



Torrenti Rigualdo e Farma: valutazione del danno ambientale

Indice

Parte A: caratterizzazione idrobiologica	3
Finalità dello studio	3
Ambienti esaminati	5
Metodologia adottata	7
Risultati	9
Macrozoobentos – indagine qualitativa	9
Macrozoobentos – indagine quantitativa	11
Qualità degli alvei	15
Funzionalità fluviale	16
Indici della capacità tampone (B.S.I.) e della valenza naturalistica (W.S.I.)	17
Identificazione e localizzazione dei depositi macroscopici di sabbie	18
Tabelle e grafici dei risultati	27
Tavole tematiche	38
Schede tecniche dei risultati conseguiti	48
<i>Allegato 1: Specifiche dei metodi utilizzati</i>	64
Indice Biotico Esteso (I.B.E.)	64
Densità e Biomassa della comunità macrozoobentonica	65
Analisi dei Livelli Trofico Funzionali del Macrozoobenthos	66
Indici di Diversità delle comunità macrobentoniche	67
Indice di Qualità dell'Habitat (QHEI)	67
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)	69
Indici della capacità tampone (B.S.I.) e valenza naturalistica (W.S.I.)	71
<i>Schede di campo impiegate per l'applicazione degli specifici indici</i>	74
Parte B: caratterizzazione chimica del sedimento	81
Premessa	81
Dati pregressi	82
Criteri di indagine	92
Piano sperimentale	96
Tecniche analitiche	97
Risultati e discussione	98
Sedimenti	98
Solidi sospesi totali	114
Conclusioni	115
Parte C: valutazione economica del danno	116
Quadro normativo	116
Le condizioni alterate	117
Scelta delle componenti stimabili	119
Quantificazione del danno	120



Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

Messa in sicurezza e ripristino dei versanti	120
Ripristino dei tratti fluviali danneggiati	121
Monitoraggio.....	124
Realizzazione di un'area umida	125
Mappali catastali e viabilità di accesso per l'esecuzione degli Interventi di Recupero Ambientale	127
Bibliografia	135



Parte A: caratterizzazione idrobiologica

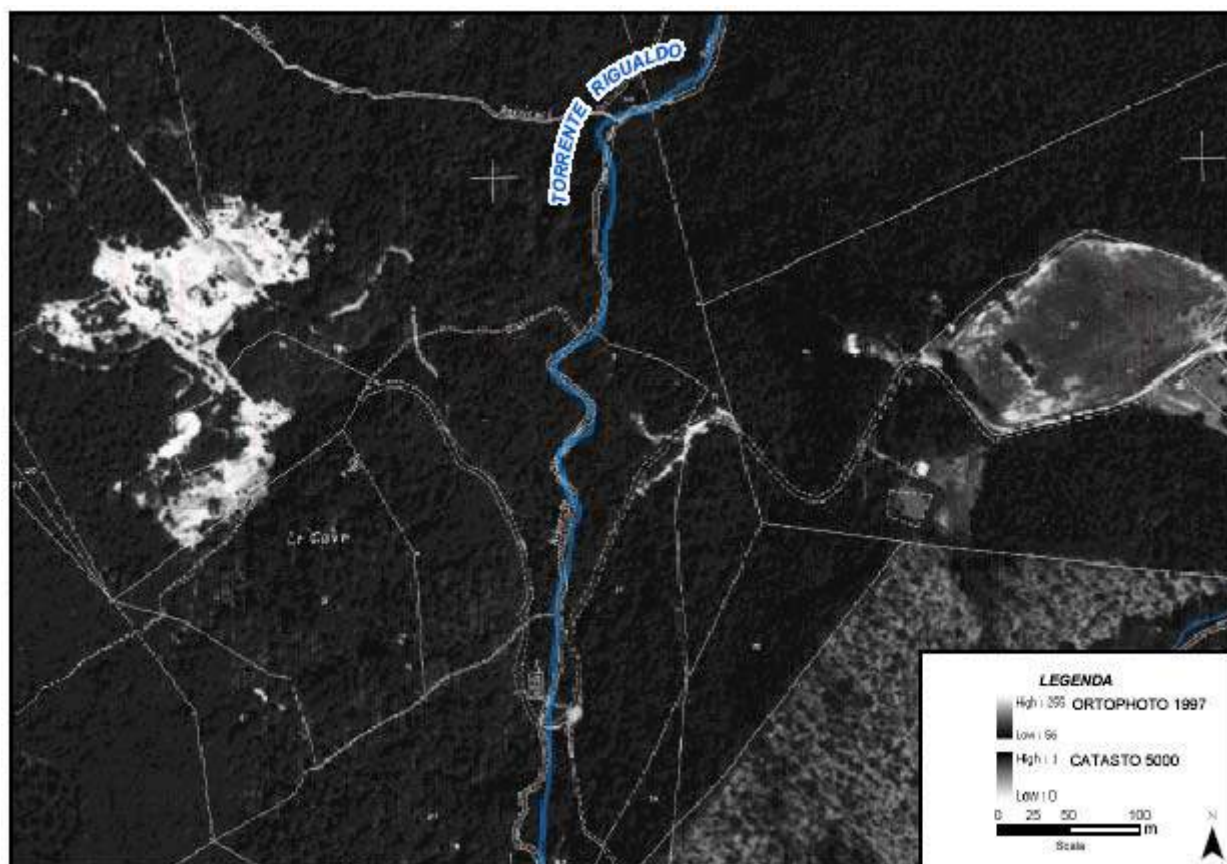
Finalità dello studio

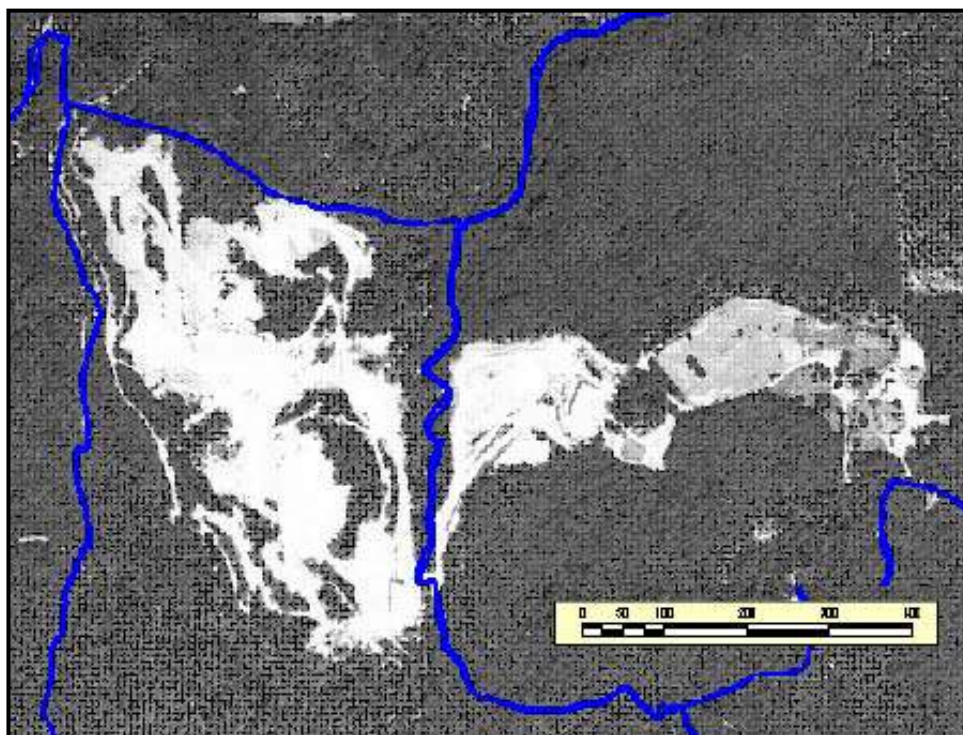
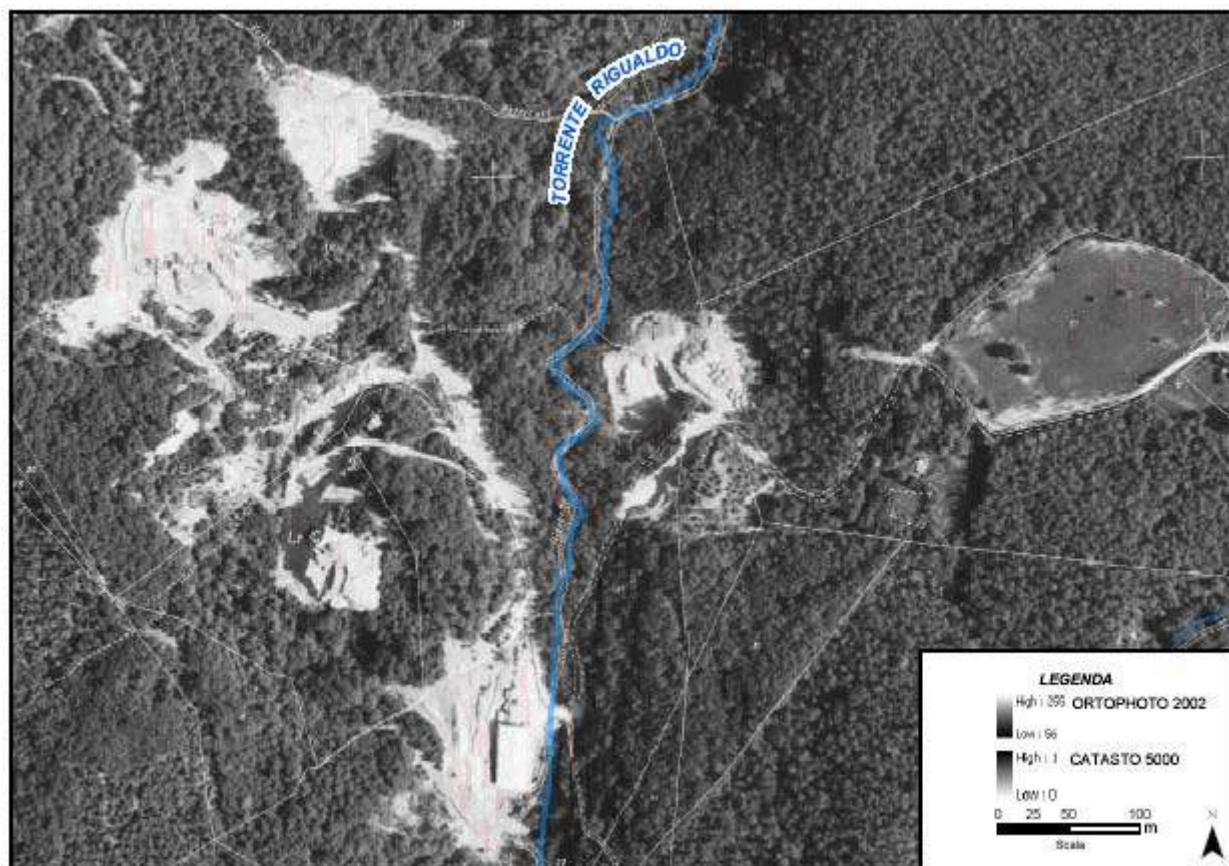
Per stimare l'entità del danno ambientale causato dalle attività estrattive di caolino, operate dalla Ditta Caolino d'Italia S.r.l., sono state analizzate in dettaglio le condizioni idrobiologiche dei Torrenti Rigualdo e Farma e sono state condotte identiche analisi di confronto e riferimento sui corsi d'acqua Gretano e Beccaraio.

Le indagini finalizzate a definire lo stato di fatto dei corsi d'acqua, dalla località Piloni sul T. Rigualdo al tratto "Canaloni" del T. Farma, sono state condotte con le seguenti attività:

- analisi qualitativa e quantitativa della fauna macrobentonica;
- valutazione della qualità e funzionalità di alveo, rive e corridoio fluviale;
- identificazione e localizzazione delle alterazioni presenti in alveo e nella fascia riparia.

Il confronto delle seguenti ortofoto relative al 1997, al 2002 e al 2006 sintetizza i cambiamenti intervenuti nell'area mineraria e da quella più recente si capisce l'entità della superficie esposta al dilavamento meteorico, che alimenta il trasporto degli inerti nel T. Rigualdo e nel T. Farma.







Ambienti esaminati

La scelta delle sezioni e dei tratti da prendere in esame è stata operata tenendo in considerazione il profilo longitudinale dei corsi d'acqua considerati e la localizzazione delle attività estrattive.

La consultazione della Tavola 1 nell'appendice "Tavole tematiche" permette di vedere in dettaglio la georeferenziazione dei 15 tratti oggetto delle indagini idrobiologiche.

I codici attribuiti alle diverse stazioni di monitoraggio fanno esplicito riferimento al corso d'acqua esaminato (prime due lettere) ed alla quota espressa in m s.l.m. (parte numerica).

La localizzazione delle aree esaminate è la seguente:

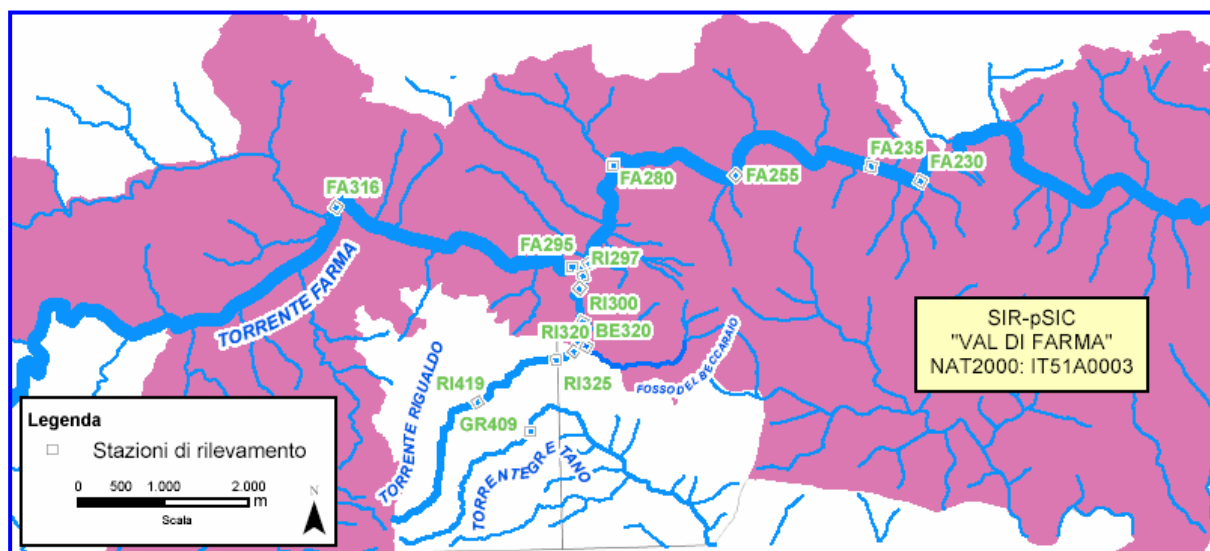
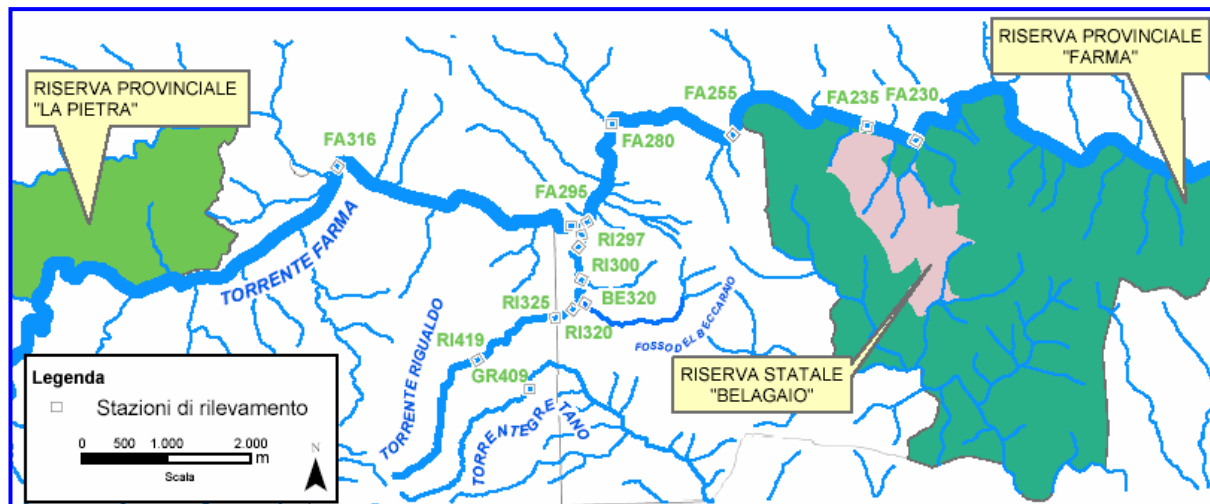
Codice	Corso d'acqua
FA316	Torrente Farma a valle della confluenza con il F. Farmulla
FA300	Torrente Farma a monte della confluenza con il T. Rigualdo
FA295	Torrente Farma a valle della confluenza con il T. Rigualdo
FA280	Torrente Farma a monte della Ferriera
FA255	Torrente Farma alla Ferriera
FA235	Torrente Farma a valle della confluenza del Fosso al Cinghiale
FA230	Torrente Farma a Canaloni
RI419	Torrente Rigualdo al ponte della SS Senese Aretina n. 73
RI325	Torrente Rigualdo a monte della confluenza con il Fosso del Beccaraio
RI320	Torrente Rigualdo immediatamente a monte della confluenza con il Fosso del Beccaraio
RI310	Torrente Rigualdo località Casaloni
RI300	Torrente Rigualdo località i Colli
RI297	Torrente Rigualdo a monte della confluenza con il T. Farma
GR409	Fosso Gretano al ponte della SS Senese Aretina n. 73
BE320	Fosso del Beccaraio alla confluenza con il T. Rigualdo

I tratti in cui si sono condotti i rilevamenti per il monitoraggio di qualità dell'ambiente fluviale e perifluviale hanno i seguenti riferimenti geografici-amministrativi:

	Comune in Sinistra idrografica	Comune in Destra idrografica	X	Y	Quota CTR (m s.l.m.)	Distanza progressiva dalla Miniera (m)
FA316	Monticiano	Roccastrada	1673768	4772545	316	-
FA300	Monticiano	Roccastrada	1676586	4771842	300	-
FA295	Monticiano	Roccastrada	1676699	4771864	295	3420
FA280	Monticiano	Roccastrada	1677012	4773038	280	4820
FA255	Monticiano	Roccastrada	1678447	4772918	255	6440
FA235	Monticiano	Roccastrada	1680013	4773030	235	8527
FA230	Monticiano	Roccastrada	1680613	4772850	230	9194
RI419	Roccastrada	Roccastrada	1675434	4770268	419	700
RI325	Roccastrada	Roccastrada	1676319	4770761	325	1874
RI320	Roccastrada	Roccastrada	1676541	4770853	320	2130
RI310	Roccastrada	Roccastrada	1676667	4771205	310	2613
RI300	Roccastrada	Roccastrada	1676624	4771600	300	3115
RI297	Roccastrada	Roccastrada	1676637	4771802	297	3336
GR409	Roccastrada	Roccastrada	1676042	4769922	409	-
BE320	Roccastrada	Roccastrada	1676663	4770940	320	-



Rispetto agli ambiti di tutela (Riserve provinciali e statali, SIC) presenti nell'area in esame le stazioni predefinite hanno la seguente posizione:



Nella seguente tabella si sono esplicitati, per singolo tratto di monitoraggio, i relativi vincoli di tutela ambientale:

	Tutela	
FA316	SIR - pSIC IT51A0003	
FA300	SIR - pSIC IT51A0003	
FA295	SIR - pSIC IT51A0003	
FA280	SIR - pSIC IT51A0003	
FA255	SIR - pSIC IT51A0003	
FA235	SIR - pSIC IT51A0003	Riserva Provinciale Farma
FA230	SIR - pSIC IT51A0003	Riserva Provinciale Farma
RI310	SIR - pSIC IT51A0003	
RI300	SIR - pSIC IT51A0003	
RI297	SIR - pSIC IT51A0003	
BE320	SIR - pSIC IT51A0003	



Metodologia adottata

In campo, il 26 novembre 2005, il 16 marzo 2006 e il 6 aprile 2006 si sono eseguiti i campionamenti di macroinvertebrati bentonici ed i rilievi predefiniti dai protocolli degli indici ambientali utilizzati.

Complessivamente sono state prese in esame le 15 aree di indagine indicate nella mappa 1 e le analisi eseguite sono, per singolo tratto, quelle indicate con "X" nella seguente tabella:

Codice	Corso d'acqua	Indici ambientali	Macroentos qualità	Densità e Biomassa Macroentonica
FA316	Torrente Farma	X	X	X
FA300	Torrente Farma	X	X	X
FA295	Torrente Farma	X	X	X
FA280	Torrente Farma	X		
FA255	Torrente Farma	X	X	X
FA235	Torrente Farma	X	X	X
FA230	Torrente Farma	X		
RI419	Torrente Rigualdo	X	X	X
RI325	Torrente Rigualdo	X		
RI320	Torrente Rigualdo	X	X	X
RI310	Torrente Rigualdo	X		
RI300	Torrente Rigualdo	X		
RI297	Torrente Rigualdo	X	X	X
GR409	Torrente Gretano	X	X	X
BE320	Fosso Beccaraio	X	X	X

In questo contesto ci si limita a riportare il semplice elenco delle indagini eseguite. Le informazioni più dettagliate nonché i particolari tecnici delle specifiche metodiche applicate sono stati raccolti nell'Allegato 1.

L'ambiente acquatico, comprensivo degli ambiti ripari e del territorio limitrofo ai corsi d'acqua, è stato analizzato con le seguenti indagini:

- I.B.E. (Indice Biotico Esteso) tramite il quale si identifica la classe di qualità biologica dei corsi d'acqua (D.Lgs.152/99 e s.m. e D.Lgs. 152/06) utilizzando le comunità dei macroinvertebrati bentonici (Ghetti, 1997);
- Densità e Biomassa della comunità macrozoobentonica che forniscono, in termini quantitativi, la disponibilità di alimento per la fauna ittica e il "successo" di colonizzazione e sopravvivenza di questi organismi nei diversi substrati.
- Indici Trofico-Funzionali relativi al ruolo trofico degli invertebrati bentonici che sono condizionati dalla disponibilità di cibo e, quindi, dalla tipologia dell'habitat acquatico;
- Vari indici (H' , H_{max} , J e D) genericamente definiti di Diversità, applicati alla densità relativa e alla varietà tassonomica degli invertebrati che compongono le comunità bentoniche.
- QHEI (Qualitative Habitat Evaluation Index o Indice di Valutazione della Qualità dell'Habitat) che è stato messo a punto dall'EPA (EPA, 1989) ed è ampiamente utilizzato negli Stati Uniti



d'America per valutare l' idoneità dei tratti fluviali per la fauna ittica (Somerville & Pruitt 2004) per la cui applicazione sono stati condotti i rilievi indicati nella specifica scheda QHEI;

- I.F.F. (Indice di Funzionalità Fluviale) per una identificazione ponderata dello stato complessivo dell'ambiente fluviale e della sua funzionalità, intesa come una sinergia di fattori sia biotici sia abiotici presenti nell'ecosistema fluviale (ANPA, 2000) e si è impiegata la specifica scheda di campo I.F.F.;
- B.S.I. (Buffer Strip Index o Indice della capacità tampone) che fornisce la misura della capacità delle rive di filtrare, metabolizzare e bioaccumulare gli elementi ed i composti veicolati sia dalle acque fluviali sia dalle acque di dilavamento superficiale e subsuperficiale (Braioni e Penna, 1998);
- W.S.I. (Wild State Index o Indice della valenza naturalistica) valuta lo stato di naturalità degli alvei e delle rive e riflette la loro potenzialità nel sostenere un relativo livello di biodiversità (Braioni e Penna, 1998).

I protocolli applicativi degli indici ambientali adottati per questa indagine hanno specifiche schede di campo che sono state riportate nell'allegato 1 dei metodi.

Tutti gli indici utilizzati hanno specifici modelli di calcolo. Tramite il software RIVE 5.0 (Braioni et al., 2001) sono stati elaborati i dati ottenuti con gli Indici che esprimono la capacità tampone (B.S.I.) e la valenza naturalistica (W.S.I.). Con un foglio di calcolo in Excel si sono sommati i "punteggi" applicati alle condizioni riscontrate con l'indice della funzionalità fluviale (I.F.F.) e l'indice di qualità del habitat acquatico (QHEI).

Quasi tutti i metodi di analisi giungono alla definizione di cinque principali classi di qualità complessiva che sono: Ottimo, Buono, Mediocre, Scadente, Pessimo e forniscono precise indicazioni circa gli elementi considerati che costituiscono, per il minor punteggio specifico, una condizione critica per la qualità complessiva.

I risultati delle singole indagini, pur essendo dati estremamente dissimili, sono stati posti a diretto confronto, in unica pagina di consultazione specifica per ciascun tratto esaminato. Si sono realizzate 15 schede ambientali, riportate nell'Allegato 2, che contengono tutti i risultati conseguiti con le indagini condotte ed evidenziano, in modo estremamente sintetico, le condizioni positive e negative riscontrate. Questo modo di procedere è motivato dall'esigenza di fornire un quadro unitario della qualità complessiva attuale.



Risultati

Macrozoobentos – indagine qualitativa

Le unità sistematiche macrozoobentoniche, rinvenute nei campionamenti semiquantitativi, sono riportate nella Tabella 1 della successiva parte "Tabelle e grafici dei risultati".

Dalle Tavole 2, 3 e 4 riportate nel successivo "Tavole tematiche", e dalla sintetica sottostante tabella si apprezzano le variazioni spaziali e temporali rilevate con l'applicazione di questo sintetico indice biotico.

L'abbondanza di unità sistematiche ed i valori dell'Indice Biotico Esteso, con le relative classi di qualità, sono:

	Sezione	U.S.	I.B.E.	C.Q.	Giudizio
Novembre 05	FA300	6	8	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
	FA295	4	-	-	Ambiente non giudicabile
	RI419	8	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI320	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI297	4	-	-	Ambiente non giudicabile
	GR409	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
Marzo 06	FA316	8	8	II	Ambiente inquinato o comunque alterato
	FA255	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI419	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI320	7	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI297	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	BE320	12	9	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
Aprile 06	FA316	13	9	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
	FA300	10	8	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
	FA295	10	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	FA255	14	9	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
	RI419	6	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI320	9	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	RI297	8	7	III	Ambiente inquinato o comunque alterato
	GR409	8	8	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
	BE320	12	9	II	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione

Il 26 novembre 2005 nelle stazioni poste sul T. Rigualdo a 297 m s.l.m. e sul T. Farma a 295 m s.l.m. le condizioni dell'habitat acquatico sono risultate talmente alterate dal trasporto di sedimento (Vedi Allegato 4 con segnalazione e relative immagini fotografiche) che le comunità di macroinvertebrati bentonici erano costituite da un esiguo numero di Unità Sistematiche di drift per cui l'Indice Biotico Esteso non poteva essere applicato.

Il 16 marzo 2006 il T. Farma a 255 m s.l.m. ha una III classe di qualità, identica a quelle riscontrate in tre sezioni del T. Rigualdo e questa condizione risulta nettamente inferiore alle classi di qualità dello stesso T. Farma a 320 m s.l.m. e sul Fosso Beccaraio.

Il 6 aprile 2006 tutto il T. Rigualdo esaminato è di III Classe (IBE di 7) ed analoga condizione risulta sul T. Farma alla quota di 295 m s.l.m. mentre tutte le altre zone esaminate (Gretano, Beccaraio e Farma sia a monte sia a valle) sono in una condizione decisamente migliore con una II classe di qualità.



Risulta evidente che i tratti depauperati di varietà macrobentonica sono: il T. Rigualdo da 419 a 297 m e il T. Farma a 295 m di quota.

Se si analizza più in dettaglio lo stato delle comunità macrobentoniche prendendo in considerazione l'abbondanza relativa e la varietà degli invertebrati più sensibili (EPT taxa) e la percentuale dei singoli gruppi trofici funzionali, riportate nelle seguenti tabelle:

		FA 316	FA 300	FA 295	FA 255	RI 419	RI 320	RI 297	GR 409	BE320
Novembre 05	Abbondanza relativa		37	16		21	8	12	31	
	EPT taxa		33	16		16	6	12	27	
	EPT/Totale		0,89	1,00		0,76	0,75	1,00	0,87	
	Raccoglitori (%)		3	0		19	25	0	3	
	Filtratori (%)		0	0		14	13	0	0	
	Raschiatori (%)		11	19		0	25	17	3	
	Trituratori (%)		54	44		52	25	25	55	
	Predatori (%)		32	38		14	13	58	39	
Marzo 06	Abbondanza relativa	11			9	11	15	9		25
	EPT taxa	8			6	9	7	6		23
	EPT/Totale	0,73			0,67	0,82	0,47	0,67		0,92
	Raccoglitori (%)	36			44	27	33	44		24
	Filtratori (%)	18			11	27	7	0		12
	Raschiatori (%)	9			11	27	13	11		12
	Trituratori (%)	18			11	0	7	22		40
	Predatori (%)	18			22	18	20	22		12
Aprile 06	Abbondanza relativa	24	16	24	27	16	24	15	19	23
	EPT taxa	16	12	15	18	14	19	10	16	16
	EPT/Totale	0,67	0,75	0,63	0,67	0,88	0,79	0,67	0,84	0,70
	Raccoglitori (%)	29	44	42	30	38	38	33	21	4
	Filtratori (%)	4	6	0	0	0	4	7	0	9
	Raschiatori (%)	13	13	13	11	19	13	20	0	17
	Trituratori (%)	13	6	4	19	31	25	7	37	39
	Predatori (%)	42	31	42	41	13	21	33	42	30

		FA 316	FA 300	FA 295	FA 255	RI 419	RI 320	RI 297	GR 409	BE320
Novembre 05	Varietà		6	4		8	6	4	6	
	EPT taxa		5	4		4	4	4	4	
	EPT/Totale		0,83	1,00		0,50	0,67	1,00	0,67	
	Raccoglitori (%)		17	0		38	33	0	17	
	Filtratori (%)		0	0		13	17	0	0	
	Raschiatori (%)		17	25		0	17	25	17	
	Trituratori (%)		17	25		25	17	25	33	
	Predatori (%)		50	50		25	17	50	33	
Marzo 06	Varietà	8			6	6	8	6		12
	EPT taxa	7			5	5	4	5		10
	EPT/Totale	0,88			0,83	0,83	0,50	0,83		0,83
	Raccoglitori (%)	25			33	33	25	33		25
	Filtratori (%)	25			17	33	13	0		8
	Raschiatori (%)	13			17	17	13	17		8
	Trituratori (%)	25			17	0	13	33		50
	Predatori (%)	13			17	17	25	17		8
Aprile 06	Varietà	13	10	10	14	6	9	8	8	12
	EPT taxa	9	7	6	9	5	7	6	6	7
	EPT/Totale	0,69	0,70	0,60	0,64	0,83	0,78	0,75	0,75	0,58
	Raccoglitori (%)	38	40	40	29	33	33	38	25	8
	Filtratori (%)	8	10	0	0	0	11	13	0	8
	Raschiatori (%)	8	10	10	7	17	11	13	0	17
	Trituratori (%)	15	10	10	21	33	22	13	38	42
	Predatori (%)	31	30	40	43	17	22	25	38	25

Ci si rende conto che:

- nel novembre 2005, fra FA300 e FA295, stazioni poste rispettivamente a monte e a valle dell'entrata del T. Rigualdo, aumenta l'incidenza per varietà ed abbondanza relativa degli



invertebrati più sensibili (EPT taxa) e questa condizione è provocata dalla "scomparsa" dei raccoglitori, che sono considerati meno sensibili e vivono a più diretto contatto del sedimento fluviale in quanto si cibano della sostanza organica di piccole dimensioni (CPOM) depositata ed è il gruppo trofico che direttamente e più delle altre categorie trofiche risente delle alterazioni del substrato;

- il T. Rigualdo ha, rispetto al T. Gretano, una minore abbondanza relativa e varietà sistematica di invertebrati trituratori la cui presenza è riconosciuta, in tutti i tratti montani dei corsi d'acqua, quale sinonimo di efficienza funzionale in quanto rappresentano il più importante anello della rete trofico-energetica e la loro mancanza o carenza attesta un forte squilibrio indotto o per l'alterazione delle vegetazione riparia o per cambiamenti nella condizione morfofisiografica dell'alveo.

Macrozoobentos – indagine quantitativa

Lo scenario che risulta dai risultati ottenuti con l'analisi quantitativa della fauna macrobentonica integra ed approfondisce quanto è emerso dai dati qualitativi precedentemente commentati.

La Tabella 2 ed i grafici numerati da 1 a 4, riportati nella successiva sezione "Tabelle e grafici dei risultati", illustrano in dettaglio la situazione emersa sia per le densità sia per le biomasse calcolate con i risultati delle tre repliche di campionamento eseguite nei tratti esaminati.

E' opportuno segnalare:

- le naturali elevate differenze qualitative e quantitative che si riscontrano all'interno del singolo tratto, fra le tre repliche di campionamento, imputabili alla naturale distribuzione spaziale degli invertebrati che non sono uniformemente presenti, ma si aggregano con un modello spaziale definito "contagioso";
- il dissimile contributo che gli specifici gruppi trofico-funzionali apportano alla densità e alla biomassa complessiva, a causa delle notevoli differenze fra le dimensioni corporee degli invertebrati che hanno un diverso regime alimentare.

I valori medi di densità (org./m²) e di biomassa (mg P.S./m²) sono riportati nella seguente tabella:

	Novembre 05		Marzo 06		Aprile 06	
	Dens.	Biom.	Dens.	Biom.	Dens.	Biom.
FA316			741,8	535,6	770,0	659,5
FA300	507,0	350,9			732,4	596,3
FA295	281,7	125,0			666,7	487,3
FA255			272,3	163,5	863,8	516,2
RI419	206,6	317,2	300,5	251,6	422,5	292,3
RI320	187,8	86,3	375,6	197,1	460,1	302,2
RI297	150,2	116,6	328,6	268,9	347,4	243,2
GR409	535,2	276,7			676,1	455,3
BE320			779,3	552,7	873,2	704,2

Per quanto riguarda il Torrente Farma, nel tratto della Ferriera (stazione FA255) si ha, nel mese di aprile del 2006, la massima densità (864 org./m²) mentre la maggiore biomassa è stata rilevata a valle della confluenza con il Farmulla (FA316 con 660 mg P.S./m²). Il T. Rigualdo ha,



rispetto al T. Farma, al T. Gretano e al Fosso Beccaraio, densità e biomasse di invertebrati bentonici quasi sempre nettamente inferiori.

La lettura di questi valori risulta semplificata se si esaminano le differenze rilevate, nei diversi periodi esaminati, fra i tratti longitudinali dello stesso ambiente fluviale, posti a diversa quota, e fra le sezioni, di diversi corsi d'acqua, localizzati ad un simile livello altimetrico:

Densità (org./m ²)	da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
	FA316	FA300			-37,6
	FA300	FA295	-225,4		-65,7
	FA295	FA255			197,2
	RI419	RI320	-18,8	75,1	37,6
	RI320	RI297	-37,6	-46,9	-112,7
	GR409	RI419	-328,6		-253,5
	BE320	RI320		-403,8	-413,1

Biomassa (mg P.S./m ²)	da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
	FA316	FA300			-63,2
	FA300	FA295	-225,9		-109,0
	FA295	FA255			28,9
	RI419	RI320	-230,9	-54,5	9,9
	RI320	RI297	30,4	71,9	-59,0
	GR409	RI419	40,5		-163,0
	BE320	RI320		-355,6	-402,0

Il T. Farma, dopo l'immissione del T. Rigualdo, alla quota di 295 m s.l.m. "perde" un discreto numero ed un'importante aliquota della biomassa. Infatti, nel novembre 2005, si è riscontrata una riduzione del 44% della densità e del 64% della biomassa ed un parziale recupero si è verificato solo ad aprile 2006, nella stazione FA255, ad una distanza di circa 3 km.

Particolarmente evidenti sono le differenze rilevate fra il T. Gretano (GR409) e il T. Rigualdo (RI 419) ed ancora fra il Fosso Beccaraio (BE320) e la stazione sul Rigualdo posta ad analoga quota (RI320). I dati precedentemente riportati quantificano le variazioni quantitative delle comunità macrobentoniche che ammontano al massimo:

GR409 vs RI419 al 61% della densità e al 36% della biomassa;
BE320 vs RI320 al 64% della densità e al 57% della biomassa .

Facendo riferimento alle sole unità sistematiche considerate più sensibili (EPT taxa) si sono quantificate le seguenti densità e biomasse:

EPT taxa	Novembre 05		Marzo 06		Aprile 06	
	Dens.	Biom.	Dens.	Biom.	Dens.	Biom.
FA316			554,0	488,4	488,3	337,5
FA300	385,0	316,0			525,8	449,6
FA295	281,7	125,0			262,9	163,5
FA255			253,5	159,6	507,0	335,8
RI419	65,7	152,9	206,6	218,9	309,9	260,0
RI320	131,5	80,7	375,6	197,1	281,7	247,5
RI297	84,5	109,3	328,6	268,9	187,8	174,7
GR409	488,3	238,3			525,8	432,1
BE320			619,7	497,0	554,0	416,1



Come per l'intera comunità macrozoobentonica si sono quantificate, nelle seguenti tabelle, le differenze di densità e biomassa degli EPT taxa, rilevate fra le diverse sezioni:

EPT taxa Densità (org./m ²)	da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
	FA316	FA300			37,6
	FA300	FA295	-103,3		-262,9
	FA295	FA255			244,1
	RI419	RI320	65,7	169,0	-28,2
	RI320	RI297	-46,9	-46,9	-93,9
	GR409	RI419	-422,5		-216,0
	BE320	RI320		-244,1	-272,3

EPT taxa Biomassa (mg P.S./m ²)	da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
	FA316	FA300			112,1
	FA300	FA295	-191,0		-286,1
	FA295	FA255			172,3
	RI419	RI320	-72,2	-21,8	-12,5
	RI320	RI297	28,6	71,9	-72,8
	GR409	RI419	-85,4		-172,1
	BE320	RI320		-300,0	-168,7

Come si nota è elevata la perdita di densità (60%) e biomassa (64%) di EPT taxa delle comunità che colonizzano la sezione FA295 rispetto alla comunità presente in FA300.

Le maggiori differenze fra le densità e le biomasse di EPT taxa del T. Gretano nei confronti del T. Rigualdo sono, rispettivamente del 87% e del 40% ed ancora, fra T. Beccaraio e il T. Rigualdo la perdita massima ammonta al 49% per la densità e al 60% per la biomassa.

Per quanto riguarda la diversità calcolata con le densità delle unità sistematiche, i valori dell'indice di Shannon (H') sono i seguenti:

	Indice di diversità (H')		
	Nov. 2005	Mar. 2006	Apr. 2006
FA316		2,58	3,13
FA300	2,09		2,89
FA295	1,17		2,55
FA255		1,45	2,90
RI419	1,10	2,53	2,53
RI320	1,95	1,66	2,57
RI297	1,15	1,77	2,30
GR409	1,59		2,45
BE320		2,97	2,81

E la distanza dalla massima equiripartizione delle densità delle singole unità sistematiche che costituiscono le comunità macrobentoniche è rappresentata dai seguenti valori che esprimono l'indice di Eveness:



	Indice Eveness (J)		
	Nov. 2005	Mar. 2006	Apr. 2006
FA316		0,92	0,92
FA300	0,87		0,93
FA295	0,86		0,84
FA255		0,79	0,84
RI419	0,92	0,95	0,93
RI320	0,93	0,90	0,91
RI297	0,74	0,90	0,86
GR409	0,84		0,89
BE320		0,92	0,89

Il "dove" e il "quanto" si perde o si guadagna in diversità macrobentonica risulta evidente dal seguente confronto:

da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
FA316	FA300			-0,24
FA300	FA295	-0,92		-0,34
FA295	FA255			0,36
RI419	RI320	0,86	-0,87	0,04
RI320	RI297	-0,80	0,11	-0,26
GR409	RI419	-0,49		0,08
BE320	RI320		-1,31	-0,24

I valori sembrano modesti ma, considerando che si tratta di un indice di diversità, l'aliquota di variazione non è affatto sottovalutabile; infatti dalla seguente tabella si apprezza la percentuale di riduzione che subisce il T. Farma nel tratto immediatamente a valle dell'immissione del T. Rigualdo e l'evidente minore diversità del Rigualdo nei confronti dei corsi d'acqua Gretano e del Beccaraio:

da	a	Nov. 05	Mar. 06	Apr. 06
FA316	FA300			-7,7%
FA300	FA295	-44,1%		-11,9%
FA295	FA255			13,9%
RI419	RI320	78,3%	-34,3%	1,6%
RI320	RI297	-40,9%	6,8%	-10,3%
GR409	RI419	-31,1%		3,4%
BE320	RI320		-44,0%	-8,4%



Qualità degli alvei

Con l'Indice QHEI si è ottenuto un quadro unitario di confronto della qualità degli alvei rilevati nei quindici tratti esaminati (Tabella 3 e Tavola 5).

