dall'altro, alla tempestività di intervento, le possibilità di effettuare le operazioni preliminari di taratura in un periodo relativamente breve (sempre comunque non inferiore ad un anno) deve necessariamente basarsi sull'impiego di idonee squadre operative che, ciascuna per le stazioni di monitoraggio di competenza, sarà incaricata di effettuare le misure;

- Nella fase di avvio del progetto di monitoraggio, si ritiene opportuno individuare una prima squadra di personale già esperto e qualificato alla quale assegnare un numero limitato di stazioni sulle quali sperimentare i criteri e le impostazioni fornite nel presente progetto, al fine di acquisire gli elementi operativi necessari alla completa attuazione del progetto secondo un programma di gestione collaudato e basato su criteri di efficienza e continuità.

Infine, il numero, l'ubicazione e le caratteristiche delle stazioni di monitoraggio sia nella fase sperimentale, sia nella fase di attuazione, devono soddisfare ai seguenti requisiti:

- fornire un primo quadro conoscitivo di base sufficientemente rappresentativo della dinamica generale del bacino nei riguardi dei deflussi liquidi e solidi;
- permettere, ove possibile, la continuità delle serie storiche dei dati attualmente disponibili;
- garantire un'appropriata ubicazione degli strumenti fissi di misura e un loro corretto funzionamento;
- offrire un'adeguata accessibilità per le operazioni di installazione, taratura e esercizio degli strumenti di misura.

Sulla base di tali considerazioni, e dall'analisi di quanto emerso nel presente studio e dalle esperienze precedenti, si ritiene opportuno prevedere la fase di

sperimentazione e di attuazione con riferimento alle seguenti stazioni di monitoraggio (TABELLA 11):

Tabella 11 – Stazioni di monitoraggio per le quali si ritiene opportuno prevedere la fase di sperimentazione e di attuazione

Id Stazione	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
1	Magra	Magra	Calamazza
2	Vara	Vara	Piana Battolla
3	Magra	Magra	Torchi
4	Carrione	Carrione	Carrara
5	Frigido	Frigido	Canevara
6	Versilia	Versilia	Ponte Tavole
7	Camaiore	Camaiore (o Fossa dell'Abate)	Camaiore
8	Serchio	Serchio	Fornoli
9	Serchio	Lima	Chifenti
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico
11	Arno	Arno	Nave di Rosano
12	Arno	Bisenzio	Poggio a Caiano
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa
14	Arno	Arno	San Giovanni alla Vena
15	Arno	Era	Belvedere
16	Arno	Arno	Leoncini
17	Fine	Fine	Ponte SS206
18	Cecina	Cecina	Ponte di Monterufoli
19	Cornia	Cornia	P.te ex SS n1
20	Bruna	Bruna	Lepri

Id Stazione	Bacino	Corso d'acqua	Stazione
21	Ombrone GR	Merse	Ponte a Montepescini
22	Ombrone GR	Orcia	S. Angelo Cinigiano
23	Ombrone GR	Ombrone	Ponte d'Istia
24	Albegna	Albegna	Marsiliana
25	Veza	Veza	Ruosina

6. ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E STRUMENTAZIONE

La misura diretta delle portate liquide e solide rappresenta la fase attuativa principale del progetto di monitoraggio. Attraverso questa attività è possibile raccogliere dati che, oltre a consentire la verifica e/o la costruzione delle attuali scale di deflusso delle portate liquide, rendono possibile la costruzione della scala di deflusso delle portate solide e la taratura di modelli di trasporto da utilizzare per la previsione degli apporti solidi provenienti da monte.

Le attività connesse al Progetto di Monitoraggio possono essere in generale distinte in tre fasi principali:

La PRIMA FASE o FASE PRELIMINARE, comprendente:

- le attività di acquisizione della strumentazione, il completamento del quadro conoscitivo dei rilievi topografici e sedimentologici, la predisposizione delle sezioni di monitoraggio (installazione della strumentazione fissa, ricognizione per le attività connesse con la strumentazione mobile), il reperimento e l'addestramento del personale addetto alle misure;

La SECONDA FASE o FASE DI TARATURA, comprendente:

- le attività di misura vere e proprie da effettuarsi in corrispondenza di un numero di eventi significativi compreso tra 5 e 10 per ciascuna sezione di monitoraggio;
- le attività di archiviazione e analisi dei dati, sia in laboratorio sia a tavolino, per la restituzione delle grandezze fisiche di interesse (portata liquida, portata solida, altezza idrometrica, distribuzione granulometrica);
- la definizione delle scale di deflusso liquide e solide per ciascuna sezione di monitoraggio.

La TERZA FASE o FASE DI MONITORAGGIO, comprendente:

- le attività periodiche di controllo di stabilità delle scale di deflusso liquide e solide, mediante misure periodiche in occasione di eventi significativi (portate liquide e solide);
- i rilievi periodici delle caratteristiche sedimentologiche dell'alveo e delle sezioni fluviali ritenute significative, sempre a seguito di eventi significativi;
- la manutenzione e verifica della strumentazione fissa e mobile.

Stante l'elevato numero di sezioni di monitoraggio previste, si ritiene altresì necessario prevedere una **FASE SPERIMENTALE** di avvio, da anteporre alla SECONDA E TERZA FASE precedentemente descritte, al fine di verificare sul campo l'effettiva attuazione del Progetto di Monitoraggio con particolare riferimento a:

- operatività del personale addetto alle misure;
- risorse di personale e caratteristiche professionali;
- pianificazione delle due fasi successive;
- valutazione dei costi del monitoraggio.

La FASE SPERIMENTALE dovrà essere riferita ad un numero limitato di sezioni di monitoraggio, non più di tre o quattro, e dovrà essere condotta da personale già qualificato. Le attività di tale fase sono ovviamente le stesse della SECONDA FASE.

6.1 Criteri generali per le attività di misura

La taratura delle stazioni di misura è la fase più importante per l'attuazione del progetto di monitoraggio. Essa infatti conduce alla definizione della scala di deflusso delle portate liquide e alla scala di deflusso delle portate solide. Ciò significa che, attraverso la sola misura dei livelli idrici registrati in

corrispondenza delle stazioni idrometriche del Servizio Idrografico sarà possibile determinare la corrispondente portata liquida e solida.

La **FASE DI TARATURA** consiste nell'effettuazione di una serie di misure idrauliche e di trasporto solido relativamente a un certo numero di eventi di piena significativi. Tali operazioni verranno condotte in corrispondenza delle sezioni di monitoraggio e risulteranno tanto più significative e tempestive quanto maggiore sarà l'efficienza del sistema di allarme e preannuncio degli eventi, da attivare tra il personale delle squadre operative e il Servizio Idrografico .