La condizione è alquanto disomogenea e non è certo elevata, infatti:

- nel T. Farma la qualità è prevalentemente "mediocre" (III Classe di Qualità) nel tratto compreso fra la quota di 295 e 235 m s.l.m. ed è "buona" (II Classe di Qualità) a monte (FA316 e FA300) e a valle (FA230);
- nel T. Rigualdo la qualità degli alvei è "scadente" (IV Classe di Qualità) in 5 dei 6 tratti esaminati ed "pessima" (V Classe di Qualità) alla quota di 297 m s.l.m.;
- il T. Gretano e il Fosso Beccaraio sono, rispettivamente di II e III classe di qualità.

Con l'applicazione di questo indice QHEI si è in grado di individuare, oltre ad altri numerosi aspetti morfo-fisiografici del corso d'acqua, il grado di sinuosità e l'abbondanza di zone idonee alla fauna ittica. I dati relativi ai quindici tratti esaminati sono i seguenti:

	Sinuosità	Rifugi fauna ittica	Punteggio	Classe
FA316	Moderata	Moderata (25 – 75 %)	76	II
FA300	Bassa	Moderata (25 – 75 %)	79	II
FA295	Bassa	Scarsa (5 – 25 %)	51	III
FA280	Bassa	Scarsa (5 – 25 %)	58	III
FA255	Bassa	Scarsa (5 – 25 %)	58	III
FA235	Moderata	Scarsa (5 – 25 %)	59	III
FA230	Moderata	Moderata (25 – 75 %)	69	II
RI419	Bassa	Assenti (< 5 %)	39	IV
RI325	Bassa	Assenti (< 5 %)	40	IV
RI320	Bassa	Assenti (< 5 %)	38	IV
RI310	Bassa	Assenti (< 5 %)	38	IV
RI300	Bassa	Assenti (< 5 %)	38	IV
RI297	Bassa	Assenti (< 5 %)	19	V
GR409	Bassa	Assenti (< 5 %)	65	II
BE320	Bassa	Assenti (< 5 %)	50	III

Gli aspetti che più degli altri incidono nella qualità complessiva delle singole aree esaminate sono i seguenti:

	Criticità a	Criticità b	Criticità c
FA316	Substrato nei riffle		
FA300	Inclusione di materiali fini nei riffle	Substrato nei riffle	Morfologia
FA295	Inclusione di materiali fini		
FA280	Quantità di silt	Inclusione di materiali fini	
FA255	Quantità di silt	Inclusione di materiali fini	
FA235	Inclusione materiali fini		
FA230	Quantità di silt	Inclusione di materiali fini	
RI419	Inclusione di materiali fini		
RI325	Inclusione di materiali fini		
RI320	Inclusione di materiali fini		
RI310	Inclusione di materiali fini		
RI300	Inclusione di materiali fini		
RI297	Quantità di silt	Inclusione di materiali fini	
GR409	Quantità di silt	Substrato nei riffle	
BE320	Quantità di silt	Morfologia	Profondità dei riffle



Funzionalità fluviale

La funzionalità fluviale "misurata" con l'Indice I.F.F. è riportata per le singole rive nella Tabella 4 in appendice e la relativa classe di qualità di entrambe le sponde delle quindici aree esaminate è stata riportata nella Tavola 6.

La condizione è la seguente:

	Sinistra		Destra	
	Punteggio	Classe di qualità	Punteggio	Classe di qualità
FA316	285	I	285	I
FA300	275	I	255	I-II
FA295	245	II	245	II
FA280	255	I-II	255	I-II
FA255	255	I-II	255	I-II
FA235	255	I-II	255	I-II
FA230	285	I	285	I
RI419	245	II	245	II
RI325	230	II	230	II
RI320	230	II	230	II
RI310	230	II	230	II
RI300	165	III	165	III
RI297	165	III	170	III
GR409	275	I	275	I
BE320	260	I-II	260	I-II

Sono solo due i tratti a minore funzionalità: si tratta del T. Rigualdo a 300 e 297 m di quota che hanno un indice I.F.F. di III classe di qualità cioè in condizioni sinteticamente definibili "mediocri". Tutte le altre aree esaminate hanno una funzionalità "Ottima" o "Buona" cioè sono di I, I-II o II classe di qualità.

Gli aspetti critici, che condizionano negativamente la qualità complessiva apportando il minor valore al punteggio, sono i seguenti:

	Sponda sinistra	Sponda destra
FA316	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
FA300	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Ampiezza della fascia di vegetazione
FA295	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
FA280	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
FA255	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
FA235	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
FA230	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
RI419	Stato del territorio circostante	Stato del territorio circostante
RI325	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
RI320	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
RI310	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
RI300	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
RI297	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
GR409	Vegetazione in alveo bagnato	Vegetazione in alveo bagnato
BE320	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	Strutture di ritenzione degli apporti trofici



Indici della capacità tampone (B.S.I.) e della valenza naturalistica (W.S.I.)

L'informazione sintetica acquisita con l'applicazione degli Indici B.S.I. (Capacità tampone, in Tavola 7 e Tabella 5) e W.S.I. (Valenza naturalistica, in Tavola 8 e Tabella 6) è riportata nella successiva tabella:

	B.S.I.		W.S.I.	
	Sinistra	Destra	Sinistra	Destra
FA316	II	II	I	I
FA300	II	II	I	I
FA295	II	II	I	I
FA280	II	II	I	I
FA255	II	II	I	I
FA235	II	II	II	I
FA230	II	III	II	II
RI419	III	II	II	II
RI325	II	II	II	II
RI320	II	II	II	I
RI310	II	II	II	II
RI300	IV	IV	III	III
RI297	IV	IV	IV	IV
GR409	II	II	II	II
BE320	II	II	II	II

Sono solo due i tratti (RI300 e RI297) che hanno una "scadente" (IV Classe di qualità) funzionalità tampone mentre per la valenza naturalistica è di IV Classe solo l'area posta alla quota di 297 m s.l.m. dello stesso T. Rigualdo (RI297). Tutte le altre zone esaminate hanno prevalentemente una condizione "buona" o "ottima".

I fattori che rendono i tratti RI300 e RI297 del T. Rigualdo di scadente capacità tampone ed i tratti FA230 (sponda destra) e RI419 (sponda sinistra) di "mediocre" (III Classe di qualità) capacità tampone sono evidenziabili con l'analisi degli specifici Subindici:

Sponda sinistra			Stazione	Sponda destra	
SubIndice A	SubIndice E	SubIndice F		SubIndice A	SubIndice F
			FA230		V
	V		RI419		
		V	RI300		V
IV		V	RI297	IV	V

Dove le lettere dei Subindici dell'Indice B.S.I. si riferiscono ai seguenti aspetti:

- A Vegetazione arborea (copertura, altezza, estensione, localizzazione);
- E Coltivazioni agrarie (tipologia, distanza, estensione, irrigazione);
- F Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità.



Dall'analisi dettagliata dei subindici dell'Indice W.S.I. si sono evidenziati i fattori che hanno la condizione più critica per la naturalezza dell'ambiente fluviale:

Sponda sinistra			Stazione	Sponda destra		
SubIndice B	SubIndice C	SubIndice F		SubIndice B	SubIndice C	SubIndice F
	IV	IV	RI300		IV	IV
IV	IV	IV	RI297	IV	IV	IV

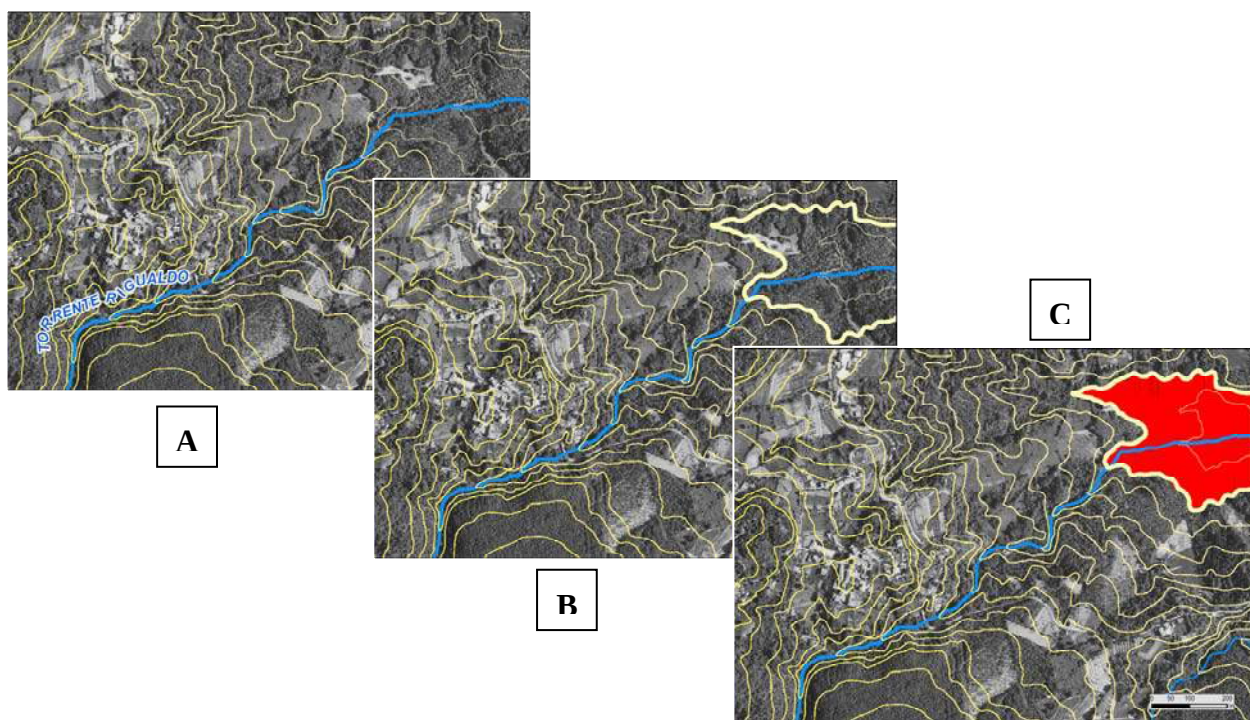
In questo caso i Subindici critici che provocano la mediocre naturalezza di RI300 e la scadente naturalezza del tratto RI297 sono:

- B Vegetazione arborea (copertura, altezza, estensione, localizzazione)
- C Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
- F Costruzioni edili o altre cause di disturbo

Identificazione e localizzazione dei depositi macroscopici di sabbie

Sono stati considerati due fattori: la presenza di consistenti depositi di sabbie, rilevati durante i monitoraggi e la conformazione del bacino del Torrente Rigualdo, per identificare una fascia altitudinale di 20 metri (quadro C nella figura successiva), rispetto al ciglio bagnato del corso d'acqua, nella quale approfondire le informazioni relative alla interazione con l'uso del suolo.

In questa porzione di bacino la linea di impluvio si incunea con spiccata acclività (quadro A) fino alla quota di 340 m s.l.m. (quadro B). Da questo punto l'alveo scorre meno ripido e, per diretta conseguenza, è avvenuto il deposito dei materiali trasportati dalla corrente.



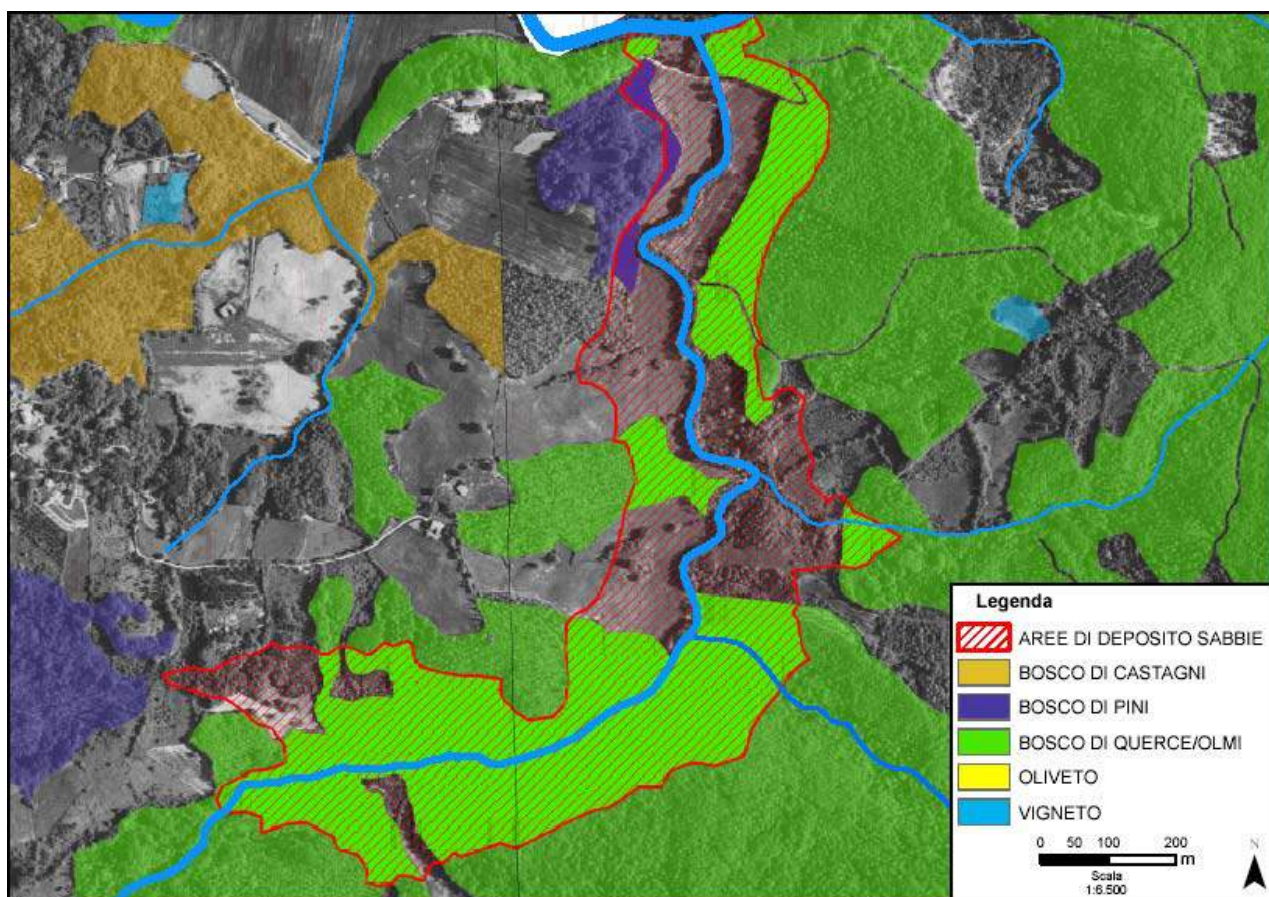


La Tavola 8 mostra l'area di deposito identificata sul T. Rigualdo e la sua superficie complessiva ammonta a 428479 m².

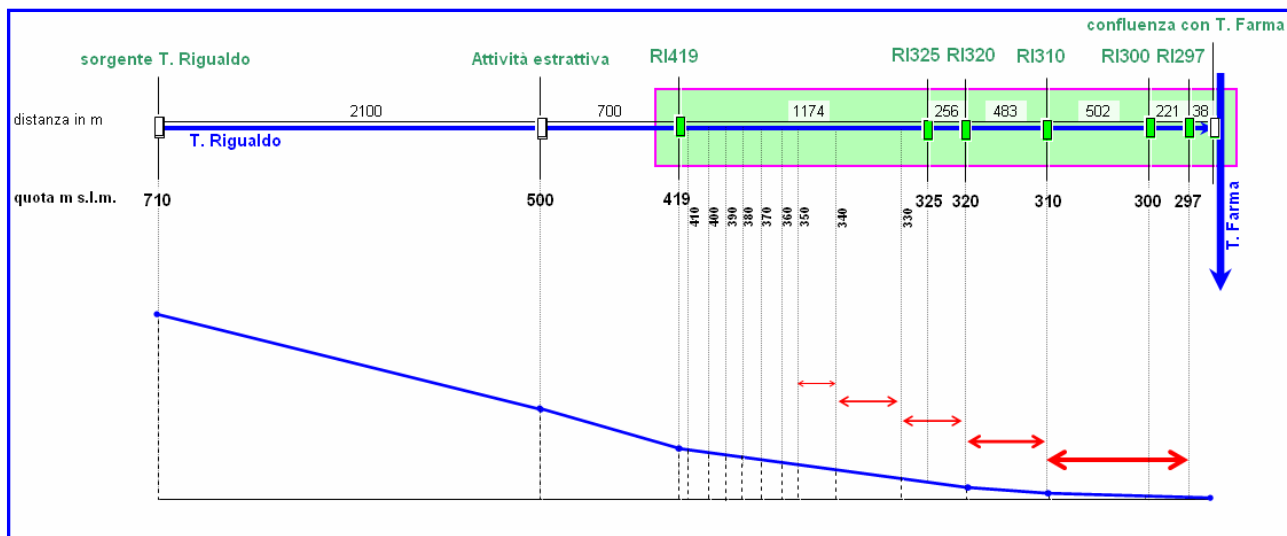
I materiali sabbiosi depositati hanno, rispetto alla copertura vegetazionale di maggiore valenza naturalistica, la seguente incidenza dimensionale:

	m ²	%
Bosco di querce/olmi	234228	55
Bosco di pini	7133	2
Altro (in prevalenza aree coltivate)	187118	43

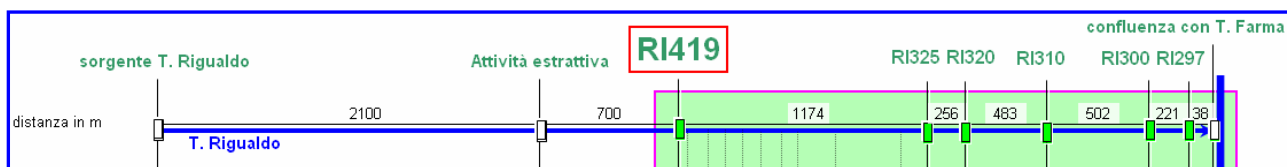
che è stata identificata analizzando la CTR 1:10.000 (REGIONE TOSCANA Area Sit Cartografia Archivio Generale Cartografico) riportata nella seguente figura:



Il seguente grafico illustra in modo schematico il profilo altimetrico longitudinale del T. Rigualdo e la localizzazione dei tratti presi in esame per il monitoraggio:



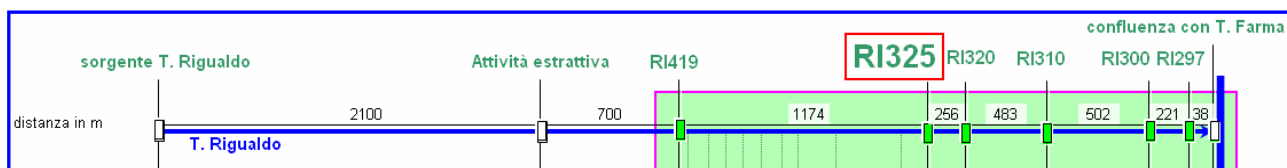
Entrando nel dettaglio delle condizioni che si sono rilevate nei singoli tratti presi in esame, le successive immagini descrivono gli aspetti più evidenti rilevati nel tempo.





Nell'alveo del T. Rigualdo a 419 m s.l.m. il substrato, dal 2004 al 2006, ha subito una significativa modificazione relativa alla composizione messa in evidenza anche dalla dissimile colorazione degli inerti. In bassa sponda si è rilevata la presenza di manufatti antropici che trovano origine nelle drastiche trasformazioni avvenute in ambiti più montani che hanno accelerato le dinamiche del trasporto provocando una instabilità delle rive e degli ambiti perifluviali adiacenti.

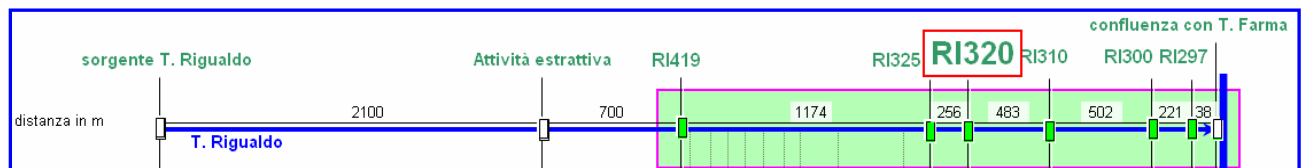


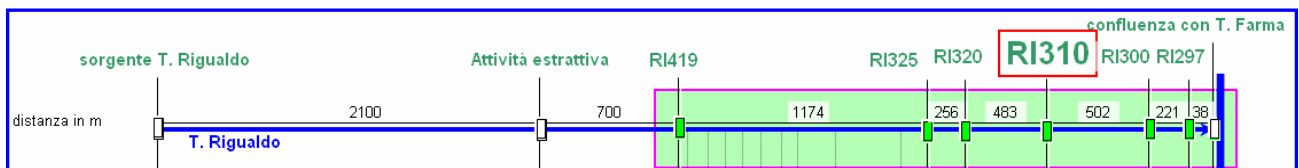


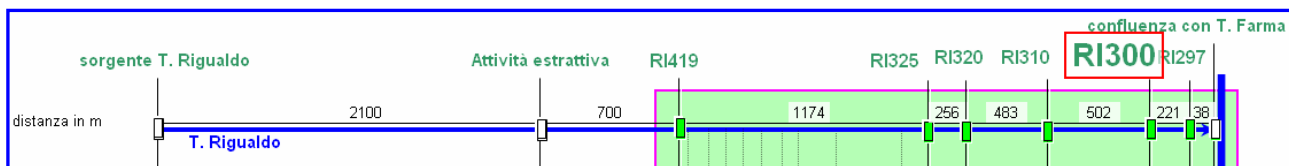
A 325 m di quota, ad oltre 1100 m di distanza dalla precedente area di monitoraggio, i materiali depositati sia in alveo sia sulle rive del T. Rigualdo hanno volumi importanti.

Nel tratto successivo (RI320), posto a 256 m di distanza da RI325 e a 2130 m dalle attività estrattive si sono rilevati enormi quantitativi di inerti che, come si vede dalle successive immagini fotografiche, interessano un'area che si estende per parecchi metri sia in sinistra sia in destra idrografica fino al confine individuato nella Tavola 8 e parzialmente ripreso in questo particolare:

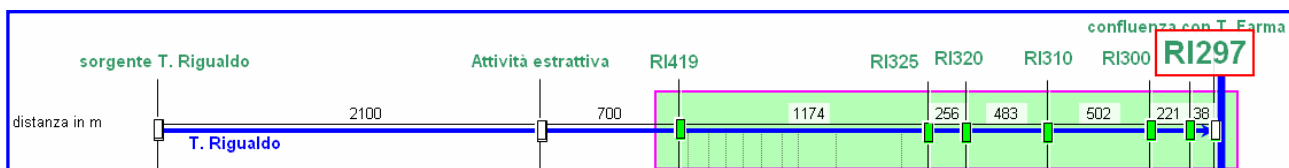








Nei tratti compresi fra RI320 e RI300, quasi 1 km di lunghezza complessiva, gli ammassi sabbiosi mostrano un netto incremento in altezza. La loro presenza in prossimità dell'alveo implica la potenziale intercettazione da parte del flusso idrico con conseguente asportazione e rideposito. In alveo, come è facilmente intuibile, le sabbie hanno profondamente alterato la naturale disomogeneità degli inerti, riducendo la varietà dei substrati e occludendo gli spazi interstiziali in modo tale che gli habitat risultano particolarmente compromessi per la fauna acquatica.



Le immagini fotografiche relative al tratto del Torrente Rigualdo immediatamente a monte della confluenza nel Farma (RI297) dimostrano che la dinamica dei substrati medi e fini, appena descritta, è particolarmente attiva ad ogni evento meteorologico, anche se di intensità non elevata. La risultante dei deflussi ingrossati per quantità e turbolenza, è la trasformazione, lungo questo tratto, del Rigualdo in un "sentiero carrabile". Il trasporto longitudinale è, infatti, una conseguenza ovvia della naturale dinamica idro-geo-morfologica dei corsi idrici ma, in questo specifico caso, l'effetto è sommativo in quanto bisogna considerare l'origine dei materiali e la loro omogenea tipologia e si traduce in una condizione simile a quella di un ricorrente smottamento e spostamento di materiale. Non è possibile prevedere quali e quanti danni, permanenti o meno, possono essere provocati da questi continui spostamenti. È invece logico dedurre che il problema si trasferisce a valle, con la compromissione del T. Farma e la conseguente generazione di problematiche difficilmente gestibili per l'impossibilità di conoscere la loro localizzazione e gli effetti prodotti a breve, medio e lungo termine.



Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

Parte A: caratterizzazione idrobiologica

Tabelle e grafici dei risultati



		Novembre 2005						Marzo 2006						Aprile 2006								
		RI 419	RI 320	RI 297	GR 409	FA 300	FA 295	RI 419	RI 320	RI 297	BE320	FA 316	FA 255	RI 419	RI 320	RI 297	GR 409	BE 320	FA 316	FA 300	FA 295	FA 255
PLECOPTERA																						
Dictyogenus	P			2			1															
Isoperla	P	2	1	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2				3	3	3	3	3	3
Leuctra	T					3	3				3			2	3		3	2	2			2
Nemoura	T										1	1					1	1				
Perla	P																		1	1		2
Protonemoura	T										1					1		2				
EPHEMEROPTERA																						
Baetis	R	1			1			1	2	1	3	1	1	3	3	1	3		3		3	3
Centropilum	R													3	3							
Choroterpes	R																		1	1		
Ecdyonurus	S		2	2	1	3	3	3	2	1	3	1	1	3	3	3		3	3	2	3	3
Habrophlebia	R					1													1	1		
Habroleptoides	R										2					1					2	1
Rhithrogena	R																		1	3	2	1
TRICHOPTERA																						
Hydropsychidae	F	3	1					2	1			1			1	1						
Limnephilidae	T	3	2	3	3					1	3	1	1	3	3		3	3				1
Philopotamidae	F							1			3	1	1						1	1		
Polycentropodidae	F																	2				
Rhyacophilidae	P					1									3	3	3				2	2
Sericostomatidae	T									1	1											
COLEOPTERA																						
Dryopidae	T																				1	
Helodidae	R		1																			
Hydraenidae	P																					1
Hydrophilidae	P																				3	
DIPTERA																						
Chironomidae	R	2	1					2	3	3	1	3	3		3	3	1	1	1	2	3	3
Limoniidae	P				2	3			1					2	2	2	2	2	3			
Tipulidae	T	1							1										1	1		2
ODONATA																						
Onychogomphus	P																		3	1	2	2
OLIGOCHAETA																						
Naididae	R	1																				
Tubificidae	R																					
HIRUDINEA																						
Erpobdella	P	1																2				
CRUSTACEA																						
Gammarus	T				2						1							1				
TURBELLARIA																						
Dugesia	P																					1
GASTEROPODA																						
Planorbarius	S																	1				

Tabella 1. Abbondanza relativa delle singole unità sistematiche.



	Dati medi quantità						Densità					Biomassa				
Novembre 2005																
	Densità (org./m ²)	Dens. EPT taxa	Biomassa (mg PS/m ²)	Biomassa EPT taxa	Indice di diversità (H')	Indice Eveness (J)	Raccoglitori (%)	Filtratori (%)	Raschiatori (%)	Trituratori (%)	Predatori (%)	Raccoglitori (%)	Filtratori (%)	Raschiatori (%)	Trituratori (%)	Predatori (%)
FA300	507,0	385,0	350,9	316,0	2,1	0,9	18,5	0,0	40,7	16,7	24,1	5,8	0,0	79,2	1,8	13,2
FA295	281,7	281,7	125,0	125,0	1,2	0,9	0,0	0,0	30,0	56,7	13,3	0,0	0,0	76,2	11,7	12,2
RI419	206,6	65,7	317,2	152,9	1,1	0,9	68,2	13,6	18,2	0,0	0,0	51,8	17,5	30,7	0,0	0,0
RI320	187,8	131,5	86,3	80,7	2,0	0,9	30,0	40,0	20,0	0,0	10,0	6,5	24,2	54,5	0,0	14,8
RI297	150,2	84,5	116,6	109,3	1,2	0,7	43,8	12,5	31,3	0,0	12,5	6,3	6,6	75,0	0,0	12,1
GR409	535,2	488,3	276,7	238,3	1,6	0,8	7,0	45,6	3,5	3,5	35,1	4,0	44,7	3,9	3,7	33,5
Marzo 2006																
FA316	741,8	554,0	535,6	488,4	2,6	0,9	38,0	29,1	13,9	3,8	15,2	13,1	48,9	23,8	2,5	11,7
FA255	272,3	253,5	163,5	159,6	1,4	0,8	48,3	17,2	17,2	0,0	17,2	25,0	41,4	19,1	0,0	14,6
RI419	300,5	206,6	251,6	218,9	2,5	1,0	37,5	15,6	18,8	6,3	21,9	10,4	20,8	25,6	16,3	27,0
RI320	375,6	375,6	197,1	197,1	1,7	0,9	50,0	7,5	25,0	0,0	17,5	18,9	13,0	37,8	0,0	30,2
RI297	328,6	328,6	268,9	268,9	1,8	0,9	31,4	11,4	25,7	11,4	20,0	7,4	21,3	21,6	26,3	23,4
BE320	779,3	619,7	552,7	497,0	3,0	0,9	44,6	19,3	14,5	12,0	9,6	19,8	29,1	15,8	24,3	11,0
Aprile 2006																
FA316	770,0	488,3	659,5	337,5	3,1	0,9	48,8	2,4	13,4	6,1	29,3	21,4	3,2	19,1	2,9	53,4
FA300	732,4	525,8	596,3	449,6	2,9	0,9	46,2	9,0	19,2	2,6	23,1	25,9	7,6	29,5	2,3	34,7
FA295	666,7	262,9	487,3	163,5	2,5	0,8	66,2	0,0	7,0	1,4	25,4	33,6	0,0	6,8	1,2	58,4
FA255	863,8	507,0	516,2	335,8	2,9	0,8	59,8	2,2	7,6	10,9	19,6	39,9	5,7	8,5	6,4	39,5
RI419	422,5	309,9	292,3	260,0	2,5	0,9	24,4	20,0	26,7	11,1	17,8	13,4	40,0	33,5	1,7	11,4
RI320	460,1	281,7	302,2	247,5	2,6	0,9	44,9	16,3	8,2	10,2	20,4	30,0	31,4	16,2	4,0	18,4
RI297	347,4	187,8	243,2	174,7	2,3	0,9	48,6	5,4	18,9	10,8	16,2	30,4	6,8	30,7	18,6	13,4
GR409	676,1	525,8	455,3	432,1	2,4	0,9	45,8	11,1	15,3	13,9	13,9	33,9	27,2	20,3	6,4	12,1
BE320	873,2	554,0	704,2	416,1	2,8	0,9	17,2	7,5	20,4	33,3	21,5	3,3	9,1	35,0	38,1	14,6

Tabella 2. Valori medi di densità, biomassa, diversità macrozoobentonica e percentuale dei gruppi trofico-funzionali.

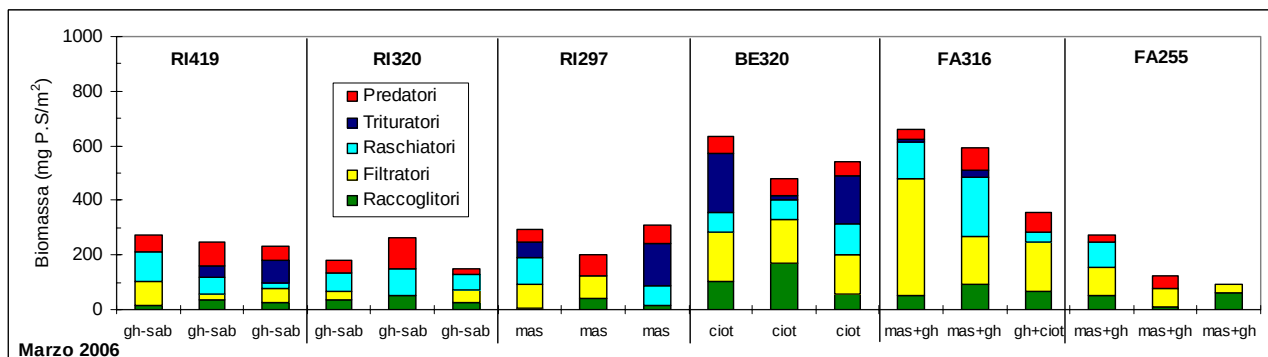
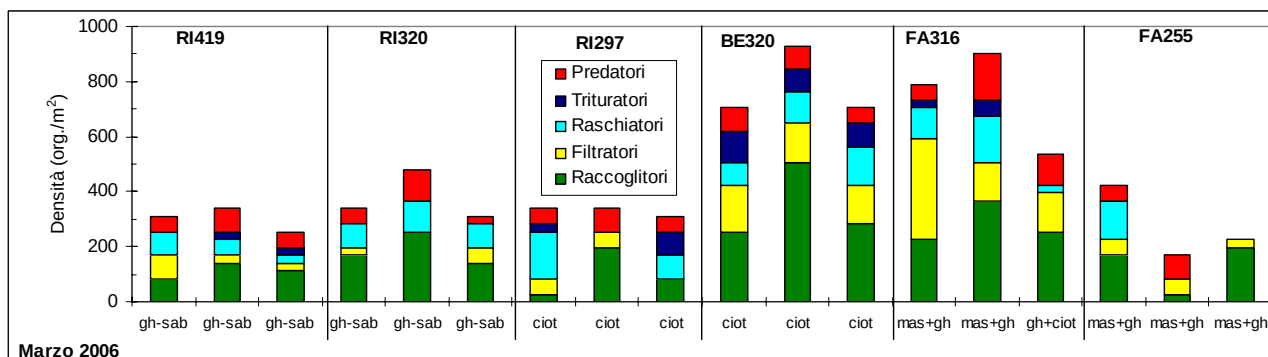
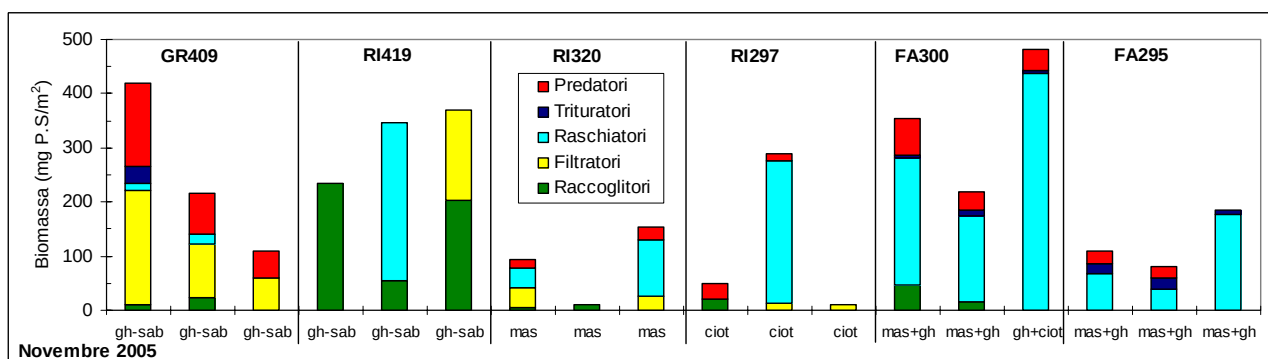
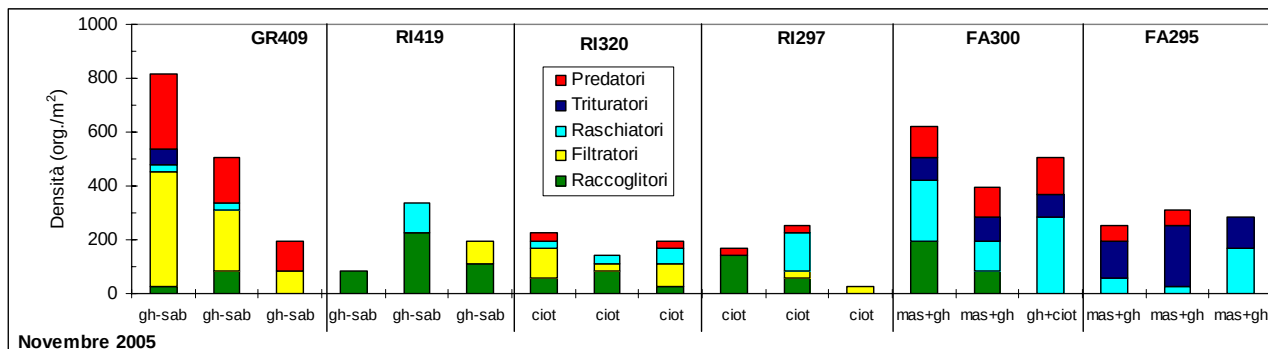


Grafico 1. Istogrammi di densità e biomassa relativi ai mesi di novembre 2005 e marzo 2006.

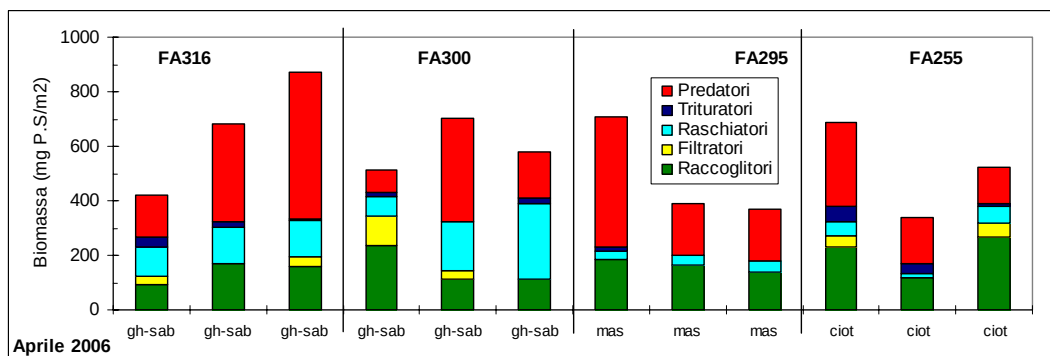
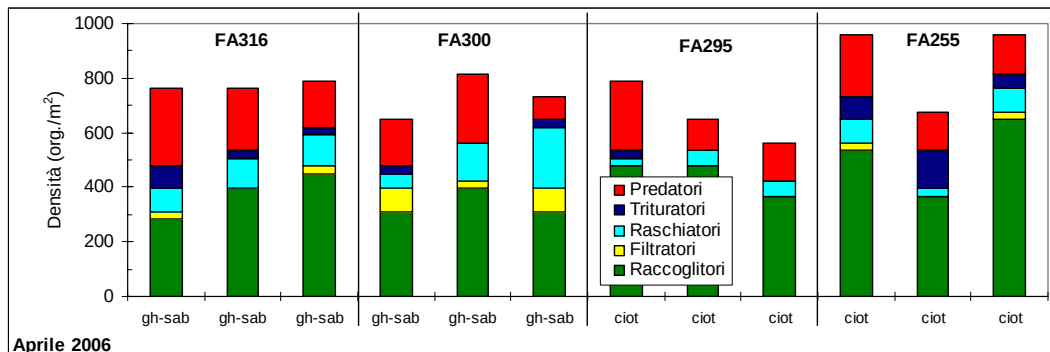
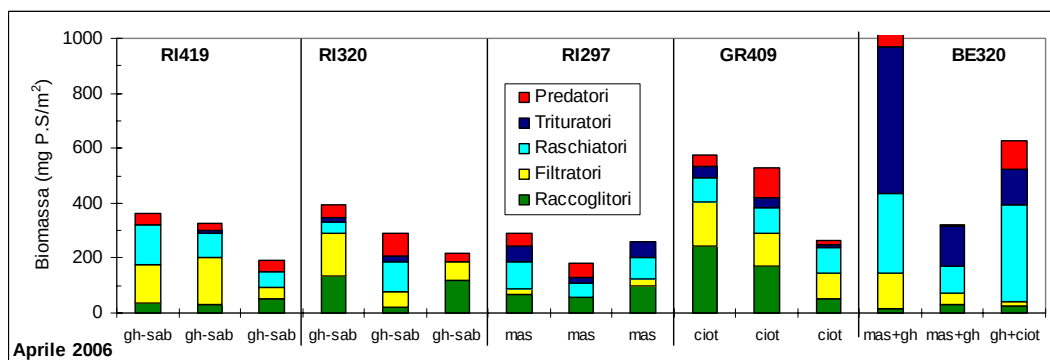
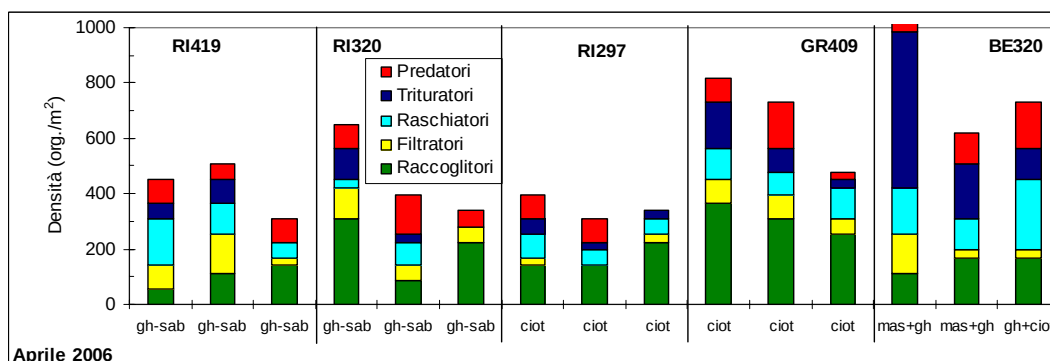


Grafico 2. Istogrammi di densità e biomassa relativi al mese di aprile 2006.

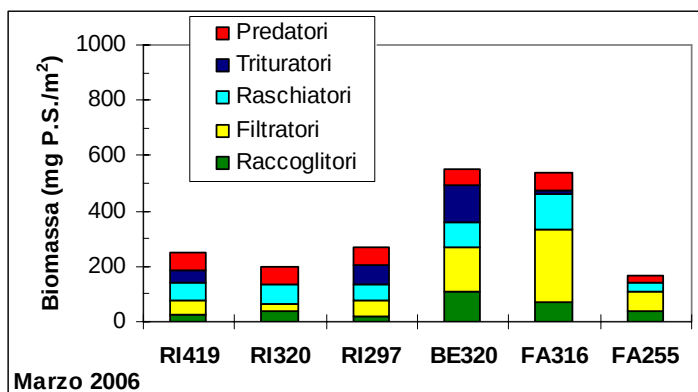
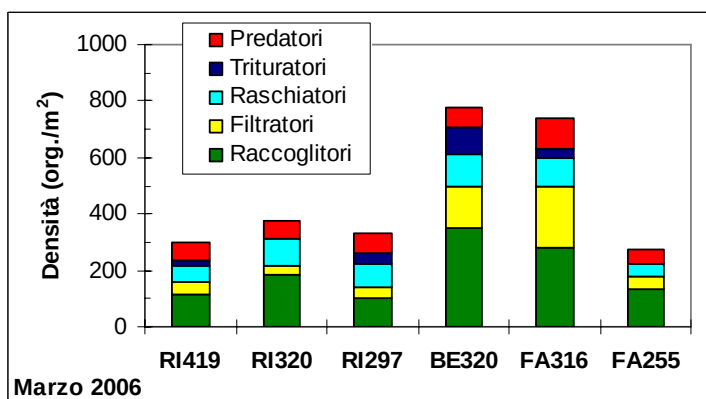
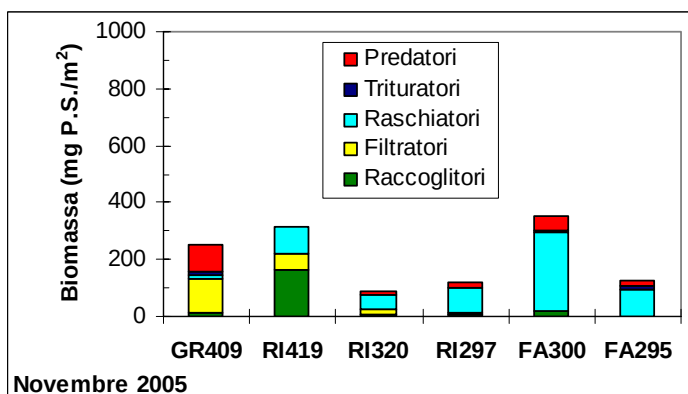
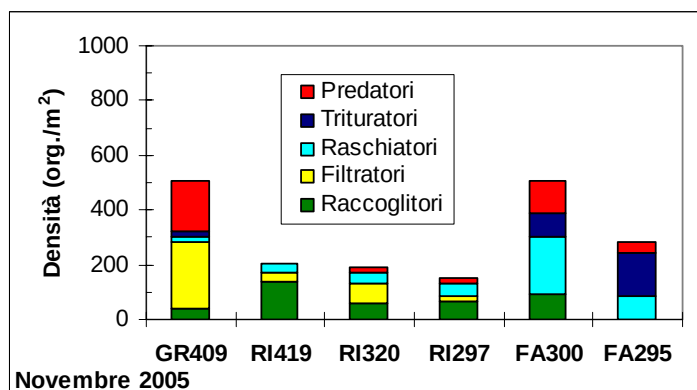


Grafico 3. Densità e biomassa media relativa ai mesi di novembre 2005 e marzo 2006.

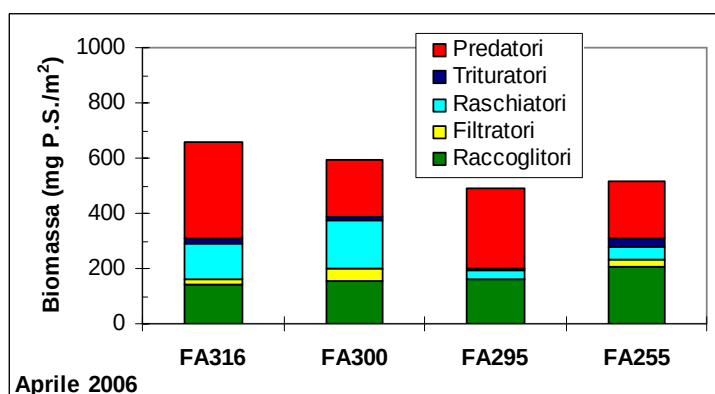
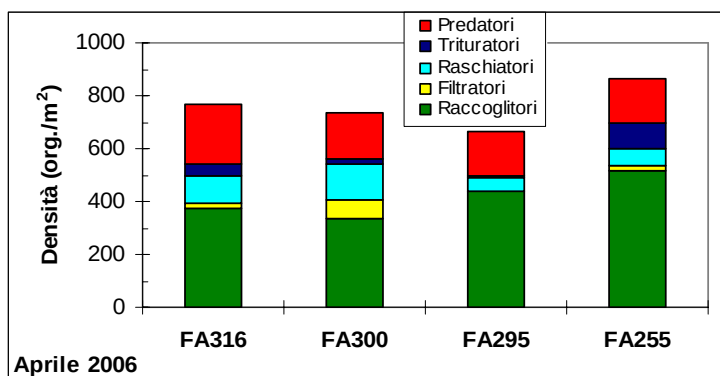
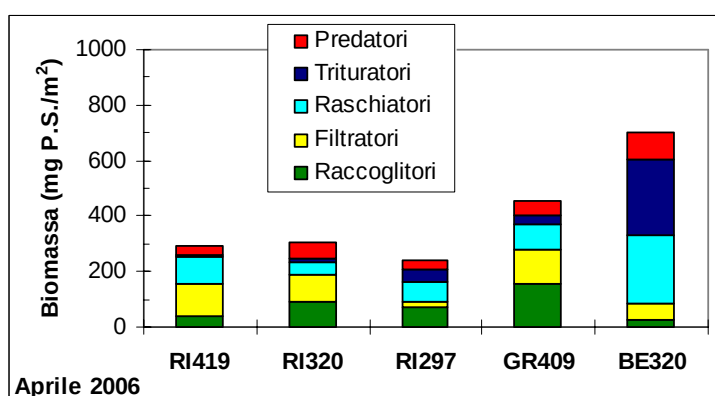
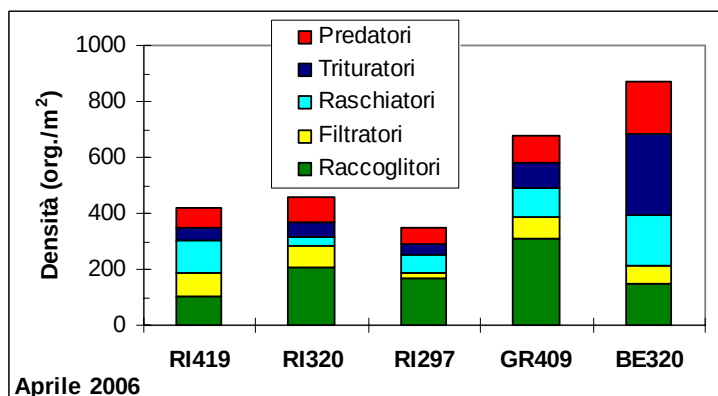


Grafico 4. Densità e biomassa media relativa al mese di aprile 2006.



SUBSTRATO	FA316	FA300	FA295	FA280	FA255	FA235	FA230	RI419	RI325	RI320	RI310	RI300	RI297	GR409	BE320
A – TIPO (1 o 2 risp)															
☐ Lastre con spigoli arrotondati							10								
☐ Massi (diametro > 256 mm) [9]														9	
☐ Ciottoli (64 – 256 mm) [8]	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8		8	8
☐ Ghiaia (2 – 64 mm) [7]	7	7		7	7										7
☐ Sabbia (0.06 – 2 mm) [6]			6			6	6	6	6	6	6	6	6		
B – ORIGINE (1 risp)															
☐ Arenaria [0]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
☐ Argilliti [-1]													-1		
C – QUANTITÀ DEI SILT (1 risp)															
☐ Elevata (solo silt) [-2]													-2		
☐ Moderata [-1]			-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1			
☐ Normale [0]														0	0
☐ Assente (solo materiali grossolani) [1]	1	1													
D – INCLUSIONE DEI MATERIALI FINI															
☐ Estesa (> 75 %) [-2]			-2			-2		-2	-2	-2	-2	-2	-2		
☐ Moderata (50 – 75 %) [-1]				-1	-1		-1								
☐ Assente (< 25 %) [1]	1	1												1	1
RIPARI SUL FIUME															
A – TIPO															
☐ Erosione delle sponde a livello dell'acqua [1]	1	1													
☐ Vegetazione sporgente sul fiume [1]	1	1	1									1			
☐ Zone d'acqua lente [1]	1						1								
☐ Pozze (profondità > 70 cm) [2]	2	2	2	2	2	2	2								
☐ Massi [1]	1	1		1	1	1	1	1	1					1	
☐ Detriti legnosi [1]		1	1					1	1						
B – QUANTITÀ															
☐ Estesa (> 75 % della superficie) [11]															
☐ Moderata (25 – 75 %) [7]	7	7					7								
☐ Scarsa (5 – 25 %) [3]			3	3	3	3									
☐ Praticamente assente (< 5 %) [1]								1	1	1	1	1	1	1	1
CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE															
A – SINUOSITÀ															
☐ Moderata (più di 2 anse visibili con almeno un	3					3	3								
☐ Bassa (2 anse visibili o meno) [2]		2	2	2	2			2	2	2	2	2	2	2	2
B – SVILUPPO (DIVERSITÀ)															
☐ Eccellente [7]	7	7												7	
☐ Buono [5]				5	5	5	5								
☐ Sufficiente [3]			3					3	3	3	3	3			3
☐ Scarso [1]													1		
C – CANALIZZAZIONE															
☐ Nessuna (corso naturale) [6]	6	6	6	6	6	6	6							6	6
☐ Abbandonata, naturalità recuperata [4]								4	4	4	4	4	4		
D – STABILITÀ DELLA RIVA															
☐ Alta [3]	3	3		3	3		3							3	
☐ Moderata [2]			2			2									2
☐ Bassa [1]								1	1	1	1	1	1		
RIVE E SPONDE															
A – LARGHEZZA DELLA RIVA															
☐ Larga (> 50 m) [4]	4	4				4	4								
☐ Moderata (10 – 50 m) [3]			3	3	3			3	3	3	3	3		3	3
☐ Molto stretta (1 – 5 m) [1]													1		
B – STATO DEL TERRITORIO															
☐ Foreste, paludi, boschi [3]		3		3	3	3	3							3	
☐ Arbusti, campi abbandonati [2]	2		2						2	2	2				2
☐ Parchi, campi abbandonati recentemente [1]								1				1	1		
C – EROSIONE DELLE SPONDE															
☐ Nessuna, bassa (< 25 %) [3]	3	3		3	3		3							3	
☐ Moderata (25 – 50 %) [2]			2			2									2
☐ Molto severa (> 50 %) [1]								1	1	1	1	1	1		
CARATTERISTICHE DEL FLUSSO															
A – MASSIMA PROFONDITÀ DEI POOL															
☐ > 1 m [6]		6				6									
☐ 0.7-1 m [4]			4	4	4		4								
☐ 0.4 – 0.7 m [2]	2							2	2	2	2	2		2	2
☐ < 0.2 m [0]													0		
B – MORFOLOGIA															
☐ Pool larghi quanto i riffle [1]	1	1		1	1									1	
☐ Pool meno larghi dei riffle [0]			0			0	0	0	0	0	0	0	0		0
C – ANDAMENTO DELLA CORRENTE															
☐ Turbolento [1]							1								
☐ Moderato [1]	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1
☐ Interstiziale [-1]													-1		
D – PROFONDITÀ DEI RIFFLE															
☐ Media > 10 cm, massima > 50 cm [4]							4								
☐ Media > 10 cm, massima < 50 cm [3]	3	3				3								3	
☐ Media 5 – 10 cm [1]			1	1	1										
☐ Media < 5 cm [0]								0	0	0	0	0			0
☐ Non ci sono riffle [0]													0		
E – SUBSTRATO NEI RIFFLE															
☐ Stabile [2]	2													2	
☐ Moderatamente stabile [1]		1					1								1
☐ Instabile [0]			0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		
F – INCLUSIONE DI MATERIALI FINI															
☐ Basso (25 – 50 %) [1]	1	1												1	1
☐ Esteso (> 75 %) [-1]			-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
GRADIENTE larghezza/pendenza	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PUNTEGGIO TOTALE	76	79	51	58	58	59	69	39	40	38	38	38	19	65	50
CLASSE DI QUALITÀ	II	II	III	III	III	III	II	IV	IV	IV	IV	IV	V	II	III

Tabella 3. Indice QHEI.



	FA316		FA300		FA295		FA280		FA255		FA235		FA230	
	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx
Stato del territorio circostante	25	25	25	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Vegetazione presente nella fascia perfluviale	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ampiezza della fascia di vegetazione	20	20	20	5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Continuità della fascia di vegetazione	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Condizioni idriche dell'alveo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Conformazione delle rive	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Strutture di ritenzione degli apporti trofici	25	25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25
Erosione delle rive	20	20	20	20	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20
Naturalità della sezione trasversale	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Fondo dell'alveo	25	25	25	25	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25
Raschi, pozze e meandri	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25
Vegetazione in alveo bagnato	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10
Detrito	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Comunità macrobentonica	10	10	10	10	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10
Somma dei punteggi	285	285	275	255	245	245	255	255	255	255	255	255	285	285
Classe di qualità	I	I	I	I-II	II	II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I	I

	RI419		RI325		RI320		RI310		RI300		RI297		GR409		BE320	
	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx	Sx	Dx
Stato del territorio circostante	5	5	25	25	25	25	25	25	20	20	20	25	25	25	25	25
Vegetazione presente nella fascia perfluviale	30	30	30	30	30	30	30	30	10	10	10	10	25	25	25	25
Ampiezza della fascia di vegetazione	10	10	20	20	20	20	20	20	5	5	5	5	20	20	20	20
Continuità della fascia di vegetazione	20	20	20	20	20	20	20	20	5	5	5	5	20	20	20	20
Condizioni idriche dell'alveo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Conformazione delle rive	25	25	25	25	25	25	25	25	15	15	15	15	25	25	25	25
Strutture di ritenzione degli apporti trofici	25	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	25	25	15	15
Erosione delle rive	15	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	15	15	20	20
Naturalità della sezione trasversale	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Fondo dell'alveo	25	25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25	15	15
Raschi, pozze e meandri	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25
Vegetazione in alveo bagnato	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Detrito	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Comunità macrobentonica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10
Somma dei punteggi	245	245	230	230	230	230	230	230	165	165	165	170	275	275	260	260
Classe di qualità	II	II	II	II	II	II	II	II	III	III	III	III	I	I	I-II	I-II

Tabella 4. Valori delle variabili relative all'indice I.F.F.



SPONDA SINISTRA							
	SubIndice A	SubIndice B	SubIndice C	SubIndice D	SubIndice E	SubIndice F	Indice BSI
FA316	I	II	II	III	III	III	II
FA300	I	III	II	III	III	III	II
FA295	I	III	II	III	III	III	II
FA280	I	III	II	III	III	III	II
FA255	I	III	II	III	III	III	II
FA235	I	III	II	III	III	III	II
FA230	I	III	III	III	III	III	II
RI419	II	III	III	III	V	III	III
RI325	I	III	III	III	III	III	II
RI320	I	III	III	III	III	III	II
RI310	I	III	III	III	III	III	II
RI300	III	III	III	III	III	V	IV
RI297	IV	III	III	III	III	V	IV
GR409	I	II	III	III	III	III	II
BE320	I	II	III	III	III	III	II
SPONDA DESTRA							
	SubIndice A	SubIndice B	SubIndice C	SubIndice D	SubIndice E	SubIndice F	Indice BSI
FA316	I	II	II	III	III	III	II
FA300	I	III	II	III	III	III	II
FA295	I	III	II	III	III	III	II
FA280	I	III	II	III	III	III	II
FA255	I	III	II	III	III	III	II
FA235	I	III	II	III	III	III	II
FA230	I	III	III	III	III	V	III
RI419	II	II	III	III	III	III	II
RI325	I	III	III	III	III	III	II
RI320	I	III	III	III	III	III	II
RI310	I	III	III	III	III	III	II
RI300	III	III	III	III	III	V	IV
RI297	IV	III	III	III	III	V	IV
GR409	I	II	III	III	III	III	II
BE320	I	II	III	III	III	III	II

Tabella 5. Indice B.S.I.: subindici e classe di qualità complessiva.



SPONDA SINISTRA									
	SubIndice A	SubIndice B	SubIndice C	SubIndice D	SubIndice E	SubIndice F	SubIndice G	SubIndice H	Indice WSI
FA316	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA300	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA295	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA280	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA255	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA235	I	I	III	III	III	III	III	III	II
FA230	II	I	III	III	III	III	III	III	II
RI419	II	II	II	III	IV	III	III	III	II
RI325	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI320	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI310	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI300	III	II	IV	III	III	IV	III	III	III
RI297	III	IV	IV	III	III	IV	III	III	IV
GR409	II	I	III	III	III	III	III	III	II
BE320	II	I	II	III	III	III	III	III	II
SPONDA DESTRA									
	SubIndice A	SubIndice B	SubIndice C	SubIndice D	SubIndice E	SubIndice F	SubIndice G	SubIndice H	Indice WSI
FA316	I	I	II	III	III	III	III	II	I
FA300	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA295	I	I	II	III	III	III	III	II	I
FA280	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA255	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA235	I	I	II	III	III	III	III	III	I
FA230	II	I	III	III	III	IV	III	III	II
RI419	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI325	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI320	II	I	II	III	III	III	III	II	I
RI310	II	I	II	III	III	III	III	III	II
RI300	III	II	IV	III	III	IV	III	III	III
RI297	III	IV	IV	III	III	IV	III	III	IV
GR409	II	I	III	III	III	III	III	III	II
BE320	II	I	II	III	III	III	III	III	II

Tabella 6. Indice W.S.I.: subindici e classe di qualità complessiva.



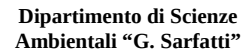
Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"

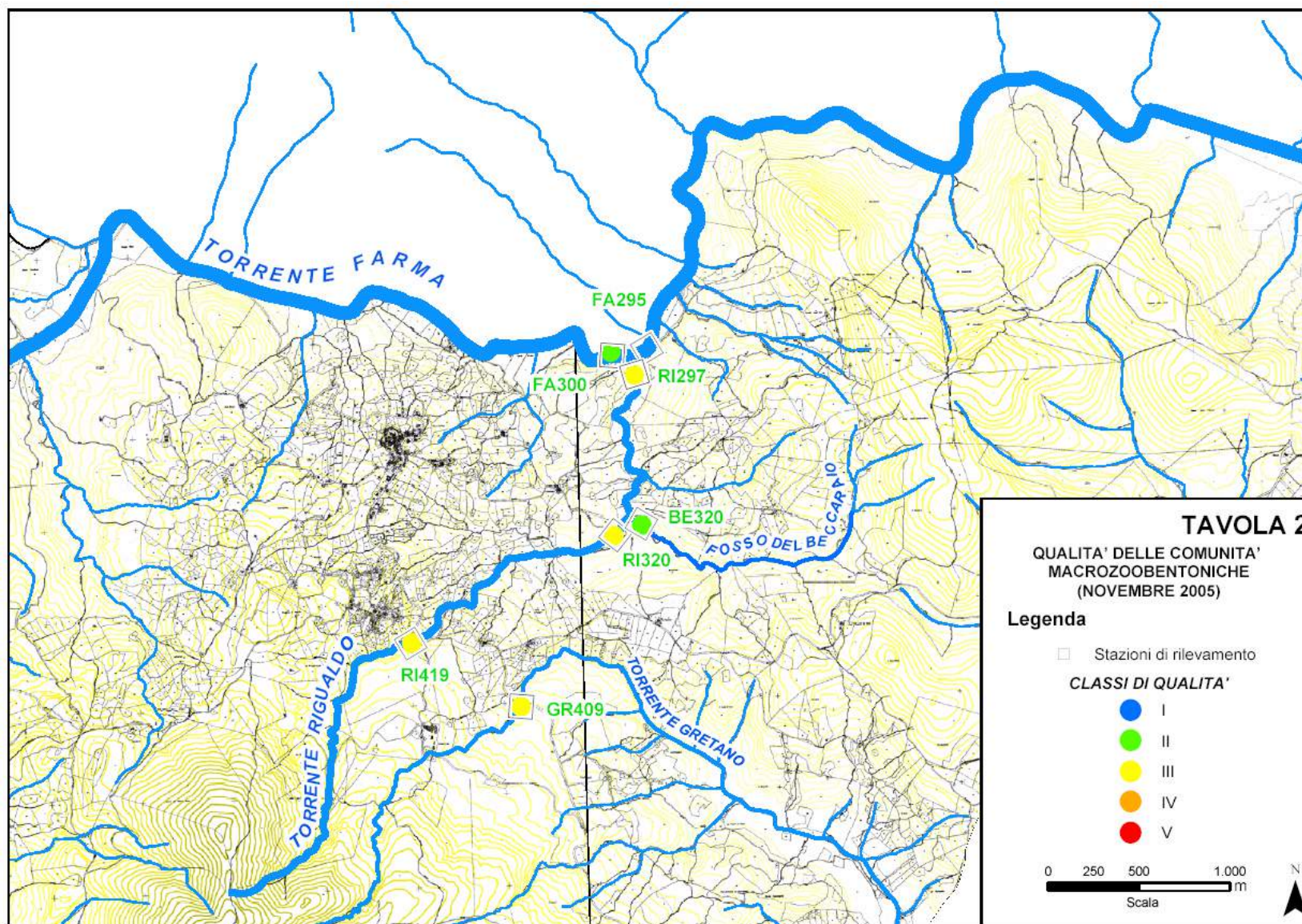


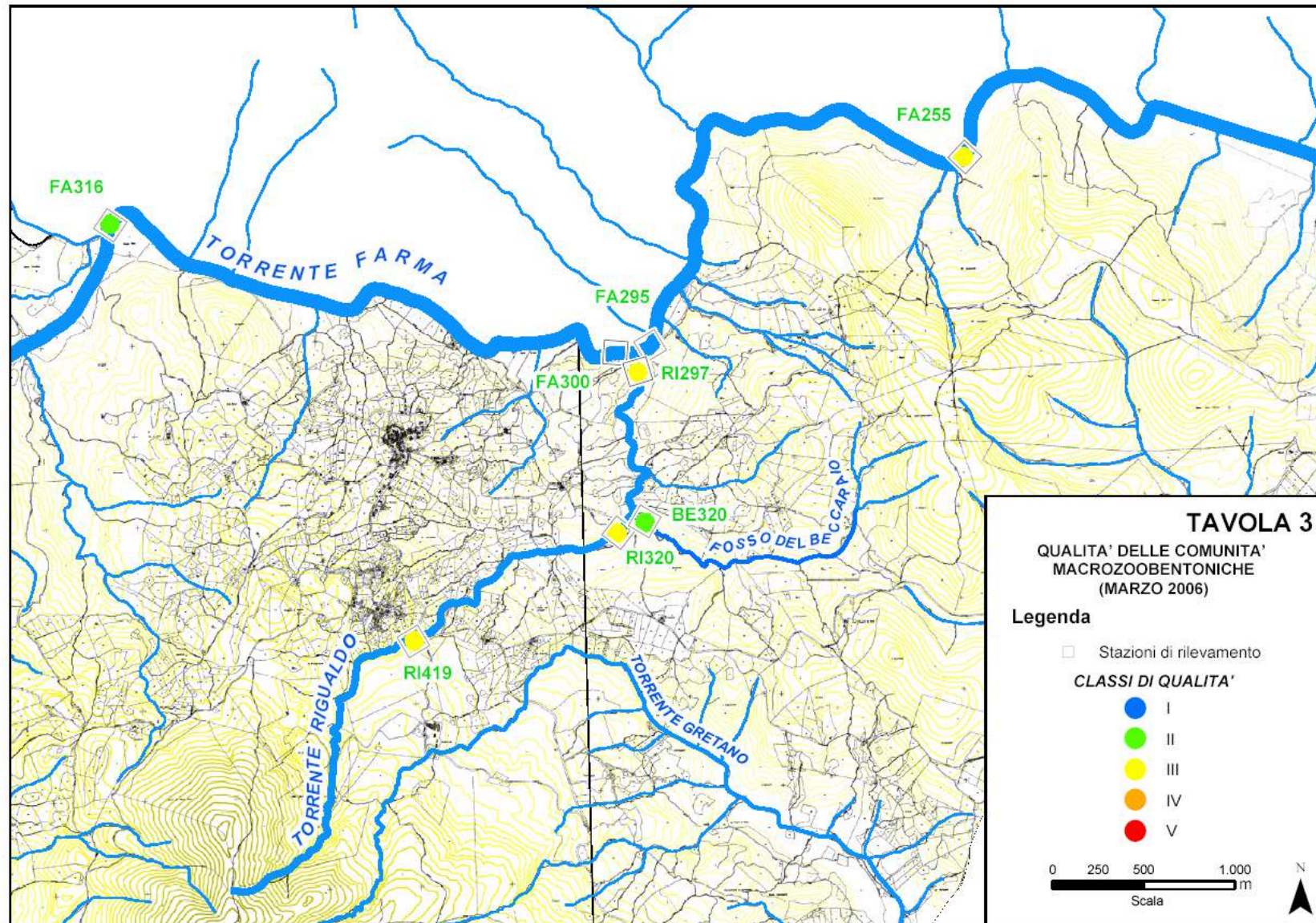
Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

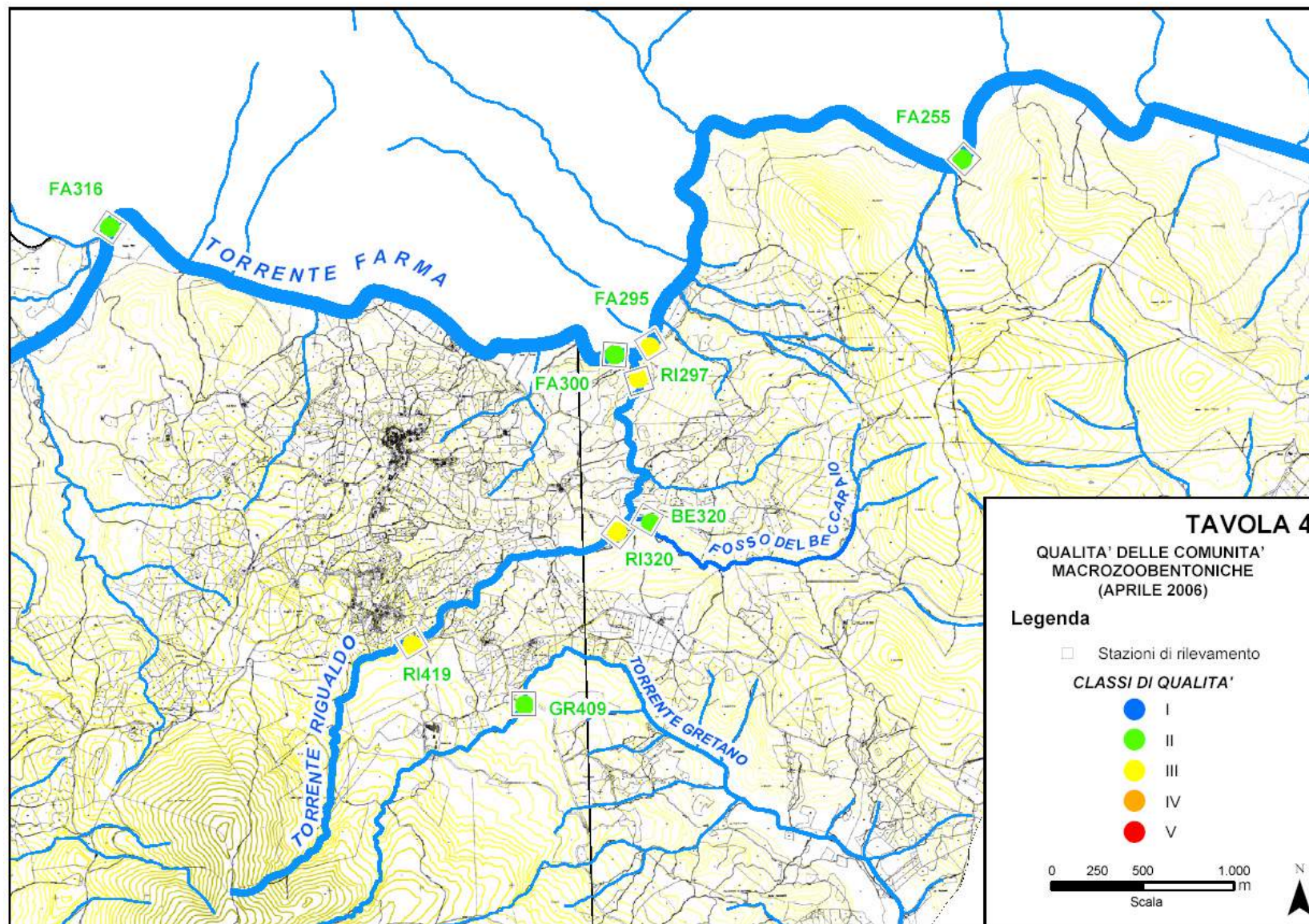
Parte A: caratterizzazione idrobiologica

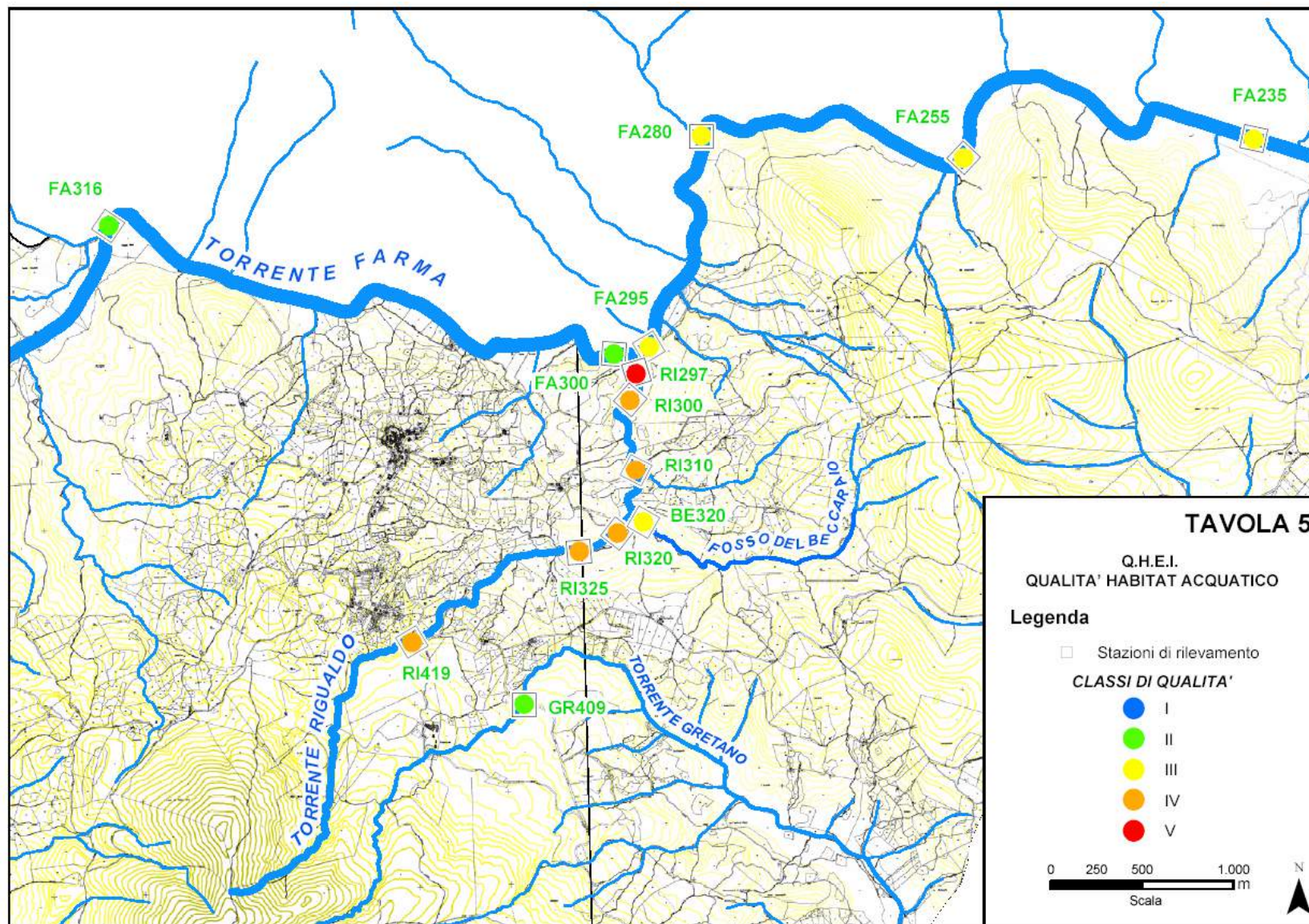
Tavole tematiche

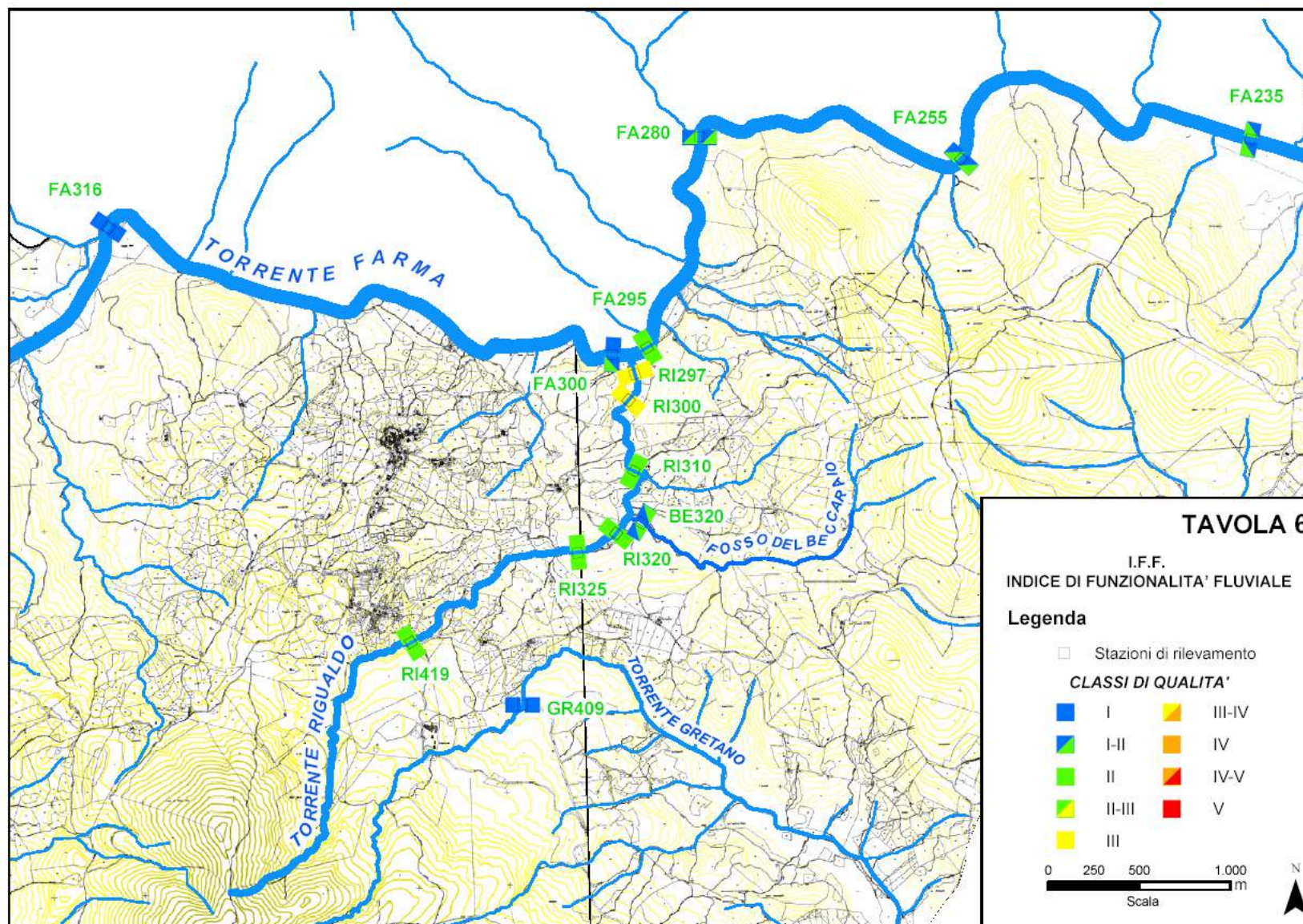
[illegible]