Giova ribadire la rilevanza che ha la costituzione delle squadre operative in relazione alle caratteristiche del personale impiegato che dovrà essere dotato:

- di competenze specifiche: conoscenza dei fenomeni di base di idraulica fluviale e esperienza nell'utilizzo delle attrezzature;
- di capacità di entrare in azione in tempi brevi, in relazione ai tempi di arrivo sulla stazione di monitoraggio e ai tempi di risposta del bacino idrografico sotteso;
- di reperibilità per effettuare le misure ogni qualvolta si presenti un evento significativo;
- di disponibilità a svolgere mansioni operative in condizioni ambientali di norma avverse.

Ogni campagna di misura, relativa a ciascun evento e per ciascuna stazione di monitoraggio, consiste di quattro fasi operative principali:

- 1) definizione delle verticali di misura;
- 2) misura dell'altezza d'acqua;
- 3) misura della velocità del flusso;
- 4) prelievo dei campioni di torbida;
- 5) prelievo dei campioni di materiale trasportato al fondo.

6.1.1 Definizione delle verticali di misura

L'ubicazione ed il numero delle verticali di misura è condizionata da tre fattori principali:

1. il livello idrometrico;
2. la forma della sezione trasversale di misura;
3. la presenza di eventuali ostacoli (pile di ponti, protezioni di sponda, ecc.) o irregolarità (affioramenti rocciosi, vegetazione spontanea, ecc.).

Una volta che si è in possesso del rilievo topografico della sezione trasversale è possibile valutare se la sua forma è omogenea, se presenta delle irregolarità e la loro entità, se il profilo e la pendenza delle sponde variano in maniera rilevante ai fini della determinazione della larghezza effettiva dell'alveo attivo.

Come regola generale l'intervallo tra le verticali non dovrebbe superare il 5-10% della larghezza totale; se però il canale ha una geometria uniforme un numero inferiore di verticali può essere sufficiente. Bisogna inoltre tenere conto degli elementi di scabrezza sulle sponde e la presenza di eventuali pile dei ponti che contribuiscono a ridurre la larghezza effettiva dell'alveo.

Elementi di scabrezza macroscopici come alberi e cespugli contribuiscono in maniera significativa alla riduzione della larghezza effettiva poiché con il loro effetto di resistenza al flusso fa sì che, soprattutto in prossimità delle sponde, la velocità del flusso idrico tenda praticamente a zero con annullamento, quindi, anche della portata solida.

Diversa è invece la situazione in presenza di pile di ponti. Queste, infatti, suddividono la sezione principale di misura in sottosezioni, per ciascuna delle quali è necessario ripetere il procedimento analitico di cui sopra per la definizione di verticali di misura il cui intervallo può anche essere diverso tra le varie sottosezioni. Se i pilastri hanno una forma regolare e non vi è accumulo di vegetazione tale da disturbare in maniera rilevante il flusso, l'effetto di

scabrezza delle pile è scarso e possono essere ubicate verticali anche nelle loro vicinanze, con relativo guadagno nell'accuratezza delle misure di portata.

La procedura di definizione delle verticali normalmente si riferisce ad un determinato livello d'acqua che sottintende pertanto una corrispondente forma della sezione idraulica. Al mutare dello stato d'acqua la procedura di ubicazione delle verticali va ovviamente ripetuta dall'inizio, partendo dalla misura della larghezza effettiva della sezione e delle eventuali sottosezioni.

La ripetizione della procedura di definizione delle verticali di misura può, peraltro, essere evitata nel caso che le variazioni del livello idrometrico non comportino significative modificazione nella geometria della sezione e/o delle sottosezioni.

In pratica, all'inizio di ogni campagna di misure deve essere definita la larghezza effettiva del canale e delle eventuali sottosezioni. L'intera sezione, o le eventuali sottosezioni, sono suddivise in un numero congruo di verticali separate da intervalli di lunghezza costante. In questo modo ogni verticale risulta in posizione assiale e rappresentativa di una porzione di sezione di forma sub-rettangolare la cui base è equivalente alla distanza tra le verticali e la sua altezza corrisponde alla profondità media del flusso in quell'intorno.

6.1.2 Definizione dell'altezza d'acqua nelle verticali di misura

La profondità media del flusso in corrispondenza di ogni verticale può essere ricavata, in prima approssimazione, dalla lettura dell'asta idrometrica e dal rilievo topografico della sezione stessa. Però, poiché la mobilità dei sedimenti di fondo può indurre delle deformazioni altimetriche dell'alveo, anche rilevanti, la prima operazione di misura presso ogni verticale deve consistere nel rilievo diretto della profondità del flusso ottenuta utilizzando il sensore di fondo integrato nel peso del mulinello (vedi descrizione delle attrezzature).

6.1.3 Misura della velocità della corrente e della portata liquida

Il velocità del flusso in una corrente a pelo libero non è costante lungo una verticale. Il profilo di velocità è infatti deformato in maniera significativa nella parte bassa, a causa dell'attrito con gli elementi di scabrezza del fondo, ed in maniera praticamente trascurabile nella parte superiore, in corrispondenza dell'interfaccia acqua-aria, a causa del modesto attrito con quest'ultima. In condizioni ideali, trascurando l'attrito con l'aria ed in presenza di una scabrezza di fondo uniforme, la variazione di velocità con la profondità tende ad assumere un profilo di tipo logaritmico con la velocità massima in corrispondenza del pelo libero dell'acqua e velocità tendenti a zero in prossimità del fondo.

In un profilo di questo tipo, ad una profondità di circa $0.6H$ (a partire dalla superficie libera, con H uguale alla profondità totale) si osserva una velocità che corrisponde alla velocità media del flusso.

Gli strumenti di misura della velocità del flusso che sono attualmente disponibili su mercato sono tutti di tipo puntuale, ovverosia rilevano soltanto la velocità in un punto.

Teoricamente, per ottenere la velocità lungo una verticale basterebbe quindi misurare la velocità alla profondità $0.6H$. Purtroppo, l'osservazione di situazioni reali ha mostrato che il profilo di velocità di un corso d'acqua naturale si può discostare anche sensibilmente dal profilo teorico ed è pertanto stato suggerito di ovviare a questo inconveniente effettuando due misure puntuali, rispettivamente a $0.2H$ e $0.8H$, e facendo poi la media matematica dei valori rilevati per ottenere la velocità media del flusso, riferita alla verticale considerata.

Nel caso di profondità molto elevate i punti di misura possono essere elevati fino a cinque (in prossimità della superficie, a $0.2H$, $0.6H$, $0.8H$ e in prossimità del fondo) per aumentare l'affidabilità delle misure, mentre in condizione di flussi molto poco profondi rispetto alle dimensioni del mulinello, e tali quindi da non consentire le misure a $0.2H$ (l'elica del mulinello fuoriesce dall'acqua) e $0.8H$ (l'asse del mulinello appoggiato sul fondo è ad una profondità minore di $0.8H$), si deve necessariamente ricorrere alla sola misura alla profondità di $0.6H$.

In pratica si procede nel modo seguente: una volta posizionato il carrello con il braccio e l'argano in corrispondenza della verticale di misura, si abbassa il mulinello fino a raggiungere il pelo libero dell'acqua. A questo punto viene azzerato il contatore metrico dell'argano e fatto scendere ulteriormente il mulinello fino a raggiungere il fondo, il contatto con il quale è segnalato da un sistema acustico.

Determinata in questo modo la profondità della verticale si procede al posizionamento dell'asse del mulinello alle profondità programmate e si esegue una misura diretta di velocità del flusso che viene rilevata dopo uno

stazionamento di circa 30 secondi sul display del contascatti collegato elettricamente con il mulinello.

Una volta ottenuta la velocità media per ogni verticale con la procedura descritta si può procedere al calcolo della portata di ogni settore di sezione attraverso l'equazione di continuità:

$$Q_i = A_i V_i$$

In cui Q_i è la portata liquida in m^3s^{-1} , V_i la velocità media in $m s^{-1}$ e A_i è l'area in m^2 del settore considerato, uguale al prodotto dell'altezza media del flusso (rilevata come descritto al paragrafo 6.1.2) per la lunghezza dell'intervallo tra le verticali.

La portata totale Q , relativa dell'intera sezione d'asta fluviale, deriva dalla somma delle portate dei singoli settori per cui

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

dove i pedici 1, 2... ed n indicano i vari settori in cui è stata scomposta la sezione.

6.1.4 Misura del trasporto solido in sospensione

La portata solida in sospensione si misura attraverso i valori di concentrazione dei sedimenti sospesi presenti nell'acqua.

I dati di concentrazione si possono ottenere in forma indiretta, utilizzando il grado di attenuazione di un qualche segnale (ottico, ultrasuoni, raggi gamma, ecc.) oppure attraverso il prelievo di campioni di torbida significativi e rappresentativi, sia della variabilità laterale che verticale della concentrazione dei solidi sospesi che viene, successivamente, determinata in laboratorio secondo procedure standard.

I vantaggi e gli svantaggi delle due procedure sono descritti di seguito.

6.1.5 Strumenti per la misura diretta della concentrazione

Impiegando strumentazione per la misura diretta della concentrazione solida in sospensione (torbidimetri) si hanno i seguenti:

Vantaggi:

- misura in tempo reale della concentrazione;
- ove si disponga di dati di portata liquida in tempo reale, si può risalire ai valori di portata solida in sospensione, seguendone l'evoluzione durante il passaggio di un evento di piena;
- acquisizione dati direttamente su personal computer;
- funzionamento autonomo (solo per alcuni strumenti).

Svantaggi:

- affidabilità del dato non sempre costante;
- necessità di frequenti tarature e controlli dello strumento;
- frequente manutenzione delle sonde per rimuovere sporco o altre ostruzioni nelle installazioni fisse;
- efficienza non uniforme per tutti i campi di concentrazione;
- funzionamento non autonomo (solo per alcuni strumenti);
- uso di radiazioni talora pericolose (raggi gamma);
- impossibilità di ottenere dati granulometrici attendibili;
- alto costo della strumentazione.

6.1.6 Strumenti per la misura indiretta della concentrazione

Impiegando strumentazione per la misura indiretta della concentrazione solida in sospensione (campionatori manuali e automatici) si hanno i seguenti:

Vantaggi:

- massima affidabilità del dato;
- possibilità di ottenere dati granulometrici attendibili;
- semplicità d'uso dei campionatori;
- capacità di operare su un vastissimo campo di concentrazioni;
- nessuna manutenzione per i campionatori manuali;
- funzionamento autonomo (solo per alcuni strumenti);
- basso costo degli strumenti (soprattutto di quelli manuali).

Svantaggi:

- impossibilità di avere dati in tempo reale;
- funzionamento non autonomo (campionatori manuali).

Nonostante lo sviluppo delle moderne tecnologie, i torbidimetri che basano il loro funzionamento sulla misura diretta della concentrazione non hanno ancora raggiunto un soddisfacente grado di affidabilità.

La ristrettezza dei campi di applicazione e i problemi ambientali connessi con alcuni tipi di radiazioni emesse ne hanno limitato molto l'utilizzazione pratica. Gli strumenti campionatori quindi si fanno preferire ai torbidimetri in quanto, prelevando una piccola quantità di acqua e sedimenti, consentono di minimizzare gli errori strumentali e, comunque, di disporre di un campione fisico

rappresentativo su cui poter effettuare delle precise determinazioni di laboratorio.

Inoltre quasi tutti i tipi di torbidimetro hanno bisogno periodicamente di essere sottoposti a operazioni di taratura e controllo, e questa può essere fatta solo utilizzando i campionatori di torbida manuali.

Per i motivi su esposti gli strumenti che sono stati adottati per il presente studio sono i campionatori automatici aspiranti ed i campionatori manuali isocinetici.

Un tipo di campionatore automatico piuttosto diffuso è l'AMERICAN SIGMA, modello STREAMLINE 800SL STANDARD, che al momento risulta il più versatile ed avanzato tecnologicamente disponibile sul mercato per le sue ridotte dimensioni (diametro 50 cm e altezza 60 cm), il basso peso (12.5 kg), l'ampia gamma di programmazione delle operazioni di campionamento e la possibilità di memorizzare in forma digitale tutte le operazioni effettuate e gli esiti di campionamento ottenuti.

Il campionatore è costituito da una pompa idraulica che aspira (a velocità costante) un quantitativo fisso di acqua riversandolo in una o più delle 24 bottiglie alloggiato al suo interno. Grazie all'alta velocità di pompaggio, può essere posto anche a qualche decina di metri di distanza dal punto di campionamento senza rischio di sedimentazione nel tubo di adduzione.

Lo schema di campionamento può essere programmato in funzione del tempo o in funzione dei livelli idrometrici. Il modello descritto ha una prevalenza di circa 8-9 m e necessita quindi di una idonea ubicazione che garantisca una buona percentuale di successo nel campionamento.

Nonostante le dimensioni del campionatore aspirante SIGMA siano tali da consentire un suo trasporto e quindi un uso itinerante, per il presente schema di monitoraggio si ritiene preferibile un'installazione fissa in prossimità dei

teleidrometri, ai quali può essere collegato al fine di attivare le procedure di campionamento automatico.

Occorre comunque tener presente la necessità di periodica manutenzione dello strumento per garantirne la funzionalità e l'efficienza al momento dell'evento, nonché di adeguata vigilanza contro atti vandalici.