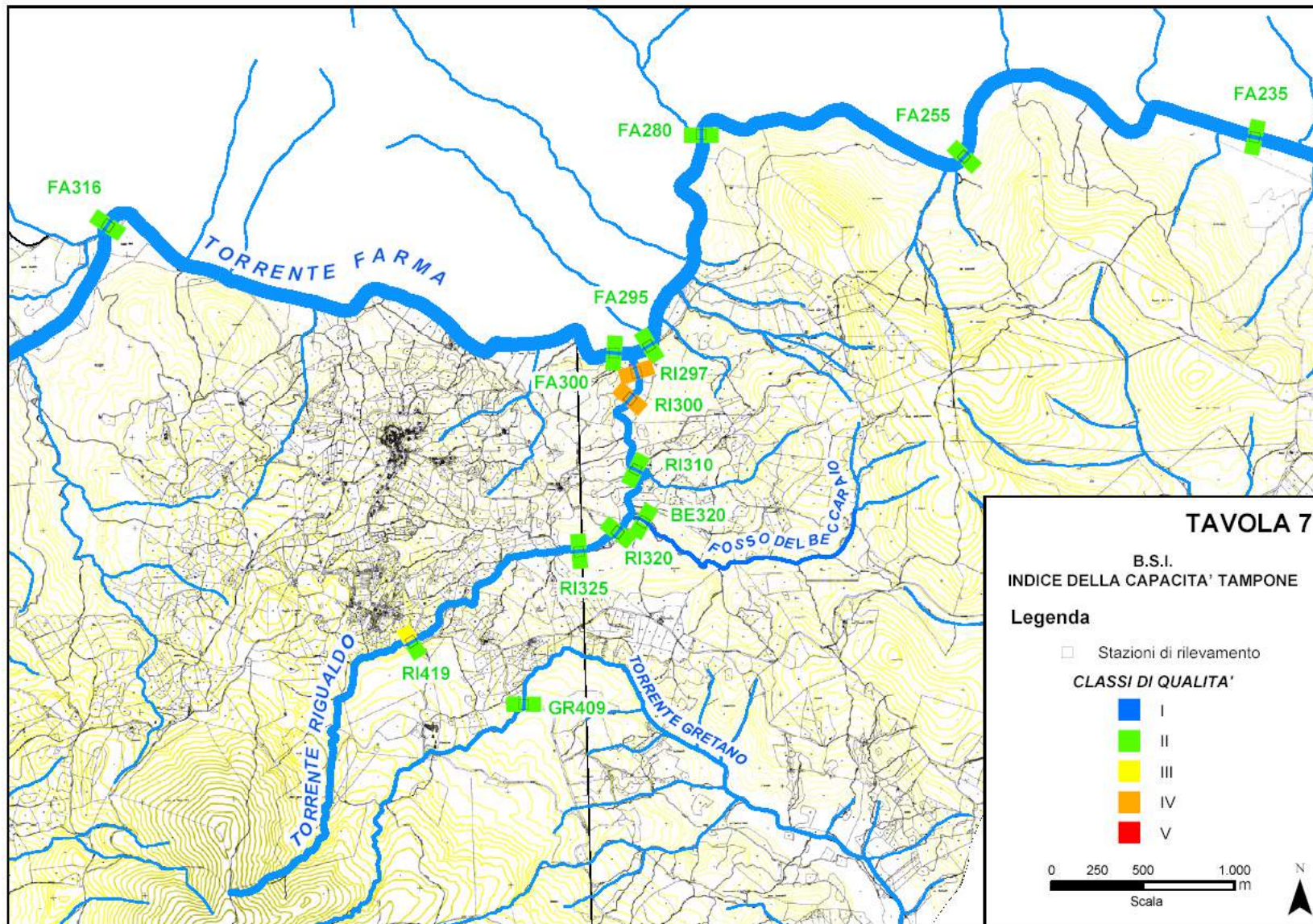












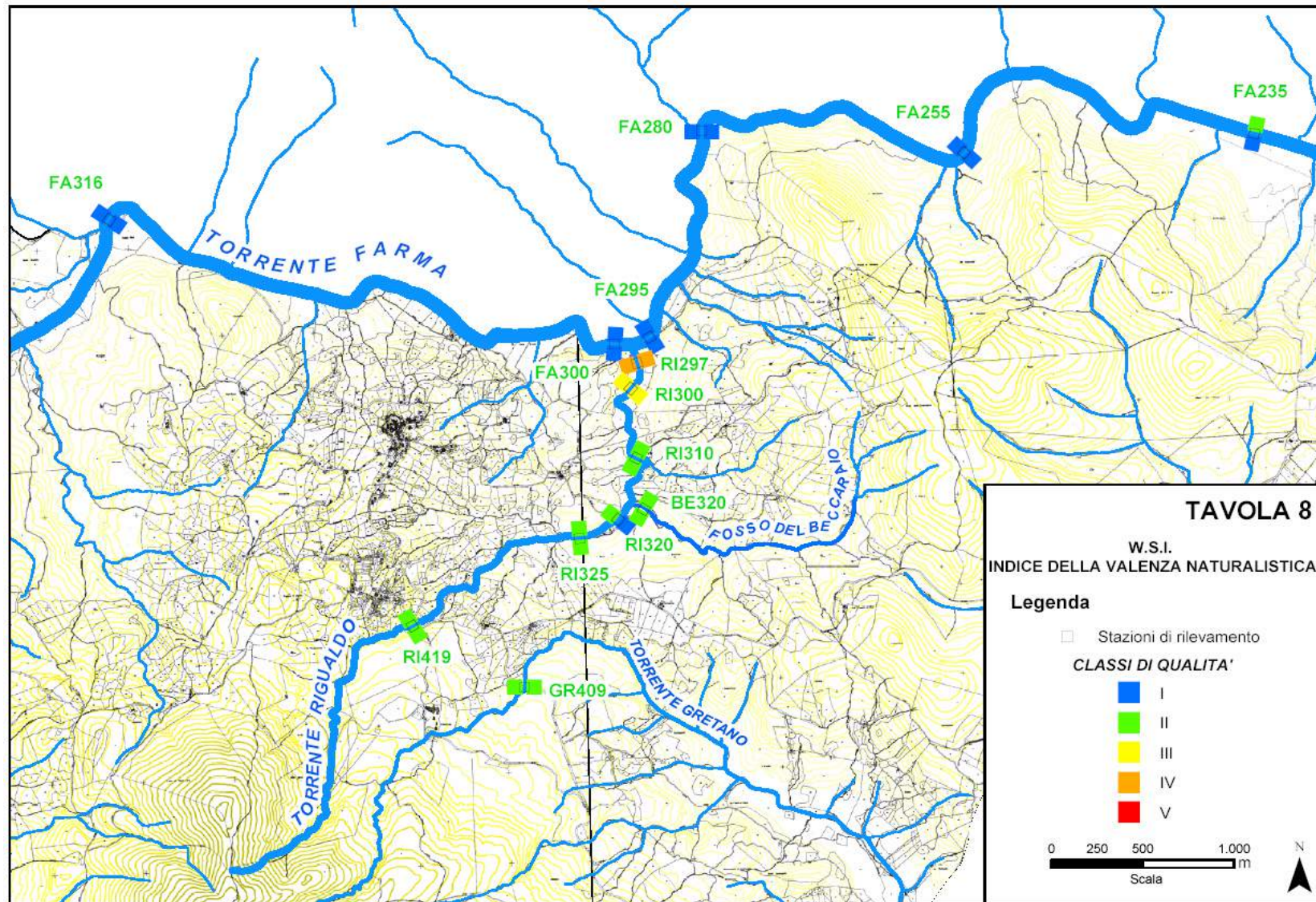
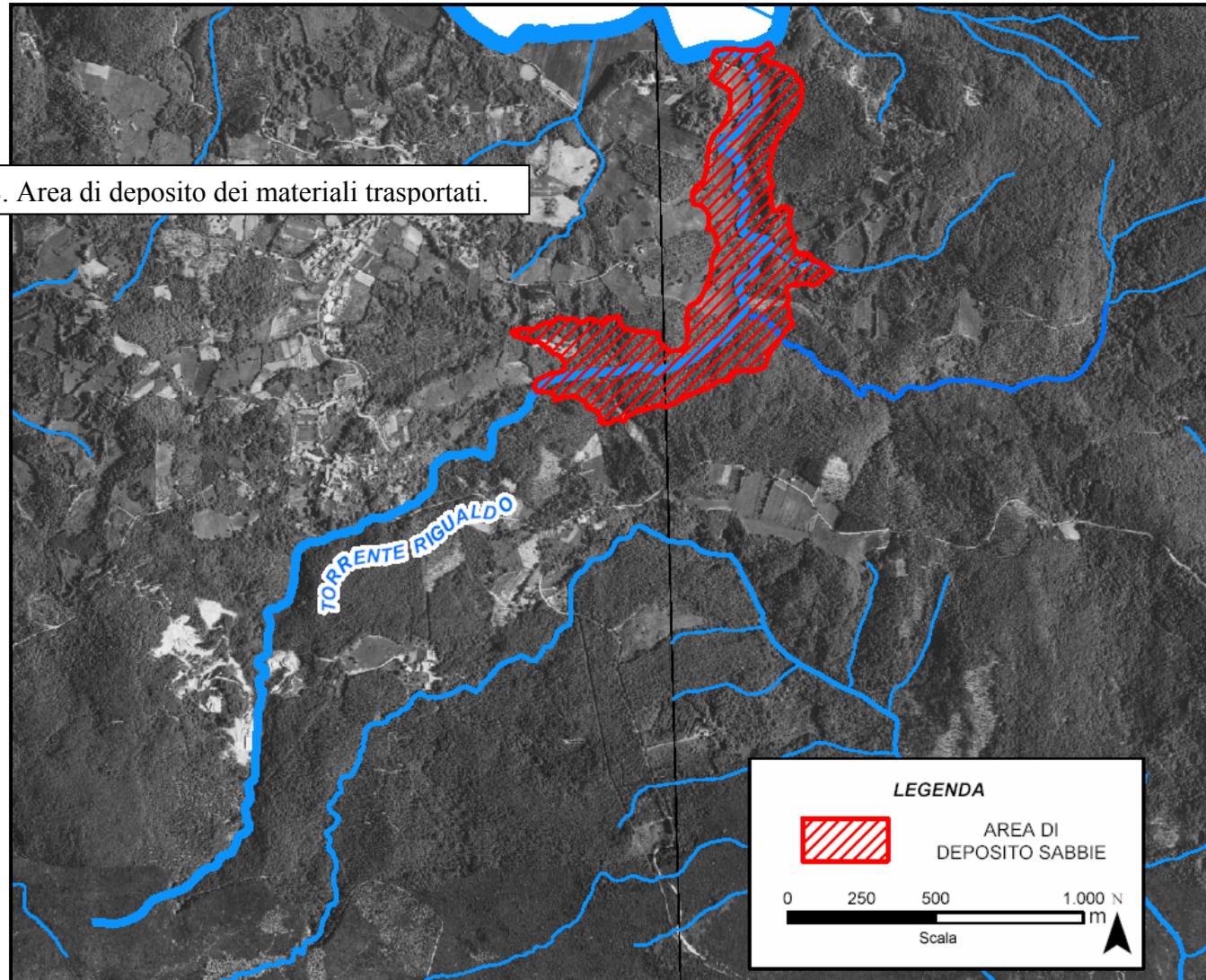




Tavola 8. Area di deposito dei materiali trasportati.





Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

Parte A: caratterizzazione idrobiologica

Schede tecniche dei risultati conseguiti



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale					
Codice Stazione	FA316	Data rilevamento habitat	16/03/06	06/04/06	
Corso d'acqua	T. Farma	Campionamento bentos qualità	16/03/06	06/04/06	
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	16/03/06	06/04/06	
Bacino	Ombrone Gr.				
Località	A valle della confluenza con il F. Farmulla				
Provincia	GR-SI				
Comune in Dx	Monticiano				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1673768 E 4772545				
Quota CTR (m s.l.m.)	316				
Tutela	SIR - pSIC "IT51A0003"				
Distanza miniera (m):	-				
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizione più critica	
Valore complessivo	285	Valore complessivo	285	S	Vegetazione in alveo bagnato
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II	D	Vegetazione in alveo bagnato
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizioni più critiche	
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II	S	Anse, meandri e pozze
Subindici	A II B III C III D III E III F III	Subindici	A II B III C III D III E III F III	D	Anse, meandri e pozze
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizioni più critiche	
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II	S	Meandri e pozze
Subindici	A II B II C III D III E III F III G III H III	Subindici	A II B II C III D III E III F III G III H III	D	Meandri e pozze
Indice Habitat Acquatico (QHEI)					
Valore complessivo		76	Sinuosità	Moderata	Condizioni più critiche
Classe di qualità	II	Rifugi fauna ittica	Moderata (25 - 75 %)		Substrato rifile
Macroinvertebrati II 16/03/2006					
n. Unità Sistematiche	8	Densità (org./m²)	742	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	8	Dens. EPT taxa	554	Raccoglitori (%)	38 13
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m²)	536	Filtratori (%)	29 49
Varietà (n)	8	Biomassa EPT taxa	488	Raschiatori (%)	14 24
Var. EPT taxa	7	Indice di diversità (H')	2,6	Trituratori (%)	4 2
Var. EPT/totale	0,88	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	15 12
Macroinvertebrati II 06/04/2006					
n. Unità Sistematiche	13	Densità (org./m²)	770	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	9	Dens. EPT taxa	488	Raccoglitori (%)	49 21
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m²)	660	Filtratori (%)	2 3
Varietà (n)	13	Biomassa EPT taxa	337	Raschiatori (%)	13 19
Var. EPT taxa	9	Indice di diversità (H')	3,1	Trituratori (%)	6 3
Var. EPT/totale	0,69	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	29 53



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale					
Codice Stazione	FA300	Data rilevamento habitat	26/11/05		06/04/06
Corso d'acqua	T. Farma	Campionamento bentos qualità	26/11/05		06/04/06
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	26/11/05		06/04/06
Bacino	Ombrone Gr.				
Località	A monte della confluenza con il T. Rigualdo				
Provincia	GR-SI				
Comune in Dx	Monticiano				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1676586 E 4771842				
Quota CTR (m s.l.m.)	300				
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"				
Distanza miniera (m):	-				
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)					
Sponda Sx Valore complessivo 275 Classe di qualità I		Sponda Dx 255		Condizione più critica S Strutture di ritenzione degli apporti trofici D Ampiezza della fascia di vegetazione	
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)					
Sponda Sx Classe di qualità II Subindici A B C D E F		Sponda Dx II A B C D E F		Condizioni più critiche S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)					
Sponda Sx Classe di qualità I Subindici A B C D E F G H		Sponda Dx I A B C D E F G H		Condizioni più critiche S Meandri e pozze D Meandri e pozze	
Indice Habitat Acquatico (QHEI)					
Valore complessivo 79 Classe di qualità II		Sinuosità Bassa Rifugi fauna ittica Moderata (25 - 75 %)		Condizioni più critiche S Inclusioni materiali fini nei rifili Substrato rifili Morfologia	
Macroinvertebrati II 26/11/2005					
n. Unità Sistematiche	6	Densità (org./m ²)	507	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	8	Dens. EPT taxa	385	Raccoglitori (%)	19
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m ²)	351	Filtratori (%)	6
Varietà (n)	6	Biomassa EPT taxa	316	Raschiatori (%)	41
Var. EPT taxa	5	Indice di diversità (H')	2,1	Trituratori (%)	17
Var. EPT/totale	0,8	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	24
Giudizio sintetico Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione					
Macroinvertebrati II 06/04/2006					
n. Unità Sistematiche	10	Densità (org./m ²)	732	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	8	Dens. EPT taxa	526	Raccoglitori (%)	46
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m ²)	596	Filtratori (%)	9
Varietà (n)	10	Biomassa EPT taxa	450	Raschiatori (%)	19
Var. EPT taxa	7	Indice di diversità (H')	2,9	Trituratori (%)	3
Var. EPT/totale	0,70	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	23
Giudizio sintetico Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione					



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale

Codice Stazione	FA295	Data rilevamento habitat	26/11/05	06/04/06
Corso d'acqua	T. Farma	Campionamento bentos qualità	26/11/05	06/04/06
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	26/11/05	06/04/06
Bacino	Ombrone Gr.			
Località	A valle della confluenza con il T. Rigualdo			
Provincia	GR-SI			
Comune in Dx	Monticiano			
Comune in Sx	Roccastrada			
Coordinate	N 1676699 E 4771864			
Quota CTR (m s.l.m.)	295			
Tutela	SIR - pSIC "IT51A0003"			
Distanza miniera (m):	3420			



Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)		Condizione più critica	
Sponda Sx	Sponda Dx	S	Vegetazione in alveo bagnato
Valore complessivo 245	245	D	Vegetazione in alveo bagnato
Classe di qualità II	II		
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)		Condizioni più critiche	
Sponda Sx	Sponda Dx	S	Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
Classe di qualità II	II	D	Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
SubIndici A B C	A B C		
D E F	D E F		
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)		Condizioni più critiche	
Sponda Sx	Sponda Dx	S	Meandri e pozze
Classe di qualità I	I	D	Meandri e pozze
SubIndici A B C D	A B C D		
E F G H	E F G H		
Indice Habitat Acquatico (QHEI)		Condizioni più critiche	
Valore complessivo 51	Sinuosità Bassa	Inclusione materiali fini	
Classe di qualità III	Rifugi fauna ittica Scarsa (5 – 25 %)		
Macroinvertebrati II 26/11/2005			
n. Unità Sistematiche 4	Densità (org./m²) 282	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E. -	Dens. EPT taxa 282	Raccoglitori (%)	
Classe di qualità -	Biomassa (mg ps/m²) 125	Filtratori (%)	
Varietà (n) 4	Bionassa EPT taxa 125	Raschiatori (%) 30	76
Var. EPT taxa 4	Indice di diversità (H') 1,2	Trituratori (%) 57	12
Var. EPT/totale 1,0	Indice Eveness (J) 0,9	Predatori (%) 13	12
Macroinvertebrati II 06/04/2006			
n. Unità Sistematiche 10	Densità (org./m²) 667	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E. 7	Dens. EPT taxa 263	Raccoglitori (%) 66	34
Classe di qualità III	Biomassa (mg ps/m²) 487	Filtratori (%)	
Varietà (n) 10	Bionassa EPT taxa 163	Raschiatori (%) 7	7
Var. EPT taxa 6	Indice di diversità (H') 2,5	Trituratori (%) 1	1
Var. EPT/totale 0,60	Indice Eveness (J) 0,8	Predatori (%) 25	58



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	FA280	Data rilevamento habitat	06/04/06
Corso d'acqua	F. Farma	Campionamento bentos qualità	
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	
Bacino	Ombrone Gr.		
Località	A monte della Ferriera		
Provincia	GR-SI		
Comune in Dx	Monticiano		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1677012 E 4773038		
Quota CTR (m s.l.m.)	280		
Tutela	SIR - pSIC "IT51A0003"		
Distanza miniera (m):	4820		
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Valore complessivo 255		255	
Classe di qualità III		III	
		Condizione più critica	
		S Vegetazione in alveo bagnato	
		D Vegetazione in alveo bagnato	
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità II		II	
Subindici A III B III C III		A III B III C III	
D III E III F III		D III E III F III	
		Condizioni più critiche	
		S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
		D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità I		I	
Subindici A III B III C III D III		A III B III C III D III	
E III F III G III H III		E III F III G III H III	
		Condizioni più critiche	
		S Meandri e pozze	
		D Meandri e pozze	
Indice Habitat Acquatico (QHEI)			
Valore complessivo 58		Sinuosità Bassa	
Classe di qualità III		Rifugi fauna ittica Scarsa (5 - 25 %)	
Condizioni più critiche			
Quantità di silt			
Inclusione materiali fini			



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale					
Codice Stazione	FA255	Data rilevamento habitat	16/03/06	06/04/06	
Corso d'acqua	T. Farma	Campionamento benthos qualità	16/03/06	06/04/06	
Sottobacino	Merse	Campionamento benthos quantità	16/03/06	06/04/06	
Bacino	Ombrore Gr.				
Località	Ferriera				
Provincia	GR-SI				
Comune in Dx	Monticiano				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1678447 E 4772918				
Quota CTR (m s.l.m.)	255				
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"				
Distanza miniera (m):	6440				
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizione più critica	
Valore complessivo 255		255		S Vegetazione in alveo bagnato	
Classe di qualità III		III		D Vegetazione in alveo bagnato	
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizioni più critiche	
Classe di qualità II		II		S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
Subindici A III B III C III		A III B III C III		D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
D III E III F III		D III E III F III			
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx		Condizioni più critiche	
Classe di qualità I		I		S Meandri e pozze	
Subindici A III B III C III D III		A III B III C III D III		D Meandri e pozze	
E III F III G III H III		E III F III G III H III			
Indice Habitat Acquatico (QHEI)					
Valore complessivo 58		Sinuosità Bassa		Condizioni più critiche	
Classe di qualità III		Rifugi fauna ittica Scarsa (5 - 25 %)		Quantità di silt	
Inclusione materiali fini					
Macroinvertebrati II 16/03/2006					
n. Unità Sistematiche	6	Densità (org./m²)	272	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	254	Raccoglitori (%)	48
Classe di qualità	III	Biomassa (mg ps/m²)	164	Filtratori (%)	17
Varietà (n)	6	Biomassa EPT taxa	160	Raschiatori (%)	17
Var. EPT taxa	5	Indice di diversità (H')	1,4	Trituratori (%)	
Var. EPT/totale	0,8	Indice Evenness (J)	0,8	Predatori (%)	17
Giudizio sintetico: Ambiente inquinato o comunque alterato					
Macroinvertebrati II 06/04/2006					
n. Unità Sistematiche	14	Densità (org./m²)	864	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	9	Dens. EPT taxa	507	Raccoglitori (%)	60
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m²)	516	Filtratori (%)	2
Varietà (n)	14	Biomassa EPT taxa	336	Raschiatori (%)	8
Var. EPT taxa	9	Indice di diversità (H')	2,9	Trituratori (%)	11
Var. EPT/totale	0,64	Indice Evenness (J)	0,8	Predatori (%)	20
Giudizio sintetico: Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione					



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	FA235	Data rilevamento habitat	16/03/06 06/04/06
Corso d'acqua	F. Farma	Campionamento bentos qualità	16/03/06
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	16/03/06
Bacino	Ombrone Gr.		
Località	A valle della confluenza con il F. al Cinghiale		
Provincia	GR-SI		
Comune in Dx	Monticiano		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1680013 E 4773030		
Quota CTR (m s.l.m.)	235		
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003" Riserva Provinciale "Farma"		
Distanza miniera (m):	8527		

Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)		Condizione più critica
Sponda Sx	Sponda Dx	
Valore complessivo 255	Valore complessivo 255	S Vegetazione in alveo bagnato
Classe di qualità III	Classe di qualità III	D Vegetazione in alveo bagnato

Indice CapacitàTampone (B.S.I.)		Condizioni più critiche
Sponda Sx	Sponda Dx	
Classe di qualità II	Classe di qualità II	S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
SubIndici A III B III C III D III E III F III	SubIndici A III B III C III D III E III F III	D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica

Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)		Condizioni più critiche
Sponda Sx	Sponda Dx	
Classe di qualità II	Classe di qualità I	S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
SubIndici A III B III C III D III E III F III G III H III	SubIndici A I B III C III D III E III F III G III H III	D Meandri e pozze

Indice Habitat Acquatico (QHEI)		Condizioni più critiche
Valore complessivo 59	Sinuosità Moderata	
Classe di qualità III	Rifugi fauna ittica Scarsa (5 - 25 %)	Inclusione materiali fini

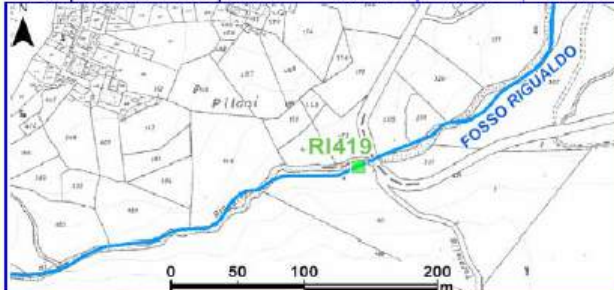


Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	FA230	Data rilevamento habitat	26/11/05
Corso d'acqua	T. Farma	Campionamento bentos qualità	
Sottobacino	Merse	Campionamento bentos quantità	
Bacino	Ombone Gr.		
Località	Canaloni		
Provincia	GR-SI		
Comune in Dx	Monticiano		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1680613 E 4772850		
Quota CTR (m s.l.m.)	230		
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"		
	Riserva Provinciale "Farma"		
Distanza miniera (m):	9194		
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Valore complessivo 285		285	
Classe di qualità II		II	
		Condizione più critica	
		S Vegetazione in alveo bagnato	
		D Vegetazione in alveo bagnato	
Indice Capacità Tampone (B.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità II		III	
SubIndici A III B III C III D III E III F III		A III B III C III D III E III F IV	
		Condizioni più critiche	
		S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
		D Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità	
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità II		II	
SubIndici A III B III C III D III E III F III G III H III		A III B III C III D III E III F IV G III H III	
		Condizioni più critiche	
		S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
		D Costruzioni edili e altre cause di disturbo	
Indice Habitat Acquatico (QHEI)			
Valore complessivo 69		Sinuosità Moderata	
Classe di qualità II		Rifugi fauna ittica Moderata (25 - 75 %)	
		Condizioni più critiche	
		Quantità di silt	
		Inclusione materiali fini	



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale

Codice Stazione	RI419	Data rilevamento habitat	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Bacino	Ombrone Gr.				
Località	Ponte della SS Senese Aretina n. 73				
Provincia	GR				
Comune in Dx	Roccastrada				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1675434 E 4770268				
Quota CTR (m s.l.m.)	419				
Tutela:	NO				
Distanza miniera (m):	700				



Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)		Condizione più critica	
Valore complessivo	245	S	Stato del territorio circostante
Classe di qualità	II	D	Stato del territorio circostante
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)		Condizioni più critiche	
Classe di qualità	III	S	Coltivazioni agrarie (tipologia, distanza, estensione, irrigazione)
SubIndici	A II B III C III D III E IV F III	D	Morfometria e granulometria dell'alveo e delle rive
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)		Condizioni più critiche	
Classe di qualità	II	S	Coltivazioni agrarie (tipologia, distanza, estensione, irrigazione), uso delle golene
SubIndici	A II B II C II D III E IV F III G III H III	D	Meandri e pozze
Indice Habitat Acquatico (QHEI)		Condizioni più critiche	
Valore complessivo	39	Inclusione materiali fini	
Classe di qualità	IV		
Sinuosità	Bassa		
Rifugi fauna ittica	Assenti (< 5 %)		
Macroinvertebrati II 26/11/2005			
n. Unità Sistematiche	8	Densità (org./m²)	207
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	66
Classe di qualità	III	Biomassa (mg ps/m²)	317
Varietà (n)	8	Bionassa EPT taxa	153
Var. EPT taxa	4	Indice di diversità (H')	1,1
Var. EPT/totale	0,5	Indice Eveness (J)	0,9
		Raccoglitori (%)	68
		Filtratori (%)	14
		Raschiatori (%)	18
		Trituratori (%)	
		Predatori (%)	
Macroinvertebrati II 16/03/2006			
n. Unità Sistematiche	6	Densità (org./m²)	300
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	207
Classe di qualità	III	Biomassa (mg ps/m²)	252
Varietà (n)	6	Bionassa EPT taxa	219
Var. EPT taxa	5	Indice di diversità (H')	2,5
Var. EPT/totale	0,8	Indice Eveness (J)	1,0
		Raccoglitori (%)	38
		Filtratori (%)	16
		Raschiatori (%)	19
		Trituratori (%)	6
		Predatori (%)	22
Macroinvertebrati II 06/04/2006			
n. Unità Sistematiche	6	Densità (org./m²)	423
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	310
Classe di qualità	III	Biomassa (mg ps/m²)	292
Varietà (n)	6	Bionassa EPT taxa	260
Var. EPT taxa	5	Indice di diversità (H')	2,5
Var. EPT/totale	0,83	Indice Eveness (J)	0,9
		Raccoglitori (%)	24
		Filtratori (%)	20
		Raschiatori (%)	27
		Trituratori (%)	11
		Predatori (%)	18



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	RI325	Data rilevamento habitat	06/04/06
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	
Bacino	Ombone Gr.		
Località	A monte della confluenza con il Beccaraio		
Provincia	GR		
Comune in Dx	Roccastrada		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1676319 E 4770761		
Quota CTR (m s.l.m.)	325		
Tutela	NO		
Distanza miniera (m):	1874		
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)			
Sponda Sx Valore complessivo 230 Classe di qualità II		Sponda Dx 230 II	<u>Condizione più critica</u> S Strutture di ritenzione degli apporti trofici D Strutture di ritenzione degli apporti trofici
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)			
Sponda Sx Classe di qualità II Subindici A III B III C III D III E III F III		Sponda Dx II A III B III C III D III E III F III	<u>Condizioni più critiche</u> S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)			
Sponda Sx Classe di qualità II Subindici A III B III C III D III E III F III G III H III		Sponda Dx II A III B III C III D III E III F III G III H III	<u>Condizioni più critiche</u> S Meandri e pozze D Meandri e pozze
Indice Habitat Acquatico (QHEI)			
Valore complessivo 40 Classe di qualità IV		Sinuosità Bassa Rifugi fauna ittica Assenti (< 5 %)	<u>Condizioni più critiche</u> Inclusione materiali fini



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale									
Codice Stazione	RI320	Data rilevamento habitat	26/11/05	16/03/06	06/04/06				
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	26/11/05	16/03/06	06/04/06				
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	26/11/05	16/03/06	06/04/06				
Bacino	Ombrore Gr.								
Località	Poco a monte della confluenza con il Beccaraio								
Provincia	GR								
Comune in Dx	Roccastrada								
Comune in Sx	Roccastrada								
Coordinate	N 1676541 E 4770853								
Quota CTR (m s.l.m.)	320								
Tutela:	NO								
Distanza miniera (m):	2130								
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)						Condizione più critica			
Sponda Sx		Sponda Dx				S Strutture di ritenzione degli apporti trofici D Strutture di ritenzione degli apporti trofici			
Valore complessivo 230		230							
Classe di qualità II		II							
Indice Capacità Tampone (B.S.I.)						Condizioni più critiche			
Sponda Sx		Sponda Dx				S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica			
Classe di qualità II		II							
Subindici A III B III C III D III E III F III		A III B III C III D III E III F III							
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)						Condizioni più critiche			
Sponda Sx		Sponda Dx				S Meandri e pozze D Meandri e pozze			
Classe di qualità II		I							
Subindici A III B III C III D III E III F III G III H III		A III B III C III D III E III F III G III H III							
Indice Habitat Acquatico (QHEI)						Condizioni più critiche			
Valore complessivo 38		Sinuosità Bassa				Inclusione materiali fini			
Classe di qualità IV		Rifugi fauna ittica Assenti (< 5 %)							
Macroinvertebrati II 26/11/2005									
n. Unità Sistematiche	6	Densità (org./m²)	188	Densità		Biomassa		Giudizio sintetico Ambiente inquinato o comunque alterato	
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	131	Raccoglitori (%)		30			
Classe di qualità III		Biomassa (mg ps/m²)	86	Filtratori (%)		40			
Varietà (n)	6	Biomassa EPT taxa	81	Raschiatori (%)		20			
Var. EPT taxa	4	Indice di diversità (H')	2,0	Trituratori (%)					
Var. EPT/totale	0,7	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)		15			
Macroinvertebrati II 16/03/2006									
n. Unità Sistematiche	7	Densità (org./m²)	376	Densità		Biomassa		Giudizio sintetico Ambiente inquinato o comunque alterato	
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	376	Raccoglitori (%)		50			
Classe di qualità III		Biomassa (mg ps/m²)	197	Filtratori (%)		8			
Varietà (n)	8	Biomassa EPT taxa	197	Raschiatori (%)		25			
Var. EPT taxa	4	Indice di diversità (H')	1,7	Trituratori (%)					
Var. EPT/totale	0,5	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)		30			
Macroinvertebrati II 06/04/2006									
n. Unità Sistematiche	9	Densità (org./m²)	460	Densità		Biomassa		Giudizio sintetico Ambiente inquinato o comunque alterato	
Valore Indice I.B.E.	7	Dens. EPT taxa	282	Raccoglitori (%)		45			
Classe di qualità III		Biomassa (mg ps/m²)	302	Filtratori (%)		16			
Varietà (n)	9	Biomassa EPT taxa	247	Raschiatori (%)		8			
Var. EPT taxa	7	Indice di diversità (H')	2,6	Trituratori (%)		10			
Var. EPT/totale	0,78	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)		20			



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	RI310	Data rilevamento habitat	06/04/06
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	
Bacino	Ombrore Gr.		
Località	Casaloni		
Provincia	GR		
Comune in Dx	Roccastrada		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1676667 E 4771205		
Quota CTR (m s.l.m.)	310		
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"		
Distanza miniera (m):	2613		
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)		Condizione più critica	
Sponda Sx		S	
Valore complessivo	230	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	
Classe di qualità	II	D	
Sponda Dx		Strutture di ritenzione degli apporti trofici	
Valore complessivo	230		
Classe di qualità	II		
Indice Capacità Tampone (B.S.I.)		Condizioni più critiche	
Sponda Sx		S	
Classe di qualità	II	Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
SubIndici	A I B III C III D III E III F III	D	
Sponda Dx		Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
Classe di qualità	II		
SubIndici	A I B III C III D III E III F III		
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)		Condizioni più critiche	
Sponda Sx		S	
Classe di qualità	II	Meandri e pozze	
SubIndici	A I B I C I D I E I F I G I H I	D	
Sponda Dx		Meandri e pozze	
Classe di qualità	II		
SubIndici	A I B I C I D I E I F I G I H I		
Indice Habitat Acquatico (QHEI)		Condizioni più critiche	
Valore complessivo	38	Inclusione materiali fini	
Classe di qualità	IV		
Sinuosità	Bassa		
Rifugi fauna ittica	Assenti (< 5 %)		

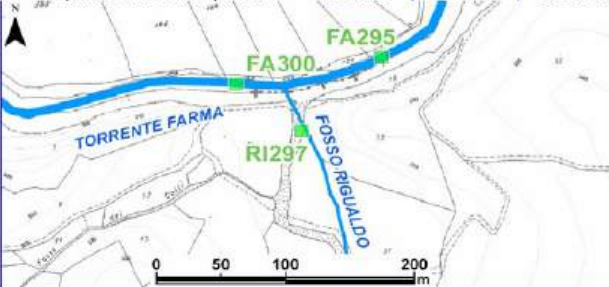


Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale			
Codice Stazione	RI300	Data rilevamento habitat	06/04/06
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	
Bacino	Ombrore Gr.		
Località	Colli		
Provincia	GR		
Comune in Dx	Roccastrada		
Comune in Sx	Roccastrada		
Coordinate	N 1676624 E 4771600		
Quota CTR (m s.l.m.)	300		
Tutela	SIR - pSIC "IT51A0003"		
Distanza miniera (m):	3115		
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Valore complessivo 165		165	
Classe di qualità III		III	
		S Strutture di ritenzione degli apporti trofici	
		D Strutture di ritenzione degli apporti trofici	
Indice CapacitàTampone (B.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità IV		IV	
SubIndici A III B III C III		A III B III C III	
D III E III F IV		D III E III F IV	
		S Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità	
		D Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità	
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)			
Sponda Sx		Sponda Dx	
Classe di qualità III		III	
SubIndici A III B III C IV D III		A III B III C IV D III	
E III F IV G III H III		E III F IV G III H III	
		S Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
		D Ripa: tessitura, vegetazione arbustiva, erbacea ed acquatica	
Indice Habitat Acquatico (QHEI)			
Valore complessivo 38		Sinuosità Bassa	
Classe di qualità IV		Rifugi fauna ittica Assenti (< 5 %)	
		S Condizioni più critiche	
		D Inclusioni materiali fini	

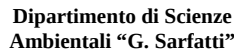


Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale

Codice Stazione	RI297	Data rilevamento habitat	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Corso d'acqua	T. Rigualdo	Campionamento bentos qualità	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Sottobacino	Farma	Campionamento bentos quantità	26/11/05	16/03/06	06/04/06
Bacino	Ombone Gr.				
Località	A monte della confluenza con il F. Farma				
Provincia	GR				
Comune in Dx	Roccastrada				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1676637 E 4771802				
Quota CTR (m s.l.m.)	297				
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"				
Distanza miniera (m):	3336				



Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)			Condizione più critica	
Sponda Sx Valore complessivo 165 Classe di qualità III		Sponda Dx 170 III	S	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
			D	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
Indice Capacità Tampone (B.S.I.)			Condizioni più critiche	
Sponda Sx Classe di qualità IV SubIndici A IV B III C III D III E III F IV		Sponda Dx IV A IV B III C III D III E III F IV	S	Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità
			D	Opere edili, idrauliche, immissioni, escavazioni o viabilità
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)			Condizioni più critiche	
Sponda Sx Classe di qualità IV SubIndici A III B IV C IV D III E III F IV G III H III		Sponda Dx IV A III B IV C IV D III E III F IV G III H III	S	Vegetazione arborea (copertura, altezza, estensione, localizzazione)
			D	Vegetazione arborea (copertura, altezza, estensione, localizzazione)
Indice Habitat Acquatico (QHEI)			Condizioni più critiche	
Valore complessivo 19 Classe di qualità V		Sinuosità Bassa Rifugi fauna ittica Assenti (< 5%)	Quantità di silt Inclusione materiali fini	
Macroinvertebrati II 26/11/2005				
n. Unità Sistematiche 4	Densità (org./m²) 150	Densità	Biomassa	Giudizio sintetico Ambiente non giudicabile
Valore Indice I.B.E. -	Dens. EPT taxa 85	Raccoglitori (%) 44	6	
Classe di qualità -	Biomassa (mg ps/m²) 117	Filtratori (%) 13	7	
Varietà (n) 4	Biomassa EPT taxa 109	Raschiatori (%) 31	75	
Var. EPT taxa 4	Indice di diversità (H') 1,2	Trituratori (%) 11	26	
Var. EPT/totale 1,0	Indice Eveness (J) 1	Predatori (%) 13	12	
Macroinvertebrati II 16/03/2006				
n. Unità Sistematiche 6	Densità (org./m²) 329	Densità	Biomassa	Giudizio sintetico Ambiente inquinato o comunque alterato
Valore Indice I.B.E. 7	Dens. EPT taxa 329	Raccoglitori (%) 31	7	
Classe di qualità III	Biomassa (mg ps/m²) 269	Filtratori (%) 11	21	
Varietà (n) 6	Biomassa EPT taxa 269	Raschiatori (%) 26	22	
Var. EPT taxa 5	Indice di diversità (H') 1,8	Trituratori (%) 11	26	
Var. EPT/totale 0,8	Indice Eveness (J) 0,9	Predatori (%) 20	23	
Macroinvertebrati II 06/04/2006				
n. Unità Sistematiche 8	Densità (org./m²) 347	Densità	Biomassa	Giudizio sintetico Ambiente inquinato o comunque alterato
Valore Indice I.B.E. 7	Dens. EPT taxa 188	Raccoglitori (%) 49	30	
Classe di qualità III	Biomassa (mg ps/m²) 243	Filtratori (%) 5	7	
Varietà (n) 8	Biomassa EPT taxa 175	Raschiatori (%) 19	31	
Var. EPT taxa 6	Indice di diversità (H') 2,3	Trituratori (%) 11	19	
Var. EPT/totale 0,75	Indice Eveness (J) 0,9	Predatori (%) 16	13	



Codice Stazione	GR409	Data rilevamento habitat	26/11/05	06/04/06
Corso d'acqua	T. Gretano	Campionamento bentos qualità	26/11/05	06/04/06
Sottobacino	-	Campionamento bentos quantità	26/11/05	06/04/06
Bacino	Ombrone Gr.			
Località	Ponte della SS Senese Aretina n. 73			
Provincia	GR			
Comune in Dx	Roccastrada			
Comune in Sx	Roccastrada			
Coordinate	N 1676042 E 4769922			
Quota CTR (m s.l.m.)	409			
Tutela:	NO			
Distanza miniera (m):	-			

The map shows a section of the T. Gretano river. A blue line represents the river's course, with a green square marking the location of station GR409. The river is labeled 'FOSSO GRETRANO' in blue capital letters. A north arrow is located in the upper left corner. A scale bar at the bottom indicates distances of 0, 50, 100, and 200 meters. The station code 'GR409' is written in green text near the sampling point.