I campionatori manuali isocinetici, invece, vengono posizionati e fatti funzionare manualmente e sono costituiti da un ugello d'immissione del campione in cui la velocità d'ingresso del miscuglio acqua+sedimento è uguale a quella del flusso esterna al campionatore (isocinesi: ugual velocità).

I tipi più noti e più usati di questi strumenti di misura sono stati messi a punto e sviluppati presso il Servizio Geologico Americano in un ampio arco di tempo che va dagli anni '40 alla fine degli anni '60. L'agenzia americana ha condotto numerosi ed approfonditi studi sia di laboratorio che di campagna volti appunto alla verifica sperimentale dell'efficienza di questi campionatori che, nonostante siano passati ormai alcuni decenni dal loro prima presentazione, risultano ancora tra gli strumenti più affidabili.

I campionatori manuali isocinetici sono costituiti da un corpo, generalmente d'alluminio o di bronzo, con forma idrodinamica e pinne posteriori stabilizzatrici.

Nella parte frontale è posto l'ugello d'ingresso che viene fornito con diametri diversi in relazione alla granulometria attesa del materiale trasportato in sospensione. All'interno del corpo è fissato ermeticamente un contenitore estraibile (generalmente una bottiglia di vetro o di plastica a seconda dei modelli), destinato a raccogliere il campione d'acqua e di sedimenti.

All'esterno del campionatore si trova lo sfiato dell'aria, collegato con la parte interna della bottiglia, ed un punto superiore di aggancio per essere usato a sospensione con un cavo o manovrato direttamente attraverso un'asta rigida.

I campionatori manuali isocinetici si dividono in due grandi categorie: i campionatori puntuali e quelli integratori.

I campionatori puntuali si caratterizzano per la presenza di una valvola elettromeccanica di apertura e chiusura dell'ugello comandata a distanza. Questi strumenti possono campionare solo in un punto e vengono generalmente impiegati in quei fiumi in cui le velocità della corrente sono molto elevate o la cui profondità è tale da non consentire l'uso dei campionatori integratori. In tali condizioni infatti la distribuzione della concentrazione solida sulla profondità può risultare molto diversificata.

I campionatori integratori sono invece degli strumenti che prelevano un campione di torbida integrato lungo una verticale della sezione di misura.

La procedura di campionamento è la seguente: una volta nota la velocità media del flusso in corrispondenza della verticale considerata, attraverso il diagramma velocità del flusso - tempo di campionamento (fornito con ogni strumento e specifico di questo) si ricava la durata temporale complessiva del campionamento.

Questo avviene immergendo il campionatore in acqua, facendolo scorrere verso il fondo del corso d'acqua e recuperandolo non appena si avverte il contatto con il letto. Tutta l'operazione deve essere condotta abbassando ed innalzando il campionatore a velocità costante ed in modo tale che i due percorsi di discesa e di risalita avvengano in tempi uguali, ciascuno pari cioè alla metà del tempo di campionamento predeterminato in base alla velocità del flusso.

La procedura descritta è solo apparentemente difficile. E' sufficiente un addestramento iniziale per ottenere campioni sufficientemente rappresentativi. L'errore che bisogna assolutamente evitare è quello di pervenire al riempimento completo del contenitore interno, in seguito ad un tempo di campionamento più lungo del necessario. In questo caso, infatti, si può verificare un aumento

artificiale della concentrazione poiché, soprattutto in condizioni di alte velocità del flusso, si può verificare un parziale ricircolo forzato dell'acqua all'interno del campionatore con eccessivo intrappolamento nella bottiglia soprattutto delle particelle più grandi.

La necessità di effettuare un campionamento omogeneo lungo la verticale deriva dal fatto che normalmente la concentrazione dei sedimenti sospesi varia con la profondità ed è maggiore in prossimità del fondo e minore in superficie. Analogo andamento mostrano le dimensioni dei sedimenti che sono comunemente più grossolani vicino al fondo che in superficie.

Tra i vari modelli di campionatore isocinetici disponibili su mercato, molto diffuso è il modello US D-74 in quanto è un campionatore integratore di grande versatilità, robustezza, semplicità d'uso e si presta ad essere adoperato da ponti o da teleferica. Nelle campagne di misure, questo campionatore è di norma impiegato su tutte le verticali, presso le quali viene misurata in precedenza la velocità media del flusso, utilizzando lo stesso carrello con braccio ed argano manuale impiegato per le misure di velocità del flusso con il mulinello. La disponibilità del contatore metrico sull'argano consente quasi sempre di muovere lo strumento correttamente e di raccogliere campioni di torbida significativi. Uno dei grandi vantaggi di questo strumento è risultato nella pratica di poter ripetere immediatamente un campionamento ritenuto errato, con grande vantaggio per l'affidabilità dei dati raccolti.

6.1.7 Misura del trasporto solido al fondo

Se, come si è visto, la misura del trasporto solido in sospensione può comportare qualche difficoltà, quella del trasporto al fondo è di gran lunga più ardua ed impegnativa. Le ragioni di ciò sono molteplici e risiedono soprattutto nelle modalità di trasporto, nell'entità del fenomeno e nelle dimensioni dei

sedimenti di fondo al cui aumento delle dimensioni corrispondono maggiori difficoltà di misura.

Gli strumenti che si possono usare dipendono essenzialmente dalle dimensioni dell'alveo e dalle finalità dei rilievi che si vogliono eseguire. Le caratteristiche idrauliche e sedimentologiche dei corsi d'acqua oggetto del presente studio hanno suggerito l'adozione di una metodologia di misura basata sull'impiego di strumenti campionatori.

I migliori campionatori di trasporto al fondo sono considerati quelli così detti "a differenza di pressione", in cui lo svasamento della parte posteriore favorisce la sedimentazione, ed alcuni tipi di trappole mobili. Ambedue vengono adagiati sul fondo rimanendovi per un tempo sufficiente alla raccolta di un campione significativo.

Del primo tipo esistono diverse versioni costruttive. Il più noto ed usato, soprattutto per le misure in campagna, è il campionatore di fondo *Helley-Smith*.

Questo strumento è costituito da una parte frontale metallica con una bocca a sezione quadrata, di lato variabile tra 7.5 e 15 cm, alla quale viene fissato un sacco in tessuto di nylon con maglia di 0.25 mm. Il campionatore può essere usato manualmente, manovrandolo e mantenendolo in posizione di campionamento tramite un'asta rigida, fissata alla sommità della testa metallica; oppure può essere impiegato a sospensione. In quest'ultimo caso dalla testa del campionatore partono tre bracci che si uniscono posteriormente ad una coda munita di grandi pinne stabilizzatrici.