Valore complessivo	275
Classe di qualità	I

275

S Vegetazione in alveo bagnato

D Vegetazione in alveo bagnato

Classe di qualità **II**

SubIndici **A** **B** **C**
D **E** **F**

11

S Morfometria e granulometria dell'alveo e delle rive

D Morfometria e granulometria dell'alveo e delle rive

Classe di qualità **Sponda Sx II**

SubIndici **A III** **B** **C III**

E III **F III** **G III**

II

S Ripa: tessitura, vegetazione
arbustiva, erbacea ed acquatica

D Ripa: tessitura, vegetazione
arbustiva, erbacea ed acquatica

Valore complessivo	65
Classe di qualità	II

**Bassa
Assenti (< 5 %)**

Quantità di silt
Substrato riffle

n. Unità Sistematiche	6
Valore Indice I.B.E.	7
Classe di qualità	III
Varietà (n)	6
Var. EPT taxa	4
Var. EPT/totale	0,7

Densità (org./m²)
Dens. EPT taxa
Biomassa (mg ps/m²)
Biomassa EPT taxa
Indice di diversità (H')
Indice Evenness (J)

535	
488	Racco
277	Filtrat
238	Rasch
1,6	Tritur
0,8	Preda

<i>Densità</i> (%)	<i>Biomassa</i>
7	4
46	45
4	4
4	4
35	34

Ambiente inquinato o comunque alterato

n. Unità Sistematiche	8
Valore Indice I.B.E.	8
Classe di qualità	II
Varietà (n)	8
Var. EPT taxa	6
Var. EPT/totale	0.75

Densità (org./m²)
Dens. EPT taxa
Biomassa (mg ps/m²)
Bionassa EPT taxa
Indice di diversità (H')
Indice Evenness (J)

676	
526	Raccolta
455	Filtri
432	Raschi
2,4	Trituratori
0,9	Preda

<i>Densità</i>	<i>Biomassa</i>
(%) 46	34
) 11	27
(%) 15	20
(%) 14	6
) 14	12

Ambiente con moderati
 sintomi di inquinamento
 o di alterazione



Caratterizzazione Idrobiologica del T. Rigualdo e del F. Farma in relazione alla Valutazione del Danno Ambientale					
Codice Stazione	BE320	Data rilevamento habitat	16/03/06	06/04/06	
Corso d'acqua	Fosso Beccaraio	Campionamento bentos qualità	16/03/06	06/04/06	
Sottobacino	Rigualdo	Campionamento bentos quantità	16/03/06	06/04/06	
Bacino	Ombrone Gr.				
Località	A monte della confluenza con il T. Rigualdo				
Provincia	GR				
Comune in Dx	Roccastrada				
Comune in Sx	Roccastrada				
Coordinate	N 1676663 E 4770940				
Quota CTR (m s.l.m.)	320				
Tutela:	SIR - pSIC "IT51A0003"				
Distanza miniera (m):	-				
Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)					
Sponda Sx		Sponda Dx			
Valore complessivo	260	Valore complessivo	260		
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II		
				S	Condizione più critica
				D	Strutture di ritenzione degli apporti trofici
Indice Capacità Tampone (B.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx			
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II		
Subindici	A II B II C III D III E III F III	Subindici	A II B II C III D III E III F III		
				S	Condizioni più critiche
				D	Morfometria e granulometria dell'alveo e delle rive
Indice Valenza Naturalistica (W.S.I.)					
Sponda Sx		Sponda Dx			
Classe di qualità	II	Classe di qualità	II		
Subindici	A II B II C III D III E III F III G III H III	Subindici	A II B II C III D III E III F III G III H III		
				S	Condizioni più critiche
				D	Meandri e pozze
Indice Habitat Acquatico (QHEI)					
Valore complessivo		Sinuosità			
50		Bassa			
Classe di qualità		Rifugi fauna ittica			
III		Assenti (< 5 %)			
				Condizioni più critiche	
				Quantità di silt	
				Morfologia	
				Profondità riffle	
Macroinvertebrati il 16/03/2006					
n. Unità Sistematiche	12	Densità (org./m²)	779	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	9	Dens. EPT taxa	620	Raccoglitori (%)	45
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m²)	553	Filtratori (%)	19
Varietà (n)	12	Biomassa EPT taxa	497	Raschiatori (%)	14
Var. EPT taxa	10	Indice di diversità (H')	3,0	Trituratori (%)	12
Var. EPT/totale	0,8	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	10
				Giudizio sintetico	
				Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	
Macroinvertebrati il 06/04/2006					
n. Unità Sistematiche	12	Densità (org./m²)	873	Densità	Biomassa
Valore Indice I.B.E.	9	Dens. EPT taxa	554	Raccoglitori (%)	17
Classe di qualità	II	Biomassa (mg ps/m²)	704	Filtratori (%)	8
Varietà (n)	12	Biomassa EPT taxa	416	Raschiatori (%)	20
Var. EPT taxa	7	Indice di diversità (H')	2,8	Trituratori (%)	33
Var. EPT/totale	0,58	Indice Eveness (J)	0,9	Predatori (%)	22
				Giudizio sintetico	
				Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	



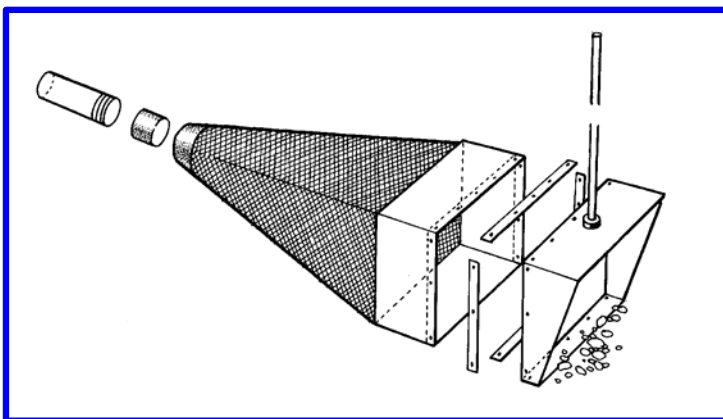
Allegato 1: Specifiche dei metodi utilizzati

Indice Biotico Esteso (I.B.E.)

Il metodo utilizzato per l'esecuzione dell'I.B.E. (Indice Biotico Esteso) è la formulazione più recente ed aggiornata (Ghetti 1997). Questa tecnica prevede l'analisi della comunità dei macroinvertebrati bentonici, organismi costantemente presenti nel corso d'acqua la cui taglia alla fine dello stadio larvale supera in genere la dimensione minima di 1 mm; ad essi appartengono i seguenti gruppi zoologici: Insetti (in particolare taxa appartenenti agli ordini dei Plecotteri, Efemerotteri, Coleotteri, Odonati, Eterotteri e Ditteri), Crostacei (Anfipodi, Isopodi e Decapodi), Molluschi (Gasteropodi e Bivalvi), Irudinei, Tricladi, Oligocheti ed altri gruppi più rari come Briozoi e Poriferi.

I campionamenti qualitativi di macroinvertebrati epibentonici sono stati effettuati mediante retino immanicato (figura a lato) con dimensioni standard (25 x 20 cm) armato con rete a maglie di 375 µm di ampiezza. Pur essendo il campionatore di tipo qualitativo è stato possibile esprimere un valore di abbondanza relativa degli organismi campionati poiché è stato effettuato un analogo "sforzo" di cattura in tutti i campionamenti e, all'interno del singolo transetto, sono stati raccolti invertebrati bentonici da tutti i microhabitat presenti.

In laboratorio è stato eseguito un accurato prelievo manuale (sorting) degli organismi campionati mediante l'ausilio di pinzette metalliche da entomologo. Gli organismi sono stati fissati in alcool 90° e sono stati classificati, sino al livello richiesto con l'utilizzo dello stereo-microscopio ottico (10-50 ingrandimenti) e del microscopio ottico (50-400 ingrandimenti) che viene utilizzato per l'analisi di particolari strutture anatomiche (come cerci, lamelle branchiali, palpi, antenne, mandibole).



La classificazione degli organismi è stata compiuta avvalendosi delle chiavi tassonomiche di Tachet et al. (1980), delle Guide del CNR (1980-81-82-83), dell'atlante di Sansoni (1988) e del manuale specifico dei macroinvertebrati presenti nelle acque dolci italiane di Campaioli et al. (1994 e 1999).

Una volta ultimate le determinazioni tassonomiche e definita con precisione la struttura delle comunità dei macroinvertebrati bentonici si è proceduto al calcolo del valore di I.B.E. mediante l'utilizzo della tabella di calcolo dotata di due entrate di cui una orizzontale, determinata dalla qualità degli organismi rinvenuti, ed una verticale determinata invece dal numero totale di Unità Sistematiche presenti nel campione.



Gruppi Faunistici (primo ingresso)		Numero totale delle Unità Sistematiche (secondo ingresso)								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-...
Plecotteri	più di una U.S.	-	-	8	9	10	11	12	13*	14*
	una sola U.S.	-	-	7	8	9	10	11	12	13*
Efemerotteri	più di una U.S.	-	-	7	8	9	10	11	12	-
	una sola U.S.	-	-	6	7	8	9	10	11	-
Tricotteri	più di una U.S.	-	5	6	7	8	9	10	11	-
	una sola U.S.	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Gammaridi e/o Atiidi	Tutte le U.S.									
e/o Palemonidi	sopra assenti	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Asellidi e/o Nifhargidi	Tutte le U.S.									
	sopra assenti	-	3	4	5	6	7	8	9	-
Oligocheti o	Tutte le U.S.									
Chironomidi	sopra assenti	1	2	3	4	5	-	-	-	-
Altri organismi	Tutte le U.S.									
	sopra assenti	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Il valore di indice biotico ricavato è stato quindi trasformato in classi di qualità sulla base dei valori di riferimento riportati nella successiva tabella che permette di ricondurre tutta la scala dei valori di I.B.E. (0 -13) entro 5 classi di qualità, ad ognuna delle quali viene assegnato un colore di riferimento che permette di riportare sinteticamente in cartografia i risultati conseguiti:

Classi di Qualità	Valore di I.B.E.	Giudizio	Colore di riferimento
I	10-11-12	Ambiente non inquinato o comunque non alterato in modo sensibile	azzurro
II	8-9	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	verde
III	6-7	Ambiente inquinato o comunque alterato	giallo
IV	4-5	Ambiente molto inquinato o comunque molto alterato	arancione
V	1-2-3-...	Ambiente fortemente inquinato e fortemente alterato	rosso

L'abbondanza relativa dei macroinvertebrati presenti nella stazione è stata espressa sulla base di una discretizzazione in 3 classi numeriche arbitrarie: 1 = raro (< 5 individui/transetto), 2 = comune (6-20 individui/transetto), 3 = abbondante (> 21 individui/transetto); il confronto tra i vari campioni è reso possibile mediante l'applicazione in tutte le situazioni del medesimo sforzo di cattura (campionamento di 1 singolo transetto per stazione di indagine).

Densità e Biomassa della comunità macrozoobentonica

Per ogni singola sezione di alveo sono state effettuate tre pseudorepliche di campionamento di fauna macrobentonica mediante campionatore quantitativo modello Surber con rete di 375 µm e superficie campionabile di 355 cm².

Si sono annotate le caratteristiche specifiche del microhabitat campionato: profondità, substrato, velocità della corrente in prossimità del fondo, presenza o meno di alghe filamentose, perfitiche ed eventuali altri particolari.



Lo smistamento degli invertebrati macrozoobentonici dai campioni quantitativi è stato sempre eseguito entro le 24 ore e il sorting degli organismi è stato completato con il fissaggio in alcool 70% di tutti gli organismi raccolti.

Per tutti gli organismi campionati si è raggiunta la determinazione tassonomica richiesta per il calcolo dell'Indice Biotico I.B.E. (Ghetti 1997).

La classificazione degli organismi è stata compiuta avvalendosi delle Guide del CNR (1980-81-82-83) e del manuale specifico dei macroinvertebrati presenti nelle acque dolci italiane (Campaioli et al., 1994 e 1998).

E' stata misurata la lunghezza del corpo (in mm) di ciascun organismo, mediante un micrometro oculare. Questa lunghezza, in seguito, è stata utilizzata per il calcolo della biomassa (espressa in mg Peso Secco), avvalendosi delle correlazioni lunghezza/peso proposte nei lavori di Meyer (1989), Smock (1980) e Johnston & Cunjak (1999).

Si è provveduto ad individuare il più probabile gruppo trofico-funzionale di appartenenza di ogni organismo seguendo le indicazioni fornite da Merritt e Cummins (1988) e si sono utilizzati i seguenti cinque gruppi trofico-funzionali: Raccoglitori (R), Filtratori (F), Raschiatori (S), Trituratori (T) e Predatori (P).

Si è espressa la densità totale e quella delle singole unità sistematiche rapportando la superficie del campionatore Surber al m² di alveo.

La misura della diversità, all'interno della comunità di macroinvertebrati, si è calcolata secondo la funzione H' di Shannon e Weaver (1963), scomposta nei corrispondenti indici di ricchezza (H max) e di omogeneità (J) (Krebs, 1989) e si è calcolato l'indice di ricchezza in specie (D) di Margalef (1958). Tutti questi indici sono consigliati da Washington (1982) per analizzare le comunità di invertebrati acquatici.

Con i dati riguardanti la varietà e l'abbondanza dei gruppi trofico-funzionali si è eseguito il calcolo dei rapporti trofici seguendo le indicazioni proposte da Shackleford (1988) e dall'EPA (1986).

Analisi dei Livelli Trofico Funzionali del Macrozoobenthos

L'analisi del livello trofico-funzionale è importante in quanto evidenzia la capacità della comunità dei macroinvertebrati di autodepurare un corso d'acqua, chiarendo in definitiva il ruolo svolto dagli invertebrati nel processo complessivo di trasferimento della materia lungo un corso d'acqua, che è nel contempo quello di un consumo diretto (respirazione) e di una frantumazione del particolato in sostanze più facilmente assimilabili dalla componente batterica.

L'individuazione del ruolo trofico-funzionale di appartenenza dei singoli taxa è stato effettuato secondo le indicazioni fornite da Merritt e Cummins (1988). I ruoli trofico-funzionali sono stati riassunti nelle 5 tipologie principali riportate nella seguente tabella:

RUOLO TROFICO	TIPO DI NUTRIMENTO
TRITURATORI	Particolato grossolano di materiale organico (CPOM costituito da detrito vegetale)
RACCOGLITORI	Particelle fini di detrito organico (FPOM) depositato sul fondo
FILTRATORI	Detrito organico fine (FPOM) e ultrafine (UPOM) in sospensione nell'acqua
RASCHIATORI	Perifiton che ricopre i substrati immersi
PREDATORI	Prede vive o sangue di queste

Con i dati riguardanti la varietà e l'abbondanza dei gruppi trofico-funzionali si è eseguito il calcolo dei rapporti trofici seguendo le indicazioni proposte da Shackleford (1988) e dall'EPA (1986).



Indici di Diversità delle comunità macrobentoniche

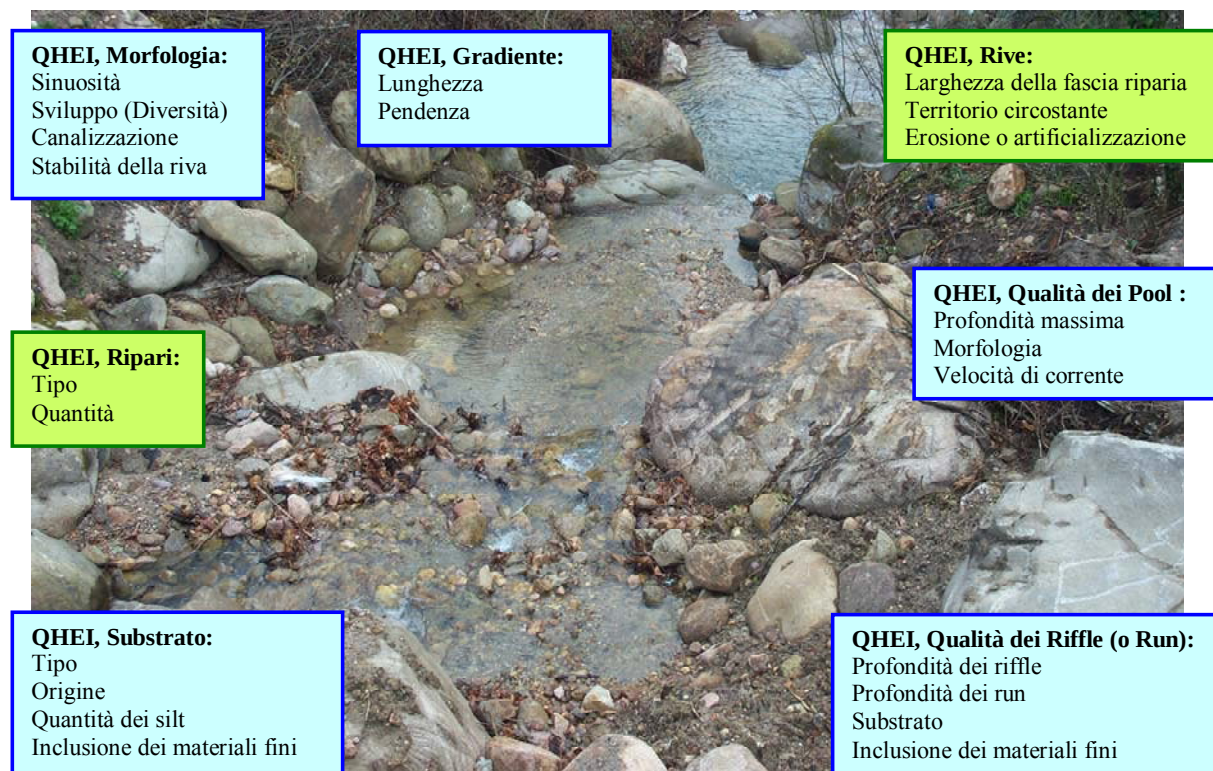
La misura della diversità, data dalla funzione H' di Shannon e Weaver (1963) è stata calcolata e scomposta nei corrispondenti indici di ricchezza (H_{max}) e di omogeneità (J) (Krebs, 1989) e si è calcolato l'indice di ricchezza in specie (D) di Margalef (1958). Tutti questi indici sono consigliati da Washington (1982) per analizzare le comunità di invertebrati acquatici.

I valori della varietà, diversità ed abbondanza delle comunità macrozoobentoniche sono stati associati alle condizioni morfo-fisiografiche delle sezioni ed alle possibili e più probabili cause di alterazione e/o disturbo e/o stress secondo quanto indicato da Resh et al. (1988), Ghetti e Salmoiraghi (1994), Salmoiraghi (1996) e Braioni et al. (2004 e 2005).

Indice di Qualità dell'Habitat (QHEI)

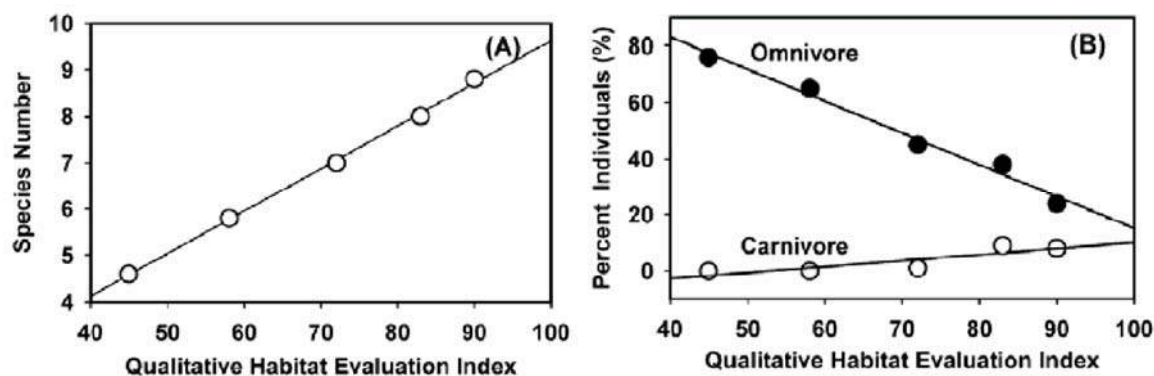
Il QHEI (Qualitative Habitat Evaluation Index) o Indice di Valutazione della Qualità dell'Habitat (EPA, 1989, Somerville & Pruitt 2004) serve per "giudicare" lo stato di qualità degli habitat fluviali, in funzione delle caratteristiche fisiche rilevabili mediante specifica griglia da utilizzare in campo.

Il seguente schema rappresenta esemplificandole le componenti, con le relative variabili, che l'Indice QHEI prende in esame:





I tipi e la diversità degli habitat dipendono dalle condizioni geomorfologiche dei corsi d'acqua, che quindi influiscono anche sulle comunità biologiche come messo in evidenza dalle seguenti correlazioni tra il QHEI e il numero di specie (A) e tra la composizione percentuale di carnivori ed onnivori (B) secondo Kwang-Guk et al. (2002).



L'Indice QHEI è uno strumento che permette di valutare queste relazioni funzionali attraverso la scomposizione dell'ambiente fluviale nelle sue componenti costitutive:

- **Substrato:** la sostanza, la base su cui, o per mezzo del quale, un certo organismo si stabilisce nel torrente. I tipi di substrato includono suolo, rocce, ciottoli, ghiaia grossa, ghiaia fine, sabbia, limo e detriti vegetali.
- **Ripari sul fiume:** si intendono i vari tipi di elementi ambientali presenti in quantità sufficiente a fornire un habitat diversificato a supporto della fauna del torrente.
- **Morfologia:** vari tipi di elementi ambientali presenti in quantità sufficiente a fornire un habitat diversificato.
- **Rive ed erosione delle sponde:** riferita alla qualità del territorio che fa da cuscinetto fra l'ambiente fiume e il territorio circostante.
- **Pool/glide e riffle/run:** le caratteristiche delle zone con acque lente e veloci.
- **Gradiente e dimensione del fiume:** Questa misura classifica un sito esaminato con riguardo alla dimensione del fiume e al suo gradiente. Il punteggio è assegnato in base al confronto matriciale dei parametri larghezza e gradiente altitudinale.

Il contributo di ciascuna caratteristica geomorfologica, come evidenziato dalle correlazioni con parametri biologici, ha una differente influenza sulle comunità acquatiche.

L'ordine di priorità risultante è:

SUBSTRATO > CARATTERISTICHE DEL FLUSSO > RIPARI PER FAUNA ITTICA > CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE LONGITUDINALI > RIVE ED EROSIONE DELLE SPONDE > GRADIENTE E DIMENSIONE DEL CORSO D'ACQUA.



Il valore complessivo dell'indice QHEI si ricava dalla sommatoria dei punteggi attribuiti ai diversi parametri, quindi la qualità dell'habitat è individuata dai range di punteggi, opportunamente modificati per meglio adattare il metodo alle condizioni che caratterizzano i corsi d'acqua italiani.

CLASSE	SCORE	CONDIZIONI DEL HABITAT	COLORE
I	QHEI > 85	OTTIME	BLU
II	61 < QHEI < 84	BUONE	VERDE
III	45 < QHEI < 60	MEDIOCRI	GIALLO
IV	31 < QHEI < 44	SCADENTI	ARANCIO
V	QHEI < 30	PESSIME	ROSSO

Indice Funzionale Fluviale (I.F.F.)

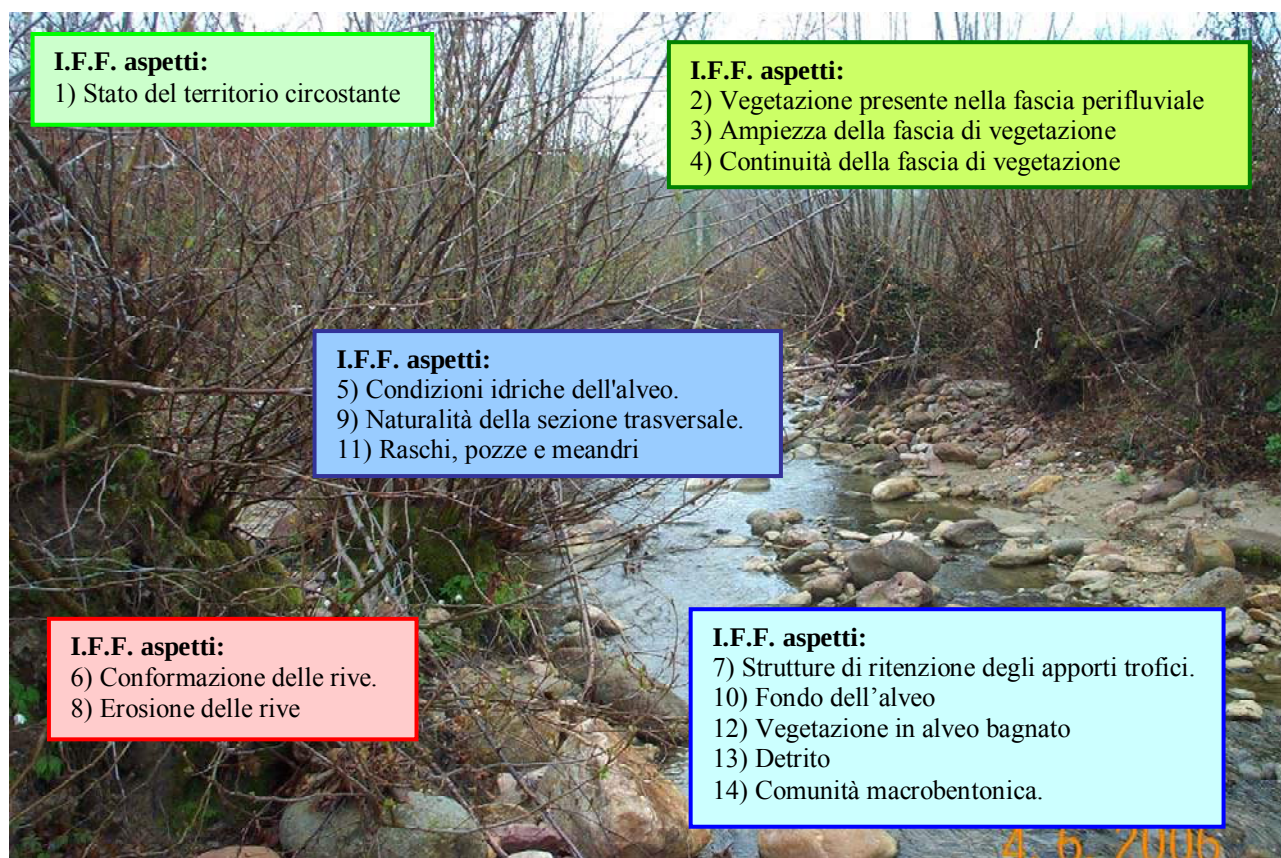
Il metodo deriva dall'indice di qualità Riparian, Channel and Environmental (RCE) proposto da Petersen (1992) e dalle successive modifiche (RCE-2) apportate da Siligardi e Maiolini (1993). L'indice I.F.F. prevede la compilazione, in campo, di una scheda predefinita di aspetti da prendere in considerazione ed ad ogni riscontro corrisponde uno specifico valore. Esiste una gradualità nella sequenza delle domande: le prime quattro riguardano la vegetazione delle rive e del territorio, in cui si mettono in luce le diverse tipologie strutturali degli elementi influenzanti l'ambiente fluviale, come per esempio l'uso del territorio o l'ampiezza della zona riparia naturale.

Le successive due domande si riferiscono alla struttura fisica e morfologica delle rive; sono motivate dall'importanza che esse rivestono per l'ambiente fluviale e per la conservazione delle caratteristiche idrauliche.

Le domande che vanno dal numero sette al numero undici si riferiscono soprattutto alla struttura dell'alveo bagnato, attraverso l'individuazione delle tipologie collegate con la capacità di autodepurazione di un corso d'acqua. Infatti queste cinque domande sono state elaborate per facilitare la comprensione delle caratteristiche che influenzano la composizione biologica di determinati habitat e che, inoltre, possiedono la peculiarità di poter individuare nelle successioni di meandri, raschi, pozze, nella granulometria dei materiali depositati in alveo, nei tratti di deposito ed erosione, elementi caratterizzanti la morfologia statica e dinamica dell'ecosistema fluviale.

Le ultime tre domande si riferiscono alle caratteristiche biologiche come la struttura delle popolazioni di piante acquatiche e macrobenthos e alla conformazione del detrito, in quanto considerato input energetico che può condizionare la strutturazione dei viventi, agendo sulla catena trofica dell'ecosistema.

Gli aspetti considerati nell'indice I.F.F. sono sintetizzati e schematizzati nella seguente figura:



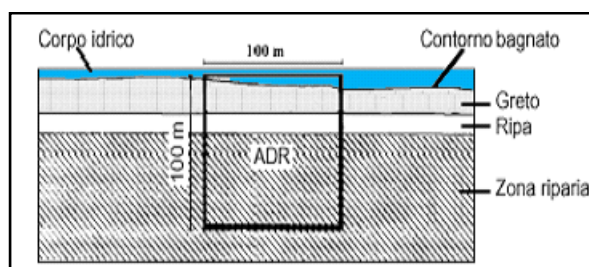
La compilazione della scheda termina con il calcolo della somma dei punteggi corrispondenti alle risposte individuate, e quindi con la definizione di un punteggio complessivo che può variare da minimo di 14 ad un massimo di 300. Il punteggio finale è stato tradotto in cinque livelli di funzionalità, dal primo che indica la situazione migliore al quinto che indica la peggiore; sono evidenziate inoltre le possibili situazioni intermedie che garantiscono un passaggio da una classe alla successiva in modo graduale e non immediato, cosicché si tampona anche eventuali incertezze dell'operatore riguardo alle risposte. Ad ogni livello è stato poi associato un colore ai fini di una illustrazione cartografica ed una più agile lettura, mentre per i livelli intermedi si consiglia di usare una grafica a due colori. La lettura sintetica e cromatica è riportata nella seguente tabella:

PUNTEGGIO	LIVELLO DI FUNZIONALITA'	GIUDIZIO	COLORE
261 - 300	I	ottimo	blu
251 - 260	I-II	ottimo-buono	blu-verde
201 - 250	II	buono	verde
181 - 200	II-III	buono-mediocre	verde-giallo
121 - 180	III	mediocre	giallo
101 - 120	III-IV	mediocre-scadente	giallo-arancione
61 - 100	IV	scadente	arancione
51 - 60	IV-V	scadente-pessimo	arancione-rosso
14 - 50	V	pessimo	rosso



Indici della capacità tampone (B.S.I.) e valenza naturalistica (W.S.I.)

In campo si sono usate le schede di rilevamento dello stato delle molteplici condizioni che entrambi gli indici prendono in esame in un'area di rilevamento di 100 x 100 m.

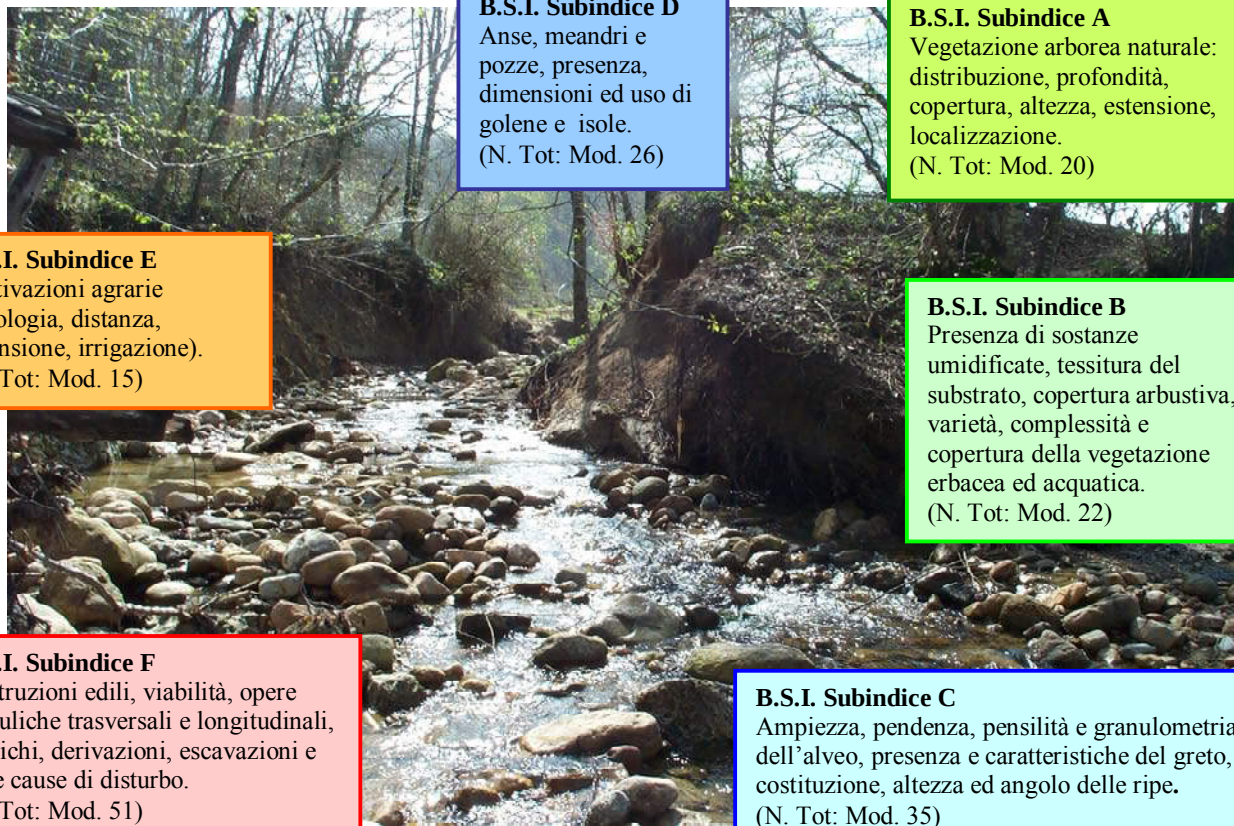


In laboratorio si sono elaborati i dati tramite il software RIVE 5.0 (Braioni et al., 2001) e il valore finale è tradotto nelle seguenti cinque classi di qualità:

CLASSE	B.S.I.	W.S.I.	GIUDIZIO	COLORE
I	$B.S.I. > 5$	$W.S.I. > 5$	OTTIMO	BLU
II	$2 < B.S.I. < 5$	$2 < W.S.I. < 5$	BUONO	VERDE
III	$-1 < B.S.I. < 2$	$-2 < W.S.I. < 2$	MEDIOCRE	GIALLO
IV	$-4 < B.S.I. < -1$	$-6 < W.S.I. < -2$	SCADENTE	ARANCIO
V	$B.S.I. < -4$	$W.S.I. < -6$	PESSIMO	ROSSO

Il B.S.I. è articolato in 6 Sub-Indici: A, B, C, D, E, F. Il Sub-Indice A comprende le modalità di stato della vegetazione arborea naturale con gli aspetti relativi alla distribuzione, profondità, ampiezza e copertura della vegetazione riparia. Il Sub-Indice B riunisce le possibili combinazioni, rinvenibili in tutte le tipologie fluviali, delle variabili: presenza di sostanze umiche sulla superficie della ripa, tessitura prevalente del substrato, copertura dello strato arbustivo, varietà, complessità e copertura della vegetazione non arborea e non arbustiva. Il Sub-indice C considera le condizioni morfologiche delle rive e dell'alveo: ampiezza, pendenza e granulometria dell'alveo, greto, costituzione delle ripe, altezza e angolo della ripa. Il Sub-Indice D raggruppa le modalità delle variabili: anse, meandri, pozze, golene, isole fluviali. Il Sub-indice E riguarda le: coltivazioni agrarie con relativa irrigazione. Con il Sub-indice F si rilevano diverse modalità degli usi antropici delle aree riparie quali: costruzioni edili, viabilità, opere idrauliche, scarichi ed escavazioni.

Nella seguente figura sono sintetizzati schematicamente gli aspetti considerati dall'Indice di valenza tampone (B.S.I.).



B.S.I. Subindice D

Anse, meandri e
pozze, presenza,
dimensioni ed uso di
golene e isole.
(N. Tot: Mod. 26)

B.S.I. Subindice A

Vegetazione arborea naturale:
distribuzione, profondità,
copertura, altezza, estensione,
localizzazione.
(N. Tot: Mod. 20)

B.S.I. Subindice E

Coltivazioni agrarie
(tipologia, distanza,
estensione, irrigazione).
(N. Tot: Mod. 15)

B.S.I. Subindice B

Presenza di sostanze
umidificate, tessitura del
substrato, copertura arbustiva,
varietà, complessità e
copertura della vegetazione
erbacea ed acquatica.
(N. Tot: Mod. 22)

B.S.I. Subindice F

Costruzioni edili, viabilità, opere
idrauliche trasversali e longitudinali,
scarichi, derivazioni, escavazioni e
altre cause di disturbo.
(N. Tot: Mod. 51)

B.S.I. Subindice C

Ampiezza, pendenza, pensilità e granulometria
dell'alveo, presenza e caratteristiche del greto,
costituzione, altezza ed angolo delle ripe.
(N. Tot: Mod. 35)

Le variabili considerate nella valutazione del Indice W.S.I. sono raggruppate in 8 Sub-Indici. Il Sub-Indice A comprende: il paesaggio e le caratteristiche fisiche dell'alveo, del greto e delle rive. I Sub-Indici B e C comprendono rispettivamente la vegetazione arborea e le altre componenti vegetazionali: vegetazione arbustiva, non arborea e non arbustiva, e le modalità della costituzione della riva. Il sub-Indice D comprende altri caratteri legati alla morfologia del corso d'acqua: isole, meandri, pozze. Il sub-Indice E riunisce le variabili legate agli aspetti: golena, coltivazioni agrarie e irrigazione. Il Sub-indice F è relativo alla presenza di costruzioni e diverse cause di disturbo legate ad un uso improprio ed eccessivo delle aree riparie: incendi, discariche, intensa frequentazione turistica. Il Sub-indice G comprende le variabili legate alla viabilità e alle escavazioni. Come nei precedenti indici, la figura successiva è una schematizzazione degli aspetti esaminati nei Sub indici che formano l'Indice W.S.I.



W.S.I. Subindice F
Costruzioni edili e altre
cause di disturbo.
(N. Tot: Mod. 14)

W.S.I. Subindice G
Viabilità ed escavazioni.
(N. Tot: Mod. 17)

W.S.I. Subindice H
Opere idrauliche trasversali,
derivazioni e immissioni
(N. Tot: Mod. 11)

W.S.I. Subindice D
Anse, meandri e
pozze, dimensioni ed
uso delle isole.
(N. Tot: Mod. 26)

W.S.I. Subindice B
Vegetazione arborea:
distribuzione, profondità,
copertura, altezza,
estensione, naturalezza.
(N. Tot: Mod. 22)

W.S.I. Subindice E
Coltivazioni agrarie: tipologia,
distanza, estensione,
irrigazione. Presenza,
dimensioni ed uso delle golene.
(N. Tot: Mod. 27)

W.S.I. Subindice A
Paesaggio, pensilità, caratteristiche
fisiche e morfometriche dell'alveo, del
greto e delle rive. (N. Tot: Mod. 34)

W.S.I. Subindice C
Presenza di sostanze
umidificate, tessitura del
substrato, copertura arbustiva,
varietà complessità e
copertura della vegetazione
erbacea ed acquatica.
(N. Tot: Mod. 22)

Gli indici B.S.I. e W.S.I. sono stati applicati in numerosi bacini idrografici e le potenzialità interpretative sono state riportate in numerose pubblicazioni (Braioni et al., 2003, 2004a, 2004b, 2005a e 2005b) o in studi finalizzati alla realizzazione dei piani di bacino (Braioni e Salmoiraghi, 1999; Canciani et al., 2004; Salmoiraghi e Marchesini, 2004; Salmoiraghi, 2006).



Schede di campo impiegate per l'applicazione degli specifici indici

QUALITATIVE HABITAT EVALUATION INDEX – INDICE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'HABITAT

DATA : ____ / ____ / ____ BACINO : _____

TRIBUTARIO : _____ TOPONIMO : _____

COORDINATE DEL PUNTO D'OSSERVAZIONE : _____

SUBSTRATO (2 risposte max)

A – TIPO

- ☐ Lastre con spigoli arrotondati di lunghezza o diametro > 256 mm [10]
- ☐ Massi (diametro > 256 mm) [9]
- ☐ Ciottoli (64 – 256 mm) [8]
- ☐ Ghiaia (2 – 64 mm) [7]
- ☐ Sabbia (0.06 – 2 mm) [6]
- ☐ Limo (0.004 – 0.06 mm) [2]
- ☐ Fango argilloso-organico [2]
- ☐ Hardpan (crosta ferruginosa) [4]
- ☐ Roccia continua [5]
- ☐ Detriti vegetali non consolidati [3]
- ☐ Artificiale [0]

B – ORIGINE (1 risp)

- ☐ Calcareo [1]
- ☐ Erosione glaciale [1]
- ☐ Pianura umida [0]
- ☐ Hardpan [0]
- ☐ Arenaria [0]
- ☐ Breccia naturale o artificiale [0]
- ☐ Lacustre [0]
- ☐ Argilliti [-1]

C – QUANTITÀ DEI SILT (1 risp)

- ☐ Elevata (solo silt) [-2]
- ☐ Moderata [-1]
- ☐ Normale [0]
- ☐ Assente (solo materiali grossolani) [1]

D – INCLUSIONE DEI MATERIALI FINI

- ☐ Estesa (> 75 %) [-2]
- ☐ Moderata (50 – 75 %) [-1]
- ☐ Normale (25 – 50 %) [0]
- ☐ Assente (< 25 %) [1]

RIPARI SUL FIUME

A – TIPO

- ☐ Erosione delle sponde a livello dell'acqua [1]
- ☐ Vegetazione sporgente sul fiume [1]
- ☐ Zone d'acqua lente [1]
- ☐ Radici affioranti sul fiume [1]
- ☐ Pozze (profondità > 70 cm) [2]
- ☐ Barriere di radici [1]
- ☐ Massi [1]
- ☐ Langhe [1]
- ☐ Macrofite acquatiche [1]
- ☐ Detriti legnosi [1]

B – QUANTITÀ

- ☐ Estesa (> 75 % della superficie) [11]
- ☐ Moderata (25 – 75 %) [7]
- ☐ Sparsa (5 – 25 %) [3]
- ☐ Praticamente assente (< 5 %) [1]

MORFOLOGIA

A – SINUOSITÀ

- ☐ Alta (più di 2-3 anse molto accentuate) [4]
- ☐ Moderata (più di 2 anse visibili con almeno un'ansa molto accentuata) [3]
- ☐ Bassa (2 anse visibili o meno) [2]
- ☐ Nessuna sinuosità [1]

B – SVILUPPO (DIVERSITÀ)

- ☐ Eccellente [7]
- ☐ Buono [5]
- ☐ Sufficiente [3]
- ☐ Scarso [1]

C – CANALIZZAZIONE

- ☐ Nessuna (corso naturale) [6]
- ☐ Abbandonata, naturalità recuperata [4]
- ☐ Abbandonata, naturalità non recuperata [3]
- ☐ Canalizzato [1]

D – STABILITÀ DELLA RIVA

- ☐ Alta [3]
- ☐ Moderata [2]
- ☐ Bassa [1]

RIVA ED EROSIONE DELLE SPONDE

A – LARGHEZZA DELLA RIVA

- ☐ Larga (> 50 m) [4]
- ☐ Moderata (10 – 50 m) [3]
- ☐ Stretta (5 – 10 m) [2]
- ☐ Molto stretta (1 – 5 m) [1]
- ☐ Assente [0]

B – QUALITÀ DELLA PIANA FLUVIALE

- ☐ Foreste, paludi, boschi [3]
- ☐ Arbusti, campi abbandonati [2]
- ☐ Parchi, campi abbandonati recentemente [1]
- ☐ Pascoli recintati, campi coltivati senza lavorazioni [1]
- ☐ Urbano, industriale [0]
- ☐ Pascoli non recintati, campi coltivati [0]
- ☐ Cave, miniere [0]

C – EROSIONE DELLE SPONDE

- ☐ Nessuna, bassa (< 25 %) [3]
- ☐ Moderata (25 – 50 %) [2]
- ☐ Molto severa (> 50 %) [1]



POOL / RIFFLE

A – MASSIMA PROFONDITÀ DEI POOL

- ☐ > 1 m [6]
☐ 2 – 0.7 m [4]
☐ 0.4 – 0.7 m [2]
☐ 0.2 – 0.4 m [1]
☐ < 0.2 m [0]

B – MORFOLOGIA

- ☐ Pool più larghi dei riffle [2]
☐ Pool larghi quanto i riffle [1]
☐ Pool meno larghi dei riffle [0]

C – ANDAMENTO DELLA CORRENTE

- ☐ Turbolento [1]
☐ Veloce [1]
☐ Moderato [1]
☐ Lento [1]
☐ Torrenziale [-1]
☐ Interstiziale [-1]
☐ Intermittente [-2]

D – PROFONDITÀ DEI RIFFLE

- ☐ Media > 10 cm, massima > 50 cm [4]
☐ Media > 10 cm, massima < 50 cm [3]
☐ Media 5 – 10 cm [1]
☐ Media < 5 cm [0]

E – SUBSTRATO NEI RIFFLE

- ☐ Stabile [2]
☐ Moderatamente stabile [1]
☐ Instabile [0]

F – INCLUSIONE DI MATERIALI FINI NEI RIFFLE

- ☐ Nessuno (< 25%) [2]
☐ Basso (25 – 50 %) [1]
☐ Moderato (50 – 75 %) [0]
☐ Esteso (> 75 %) [-1]
☐ Non ci sono riffle [0]

GRADIENTE E DIMENSIONE DEL FIUME

Strem Width	Very Low Gradient	Low Gradient	Moderately Low Gradient	Moderate Gradient	Moderately High Gradient	High Gradient	Very High Gradient
0,3 – 4,5 m	0-1.0 [2]	1.1-5.0 [4]	5.1-10.0 [4]	10.1-15.0 [6]	15.1-20.0 [10]	20.1-30.0 [10]	30.1-40.0 [8]
4,5 – 9,2	0-1.0 [2]	1.1-3.0 [4]	3.1-6.0 [6]	6.1-12.0 [10]	12.1-18.0 [10]	18.1-30.0 [8]	30.1-40.0 [6]
9,2 – 13,7m	0-1.0 [2]	1.1-2.5 [4]	2.6-5.0 [6]	5.1-7.5 [8]	7.6-12.0 [10]	12.1-20.0 [8]	20.1-30.0 [6]
13,7 – 30,5m	0-1.0 [4]	1.1-2.0 [6]	2.1-4.0 [8]	4.1-6.0 [10]	6.1-10.0 [10]	10.1-15.0 [8]	15.1-25.0 [6]
>30,5 m	N/A	0.0-0.5 [6]	0.6-1.0 [8]	1.0-2.5 [10]	2.6-4.0 [10]	4.1-9.0 [10]	>9.0 [8]

PUNTEGGIO TOTALE :



SCHEDA IFF (evoluzione dell'RCE-2)

scheda

N°

Bacino:.....Corso d'acqua.....