Date le caratteristiche tecniche che lo contraddistinguono, il campionatore *Helley-Smith* è adatto soprattutto per corsi d'acqua con materiali di fondo compresi tra le sabbie e le ghiaie medio-fini e tassi di trasporto non molto elevati.

In alternativa al campionatore *Helley-Smith* sono stati sviluppati altri strumenti per l'impiego in corsi d'acqua con granulometrie e tassi di trasporto molto più elevati. Questi attrezzi sono di semplice costruzione e di grosse dimensioni; si tratta di pesanti trappole costituite solitamente da un telaio tubolare rivestito di rete metallica, con maglie di varie dimensioni (trappola SIC).

L'elevato peso e la presenza di ampie pinne stabilizzatrici permettono l'utilizzo di questi due tipi di campionatore anche in condizioni di relativamente alta velocità della corrente, ma necessitano di un braccio e di un argano meccanici o di altre installazioni fisse più complesse per poter essere manovrati adeguatamente ed in sicurezza dal personale addetto.

Ambedue i campionatori sono utilizzati posizionandoli sul fondo, in corrispondenza delle stesse verticali usate per la misura di velocità del flusso e di trasporto solido in sospensione, e sono tenuti in posizione di campionamento per un tempo sufficiente ad ottenere un campione rappresentativo del materiale trasportato al fondo.

6.2 La strumentazione

Di seguito viene descritta la strumentazione prevista per le attività di misura previste per ogni stazione di monitoraggio. Si rimanda al Documento n. 3: "*Attrezzature e Strumentazioni di Misura*" per la descrizione dettagliata delle caratteristiche tecniche, delle tipologie di strumenti in commercio e dei relativi costi.

6.2.1 La strumentazione fissa

Per quanto riguarda la tipologia della strumentazione fissa in dotazione di ciascuna sezione di monitoraggio, si prevede l'installazione di:

- asta idrometrica, qualora non già presente, per la misura dei livelli idrici in modo “visivo” al fine di verificare l’evoluzione temporale dei livelli durante le attività delle misure e, al contempo, di stimare un livello idrometrico da confrontare con quello registrato dal sensore della stazione. Ovviamente la posizione dell’asta idrometrica deve essere definita topograficamente;

- campionatore automatico aspirante per campioni di torbida AMERICAN SIGMA, modello STREAMLINE 800SL STANDARD. Questo campionatore consente il prelievo in automatico e sulla base di un programma di campionamento definito su base temporale o in funzione dei livelli idrometrici. Lo strumento consta di:
 - un set da 24 bottiglie in polietilene da 1 litro;
 - una pompa peristaltica;
 - possibilità di programmazione multifunzione attraverso display alfanumerico a 16 caratteri;
 - sensore per il controllo del volume di campionamento;
 - sistema di registrazione delle operazioni svolte (data logger);
 - batteria interna al litio;
 - tubo di aspirazione con ugello di presa;
 - interfaccia seriale RS 232;
 - uscita ausiliare per collegamento con teleidrometri;
 - Data Transfer Unit per il trasferimento dei dati delle operazioni svolte dal campionatore e la visualizzazione diretta su stampante o personal computer;
 - Sensore di livello per attivazione del campionatore.

L’installazione di tale attrezzatura può essere fatta nella fase di regime.

6.2.2 La strumentazione mobile

La strumentazione mobile è costituita nel suo insieme dalle diverse attrezzature di misura, dagli accessori e da un autoveicolo attrezzato, come di seguito elencato:

- Autoveicolo attrezzato con braccio gru estendibile ed un argano per il posizionamento dei campionatori di trasporto in sospensione e di trasporto solido al fondo, e dotato di volumetria sufficiente per l'alloggiamento della strumentazione di seguito elencata;
- il correntometro e i suoi accessori;
- il carrello e l'argano per il posizionamento del correntometro;
- il campionatore di torbida ed i suoi accessori;
- il campionatore di trasporto al fondo ed i suoi accessori;
- materiale di consumo, pesi di zavorra, materiale per la sicurezza delle operazioni (segnaletica, giubbotti ad alta visibilità, lampeggianti...)

7. ATTUAZIONE DEL PROGETTO DI MONITORAGGIO

Sulla base delle considerazioni e delle analisi svolte nei capitoli precedenti, l'attuazione del Progetto di Monitoraggio proposto si articola nelle seguenti fasi fondamentali:

- PRIMA FASE: definizione del quadro conoscitivo di riferimento;
- FASE SPERIMENTALE: messa a punto e verifica del progetto;
- SECONDA FASE: taratura delle stazioni di monitoraggio;
- TERZA FASE: attività di monitoraggio "standard".

La **PRIMA FASE** è finalizzata alle attività di acquisizione della strumentazione, al completamento del quadro conoscitivo in relazione ai rilievi topografici e sedimentologici, alla predisposizione delle sezioni di monitoraggio (installazione della strumentazione fissa, ricognizione per le attività connesse con la strumentazione mobile), e ai criteri di reperimento e addestramento del personale addetto alle misure;

La **FASE SPERIMENTALE** è necessaria per la preventiva verifica sul campo delle diverse attività connesse agli obiettivi del monitoraggio, al fine di pianificare correttamente le successive due fasi, con particolare riferimento alle risorse in termini di personale e di attrezzature necessarie, ai tempi di attuazione, ai costi complessivi.

La **SECONDA FASE** ha come obiettivo la definizione delle scale di deflusso liquido e solido per le stazioni di monitoraggio previste. Comprende pertanto le attività di misura vere e proprie da effettuarsi in corrispondenza di un numero di eventi significativi compreso tra 5 e 10 per ciascuna sezione di monitoraggio, le

attività di archiviazione e analisi dei dati, sia in laboratorio sia a tavolino, per la restituzione delle grandezze fisiche di interesse (portata liquida, portata solida, altezza idrometrica, distribuzione granulometrica).

La **TERZA FASE** è relativa essenzialmente alle attività di gestione delle stazioni di monitoraggio e comprende le attività periodiche di controllo di stabilità delle scale di deflusso liquide e solide, mediante misure periodiche in occasione di eventi significativi (portate liquide e solide), i rilievi periodici delle caratteristiche sedimentologiche dell'alveo e delle sezioni fluviali ritenute significative, sempre a seguito di eventi significativi, la manutenzione e verifica della strumentazione fissa e mobile.

7.1 Attività della prima fase

Si elencano di seguito le attività necessarie al completamento del quadro conoscitivo.

7.1.1 Sezioni fluviali

Dall'analisi svolta nel Capitolo 3, e in particolare dai dati riportati nella TABELLA 8, si nota come gran parte delle stazioni di monitoraggio ricadano in tratti fluviali per i quali sono disponibili le sezioni topografiche.

Risultano, a conoscenza di chi scrive, mancanti o comunque carenti i rilievi topografici dei tratti relativi alle stazioni di:

- Bruna a Lepri (n. 20);
- Albegna a Marsiliana (24);
- Carrione a Carrara (4);

- Frigido a Canevara (5).

In via indicativa, si può assumere che, per ciascun corso d'acqua citato, sia necessario il rilievo di circa 50 sezioni fluviali per un'estensione di almeno 500 metri a monte e circa 5 km a valle in media per ciascun tratto, per un totale di circa 200 nuove sezioni.

Tali sezioni dovranno essere rilevate secondo gli standard del Servizio Idrologico.

7.1.2 Rilievi sedimentologici

L'analisi svolta al Capitolo 5 rivela che risultano mancanti i rilievi sedimentologici per i seguenti corsi d'acqua (TABELLA 12):

Tabella 12 – Corsi d'acqua per i quali mancano i rilievi sedimentologici

n. rif.	Bacino	Fiume	Stazione
1	Magra	Magra	Calamazza
4	Carrione	Carrione	Carrione
5	Frigido	Frigido	Canevara
7	Camaiole	Camaiole	Camaiole
8	Serchio	Serchio	Fornoli
9	Serchio	Lima	Chifenti
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico
12	Arno	Ombrone P.se	Poggio a Caiano
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa

n. rif.	Bacino	Fiume	Stazione
11	Arno	Arno	Nave di Rosano
14	Arno	Arno	S.Giovanni alla Vena
16	Arno	Arno	Leoncini
15	Arno	Era	Belvedere
20	Bruna	Bruna	Lepri
17	Fine	Fine	P.te SS206 (Cast_M.ma)
23	Albegna	Albegna	Marsiliana

Per tali corsi d'acqua si dovrà procedere all'effettuazione dei rilievi sedimentologici secondo le modalità descritte nel paragrafo 5.3.

7.1.3 Risorse umane

Le caratteristiche del personale addetto alle attività di monitoraggio dovranno soddisfare ai seguenti requisiti:

- competenze specifiche: conoscenza dei fenomeni di base di idraulica fluviale e esperienza nell'utilizzo delle attrezzature;
- capacità di intervento in tempi brevi, in relazione ai tempi di arrivo sulla stazione di monitoraggio e ai tempi di risposta del bacino idrografico sotteso;
- reperibilità per consentire l'effettuazione delle misure ogni qualvolta si presenti un evento significativo;
- disponibilità a svolgere mansioni operative in condizioni ambientali di norma avverse.

Il personale addetto alle misure andrà a costituire le Squadre Operative del Monitoraggio, ciascuna della quali, in forma autonoma, dovrà attivarsi a seguito di segnalazione di evento emessa dal Servizio Idrografico e portarsi sulle stazioni di monitoraggio assegnate in tempo utile per effettuare le operazioni di misura prescritte.

Per quanto sopra si ritiene necessario provvedere preventivamente all'addestramento del personale destinato alle operazioni di misura.

7.1.4 Le attrezzature e la strumentazione

La descrizione delle attrezzature e della strumentazione è riportata nel Documento n. 3: "*Attrezzature e Strumentazione di Misura*".

7.2 Attività della fase sperimentale

Gli obiettivi della fase di sperimentazione sono i seguenti:

- evidenziare le problematiche connesse all'operatività del monitoraggio (tempi di intervento, gestione di stazioni su corsi d'acqua di diverse dimensioni, sperimentazione delle attrezzature);
- fornire elementi utili per la valutazione effettiva delle esigenze in termini di risorse umane e di attrezzature da destinare alle successive due fasi del monitoraggio;
- individuare i criteri di pianificazione e coordinamento delle attività;
- fornire la taratura di un numero limitato di stazioni di monitoraggio.

Poiché si ritiene necessario concludere la fase di sperimentazione nel più breve tempo possibile, le stazioni di monitoraggio selezionate per la fase sperimentale devono essere assortite in modo tale da avere buone probabilità che eventi

meteorici di diversa natura (brevi ma intensi, oppure lunghi ma di minore intensità) producano sollecitazioni significative sui rispettivi bacini.

Una prima selezione delle stazioni di monitoraggio nella fase sperimentale è ricaduta sulle stazioni del Fiume Versilia a Ponte Tavole, del Fiume Camaiore a Camaiore e del Fiume Serchio a Ponte S.Quirico.

7.3 Attività della seconda fase

La **SECONDA FASE** ha come obiettivo la definizione delle scale di deflusso liquido e solido per le stazioni di monitoraggio previste.

Comprende pertanto le attività di misura vere e proprie da effettuarsi in corrispondenza di un numero di eventi significativi compreso tra 5 e 10 per ciascuna sezione di monitoraggio, le attività di archiviazione e analisi dei dati, sia in laboratorio sia a tavolino, per la restituzione delle grandezze fisiche di interesse (portata liquida, portata solida, altezza idrometrica, distribuzione granulometrica).

Tali attività saranno svolte da personale adeguatamente qualificato per l'esecuzione delle seguenti attività:

- definizione delle verticali di misura;
- misura dell'altezza d'acqua;
- misura della velocità del flusso;
- prelievo dei campioni di torbida;
- prelievo dei campioni di materiale trasportato al fondo;
- conferimento dei campioni prelevati al laboratorio di analisi.

Al fine di valutare in via preliminare le esigenze di personale, nella TABELLA 13 sottostante sono state individuate le squadre operative ripartire secondo le 25

stazioni di monitoraggio in funzione della loro ubicazione e dei tempi di risposta dei rispettivi bacini idrografici.

Tabella 13 – Squadre operative individuate

n. staz	Bacino	Corso d'acqua	Stazione	Squadra operativa
1	Magra	Magra	Calamazza	Squadra operativa n. 1
2	Vara	Vara	Piana Battolla	
3	Magra	Magra	Torchi	
5	Frigido	Frigido	Canevara	Squadra operativa n. 2
4	Carrione	Carrione	Carrara	
6	Versilia	Versilia	Ponte Tavole	
25	Versilia	Veza	Ruosina	
7	Camaiole	Camaiole	Camaiole	Squadra operativa n. 3
8	Serchio	Serchio	Fornoli	
9	Serchio	Lima	Chifenti	
10	Serchio	Serchio	Monte S. Quirico (o Vecchiano)	Squadra operativa n. 4
11	Arno	Arno	Nave di Rosano	
12	Arno	Ombrone PT	Poggio a Caiano	
13	Arno	Elsa	Ponte a Elsa	Squadra operativa n. 5
14	Arno	Arno	San Giovanni alla Vena	
15	Arno	Era	Belvedere	
16	Arno	Arno	Leoncini	Squadra operativa n. 6
17	Fine	Fine	Ponte SS206	
18	Cecina	Cecina	Ponte di Monterufoli	
19	Cornia	Cornia	P.te ex SS n1	
20	Bruna	Bruna	Lepri	Squadra operativa n. 7
21	Ombrone GR	Merse	Ponte a Montepescini	
22	Ombrone GR	Orcia	S. Angelo Cinigiano	
23	Ombrone GR	Ombrone	Ponte d'Istia	
24	Albegna	Albegna	Marsiliana	

7.4 Attività della terza fase

Come già detto, la **TERZA FASE** è relativa essenzialmente alle attività di gestione delle stazioni di monitoraggio e finalizzata al controllo della validità delle scale di deflusso liquide e solide ottenute nella **SECONDA FASE**.