Località.....Codice.....

tratto (metri).....data Operatori.....

Sponda Sx Dx

1) Stato del territorio circostante

Coperto da foreste e boschi	25	25
Prati, pascoli, boschi, pochi arativi ed incolti	20	20
Culture stagionali in prevalenza e/o arativi misti e/o colture permanenti	5	5
Aree urbanizzate	1	1

2) Vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria

Presenza di formazioni arboree riparie	30	30
Presenza formazioni arbustive riparie (saliceti arbustivi) e/o canneto	25	25
Presenza di formazioni arboree non riparie	10	10
Costituita da specie arbustive non riparie o erbacea o assente	1	1

2bis) Vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria

Presenza di formazioni arboree riparie	20	20
Presenza di formazioni arbustive riparie (saliceti arbustivi) e/o canneto	15	15
Presenza di formazioni arboree non riparie	5	5
Costituita da specie arbustive non riparie o erbacea o assente	1	1

3) Ampiezza della fascia di vegetazione perifluviale

Fascia di vegetazione perifluviale > 30 m	20	20
Fascia di vegetazione perifluviale 5-30 m	15	15
Fascia di vegetazione perifluviale 1-5 m	5	5
Fascia di vegetazione perifluviale assente	1	1

4) Continuità della fascia di vegetazione perifluviale

Fascia di vegetazione perifluviale senza interruzioni	20	20
Fascia di vegetazione perifluviale con interruzioni	10	10
Interruzioni frequenti o solo erbacea continua e consolidata	5	5
Suolo nudo o vegetazione erbacea rada	1	1

5) Condizioni idriche dell'alveo

Larghezza dell'alveo di morbida inferiore al triplo dell'alveo bagnato	20	
Alveo di morbida maggiore del triplo dell'alveo bagnato con fluttuazioni di portata a ritorno più che mensile	15	
Alveo di morbida maggiore del triplo dell'alveo bagnato con fluttuazioni di portata a ritorno meno che mensile	5	
Alveo bagnato inesistente o quasi o presenza di impermeabilizzazioni della sezione trasversale	1	

6) Conformazione delle rive

Rive trattenute da radici arboree e/o massi	25	25
Rive trattenute da erbe e arbusti e/o con interventi di rinaturazione	15	15
Rive trattenute da un sottile strato erboso	5	5
Rive nude e/o con interventi artificiali	1	1

7) Strutture di ritenzione degli apporti trofici

Alveo con grossi massi e/o vecchi tronchi stabilmente incassati o presenza di fasce di canneto o idrofite.	25	
Massi e/o rami presenti con deposito di sedimento o canneto o idrofite rade e poco estese	15	
Strutture di ritenzione libere e mobili con le piene o assenza di canneto o idrofite	5	
Alveo di sedimenti sabbiosi privo di alghe o sagomature artificiali lisce a corrente uniforme	1	

8) Erosione delle rive

Nessuna o poco evidenti	20	20
Erosioni solamente nelle curve e/o nelle strettoie	15	15
Erosioni frequenti con scavo delle rive e delle radici	5	5
Erosione molto evidente con rive scavate e franate o presenza di interventi artificiali	1	1



9) Naturalità della sezione trasversale

Sezione naturale	15	
Naturale con lievi interventi artificiali	10	
Artificiale con qualche elemento naturale	5	
Sezione artificiale	1	

10) Fondo dell'alveo degli ambienti a decorso turbolento

Fondo a massi e ciottoli, irregolare e stabile	25	
Fondo ciottoloso e facilmente mobile, con poco sedimento	15	
Fondo a ghiaia e sabbia, stabile a tratti	5	
Fondo di sabbia e sedimento limoso, o cementificato	1	

10bis) Fondo dell'alveo degli ambienti a lento decorso

Fondo sciolto senza sedimento organico	25	
Fondo sciolto uniforme con poco sedimento organico	15	
Fondo limoso con sedimento organico	5	
Fondo limoso con abbondante sedimento organico	1	

11) Raschi, pozze e meandri

Ben distinti, ricorrenti, distanti al massimo fino a 5-7 volte la larghezza dell'alveo bagnato	25	
Presenti a distanze diverse e con successione irregolare	20	
Lunghe pozze che separano corti raschi, pochi meandri	5	
Meandri, raschi e pozze assenti, percorso raddrizzato	1	

12) Vegetazione in alveo bagnato in acque a flusso turbolento

Assente o costituita da gruppi di idrofite con copertura complessiva < 10%	15	
Costituita da Idrofite con copertura complessiva tra 10 e 35%, feltro perfitico visibile	10	
Costituita da idrofite con copertura complessiva > 35%, feltro perfitico discreto	5	
Costituita esclusivamente da alghe filamentose, feltro perfitico spesso	1	

12bis) Vegetazione in alveo bagnato in acque a flusso laminare

Costituita da gruppi di idrofite con copertura complessiva > 35%	15	
Costituita da Idrofite con copertura complessiva < 35%	10	
Costituita da idrofite con copertura complessiva < 5%, presenza di alghe filamentose	5	
Costituita esclusivamente da alghe filamentose o assente, feltro perfitico spesso	1	

13) Detrito

Formato essenzialmente da foglie e legno indecomposto	15	
Presenza significativa di materiale organico parzialmente decomposto	10	
Presenza significativa di materiale organico decomposto	5	
Presenza significativa di detrito anaerobico	1	

14) Comunità macrobentonica

Ben strutturata e diversificata, adeguata alla tipologia fluviale	20	
Sufficientemente diversificata ma con struttura alterata rispetto a quanto atteso	10	
Poco equilibrata e diversificata con prevalenza di taxa tolleranti all'inquinamento	5	
Assenza di una comunità strutturata, presenza di pochi taxa tutti piuttosto tolleranti all'inquinamento	1	

Punteggio totale

Livello di funzionalità

LIVELLO DI FUNZIONALITA'	PUNTEGGIO	GIUDIZIO	COLORE
I	261 - 300	ottimo	blu
I-II	251 - 260	ottimo-buono	blu-verde
II	201-250	buono	verde
II-III	181 - 200	buono-mediocre	verde-giallo
III	121 - 180	mediocre	giallo
III-IV	101 - 120	mediocre-scadente	giallo-arancio
IV	61 - 100	scadente	arancio
IV-V	51 - 60	scadente-pessimo	arancio-rosso
V	14 - 50	pessimo	rosso



SCHEMA DI RILEVAMENTO DELLE RIVE per la valutazione del B. S.I e W.S.I.

Coordinamento scientifico: M. G. Braioni Università di Padova - Dipartimento di Biologia Coordinamento tecnico: G. Penna Regione Veneto-Dipartimento Tutela Ambiente Coordinamento G.L. definizione scheda di rilevamento: S. Ruffo Provincia di Verona - Assessorato Ecologia		5. GRETO 5.1 Assente ☐ Presente ☐ 5.2 Profondità del greto < 10 ☐ 10 ↔ 30 ☐ 30 ↔ 50 ☐ > 50 ☐																									
1. GENERALITA' SULL'AREA DI RILEVAMENTO (ADR) Scheda n. Data [] [g] [] [m] [] [a] Sponda orografica dx [] sx [] Provincia Comune Località Bacino idrografico Fiume o Torrente Quota (m) s.l.m. Denominazione tavoletta IGM Denominazione tavoletta Carta Tecnica Regionale Coordinate UTM Profondità dell'ADR (m) Posizione dell'ADR: a - in tratto rettilineo ☐ b - in curva interna ☐ c - in curva esterna ☐ d - in tratto meandrico ☐ e - in tratto ramificato ☐		6. RIPE 6.1 Naturali: a - Stabili di roccia ☐ b - Di terreno trattenuto da alberi e arbusti ☐ c - Di terreno sciolto trattenuto da uno strato d'erba ... ☐ d - Instabili, di terreno sciolto facilmente erodibile ☐ 6.2 Artificializzate mediante: a - Materiali terrosi ☐ b - Scogliere non cementate ☐ c - Muraglioni e opere similari cementate ☐ 6.3 Rinaturalizzate mediante: a - Inerbimento ☐ b - Riforestazione ☐																									
2. STATO DEL FIUME AL MOMENTO DEL RILIEVO 2.1 Piena ☐ 2.2 Morbida ☐ 2.3 Magra ☐ a - naturale ☐ b - indotta ☐		7. ANGOLO DI RIPPA < 10° ☐ 10° ↔ 45° ☐ > 45° ☐																									
3. PAESAGGIO CIRCOSTANTE <table border="0"> <tr> <td></td> <td>3.1 sx</td> <td>3.2 dx</td> </tr> <tr> <td></td> <td>orografica</td> <td>orografica</td> </tr> <tr> <td>a - Forestale o prevalentemente naturale ...</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>b - Rupi o pareti rocciose</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>c - Coltivato</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>d - Urbano</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>e - Industriale</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Note</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			3.1 sx	3.2 dx		orografica	orografica	a - Forestale o prevalentemente naturale ...	☐	☐	b - Rupi o pareti rocciose	☐	☐	c - Coltivato	☐	☐	d - Urbano	☐	☐	e - Industriale	☐	☐	Note			8. ALTEZZA DELLA RIPPA (m) < 1 ☐ 1 ↔ 3 ☐ > 3 ☐	
	3.1 sx	3.2 dx																									
	orografica	orografica																									
a - Forestale o prevalentemente naturale ...	☐	☐																									
b - Rupi o pareti rocciose	☐	☐																									
c - Coltivato	☐	☐																									
d - Urbano	☐	☐																									
e - Industriale	☐	☐																									
Note																											
4. LETTO FLUVIALE 4.1 Non pensile ☐ Pensile ☐ 4.2 Pendenza (%) < 10 ☐ 10 ↔ 30 ☐ > 30 ☐ 4.3 Larghezza (m) < 5 ☐ 5 ↔ 50 ☐ 50 ↔ 100 ☐ > 100 ☐ 4.4 Granulometria massi ☐ ciottoli ☐ ghiaia ☐ sabbia ☐ limo ☐		9. SUPERFICIE DELLA RIPPA 9.1 Con presenza di sostanze umificate ☐ 9.2 Con prevalenza di: a - roccia madre ☐ b - ciottoli e ghiaia ☐ c - sabbia ☐ d - limo e argilla ☐																									
		10. GOLENA 10.1 Assente ☐ Presente ☐ 10.2 Profondità della gola (m): < 50 ☐ 50 ↔ 100 ☐ 100 ↔ 300 ☐ > 300 ☐ 10.3.1 Naturale ☐ 10.3.2 Coltivata ☐																									
		11. ISOLE FLUVIALI 11.1 Assenti ☐ Presenti ☐ 11.2 a - Senza vegetazione ☐ b - Con vegetazione prevalentemente naturale ☐ c - Prevalentemente coltivata ☐ d - Parzialmente coltivata ☐ 11.3 Lunghezza dell'asse maggiore (m): < 100 ☐ 100 ↔ 300 ☐ > 300 ☐ 11.4 Lunghezza dell'asse minore (m): < 30 ☐ 30 ↔ 50 ☐ > 50 ☐																									



12. ANSE e MEANDRI

- 12.1 Assente..... ☐
Presente..... ☐

13. POZZE

- 13.1 Assenti..... ☐
Presenti..... ☐

14. VEGETAZIONE ARBOREA NATURALE DELL'ADR

- 14.1 Assente..... ☐
Presente..... ☐

14.2 Distribuzione spaziale

- a- Sparsa sull'ADR..... ☐
b- Aggregata lungo la riva (fascia riparia)..... ☐
c- Aggregata a distanza dalla riva (fascia retroriparia)..... ☐
d- Senza soluzione di continuità fino al limite interno dell'ADR..... ☐
e- Combinazione di a+b..... ☐
f- Combinazione di b+c..... ☐
g- Combinazione di a+c..... ☐

14.3 Profondità della fascia riparia o retroriparia

- <10 m..... ☐
10 ↔ 30 m..... ☐
>30 m..... ☐

14.4 Specie arboree presenti nell'ADR

(indicare le specie in ordine di consistenza decrescente)

a - specie indigene

- specie1..... ☐
specie2..... ☐
specie3..... ☐
specie4..... ☐
specie5..... ☐

b - specie esotiche

- specie1..... ☐
specie2..... ☐
specie3..... ☐
specie4..... ☐
specie5..... ☐

- 14.5 Sono prevalenti le specie indigene..... ☐

- Sono prevalenti le specie esotiche..... ☐

14.6 Altezza media (m) della vegetazione

- <5..... ☐
5 ↔ 10..... ☐
10 ↔ 20..... ☐
>20..... ☐

14.7 Copertura arborea naturale dell'intera ADR

- <1000 m²..... ☐
1000 ↔ 3000 m²..... ☐
3000 ↔ 7000 m²..... ☐
>7000 m²..... ☐

15. VEGETAZIONE ARBUSTIVA DELL'ADR

- 15.1 Assente..... ☐
Presente..... ☐

15.2 Copertura arbustiva riferita all'intera ADR

- <1000 m²..... ☐
1000 ↔ 3000 m²..... ☐
3000 ↔ 7000 m²..... ☐
>7000 m²..... ☐

15.3 Specie arbustive presenti

(in ordine di consistenza decrescente)

- specie1..... ☐
specie2..... ☐
specie3..... ☐
specie4..... ☐

16. VEGETAZIONE NON ARBOREA E NON ARBUSTIVA DELL'ADR

- 16.1 Assente..... ☐
Presente..... ☐

16.2 Associazione di piante acquatiche..... ☐

- specie1..... ☐
specie2..... ☐
specie3..... ☐
specie4..... ☐

16.3 Canneto..... ☐

16.3.1 Profondità (m):

- <1..... ☐
1 ↔ 5..... ☐
>5..... ☐

16.4 Vegetazione erbacea e/o suffrutticosa

16.4.1 Copertura riferita all'intera ADR

- <1000 m²..... ☐
1000 ↔ 3000 m²..... ☐
3000 ↔ 7000 m²..... ☐
>7000 m²..... ☐

17. COLTURE AGRARIE DELL'ADR

- 17.1 Assenti..... ☐
Presenti..... ☐

17.2 Tipo di colture: (a - g)

- a - Colture prative (compresa l'erba medica)..... ☐
b - Colture cerealicole..... ☐
c - Colture ortensi..... ☐
d - Pioppeto..... ☐
e - Frutteto..... ☐
f - Vigneto..... ☐
g - Mosaico culturale..... ☐
h -..... ☐

17.3 Distanza media delle colture dalla riva (m)

- <5..... ☐
5 ↔ 30..... ☐
>30..... ☐

17.4 Profondità media delle colture (m)

- <10..... ☐
10 ↔ 50..... ☐
50 ↔ 100..... ☐
>100..... ☐

18. VERTEBRATI

- ☐
..... ☐
..... ☐
..... ☐

19. INVERTEBRATI

- ☐
..... ☐
..... ☐
..... ☐

20. COSTRUZIONI NELL'ADR

- 20.1 Assenti..... ☐
Presenti..... ☐
20.2 Stabili..... ☐
Precarie..... ☐
20.3 Isolate..... ☐
Estese..... ☐

21. VIABILITA' NELL'ADR

- 21.1 Assente..... ☐
Presente..... ☐

21.2 Tipo di viabilità

- Alzaie..... ☐
Carrarecce..... ☐
Sentieri..... ☐
Strada asfaltata..... ☐
Strada ferrata..... ☐



Parte B: caratterizzazione chimica del sedimento

Premessa

Il quadro normativo europeo in materia di tutela delle acque (Direttiva 2000/60 CE) deriva dal percorso evolutivo attraverso cui si è passati da un approccio tecnico-amministrativo legato a valutazioni di "limiti" e "conformità", ad un metodo che analizza la qualità ambientale in un'ottica finalizzata alla costruzione di un sistema informativo integrato di estrazione ecosistemica; un nuovo modello concettuale che richiede l'affermarsi di mentalità, competenze e metodiche in grado di sostenere le nuove procedure di conoscenza, controllo, prevenzione e gestione dell'integrità ecologica e della capacità portante dei sistemi naturali (Spaggiari, 1997). L'integrità biotica rappresenta "la capacità del sistema di produrre e mantenere una comunità biologica bilanciata, integrata e reattiva; tale comunità deve essere caratterizzata da una composizione in specie, da una diversità e da una organizzazione funzionale simili a quelle di un ambiente analogo in condizioni naturali" (Karr e Dudley, 1981). Ne consegue che i mutamenti indotti nelle condizioni abiotiche possono immediatamente riflettersi in alterazioni della comunità vivente, se rapportata ad una condizione di riferimento (Spaggiari, 2005). Le condizioni naturali a cui riferirsi dovrebbero corrispondere ad uno stato chimico-fisico non perturbato ed alla relativa comunità biologica di riferimento che vi si insedia (WRC, 1996).

Il D.Lgs. 152/1999, in vigore fino allo scorso aprile, aveva anticipato in larga misura obiettivi ed impostazioni della normativa comunitaria, pur non comprendendone tutte le innovazioni. Come nella Direttiva 2000/60 CE, il problema del controllo integrato dei corpi idrici veniva affrontato dal punto di vista ecosistemico, con il fine di mantenere o raggiungere, entro il 2016, l'obiettivo di qualità corrispondente, almeno, al "buono Stato Ambientale" (nella Direttiva 2000/60 CE si parla di "buono Stato Ecologico", da raggiungere entro il 2015). Nel caso dei sistemi fluviali, secondo le disposizioni del D.Lgs. 152/1999 la definizione dello stato ecologico del corso d'acqua era ottenuto incrociando il livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori (i sette parametri chimici e microbiologici: Azoto nitrico, Azoto ammoniacale, Ossigeno disciolto, BOD₅, COD, Fosforo totale, *Escherichia coli*) con il risultato dell'IBE (Indice Biotico Esteso, ottenuto dallo studio della comunità macrobentonica del corso d'acqua). Gli elementi idromorfologici intervenivano, con modalità da definirsi, nella valutazione dello Stato Ecologico. Lo Stato Ambientale del corso d'acqua era individuato dall'incrocio dello Stato Ecologico con lo Stato Chimico, da definire in base al superamento dei valori soglia per alcune sostanze pericolose.

Nella Direttiva 2000/60 CE i criteri valutativi per la definizione della qualità ambientale dei corsi d'acqua sono identificati con il dettaglio e la completezza che il D.Lgs. 152/1999 non era stato in grado di raggiungere. In Allegato V la lista degli elementi qualitativi è ricondotta a tre tipologie: elementi biologici, elementi idromorfologici a sostegno degli elementi biologici ed elementi chimici e fisico-chimici a sostegno degli elementi biologici. In tal modo la normativa europea, ponendo le comunità biologiche come elementi cardine di riferimento per la definizione dello Stato Ecologico ed estendendo le analisi anche alle componenti idromorfologiche, recepisce di fatto i concetti base dell'ecologia fluviale (Braioni *et al.*, 2005). Il buono Stato Ecologico è condizionato dal raggiungimento di un buono Stato Chimico, che presuppone il rispetto degli standard di qualità (esistenti o da predisporre da parte degli Stati membri) per gli inquinanti in acque, sedimenti e biota.

Dal 29 aprile 2006 è in vigore il D.Lgs. 152/2006, che riformula la normativa ambientale nazionale introducendo modifiche sostanziali e abrogando la maggior parte dei previgenti provvedimenti di settore, compreso il D.Lgs. 152/1999. La seconda sezione della parte terza raccoglie le disposizioni per la tutela delle acque dall'inquinamento dove sono presenti, in una struttura che ricalca quella del D.Lgs. 152/1999, alcune misure previste della Direttiva 2000/60 CE.



Esistono, tuttavia, particolari modifiche e semplificazioni che apportano forti cambiamenti nella concreta applicazione della disciplina, tali da compromettere il raggiungimento degli obiettivi dichiarati. Dalla sua entrata in vigore, il D.Lgs. 152/2006 ha subito frequenti modifiche e altre sono previste. Al momento della stesura della presente, se le norme di carattere sostanziale di detto Decreto possono considerarsi pienamente vigenti, quelle attuative sono rese inapplicabili e dunque, in regime transitorio, restano ancora validi i decreti attuativi delle norme di riferimento abrogate.

I criteri utilizzati nella valutazione delle alterazioni causate dall'attività mineraria della Caolino d'Italia S.r.l. muovono dalle disposizioni contenute nelle normative sopra citate, contestualizzate alle finalità dell'indagine, alla tipologia dell'impatto, alla natura dei materiali depositati, alle caratteristiche dei torrenti coinvolti e alle condizioni di naturalità del territorio. Nella presente sezione si considerano gli aspetti relativi al danno chimico subito dal sistema fluviale.

Dati pregressi

Le evidenze osservate durante i numerosi sopralluoghi eseguiti dalla prima segnalazione dell'evento (25 giugno 2003), documentate da annotazioni e immagini fotografiche contenute nelle relative relazioni tecniche, sono state integrate dalle analisi chimico-fisiche di seguito riportate.

Sono state prese in esame le acque e i sedimenti dei principali corpi idrici presenti nell'area di indagine: i Torrenti Rigualdo e Farma, interessati dagli apporti litoidi di origine mineraria, e i Torrenti Gretano e Beccaraio, che non mostrano particolari evidenze di perturbazioni antropiche e dunque rappresentativi delle condizioni di fondo specifiche del sito. Il Gretano, in particolare, nel suo primo tratto scorre parallelo al Rigualdo incontrando gli stessi litotipi (Figura 1).

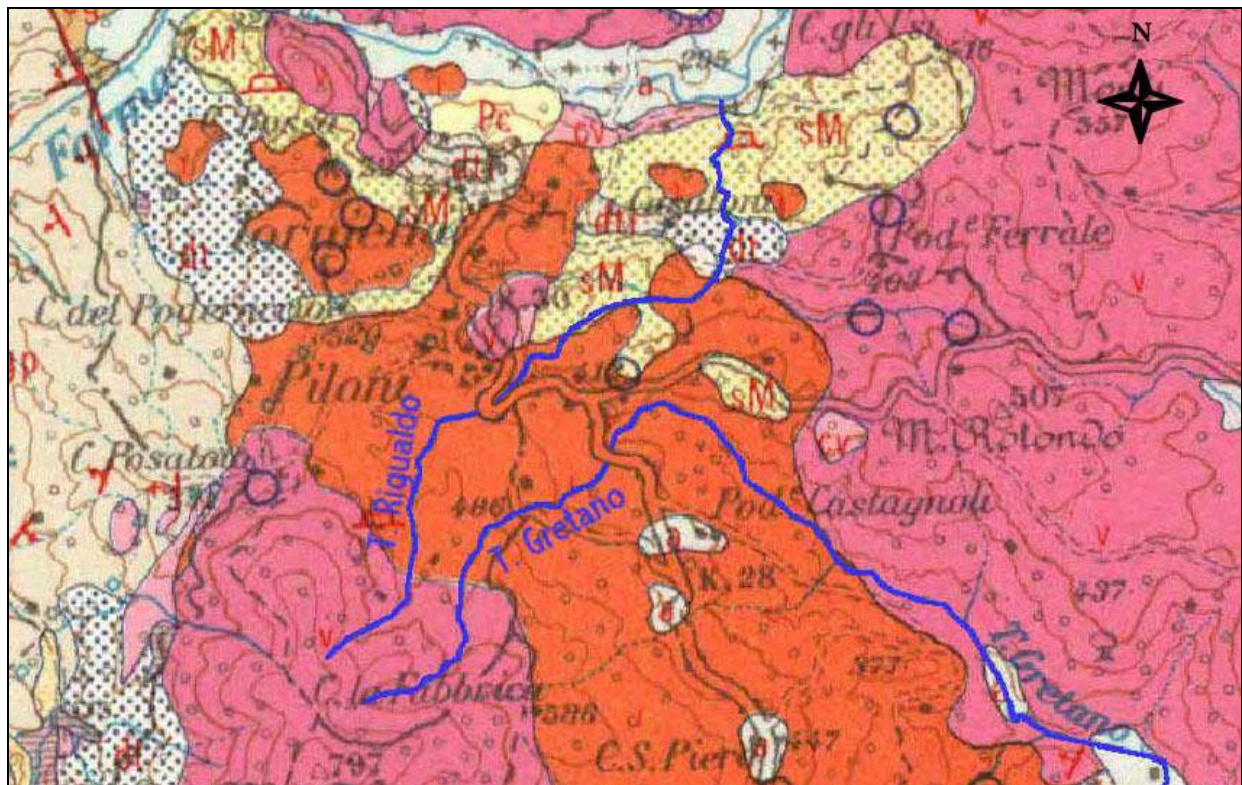


Figura 1. – Si nota come i Torrenti Rigualdo e Gretano, nel loro primo tratto, scorrono paralleli attraversando le stesse formazioni geologiche: scisti siltose del verrucano (v) di colore viola e rioliti (i) di colore arancio (da ARPAT, modif).



- Relazione ARPAT, Dipartimento di Grosseto, del 05/08/2003 sul sopralluogo alla miniera "I Piloni" del 03/07/2003.

Durante il sopralluogo sono stati prelevati due campioni di sedimento: R6, dall'alveo del Rigualdo ai piedi della scarpata della miniera ed R1, dal Farma subito a valle della confluenza con il Rigualdo. La Figura 2 indica i punti di campionamento:

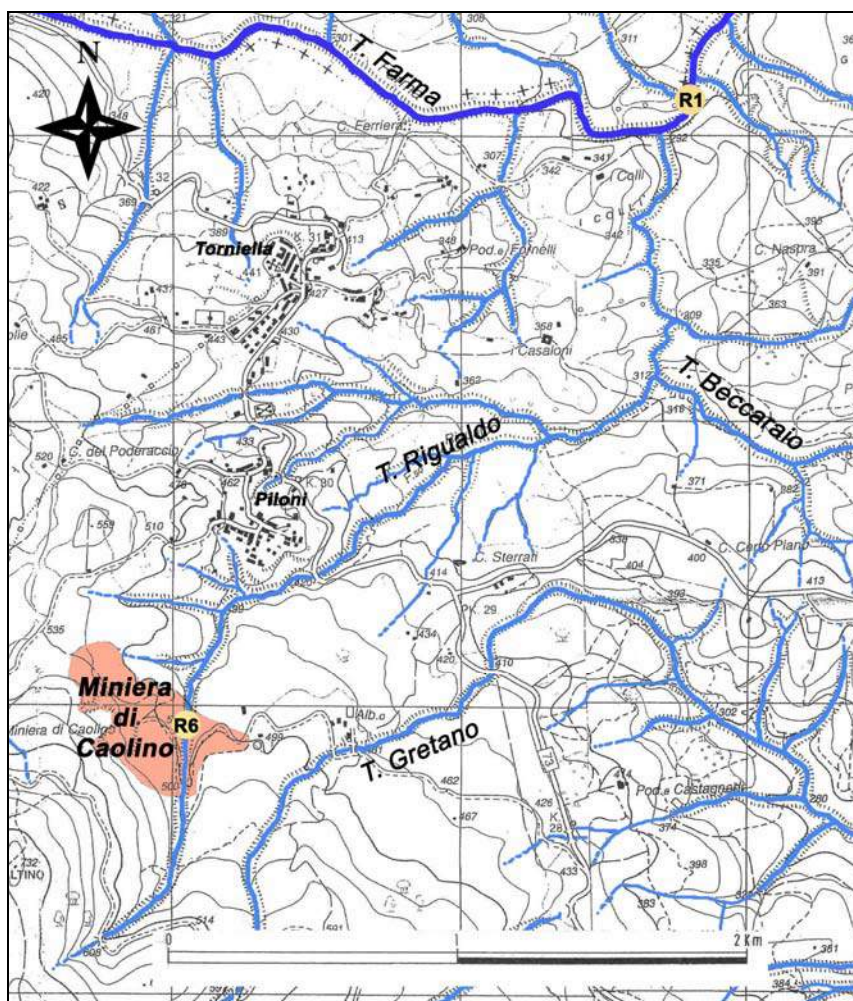


Figura 2. – Le stazioni di campionamento di ARPAT del 3 luglio 2003 (da ARPAT, Dipartimento di Grosseto, modif.).

Nella tabella che segue sono riportati i risultati delle analisi condotte sui due campioni di sedimento superficiale:

Tabella 1. - Dosaggio elementare del sedimento; prelievi eseguiti il 3 luglio 2003 (da ARPAT, modif.).

Codice	Al	As	B	Ba	Cd	Co	Cr tot.	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg/kg (peso secco)															
R6	24.920	32	12	116	< 0,5	4,0	26	6,4	11.330	2,5	180	12	6	< 5	21	26
R1	38.350	17	30	145	0,6	11,5	84	23	26.260	1,5	504	54	16	< 5	45	84

Al fine di stabilire criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, il D.M. n. 471 del 25 ottobre 1999, disciplina i limiti di accettabilità della contaminazione ambientale dei suoli in relazione alla specifica destinazione



d'uso dei siti; constatata dunque la presenza di una o più sostanze contaminanti riportate in Allegato 1, i limiti tabellari rappresentano le concentrazioni massime oltre le quali è necessario intervenire per tutelare la salute umana e ambientale. Il Punto 4 del Paragrafo 2 (Criteri per la valutazione della qualità delle acque superficiali) dello stesso Allegato riporta: *"Per analizzare gli effetti cumulativi dell'inquinamento delle acque superficiali è necessario prevedere campagne di monitoraggio che permettano di rilevare gli effetti permanenti dell'inquinamento, quali le analisi dell'EBI (Extended Biotic Index) e prevedere anche il campionamento e l'analisi dei sedimenti in contatto con le acque superficiali interessate dalla contaminazione, nei quali potrebbe essersi verificato l'accumulo delle sostanze contaminanti."* Considerato l'evento perturbativo cui i Torrenti Rigualdo e Farma sono stati sottoposti, evidenziato dalla presenza di materiali di miniera in sospensione e depositati sull'alveo e sulle sponde, si ritiene opportuno fare riferimento ai limiti di cui sopra.

In R6 (Rigualdo in corrispondenza della miniera) ARPAT ha riscontrato concentrazioni di arsenico e mercurio pari, rispettivamente, a 32 e 2,5 mg/kg; in R1 (Farma a valle della confluenza con il Rigualdo) il contenuto di mercurio ha raggiunto 1,5 mg/kg (Tabella 1). Sono valori che eccedono i limiti tabellari imposti dal D.M. 471/1999 (Allegato 1, Tabella 1, Colonna A "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale"), dove si prevedono concentrazioni massime ammissibili di 20 mg/kg per l'arsenico e di 1 mg/kg per il mercurio.

- Relazione ARPAT, Dipartimento di Grosseto, del 20/10/2003 sul sopralluogo alla miniera "I Piloni" del 01/10/2003.

Dopo due giorni di piogge intense, dai seguenti punti di raccolta sono stati prelevati tre campioni di acqua per la misura del pH e del contenuto di solidi sospesi:

A1 - dal Torrente Rigualdo, in corrispondenza del ponte sulla S.P. 156 (ex S.S. 73).

A2 - dal Torrente Farma a monte della confluenza con il Torrente Rigualdo.

A3 - dal Torrente Farma a valle della confluenza con il Torrente Rigualdo.

I risultati sono riportati nella Tabella che segue:

Tabella 2. - Valori di pH e contenuto di solidi sospesi; prelievi eseguiti il 1° ottobre 2003 (da ARPAT, modif.).

Codice	pH	Solidi Sospesi (mg/L)
A1	7,6	10,8
A2	8,1	5,8
A3	7,8	5,8

I parametri indagati non hanno mostrato particolari anomalie. Nelle acque del Farma a valle del Rigualdo si notava una torbidità (la stessa "opalescenza" osservata durante il sopralluogo del 03/07/2003) assente nelle acque a monte (di elevata trasparenza) che non ha trovato riscontro nelle prove di laboratorio.



- Relazione ARPAT, Dipartimento di Grosseto, del 22/12/2003 sul sopralluogo alla miniera "I Piloni" del 13/11/2003.

Il campionamento è stato esteso a cinque campioni di acqua e due di sedimento; seguono i punti di raccolta (Figura 3) e le concentrazioni elementari riscontrate in entrambe le matrici (Tabelle 3 e 4).

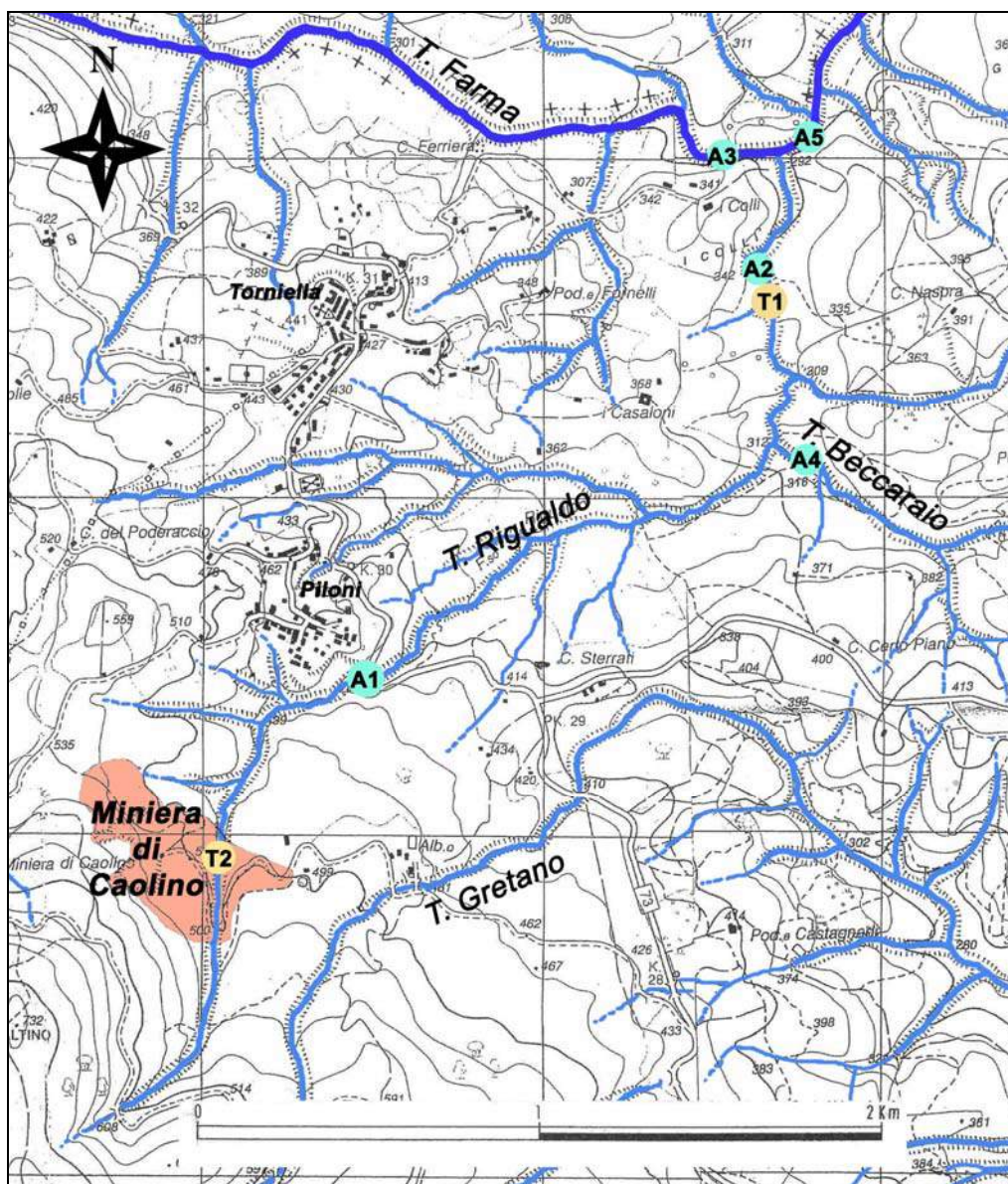


Figura 3. – Le stazioni di campionamento di ARPAT del 13 novembre 2003 (da ARPAT, Dipartimento di Grosseto, modif.).



Dalle analisi condotte sui cinque campioni di acqua (Tabella 3) non sono emerse condizioni di criticità.

Tabella 3. – Concentrazioni rilevate nelle acque superficiali; prelievi eseguiti il 13 novembre 2003 (da ARPAT, modif.).

Codice	Al	As	B	Be	Cd	Co	Cr tot.	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
	µg/L															
A1	263	2,6	50	< 5	< 1	< 5	< 5	< 5	413	153	< 5	< 10	< 1	< 20	< 5	18
A2	152	< 1	38	< 5	< 1	< 5	< 5	< 5	90	9	< 5	< 10	< 1	< 20	< 5	< 5
A3	51	< 1	19	< 5	< 1	< 5	< 5	< 5	25	45	< 5	< 10	< 1	< 20	< 5	5
A4	74	< 1	6	< 5	< 1	< 5	< 5	< 5	60	7	< 5	< 10	< 1	< 20	< 5	< 5
A5	60	< 1	18	< 5	< 1	< 5	< 5	< 5	36	42	< 5	< 10	< 1	< 20	< 5	< 5

ARPAT segnalava come il *trend* del contenuto di alluminio disciolto (Al) fosse in grado di confermare l'apporto di materiale argilloso dall'area estrattiva al Rigualdo e dunque al Farma: la concentrazione di alluminio nel Rigualdo a valle dell'area di miniera raggiungeva 263 µg/L (in corrispondenza del ponte sulla S.P. 156, campione A1) per ridursi dopo circa 3 km a 152 µg/L (300 m dalla confluenza con il Farma, campione A2), nonostante il torrente scorra sulle rioliti e, nel tratto terminale, sulle sabbie formatesi per disfacimento delle rioliti (Figura 1).

Nel campione A1 sono stati riscontrati incrementi di arsenico (As), ferro (Fe), manganese (Mn) e zinco (Zn), che non hanno raggiunto livelli di rilievo ecotossicologico.

Meno confortanti i tenori elementari nel sedimento:

Tabella 4. - Concentrazioni rilevate nel sedimento; prelievi eseguiti il 13 novembre 2003 (da ARPAT, modif.).

Codice	Al	As	B	Be	Cd	Co	Cr tot.	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Ti	V	Zn
	mg/kg (peso secco)																		
T2	30.030	13	14	< 1	< 0,5	1,7	27	6	9.663	9,75	39	7,5	5,5	19,5	< 10	< 10	331	20	18
T1	17.560	19	78	< 1	< 0,5	3,4	14	< 5	8.970	0,70	220	9,5	5,6	5,6	< 10	< 10	201	12	15

Nel campione prelevato dalla sponda destra del Rigualdo all'interno dell'area di miniera (T2), l'antimonio (Sb) superava il limite di 10 mg/kg imposto dall'Allegato 1, Tabella 1, Colonna A "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" del D.M. 471/1999; il mercurio (Hg) eccedeva i limiti previsti sia dalla Colonna A che dalla Colonna B "Siti ad uso commerciale e industriale" della medesima Tabella, che riporta concentrazioni limite accettabili di 1 mg/kg (Colonna A) e di 5 mg/kg (Colonna B).



- Relazione Prof. Focardi, Università degli Studi di Siena, sul sopralluogo del 05/04/2004.

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di Roccastrada, sono stati raccolti campioni di acqua e sedimento superficiale in otto stazioni di campionamento (Figura 4) ubicate lungo il corso dei Torrenti Rigualdo, Farma, Gretano e Beccaraio. Le analisi chimiche sono state eseguite presso il laboratorio di ecotossicologia del Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti" dell'Università di Siena.

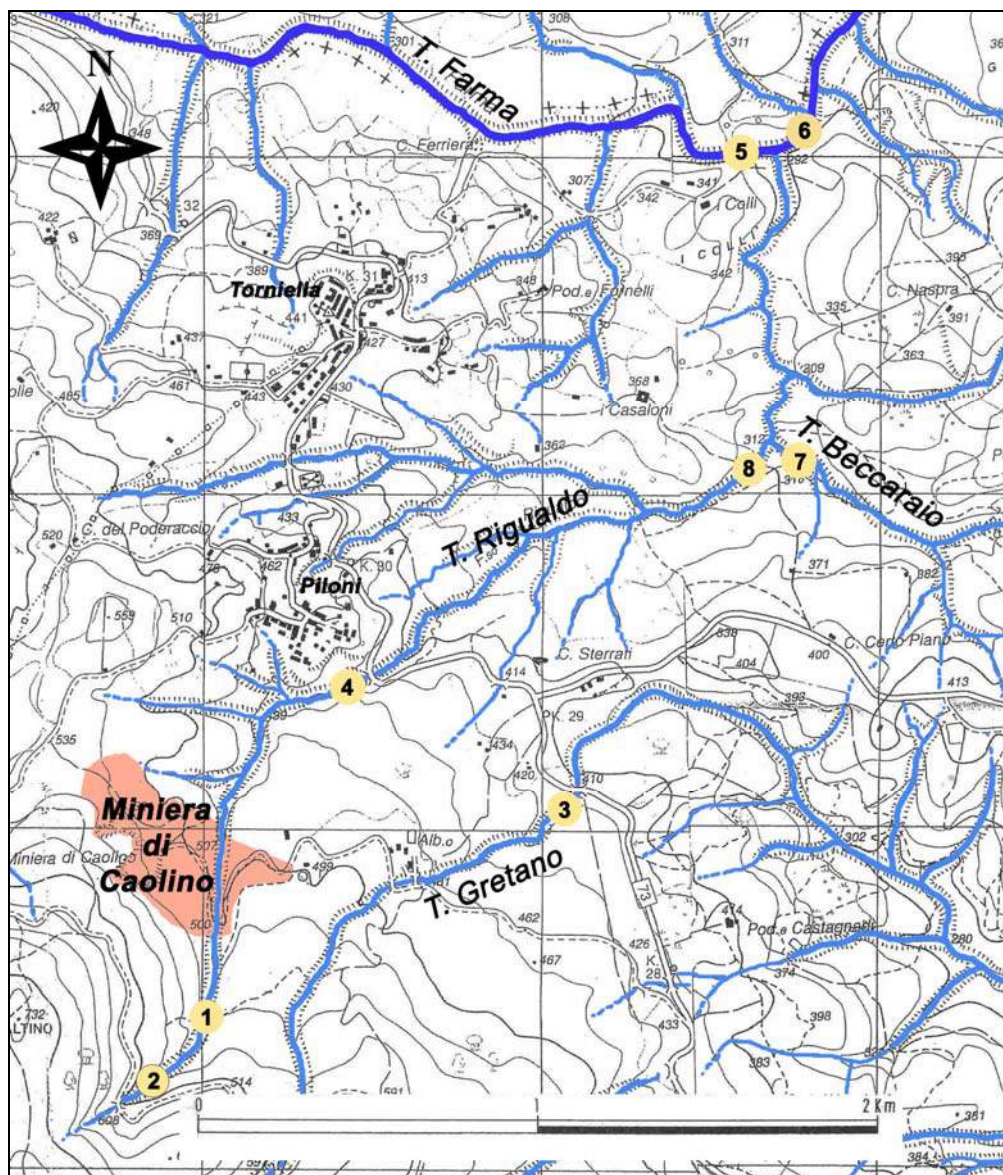


Figura 4. – Le stazioni di campionamento dell'Università degli Studi di Siena del 5 aprile 2004.

Il contenuto elementare delle matrici considerate è riportato nelle Tabelle 5 e 6 in cui, per una migliore lettura, le stazioni di campionamento seguono il seguente ordine:



- o Stazione n° 2: Torrente Rigualdo a monte della miniera.
- o Stazione n° 1: Torrente Rigualdo a monte della miniera e a valle della stazione n° 2.
- o Stazione n° 4: Torrente Rigualdo subito a monte del ponte sulla S.P. 156.
- o Stazione n° 8: Torrente Rigualdo a monte della confluenza con il Torrente Beccaraio
- o Stazione n° 3: Torrente Gretano subito a monte del ponte sulla S.P. 156.
- o Stazione n° 7: Torrente Beccaraio, affluente di dx del Torrente Rigualdo.
- o Stazione n° 5: Torrente Farma a monte della confluenza con il Torrente Rigualdo.
- o Stazione n° 6: Torrente Farma a valle della confluenza con il Torrente Rigualdo.

Tabella 5. – Concentrazioni rilevate nelle acque superficiali; prelievi eseguiti il 5 aprile 2004 (Università degli Studi di Siena).

Codice	Al	As	Cd	Cr tot.	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn
	µg/L										
n° 2	3,5	< 0,1	< 0,1	3,1	0,1	< 50	< 0,5	< 0,1	< 0,1	0,1	0,9
n° 1	2,5	< 0,1	< 0,1	2,7	0,4	< 50	< 0,5	0,1	< 0,1	0,2	2,3
n° 4	42,8	2,2	< 0,1	2,2	0,7	217	< 0,5	1,5	0,1	0,2	4,7
n° 8	21,1	1,5	< 0,1	4,8	0,7	< 50	< 0,5	1,0	< 0,1	0,3	0,7
n° 3	68,5	0,2	< 0,1	2,2	0,5	< 50	< 0,5	0,5	< 0,1	0,3	1,1
n° 7	5,4	< 0,1	< 0,1	6,5	0,4	< 50	< 0,5	0,8	< 0,1	0,2	1,2
n° 5	2,9	0,2	< 0,1	10,8	0,4	< 50	< 0,5	1,9	< 0,1	0,2	0,4
n° 6	3,4	0,4	< 0,1	11,2	0,5	< 50	< 0,5	2,2	< 0,1	0,2	2,6

L'analisi elementare delle acque mostrava la presenza di concentrazioni modeste delle sostanze considerate, riferibili ad uno stato chimico del comparto idrico privo di alterazioni significative.

L'esame delle concentrazioni rilevate lungo il corso del Rigualdo, a monte e a valle della miniera in oggetto (stazioni n° 2, 1, 4, 8), evidenzia un incremento dei valori di alcuni elementi nella stazione n° 4, subito a valle della miniera (Figura 5).

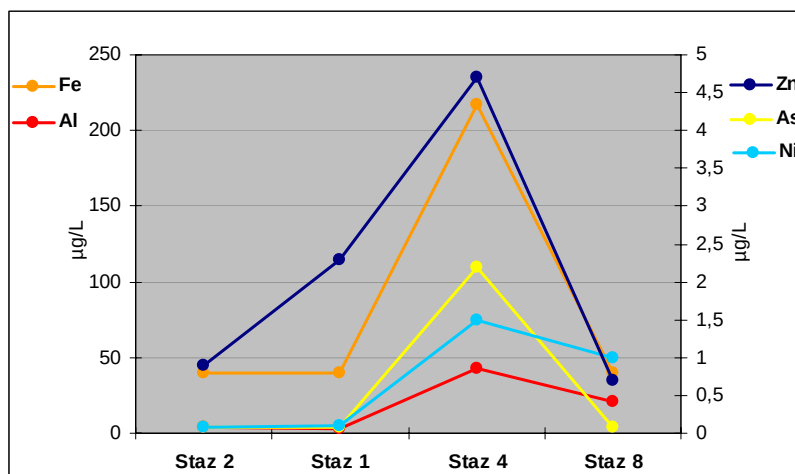


Figura 5. – Concentrazioni rilevate nelle acque del Torrente Rigualdo (monte → valle); il torrente attraversa l'area estrattiva tra la stazione n° 1 e la Stazione n° 4 (Università degli Studi di Siena).

Se si considerano i dati forniti da ARPAT relativi alle acque del Rigualdo, è possibile osservare come gli incrementi di cui sopra (Figura 5) coinvolgano le medesime sostanze: nel campione A1 di Tabella 3 (raccolto da ARPAT il 13 novembre 2003) e nel campione n° 4 di



Tabella 5 (prelevato dall'Università di Siena il 5 aprile 2004), provenienti dallo stesso punto di presa, si notano alterazioni dei livelli di Al, As, Fe e Zn. Le differenti tecniche analitiche utilizzate, con differenti limiti di rivelabilità, non permettono il confronto del contenuto di Ni. Il *trend* di concentrazione di questi elementi, lungo il corso del Rigualdo, individua la presenza di una sorgente di arricchimento posta nell'area di bacino comprendente la zona ove la miniera è ubicata.

Si riportano, di seguito, i risultati della caratterizzazione elementare del sedimento. I punti di prelievo sono gli stessi delle acque.

Tabella 6. – Concentrazioni rilevate nel sedimento superficiale; prelievi eseguiti il 5 aprile 2004 (Università degli Studi di Siena).

Codice	Al	As	Cd	Cr tot.	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn
mg/kg (peso secco)											
n° 2	2.310	3,2	< 0,1	3,2	4,4	7.290	0,16	12,9	3,7	7,7	7,7
n° 1	1.450	1,1	< 0,1	5,9	4,2	3.590	0,12	23,1	3,6	7,3	< 3
n° 4	25.960	22,9	< 0,1	9,7	5,1	7.600	0,58	5,9	11,8	9,6	4,8
n° 8	10.490	15,7	< 0,1	6,7	3,1	4.850	0,32	5,2	7,3	4,2	3,4
n° 3	6.070	3,7	< 0,1	6,9	3,4	5.970	0,19	8,2	4,9	24,3	19,4
n° 7	5.040	7,0	< 0,1	17,8	7,3	25.070	0,13	25,5	6,8	25,2	29,2
n° 5	20.950	10,8	< 0,1	60,5	44,6	35.170	0,08	191	14,6	80,5	108
n° 6	6.760	27,2	< 0,1	10,5	4,1	6.620	0,17	12,0	10,8	17,0	14,2

E' opportuno ricordare come le principali anomalie rilevabili nei reperti di ARPAT abbiano interessato il sedimento del Rigualdo in corrispondenza della miniera (Tabelle 1 e 4): As e Hg, nel campione R6 del 3 luglio 2003; Hg e Sb nel campione T2 del 13 novembre 2003, dove l'As, con 13 mg/kg, non superava il limite tabellare di 20 mg/kg previsto dal D.M. 471/1999. Il 5 aprile 2004 (Tabella 6), il sedimento del Rigualdo a valle della miniera e del Farma dopo la confluenza con il Rigualdo mostrava tenori di As rispettivamente di 22,9 e 27,2 mg/kg. Anche il contenuto di Hg subiva un brusco innalzamento a valle dell'area estrattiva, senza eccedere i valori di accettabilità del D.M. 471/1999. La distribuzione di As e Hg è indicata nelle Figure 6, 7 e 8 (pagg. 89 e 90).

In Tabella 6 si notano, altresì, concentrazioni anomale di alcuni elementi in tracce nel sedimento del Farma a monte della confluenza con il Rigualdo, dove il Ni supera il limite di accettabilità; tali concentrazioni, come verrà esposto più avanti, non possono essere riferite al "fondo naturale" del torrente Farma.

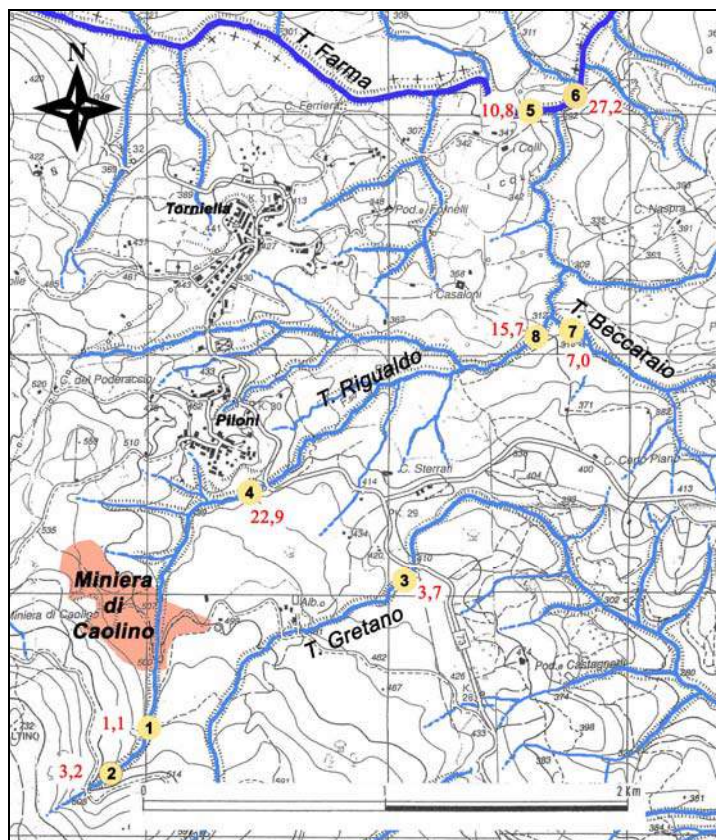


Figura 6. - Distribuzione di As (mg/kg, p.s.) nei sedimenti superficiali prelevati il 5 aprile 2004 (Università degli Studi di Siena).

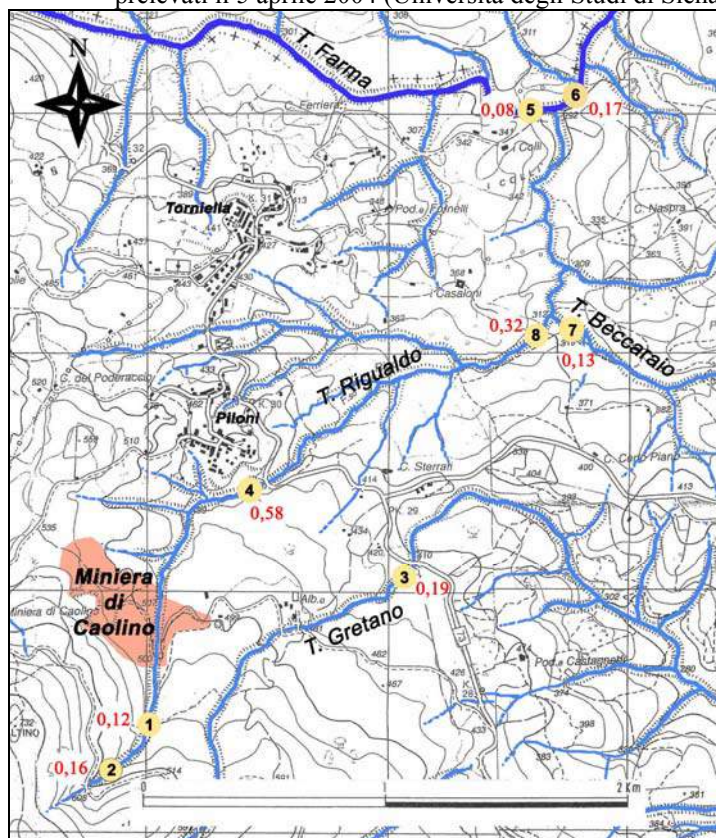


Figura 7. - Distribuzione di Hg (mg/kg, p.s.) nei sedimenti superficiali prelevati il 5 aprile 2004 (Università degli Studi di Siena).



In particolare, lungo il corso del Rigualdo gli incrementi osservati a valle della miniera sono i seguenti:

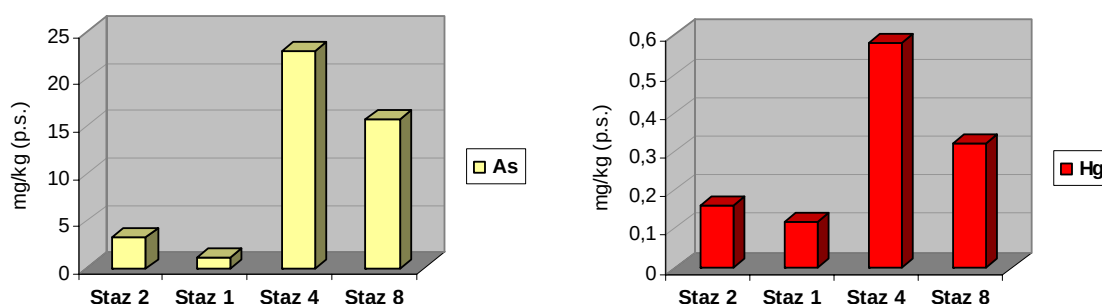


Figura 8. – Distribuzione di As e Hg lungo il corso del Rigualdo; il torrente attraversa l'area estrattiva tra la stazione n° 1 e la Stazione n° 4 (Università degli Studi di Siena).

Il quadro generale dei reperti relativi alle indagini precedenti, in accordo con quanto emerso dall'osservazione diretta durante i sopralluoghi, individua l'impronta dei rilasci di materiali di miniera sia in fase disciolta (nelle acque), che solida (depositati nel sedimento).

Nel caso del comparto idrico, il modesto contenuto di elementi in tracce può essere ricondotto alla carenza di importanti fenomeni di *acid mine drainage*: nelle aree minerarie dove i solfuri metallici sono esposti agli agenti atmosferici, l'ossidazione (O_2 atmosferico) dello zolfo a solfato provoca un abbassamento di pH in grado di amplificare la solubilità dei metalli (Benner *et al.*, 1999). Le mineralizzazioni intercettate nel corso dei lavori di coltivazione non sembrano tali da indurre manifestazioni estese del fenomeno, capaci di mobilizzare quantità importanti di elementi in tracce nelle acque del Rigualdo; non si esclude, tuttavia, la possibilità che detti processi possano intervenire (il 3 luglio 2003 ARPAT segnalava la presenza di "acque ferruginose" nel Rigualdo al piede della scarpata della miniera).

Per quanto riguarda i sedimenti, il trasporto solido di origine mineraria ha influenzato in modo rilevante la qualità chimica del Rigualdo, dove si raggiungono valori anomali per As e Hg osservati, in alcuni reperti (Tabelle 1 e 6), anche nel Farma a valle della confluenza.



Criteri di indagine

Considerata la natura della perturbazione cui sono sottoposti i Torrenti Rigualdo e Farma, la caratterizzazione fisico-chimica delle matrici coinvolte rappresenta un elemento determinante nella valutazione del danno occorso al sistema fluviale. L'analisi dei dati pregressi suggerisce di approfondire le conoscenze relative allo stato chimico dei sedimenti, dove insistono le principali criticità. Il tempo di permanenza di un contaminante in questo comparto, nonostante rappresenti la porzione attiva del sistema, è di alcuni ordini di grandezza maggiore della sua persistenza nella colonna d'acqua. Pertanto, il sedimento superficiale è in grado di conservare la memoria delle alterazioni occorse all'interno del bacino.

Particolare rilievo rivestono le dimensioni dell'area oggetto di studio, che deve comprendere la zona alterata dall'attività estrattiva ed un intorno rappresentativo delle condizioni ambientali non interessate dalla perturbazione. Allo scopo, sono stati selezionati i principali corsi d'acqua presenti nella suddetta area: i Torrenti Rigualdo e Farma, per valutare l'entità e l'estensione della contaminazione generata dagli apporti litoidi di miniera e i Torrenti Gretano e Beccaraio, non soggetti ad evidenti pressioni antropiche, come riferimento a buone condizioni idromorfologiche e fisico-chimiche sito-specifiche.

In riferimento alle sostanze da inserire nella ricerca, la Direttiva 2000/60 CE riporta in Allegato VIII un "elenco indicativo dei principali inquinanti" ad uso degli Stati membri per la definizione dello Stato Chimico; si tratta di dodici gruppi di sostanze tra cui figurano "metalli e relativi composti", "arsenico e relativi composti", "materia in sospensione". Con maggiore dettaglio, l'Allegato X indica l'elenco di "sostanze prioritarie" a cui le strategie per combattere l'inquinamento idrico devono rivolgere particolare attenzione; alcune di queste sono identificate come "pericolose prioritarie", in quanto tossiche, persistenti e bioaccumulabili o che danno adito a preoccupazioni analoghe. Le sostanze prioritarie sono state individuate sulla base di analisi di rischio incentrate sulla determinazione dell'ecotossicità acquatica e della tossicità di ritorno sulla specie umana via i sistemi acquatici; si parla di rischio "intrinseco", legato alla natura delle diverse sostanze, più che alle caratteristiche del sistema in cui vengono immesse (Bacci *et al.*, 2005); i relativi *standard* di qualità saranno adottati per le acque superficiali, i sedimenti e gli organismi acquatici. Con Decreto 6 novembre 2003, n° 367 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha emanato il regolamento concernente la fissazione di *standard* di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'art. 3, comma 4, del D.Lgs. 152/1999 (recentemente abrogato), tenuto conto della Direttiva 2000/60 CE, come implementata dalla Decisione n° 2455/2001/CE del 20 novembre 2001. In Tabella 2 (Allegato A) del D.M. 367/2003 sono fissati gli *standard* di qualità per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni costieri che rappresentano i primi ed unici valori di riferimento (oltre a quelli, specifici, per la laguna di Venezia) apparsi nella normativa nazionale per tale matrice. Il D.Lgs. 152/2006 non contiene alcuna indicazione al riguardo, nonostante la Direttiva Quadro europea ne preveda l'istituzione. In attesa delle proposte comunitarie relative ai sedimenti fluviali, le disposizioni del D.M. 367/2003 possono essere utili alle istanze del caso in un percorso di orientamento verso la scelta delle sostanze da indagare e l'identificazione dei loro livelli di accettabilità. Dall'elenco in Tabella 2 del Decreto, alla luce dei dati acquisiti nel corso delle indagini precedenti e considerando la natura della sorgente di contaminazione, sono state selezionate le seguenti sostanze: arsenico (As), Cadmio (Cd), Cromo totale (Cr tot.), mercurio (Hg), nichel (Ni) e piombo (Pb).



Nella Tabella che segue sono riportati i loro *standard* di qualità, escludendo dalla lista i composti (organici e organometallici) da ritenere estranei al danno in oggetto:

Tabella 7. – *Standard* di qualità dei sedimenti di cui alla Tabella 2, Allegato A del D.M. 367/2003, contestualizzati al caso in esame.

Numero CAS ⁽¹⁾	*	Parametri	Concentrazioni (mg/kg, p. s.)
7440-38-2		Arsenico	12
7440-43-9	PP	Cadmio	0,3
7440-47-3		Cromo totale	50
7439-97-6	PP	Mercurio	0,3
7440-02-0	P	Nichel	30
7439-92-1	P	Piombo	30

*Le sostanze contraddistinte dalla lettera P e PP sono, rispettivamente, le sostanze prioritarie e quelle pericolose prioritarie individuate ai sensi della normativa europea.

⁽¹⁾ CAS: Chemical Abstract Services.

Le concentrazioni riscontrate nel sedimento, qualora superiori agli *standard* di cui sopra, concorrono ad individuare le misure da intraprendere ai fini della tutela di detti corpi idrici.

Nel 2001 ANPA aveva affidato ad ARPAL la raccolta degli elementi conoscitivi per la caratterizzazione dei parametri aggiuntivi introdotti dal D.Lgs. 152/1999. Il rapporto (RTI CTM_AIM 4./2001) comprende una proposta di valori orientativi di riferimento per il sedimento fluviale (ANPA, 2001):

Tabella 8. – Valori orientativi di riferimento proposti per alcuni parametri aggiuntivi chimici nel rapporto RTI CTM_AIM 4./2001 (ANPA, 2001, modif.).

Parametri	Concentrazioni (mg/kg, p. s.)
Arsenico	3 ^(a)
Cadmio	0,2 ^(a)
Cromo totale	26 ^(b)
Mercurio	0,15 ^(c)
Nichel	16 ^(d)
Piombo	23 ^(a)

(a) *Sediment background approach* (Environment Canada, 1992).

(b) *Screening level concentration approach* (Nagapl et al., 1995).

(c) *Sediment quality guidelines* (ANZECC, 1998).

(d) *Screening level concentration approach* (OMOE, 1991).

Un ulteriore contributo è rappresentato dalle linee guida canadesi (*Canadian Sediment Quality Guidelines, CSQGs*) del *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2001), definite in base alle relazioni tra le concentrazioni dei microinquinanti nei sedimenti delle acque superficiali e ogni effetto biologico avverso in risposta all'esposizione. L'approccio, basato sull'elaborazione statistica di dati chimici ed ecotossicologici selezionati dalla letteratura scientifica, definisce tre livelli di protezione:

- Concentrazione del contaminante nel sedimento inferiore alla *Interim Freshwater Sediment Quality Guideline (ISQG)*, sotto la quale gli effetti biologici avversi sono rari.
- Concentrazione del contaminante nel sedimento compresa tra la *ISQG* ed il *Probable Effect Level (PEL)*, dove gli effetti avversi possono occasionalmente avvenire.
- Concentrazione del contaminante nel sedimento superiore al *PEL*, corrispondente alla condizione in cui gli effetti avversi possono manifestarsi frequentemente.



Si riportano i valori delle *ISQG* e dei *PEL* per le sostanze considerate:

Tabella 9. – *ISQG* e *PEL* delle linee guida canadesi (*Canadian Sediment Quality Guidelines*) del *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2001).

Parametri	<i>ISQG</i> (mg/kg, p. s.)	<i>PEL</i> (mg/kg, p. s.)
Arsenico	5,9	17
Cadmio	0,6	3,5
Cromo totale	37,3	90,0
Mercurio	0,17	0,49
Nichel	n.p.	n.p.
Piombo	35,0	91,3

Si aggiungono, infine, i seguenti valori di *background* tratti dalla letteratura internazionale (Förstner e Wittmann, 1983; Fergusson, 1990) per corsi d'acqua europei e americani poco o affatto interessati da anomalie geochimiche o da attività antropiche:

Tabella 10. – Valori di *background* nella letteratura internazionale (Förstner e Wittmann, 1983; Fergusson, 1990).

Parametri	Concentrazioni (mg/kg, p. s.)
Arsenico	1 – 5
Cadmio	0,1 – 0,5
Cromo totale	15 – 30
Mercurio	0,03 – 0,2
Nichel	10 – 20
Piombo	10 – 20

Nel loro insieme, i dati delle Tabelle 7, 8, 9 e 10 possono rappresentare un quadro orientativo delle concentrazioni attese in ambienti non particolarmente contaminati. C'è da attendersi, dunque, che in situazioni prossime alla naturalità e in assenza di vistose anomalie geochimiche sito-specifiche di superficie, i contenuti di elementi in tracce del sedimento fluviale siano, in linea generale, confrontabili ai valori di riferimento sopra riportati.

Potremmo, per facilitare la lettura, sintetizzare quanto osservato in modo da distinguere una condizione di "naturalità" (righe 2 ÷ 5 di Tabella 11) da situazioni modificate dalle attività antropiche (righe 7 e 8 di Tabella 11):

Tabella 11. – Concentrazioni elementari nel sedimento superficiale in assenza (righe 2 ÷ 5) e in presenza di anomalie (righe 7 e 8).

Riferimenti	As	Cd	Cr tot.	Hg	Ni	Pb
	mg/kg (peso secco)					
D.M. 367/2003 (Allegato A, Tabella 2)	12	0,3	50	0,3	30	30
RTI CTM_AIM 4/2001 (ANPA, 2001)	3	0,2	26	0,15	16	23
ISQG (CCME, 2001)	5,9	0,6	37,3	0,17	n.p.	35
Valori di background*	1-5	0,1-0,5	15-30	0,03-0,2	10-20	10-20
D.M. 471/1999 (Allegato 1, Tabella 1, Colonna A)	20	2	150	1	120	100
PEL (CCME, 2001)	17	3,5	90,0	0,49	n.p.	91,3

*Förstner e Wittmann, 1983; Fergusson, 1990.



In merito agli indirizzi metodologici secondo cui trattare la matrice sedimento, lo scorso aprile 2005 è stata presentata la relazione conclusiva del *Progetto nazionale per il monitoraggio delle acque superficiali* attuato da ANPA/APAT. I lavori dell'Area Chimica-Microbiologica del progetto hanno individuato, tra i principali settori, quello della caratterizzazione dei sedimenti contaminati dagli inquinanti prioritari come elemento sostanziale per la caratterizzazione degli ecosistemi, con le premesse che merita riportare: *"Il comparto sedimenti non ha rappresentato finora una priorità nei programmi di monitoraggio anche per un retaggio di convinzioni maturate nel passato che facevano ritenere che molti degli inquinanti una volta catturati a livello del sedimento divenivano in pratica indisponibili per la sfera biologica ed erano, quindi, in pratica rimossi dal sistema acquatico. Attualmente la qualità dei sedimenti è a ragione ritenuta parte integrante della qualità del corpo idrico nel suo insieme. In effetti, mentre le Regioni effettuano la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici sulla base degli indici SECA (Stato Ecologico Corsi d'Acque: LIM e IBE) per i fiumi e sugli indici SEL (Stato Ecologico dei Laghi), poco applicate sono le analisi chimico fisiche ed ecotossicologiche sui sedimenti richieste dagli allegati tecnici del D.Lgs. 152/99 come analisi supplementare a supporto della classificazione dello stato ecologico in particolare in presenza di inquinanti prioritari e pericolosi"*. E' stato dunque elaborato e messo a disposizione dei soggetti attuatori uno specifico documento (CNR-IRSA, 2005), i cui orientamenti sono stati utilizzati nel corso della presente indagine. In particolare, nelle linee guida e nel protocollo operativo sul trattamento dei campioni per l'analisi dei metalli, si raccomanda di ricorrere all'analisi granulometrica e alla determinazione del contenuto di elementi in tracce nella frazione con diametro minore di 63 μm . I contaminanti, infatti, non si distribuiscono in modo omogeneo nelle varie frazioni. Il particolato fine rappresenta la componente principale del materiale in sospensione destinato a sedimentare e possiede un' elevata area superficiale, condizioni che incrementano i contatti potenziali tra la superficie delle particelle e gli inquinanti; in questo modo i metalli, per scambio ionico o adsorbimento, si concentrano in queste frazioni (Förstner, 1990; Westrich, 1986).

Le differenze nella distribuzione dei contaminanti tra sedimenti a tessitura fine e sedimenti a tessitura più grossolana può complicare il confronto tra campioni provenienti da siti diversi e tra campioni prelevati nello stesso sito in tempi diversi. Il ricorso all'analisi granulometrica facilita la comparabilità dei risultati e permette di valutare la stabilità del sedimento in relazione al rischio di risospensione e rimobilizzazione di inquinanti.

Un ulteriore aspetto da considerare è rappresentato dalla quantità di materiale solido in sospensione che il Rigualdo è in grado di trasportare. Per una valutazione comparativa, sono stati misurati i Solidi Sospesi Totali in campioni d'acqua raccolti dal Rigualdo e Gretano in corrispondenza dei rispettivi ponti sulla S.P. 156 (stazioni n° 2 e n° 6 di Figura 9, pag. 97). I prelievi sono stati eseguiti ogni 24 h, per tre giorni, in differenti condizioni idrologiche (magra, piena, morbida alta) in modo da registrare le variazioni del trasporto solido in seguito alle precipitazioni. Per una stima del trasporto di massa, nei materiali in sospensione del Rigualdo sono stati determinati i contenuti di As e Hg.



Piano sperimentale

Sono stati raccolti ed esaminati documenti, cartografie e dati analitici pregressi relativi all'area di indagine, ai corsi d'acqua presenti e all'evento perturbativo causato dall'attività mineraria della Caolino d'Italia S.r.l.. In base alle conoscenze acquisite e alle ispezioni sull'area di studio, l'indagine è stata articolata come di seguito riportato:

- Prelievo di campioni di sedimento superficiale (primi 5 cm) dall'alveo dei Torrenti Rigualdo (4 stazioni di campionamento a valle dell'area mineraria), Gretano (3 stazioni), Beccaraio (2 stazioni) e Farma (2 stazioni a monte e 3 a valle della confluenza con il Rigualdo, Figura 9, pag. 97).
- Prelievo di campioni d'acqua dai Torrenti Rigualdo e Gretano in corrispondenza dei ponti sulla S.P. 156 (stazioni n° 2 e 6 di Figura 9). I prelievi sono stati eseguiti ogni 24 h, per tre giorni, in differenti condizioni idrologiche (magra, morbida alta, morbida).
- Caratterizzazione chimica della matrice sedimento (frazione non grossolana, < 2 mm) in riferimento agli elementi presenti nella Tabella 2 del D.M. 6 novembre 2003, n. 367, comprendenti le sostanze Prioritarie e Prioritarie Pericolose individuate ai sensi della decisione n. 2455/2001/CE; sono stati dosati arsenico (As), cadmio (Cd), cromo totale (Cr tot.), mercurio (Hg), nichel (Ni), e piombo (Pb).
- Caratterizzazione chimica del sedimento fine (frazione < 63 μ m) per arsenico (As), cadmio (Cd), cromo totale (Cr tot.), mercurio (Hg), nichel (Ni), e piombo (Pb), come per il campione totale (frazione < 2 mm).
- Analisi granulometrica del sedimento superficiale (frazione < 2 mm). Come riportato nei criteri di indagine, la caratterizzazione granulometrica del sedimento rappresenta un ulteriore contributo alla comprensione della distribuzione dei microinquinanti nei sistemi fluviali.
- Determinazione del contenuto di Solidi Sospesi Totali nelle acque dei Torrenti Rigualdo e Gretano. Per una stima dei flussi di massa, nella frazione solida sospesa raccolta nel Rigualdo sono stati misurati i tenori di As e Hg.



Tecniche analitiche

La caratterizzazione del sedimento superficiale è stata condotta secondo gli orientamenti delle linee guida e dei protocolli operativi definiti nell'ambito del *Progetto nazionale per il monitoraggio delle acque superficiali* (CNR-IRSA, 2005).

I campioni di sedimento superficiale (primi 5 cm) sono stati prelevati utilizzando un cilindro carotatore in PE, in più prese riunite in un campione composito (almeno 5 prese per campione). Conservati a - 20° C in contenitori di PE, sono stati essiccati all'aria a T ambiente e setacciati attraverso maglie di dimensioni decrescenti (2 mm; 1 mm; 500 µm; 250 µm; 125 µm; 63 µm). Le frazioni di sedimento < 2 mm e < 63 µm sono state sottoposte a digestione per attacco acido in sistema chiuso, secondo la procedura di Stoeppler e Backhaus (1978): circa 0,2 g di sedimento sono stati chiusi in crogiuoli di teflon con 2 mL di acido nitrico al 65%. Il processo di mineralizzazione è avvenuto ad una temperatura di 140°C e ad una pressione di circa 2.000 kPa, per una durata di 8 h.

Il dosaggio di Cd, Cr tot., Ni e Pb nelle soluzioni ottenute è stato eseguito tramite spettrometria di emissione atomica con sorgente al plasma ad accoppiamento induttivo (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, ICP-OES*) utilizzando lo spettrometro *Optima 5000 DV (Dual View)* della *Perkin Elmer*. La determinazione di As è stata condotta sullo stesso strumento previa generazione di AsH₃ (*HG-ICP-OES*) con il sistema di iniezione in flusso (*Flow Injection Analysis System, FIAS 100, Perkin-Elmer*). Il Hg è stato determinato in *Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS)* tramite il *Flow Injection Mercury System (FIMS 400, Perkin-Elmer)*.

Per il calcolo delle concentrazioni è stata utilizzata la retta di taratura ottenuta con il metodo delle «aggiunte interne» che prevede l'addizione, prima del processo di digestione, di quantità note e crescenti degli elementi da determinare a repliche di uno stesso campione. I risultati, espressi in mg/kg in peso secco, sono riferiti a sedimento essiccato a 105° C, secondo le disposizioni del D.M. 13/09/1999 Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo" (Metodo II 2).

L'imprecisione, espressa come *coefficiente di variazione percentuale* (% CV) di 5 repliche omogenee, è risultata inferiore al 10%. L'accuratezza è stata controllata su Estuarine Sediment (*standard reference material 1646*) e Montana Soil (*standard reference material 2710*) del *National Institute of Standards and Technology (NIST)* dello *U.S. Department of Commerce*, Gaithersburg, MD, U.S.A..

Per l'analisi della composizione granulometrica dei sedimenti, sono state considerate le seguenti classi dimensionali (dal sistema di classificazione dell'*United States Department of Agriculture*, modificato): sabbia molto grossolana (2 mm > Ø > 1 mm); sabbia grossolana (1 mm > Ø > 500 µm); sabbia media (500 µm > Ø > 250 µm); sabbia fine (250 µm > Ø > 125 µm); sabbia molto fine (125 µm > Ø > 63 µm); limo e argilla (Ø < 63 µm). La procedura utilizzata (setacciatura a secco) rispetta le indicazioni dei protocolli operativi CNR-IRSA (CNR-IRSA, 2005).

La quantità totale dei solidi sospesi è stata determinata utilizzando il metodo 2090 B del manuale *Metodi Analitici per le Acque* (APAT e CNR-IRSA, 2003).



Risultati e discussione

Sedimenti

Si riportano i contenuti di elementi in tracce nel sedimento superficiale dell'area individuata nel corso del presente studio (Tabella 12). Gli elementi dosati sono stati selezionati secondo quanto riportato nei criteri di indagine. I punti di presa sono indicati nella figura seguente.