A questo proposito occorre prevedere attività periodiche di verifica in occasione di eventi significativi con frequenza di almeno un evento ogni 1-2 anni, e comunque a seguito di eventi eccezionali, in particolare:

- misure di portata liquida e solida;
- rilievi periodici delle caratteristiche sedimentologiche dell'alveo e delle sezioni fluviali ritenute significative;
- manutenzione e verifica della strumentazione fissa e mobile.

7.5 Analisi dei costi e cronoprogramma attività

Di seguito viene fornita, per ciascuna fase, una stima e preliminare di costi, con l'avvertenza che la valutazione per la **SECONDA** e **TERZA FASE** deve essere assoggettata a verifica sulla base delle risultanze che emergeranno alla conclusione della **FASE SPERIMENTALE**.

Si evidenzia inoltre che le voci di costo sotto indicate sono da intendersi al lordo di IVA.

7.5.1 Stima dei costi **PRIMA FASE**

La prima fase comprende attività finalizzate all'integrazione e al completamento del quadro conoscitivo, come di seguito specificato.

→ attività di rilievo delle sezioni fluviali (v. par. 7.1.1):

n. 200 sezioni topografiche a € 250/sezione	€ 50.000
---	----------

→attività di rilievo sedimentologico (v. par. 7.1.2):

rilievi sedimentologici su 17 corsi d'acqua	€ 20.000
---	----------

analisi dei dati sedimentologici	€ 5.000
----------------------------------	---------

→attività di formazione personale addetto al monitoraggio (v. par. 7.1.3):

corso di addestramento e predisposizione Linee Guida	€ 45.000
--	----------

→attrezzature e strumentazione (v. par. 7.1.4):

acquisizione attrezzature e strumentazione, fisse e mobili	€ 110.000
--	-----------

acquisizione attrezzature di laboratorio (eventuali)	€ 99.000
--	----------

COSTO TOTALE PRIMA FASE	€ 329.000
--------------------------------	------------------

7.5.2 Stima dei costi FASE SPERIMENTALE

La valutazione dei costi è condotta ipotizzando le attività della FASE SPERIMENTALE riferite a n. 3 stazioni di monitoraggio, per l'arco temporale di 1 anno (365 giorni consecutivi) e con una previsione di operazioni di misura

riferite a 5 eventi significativi in media per ciascuna stazione (in totale 15 eventi in un anno).

In tale fase sono previsti costi esclusivamente di personale e riferiti a:

- le attività di acquisizione, conferimento e analisi dei campioni in laboratorio;
- l'archiviazione, l'analisi e la restituzione dei dati;
- la taratura di n. 3 stazioni, attraverso la definizione della scala di deflusso liquido e solido.

Prevedendo una squadra operativa composta da un rilevatore senior e tre rilevatori junior, inclusa l'indennità di reperibilità per 365 giorni/anno, la manutenzione delle attrezzature, il materiale di consumo e le spese varie, il costo complessivo risulta:

COSTO TOTALE FASE SPERIMENTALE € 152.000

L'analisi dettagliata delle singole voci di costo è riportata nella relazione tecnica: *“Attrezzature e strumentazioni di misura”*.

7.5.3 Stima dei costi SECONDA FASE

Nella SECONDA FASE sono previste le stesse attività svolte nella FASE SPERIMENTALE, ma estese a tutte le 25 stazioni considerate nel presente Progetto di monitoraggio. Anche in tal caso il costo è riferito al monitoraggio di 5 eventi significativi per anno e per ciascuna stazione, includendo tutte le attività già descritte per la fase sperimentale.

Risultano altresì esclusi i costi connessi all'acquisizione e manutenzione delle attrezzature e delle strumentazioni di misura, in quanto si ritiene che, in

un'ottica di monitoraggio continuo nel tempo, le singole squadre operative facciano parte di apposite Società di Servizi in grado di dotarsi delle suddette attrezzature.

Ipotizzando inoltre una contrazione di circa il 25% dei costi rispetto a quanto previsto per la FASE SPERIMENTALE, sia per l'esperienza in questa acquisita, sia per le maggiori dimensioni del lavoro, si ritiene che il costo complessivo annuo per la taratura delle 25 stazioni risulti:

COSTO TOTALE SECONDA FASE € 950.000

Occorre osservare che, sia per la FASE SPERIMENTALE, che per la SECONDA FASE, qualora nell'arco dell'anno non si raggiunga il monitoraggio di eventi significativi nel numero previsto, almeno 5 per ogni stazione, le stesse attività proseguiranno negli anni successivi, dovendosi prevedere in tal caso un costo aggiuntivo solo per la parte relativa all'indennità annua di reperibilità, rimanendo tutti gli altri costi sempre riferiti al verificarsi dell'effettivo monitoraggio degli eventi significativi nel numero previsto.

7.5.4 Stima dei costi TERZA FASE

Per la terza fase, i costi sono riferiti al solo controllo nel tempo della validità delle scale di deflusso ricavate nella SECONDA FASE. Assumendo a tal fine un onere pari al 25% di quanto speso nella seconda fase, il costo annuo per la TERZA FASE è stimato in:

COSTO TOTALE ANNUO TERZA FASE € 238.000

7.6 Cronoprogramma delle attività di monitoraggio

Le diverse attività descritte sono di seguito organizzate secondo lo sviluppo temporale previsto nel cronoprogramma.

PRIMA FASE																	
Attività\Mese	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	G	F	M	A	M
Selezione personale (par. 7.1.3)	■	■	■														
Attività di formazione e di addestramento del personale (par. 7.1.3)				■	■	■											
Acquisto attrezzature (par. 7.1.4)	■	■	■	■	■												
Allestimento laboratorio di sedimentologia (par. 7.1.4)			■	■	■	■											
Rilievi topografici (par. 7.1.1)	■	■	■	■	■	■											
Rilievi sedimentologici (par. 7.1.2)	■	■	■	■	■	■											

FASE SPERIMENTALE

Attività\Mese																ANNI				
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	G	F	M	A	M	1	2	3
Fase di campo (attività di misura del trasporto solido)																				
Fase di laboratorio (attività di analisi dei campioni)																				
Fase di elaborazione dati (scale di deflusso liquido e solido) e archiviazione																				

SECONDA FASE

Attività\Mese																ANNI					
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	G	F	M	A	M	1	2	3	
Reclutamento e formazione del personale																					
Attività di misura del trasporto solido e analisi di laboratorio																					
Fase di elaborazione dati (scale di deflusso liquido e solido) e archiviazione																					

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Regione Toscana**, Ufficio del Genio Civile di Grosseto, Progetto dell'impianto di monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del fiume Ombrone Grossetano, Relazione Tecnica sui Rilievi d'Alveo, Firenze, agosto 1995.
- [2] **Regione Toscana**, Ufficio del Genio Civile di Grosseto, "Progetto dell'impianto di monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del fiume Ombrone Grossetano", Relazione Tecnica sulle Misure di Portata Liquida e Solida, Firenze, aprile 2001.
- [3] **Regione Toscana**, Ufficio del Genio Civile di Grosseto, "Progetto dell'impianto di monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del fiume Ombrone Grossetano", Elaborazione Dati e Analisi della Dinamica Fluviale - Relazione Tecnica Conclusiva, Firenze, febbraio 2002.
- [4] **Regione Toscana**, "Studi preliminari per il piano di bacino del f. Ombrone", Relazione Finale, Dinamica Fluviale e Aspetti Progettuali, Firenze, marzo 1991.
- [5] **Billi P, Paris E.**, "Bed sediment characterization in river engineering problems", Proceedings of the Int. Symposium on Erosion and Sediment transport Monitoring programmes in River Basins, Oslo, 1992.
- [6] **Consorzio di Bonifica della Val d'Orcia, Montepulciano**, "Utilizzazione delle acque del F. Orcia - Serbatoio di S. Piero in Campo", Impresa Pizzarotti & C S.p.A., Milano, Parma, luglio 1985.
- [7] **Milano V.**, "Studio sui processi evolutivi in atto lungo il litorale grossetano tra Torre Rocchette e Cala di Forno", Relazione Tecnica, Comune di Grosseto.
- [8] **Billi P.**, "Osservazioni torbiometriche su alcuni corsi d'acqua della Toscana Meridionale", Pubblicazioni del Dipartimento di Ingegneria Civile, Universita' di Firenze, 1/88, Firenze, 1988

[9] **Regione Toscana**, Ufficio del Genio Civile di Grosseto, "Lavori per l'esecuzione delle sezioni piano – altimetriche sull'asse principale del fiume ombrone e dei suoi affluenti", IRTEF, Firenze, 1999.

[10] **Regione Toscana**, Dipartimento delle Politiche Territoriali ed Ambientali – Area Monitoraggio Idropluviometrico e Mareografico, "Integrazione del sistema dati ed allertamento e determinazione delle scale di deflusso teorico per la regione toscana - relazione generale, relazione tecnica, monografia delle stazioni idrometriche", Maggio 2003.

[11] **Autorità di bacino interregionale del fiume Magra**, " Studi per la redazione del Piano di Bacino Stralcio Rischio Idraulico nel bacino del fiume Magra", a cura di :PIN - Centro Studi Ingegneria, Prato, 1998.

[12] **SALT- Società autostrade Ligure Toscana - Sina s.p.a.**, "Autostrada A12 - Realizzazione terza corsia nel tratto S. Stefano Magra – Viareggio - studio idrologico e idraulico nell'ambito della progettazione definitiva", a cura di Physis, Firenze, 2003.

[13] **Sina s.p.a. SALT Società Autostrada Ligure Toscana**, " Realizzazione della terza corsia nel tratto S.Stefano Magra - Viareggio. Studi idrologici e idraulici di approfondimento nell'ambito della procedura di V.I.A, a cura di: Physis, Firenze, 2005.

[14] **Regione Toscana**, Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio delle Province di Lucca e Massa, Lucca, 2005.

[15] **Regione Toscana**, Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio delle Province di Lucca e Massa, "Interventi di messa in sicurezza del fiume Camaio", a cura di: prof. Ing. E. Paris, Firenze, 2003.

[16] **Comune di Camaio**, "Interventi per la messa in sicurezza del Torrente Lucese", progetti vari, a cura di: prof. Ing. E. Paris, dott. Ing. D. Settesoldi, Firenze, 2000-2003.

[17] **Autorità di Bacino del Serchio**, “ Studi e verifiche idrauliche per la redazione del PAI”, a cura di : ingg. Paris, Settesoldi, Lubello, Firenze, 2001.

[18] **Autorità di Bacino del Fiume Arno**, “ Studi e verifiche idrauliche per la redazione del PAI, Firenze, 2001.

[19] **Regione Toscana, Circondario Empolese Valdelsa**, “Interventi per la riduzione del rischio idraulico nel bacino del fiume Elsa – Valutazione degli effetti indotti sulla dinamica d'alveo, studio effettuato da Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze, 2003.

[20] **Provincia di Livorno**, “Elaborazione dati idrologici e territoriali con simulazione modellistica del fiume Fine”. A cura di : prof. Ing. E. Paris, Firenze, 1995.

[21] **Provincia di Pisa**, “Scale deflusso “, a cura di: Physis, Firenze, 1997.

[22] **Provincia di Livorno**, “Studio idraulico del fiume Cornia”, a cura di: prof. Ing. E. Paris, Firenze, 1999.

[23] **Regione Toscana, Ufficio del Commissario per gli Eventi Alluvionali Versilia 96**, “Studio per la verifica idraulica del fiume Versilia e dei suoi principali affluenti”, a cura di : prof. Ing. E. Paris, Firenze, 1998.

[24] **Regione Toscana, Ufficio del Commissario per gli Eventi Alluvionali Versilia 96**, “Rilievi sedimentologici nel bacino del fiume Versilia”, a cura di : prof. Ing. P. Billi, Firenze, 1998.

[25] **Provveditorato alle Opere Pubbliche della Toscana**, Studio per il piano di Bacino del Fiume Magra – Caratteristiche del trasporto solido e della evoluzione morfologica degli alvei e dei versanti, Firenze 1991.

[26] **Autorità di bacino interregionale del fiume Magra**, “Studio dell'evoluzione morfodinamica di un tratto del fiume Vara e analisi dell'efficacia

e dell'impatto di alcuni interventi sistematori", a cura di: Dipartimento di Ingegneria Ambientale, Università di Genova, luglio 2000.

[27] **Regione Toscana**, "Regionalizzazione delle portate di piena nel territorio della regione toscana", a cura di: PIN- Centro Studi Ingegneria, Università di Firenze, Firenze, 2004.