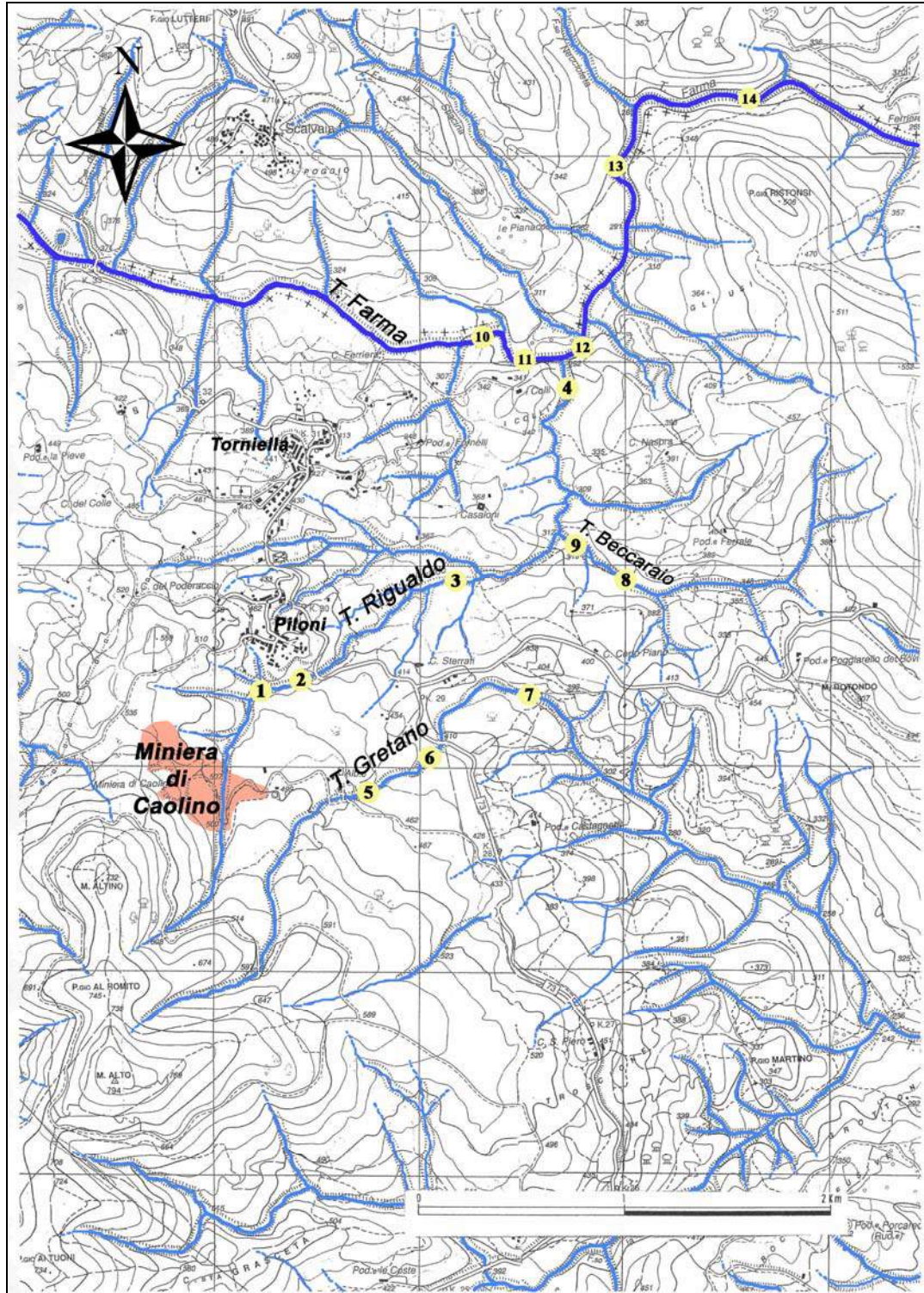


Figura 9. – L'area di indagine e le stazioni di campionamento.



Tabella 12. – Concentrazioni rilevate nel sedimento superficiale; prelievi eseguiti nel novembre 2005. In evidenza (fondo grigio) i valori anomali secondo i riferimenti di Tabella W e (in rosso) quelli superiori ai limiti tabellari del D.M. 471/1999.

Codice	As	Cd	Cr tot.	Hg	Ni	Pb
	mg/kg (peso secco)					
n° 1	18,7	< 0,01	12,2	1,11	7,4	3,0
n° 2	7,3	< 0,01	12,7	0,49	8,7	2,0
n° 3	8,3	< 0,01	10,8	0,64	10,8	6,5
n° 4	8,2	< 0,01	14,1	0,34	13,0	8,7
n° 5	7,9	0,11	15,5	0,19	13,5	4,5
n° 6	2,9	< 0,01	10,6	0,03	9,4	4,3
n° 7	8,0	< 0,01	23,2	0,05	12,3	7,1
n° 8	3,7	0,02	13,4	0,07	18,6	6,5
n° 9	5,1	0,04	17,3	0,05	28,6	5,1
n° 10	16,3	0,25	82,9	0,15	62,8	25,2
n° 11	18,1	0,12	112,5	0,24	61,7	18,2
n° 12	8,1	0,09	75,4	0,12	13,9	4,6
n° 13	16,7	0,21	47,7	0,25	38,2	14,2
n° 14	12,9	0,21	51,1	0,20	44,7	16,7

Nei Torrenti Gretano e Beccaraio (campioni n° 5 ÷ 9) i contaminati inorganici non eccedono le concentrazioni di Tabella 11 (pag. 93) relative al sedimento fluviale in condizioni di naturalità e confermano i reperti del 5 aprile 2004 (campioni n° 3 e 7 di Tabella 6, pag. 88). In quella data erano stati raccolti due campioni di sedimento dal Rigualdo a monte dell'attività mineraria (campioni n° 1 e 2, Tabella 6) che avevano mostrato, anch'essi, concentrazioni riferibili a siti non contaminati (Tabella 11).

In sintesi, lo stato chimico del sedimento nelle sezioni fluviali non soggette a manifeste pressioni antropiche (Gretano, Beccaraio e Rigualdo a monte degli scavi) corrisponde a quello atteso in condizioni di naturalità e in assenza di alterazioni geochemiche di superficie. Questi reperti permettono di delineare una stima dei livelli di fondo sito-specifici dell'area in oggetto che, alla luce dei dati raccolti, non eccedono le concentrazioni di seguito riportate:

Tabella 13. – I valori di fondo sito-specifici del sedimento superficiale in assenza di alterazioni.

As	Cd	Cr tot.	Hg	Ni	Pb
mg/kg (peso secco)					
< 8,0	< 0,11	< 25	< 0,2	< 30	< 8,0

Nel sedimento del Rigualdo a valle della miniera (campioni n° 1 ÷ 4) si osservano concentrazioni anomale di As, limitatamente alla prima stazione a valle dell'area estrattiva, e di Hg, per tutto il corso fino in prossimità della confluenza con il Farma. 300 m a valle dalla miniera il mercurio, di notevole rilevanza ecotossicologica e individuato dalla normativa comunitaria e nazionale come sostanza pericolosa prioritaria (PP), supera il limite di accettabilità previsto dal D.M. 471/1999 (Tabella 12).



Per le frequenti precipitazioni occorse, la raccolta dei campioni si è svolta in condizioni idrologiche che favoriscono la rimobilizzazione del sedimento e delle sostanze ad esso associate. E' noto come la concentrazione di contaminanti dopo una evento di piena o morbida alta siano generalmente inferiori a quelle di magra o morbida e raggiungano i livelli più elevati al termine di un periodo di magra (CNR-IRSA, 2005). L'andamento delle precipitazioni medie mensili della zona indica il massimo valore di pioggia in novembre; pertanto, è possibile che le concentrazioni osservate siano destinate ad aumentare nei periodi in cui le precipitazioni sono meno abbondanti e che le criticità riscontrate siano riferibili ad una condizione di *best case*.

Si riporta il *trend* del Hg lungo il corso del Rigualdo a valle della miniera (Figura 10).

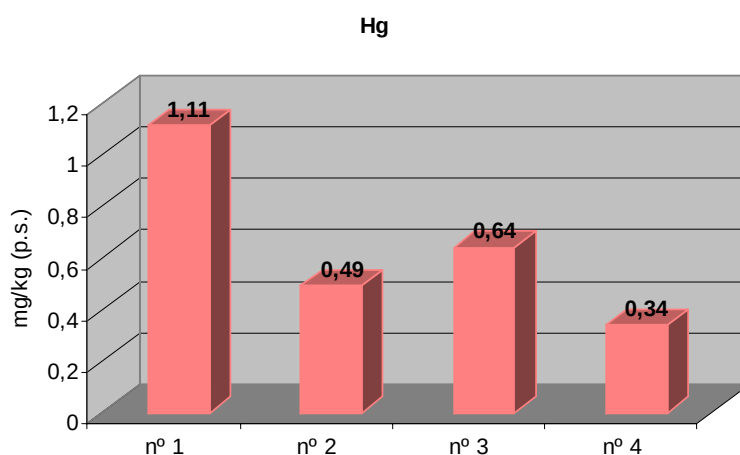


Figura 10. – Distribuzione del Hg lungo il corso del Rigualdo a valle della miniera.

I livelli di mercurio si mantengono alterati anche nella stazione n° 4, ~ 100 m dalla confluenza con il Farma, dove il Rigualdo scorre all'interno del SIR - pSIC "Val di Farma" (IT51A0003); la Del.G.R. 644/2004 riporta, come principale obiettivo per la conservazione del sito, il "*Mantenimento dell'integrità degli ecosistemi fluviali (inclusi i corsi d'acqua minori)...*" (Figura 11).

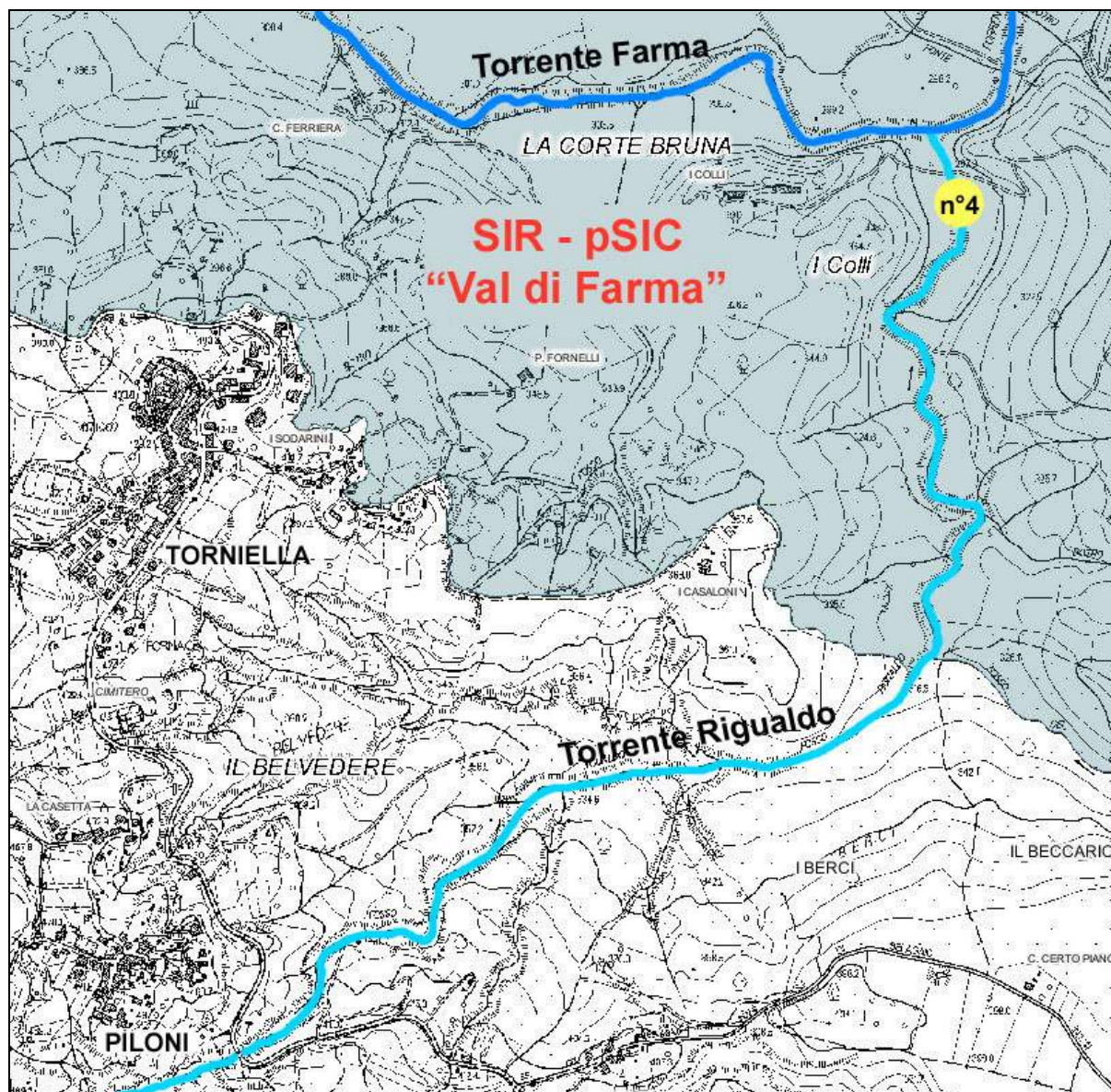


Figura 11. - La stazione di campionamento n° 4 sul tratto del Rigualdo compreso nel SIR - pSIC "Val di Farma".



I dati acquisiti nel corso della presente indagine e l'analisi critica di quelli pregressi individuano le maggiori criticità nel primo tratto del Rigualdo a valle dell'attività estrattiva di caolino, dove le concentrazioni di As e Hg oscillano, in ragione delle condizioni idrologiche, attorno ai limiti di accettabilità del D.M. 471/1999 (Figura 12).

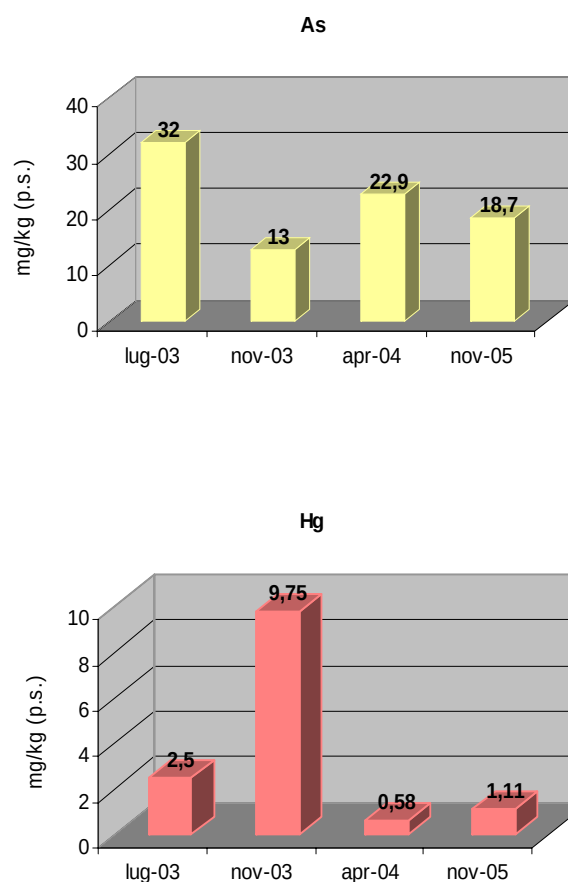
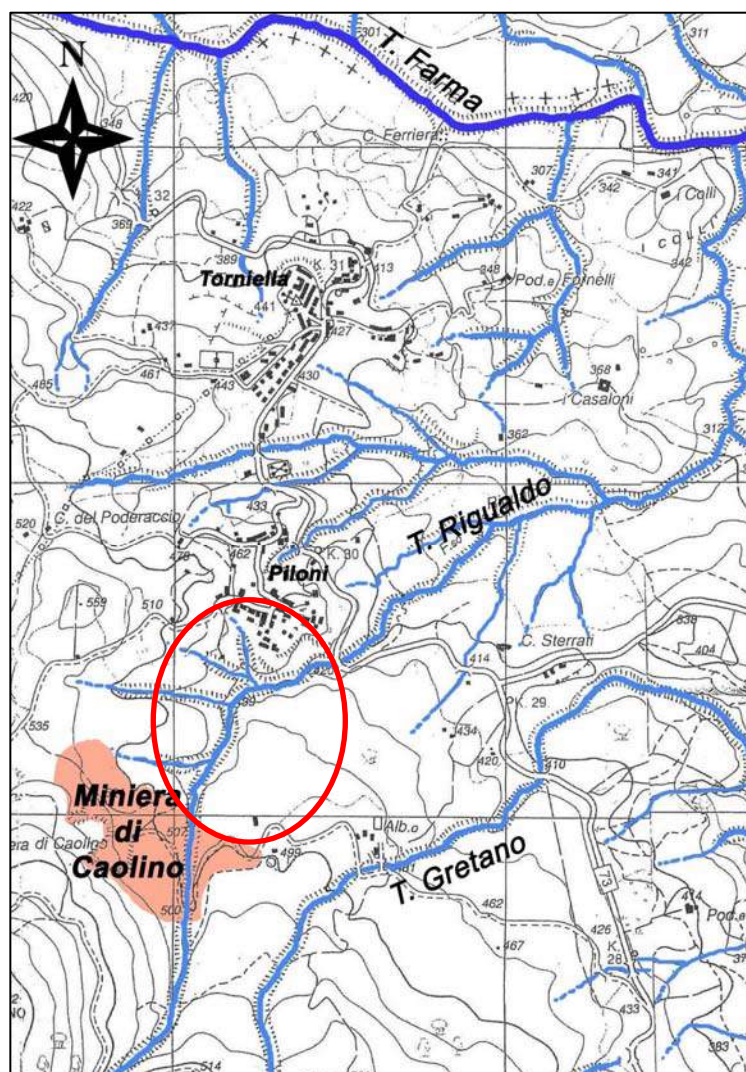


Figura 12. - Il trend temporale di As e Hg nel primo tratto del Rigualdo a valle dell'attività estrattiva.



Nel Farma si notano, a monte e a valle della confluenza con il Rigualdo (campioni n° 10 ÷ 14, Figura 9), concentrazioni maggiori dei livelli di fondo del sito, con evidenti anomalie per As, Cr tot., Ni.

Le analisi sui sedimenti superficiali del bacino del Farma, condotte nel 1998 nei laboratori del Dipartimento Scienze Ambientali (Univ. di Siena), segnalavano anomalie simili, con valori particolarmente elevati di As, Cd, Co, Cr tot., Cu, Mn, Ni, e Pb negli affluenti del tratto iniziale. In particolare, i contenuti maggiori interessavano il Torrente Farmulla e il Torrente Torna, con un *trend* decrescente nella direzione di scorrimento delle acque. In Figura 13 di pag. 103 si osservano (arancio) le zone alterate dalle pregresse attività minerarie presenti nell'alto bacino del Farma; si tratta di cinque miniere di pirite (Cavagigli, Acquacalda-Fernanda-Deschars, Botroni, Baciolo e Ballarino) comprese nella ex Concessione Mineraria di Boccheggiano, nel territorio del Comune di Montieri (GR). Le ultime tre, più recenti, sono inserite nell'Anagrafe dei siti da bonificare a breve termine, con i rispettivi codici: GR 84, GR 85, GR 86 (Allegato 2 del "Piano regionale di gestione dei rifiuti - Terzo stralcio relativo alla bonifica delle aree inquinate", ex Art. 9 della L.R. 25/98). Gli impatti si riferiscono, genericamente, alla presenza di pozzi minerari, piazzali, resti di impianti, discariche, drenaggi acidi, sorgenti captate. Le zone alterate dalle coltivazioni di pirite (con presenza di solfuri misti) occupano la parte più alta dei bacini dei Torrenti Farmulla e Torna e possono facilmente generare a loro carico fenomeni di dispersione di elementi in tracce. Si ritiene che alcune anomalie osservate nel sedimento del Farma nel novembre 2005 abbiano la stessa origine.

Sarebbe opportuno, a riguardo, seguire la tendenza della contaminazione per valutare se questa sia ancora in atto, oppure in attenuazione.

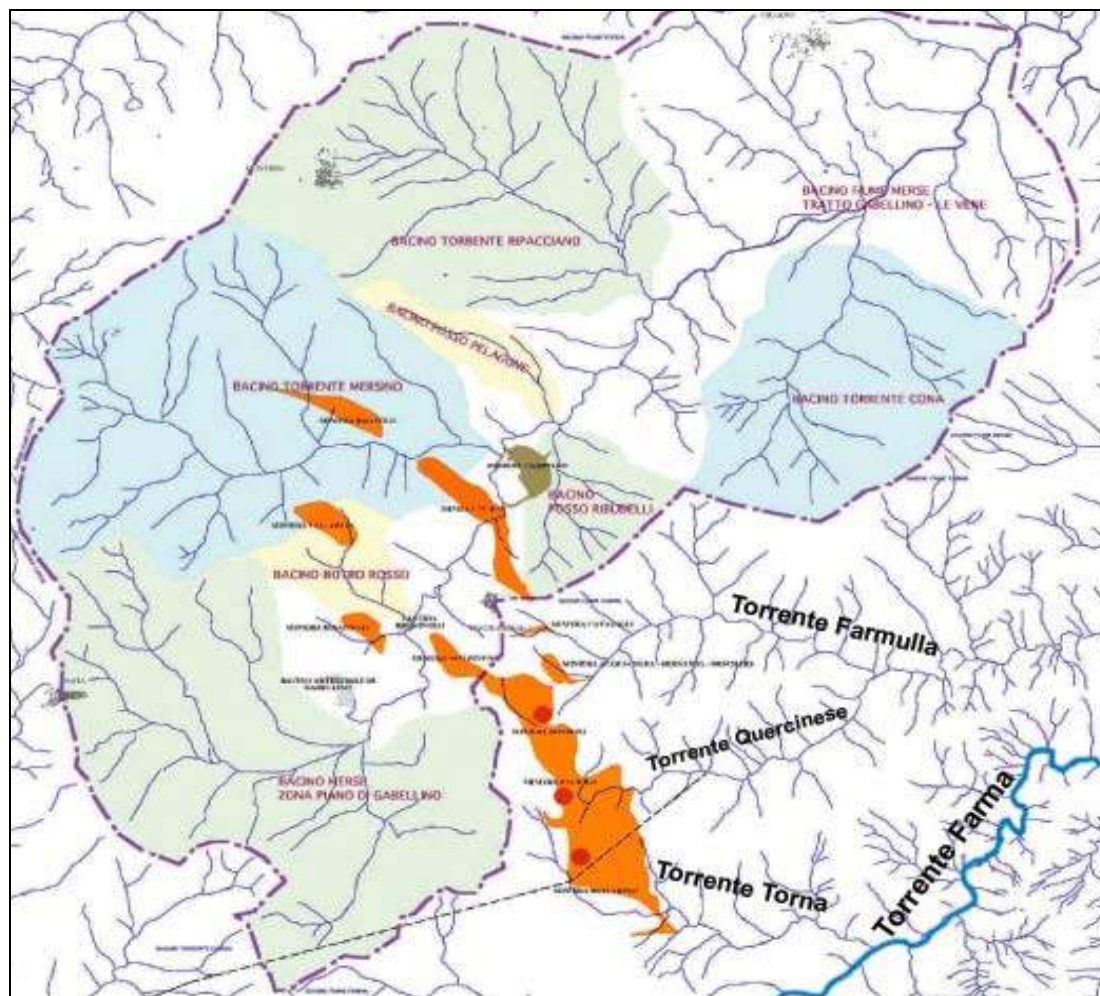


Figura 13. - La localizzazione degli impatti (arancio) delle miniere di Boccheggiano sui bacini del Merse e del Farna (dallo Studio complessivo esteso alle aree interessate dai fenomeni di inquinamento in atto presso la miniera di Campiano in Comune di Montieri; Geoscience, 2002).



Figura 14. - Miniera di Ballarino (GR 86) con, al centro, residui di lavorazione della pirite.



Di seguito, il contenuto delle sostanze selezionate nella frazione granulometrica $< 63 \mu\text{m}$.

Tabella 14. – Concentrazioni rilevate nella frazione granulometrica $< 63 \mu\text{m}$ del sedimento superficiale; prelievi eseguiti nel novembre 2005.

Codice	As	Cd	Cr tot.	Hg	Ni	Pb
	mg/kg (peso secco)					
n° 1	40,9	$< 0,01$	19,1	5,92	11,6	5,0
n° 2	20,1	0,11	34,1	1,96	31,6	11,1
n° 3	20,2	0,10	31,5	1,13	23,6	10,9
n° 4	20,8	0,05	37,3	1,81	30,6	9,2
n° 5	26,1	0,14	52,3	0,31	38,5	11,8
n° 6	19,2	0,12	43,6	0,28	34,4	12,5
n° 7	24,8	0,10	32,3	0,30	28,5	6,7
n° 8	5,7	0,12	12,0	0,16	14,6	10,0
n° 9	6,9	0,11	20,5	0,21	22,6	8,8
n° 10	22,2	0,52	42,1	0,33	46,7	33,0
n° 11	20,0	0,33	64,7	0,19	56,2	25,1
n° 12	18,7	0,11	58,6	0,57	50,3	14,1
n° 13	19,9	0,39	36,6	0,31	42,7	27,8
n° 14	20,8	0,29	37,1	0,33	45,8	27,6

Nella frazione $< 63 \mu\text{m}$ (limo e argilla), dove i contaminanti tendono a concentrarsi, si osserva un incremento dei valori elementari, con As e Hg in evidenza. I riferimenti utilizzati per i reperti precedenti (limiti normativi, standard di qualità, valori di fondo naturale, dati di *background*) si riferiscono al campione totale di sedimento (frazione $< 2 \text{ mm}$) e non possono dunque essere adottati, a titolo di confronto, per la frazione fine. Tuttavia, la distribuzione delle probabilità delle misure di As e Hg in questa componente (Figure 15 e 16) permette alcune ulteriori considerazioni.

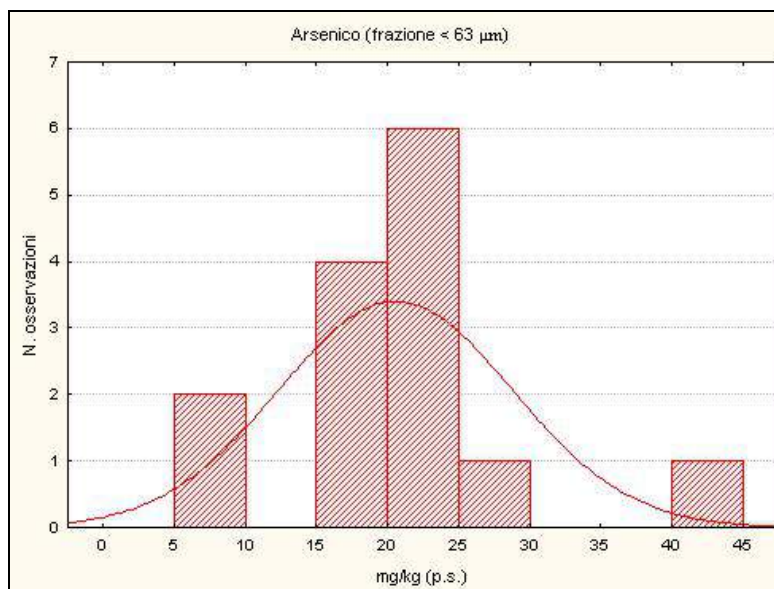


Figura 15. - Distribuzione dei valori di As nella frazione $< 63 \mu\text{m}$.

n	Media	IF	DS	ES
14	20,5	15,7-25,2	8,2	2,2

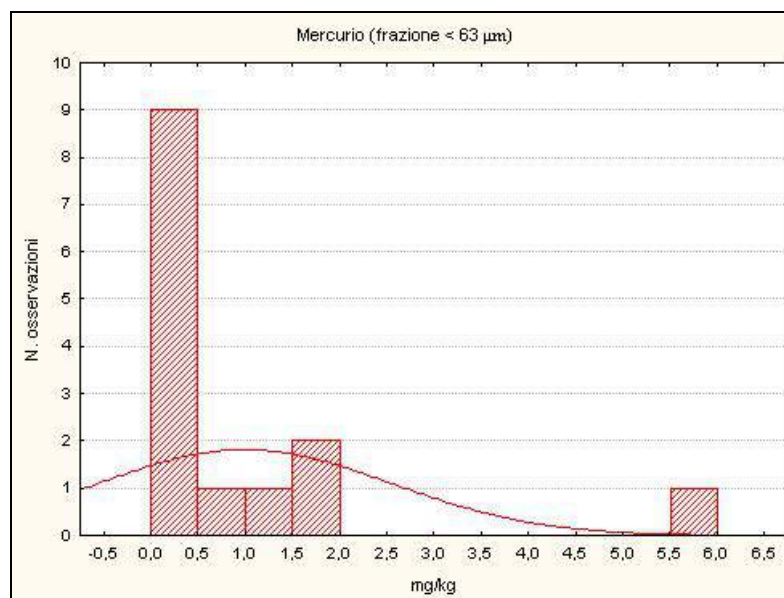


Figura 16. - Distribuzione dei valori di Hg nella frazione < 63 µm.

n	Media	IF	DS	ES
14	0,99	0,10-1,88	1,54	0,41

I livelli di As misurati nella frazione limoso-argillosa si presentano sufficientemente uniformi da permetterne il raggruppamento.

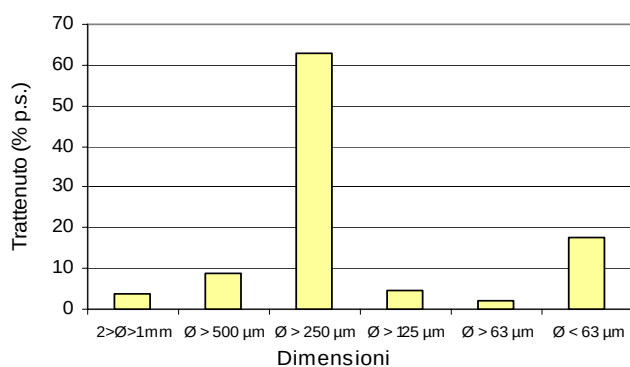
La distribuzione dei valori di Hg non appare, al contrario, prossima alla normalità, con la moda completamente spostata a sinistra sui valori più bassi e la coda di destra che comprende le anomalie osservate nel sedimento del Rigualdo a valle dell'attività estrattiva.

Nelle pagine successive sono riportati i risultati delle analisi della composizione granulometrica. La distribuzione per classi dimensionali delle particelle origina dal sistema di classificazione dell'*United States Department of Agriculture*, con modifiche:

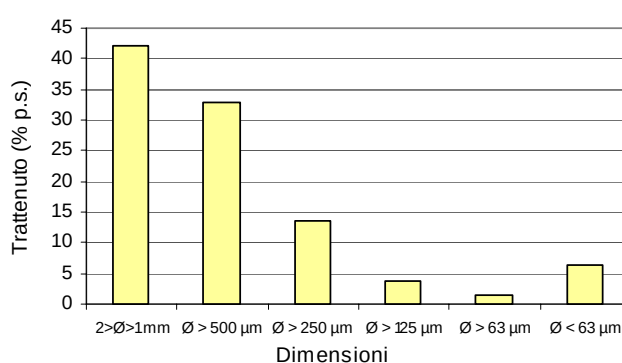
Frazioni dimensionali	Dimensioni
Sabbia molto grossolana	2 mm > Ø > 1 mm
Sabbia grossolana	1 mm > Ø > 500 µm
Sabbia media	500 µm > Ø > 250 µm
Sabbia fine	250 µm > Ø > 125 µm
Sabbia molto fine	125 µm > Ø > 63 µm
Limo + argilla	Ø < 63 µm



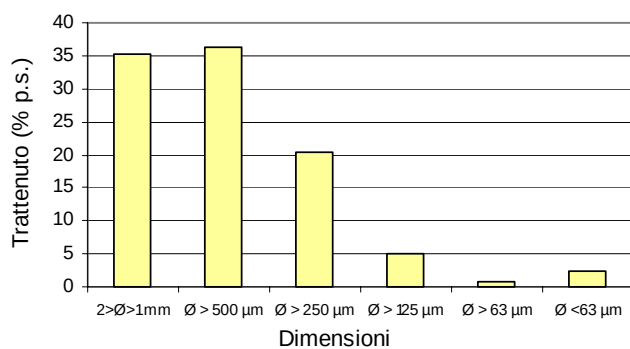
Campione n° 1



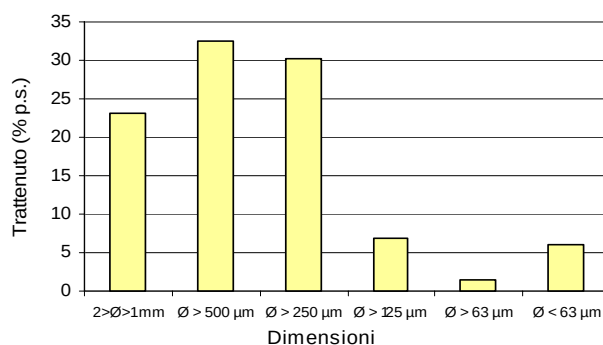
Campione n° 2



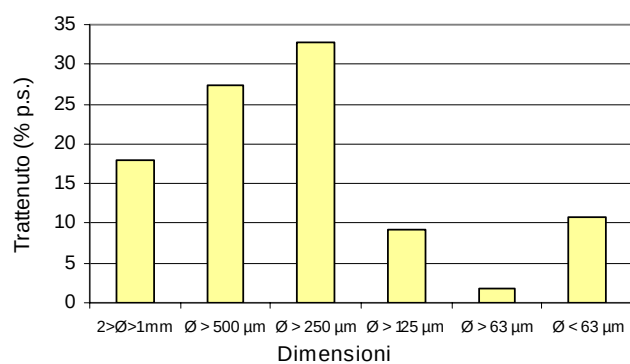
Campione n° 3



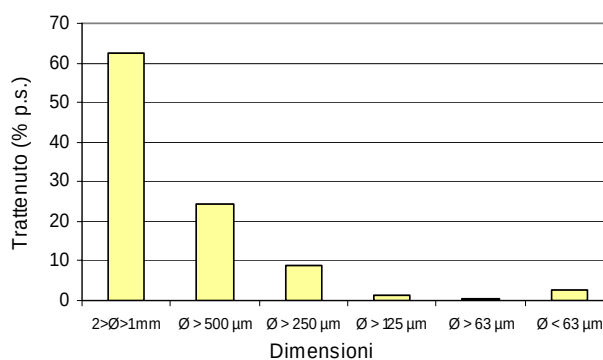
Campione n° 4



Campione n° 5

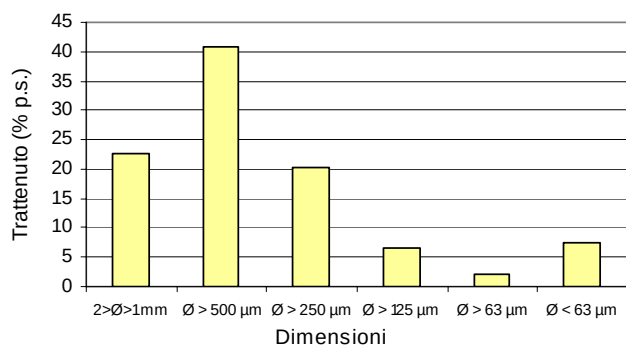


Campione n° 6

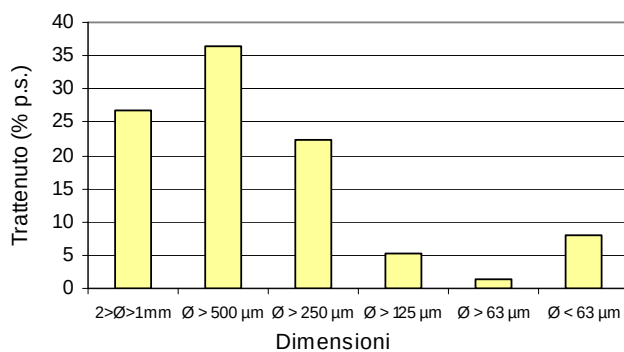




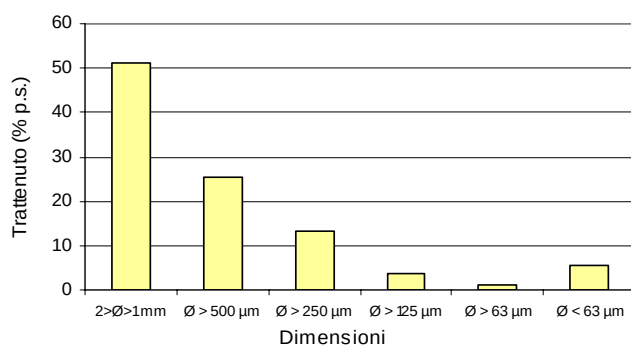
Campione n° 7



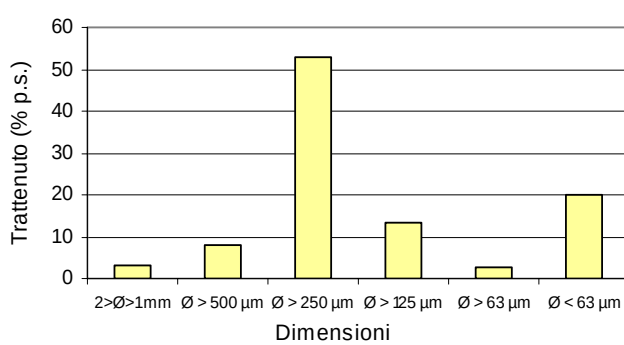
Campione n° 8



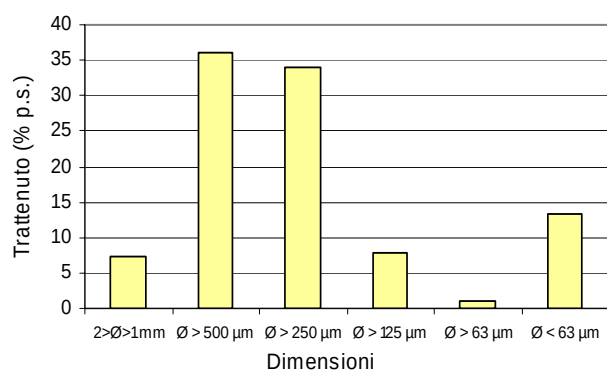
Campione n° 9



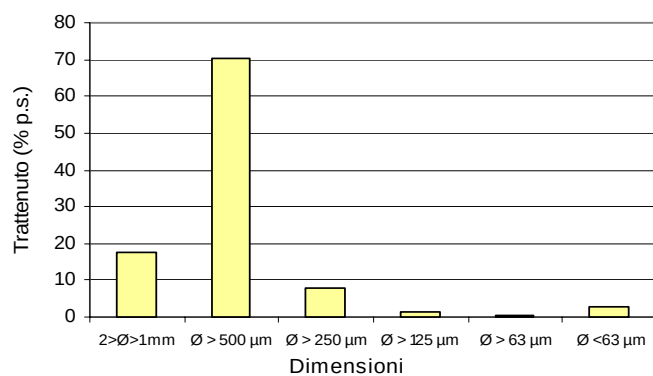
Campione n° 10



Campione n° 11

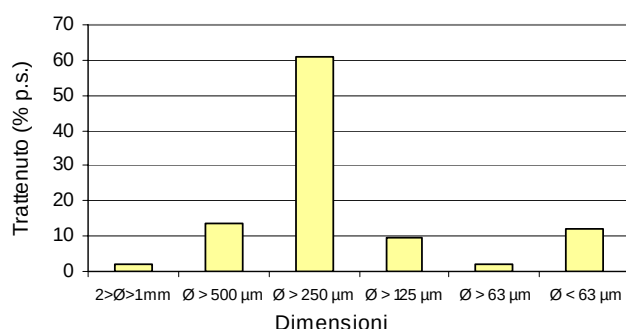


Campione n° 12

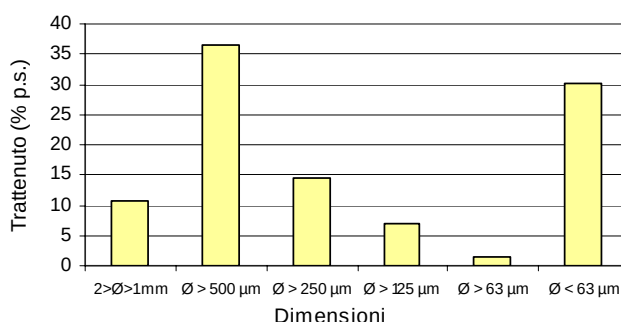




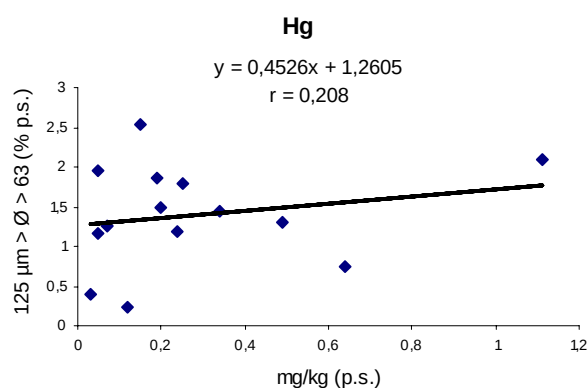
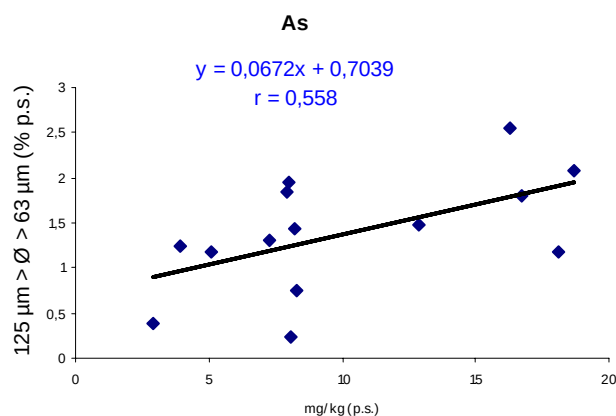
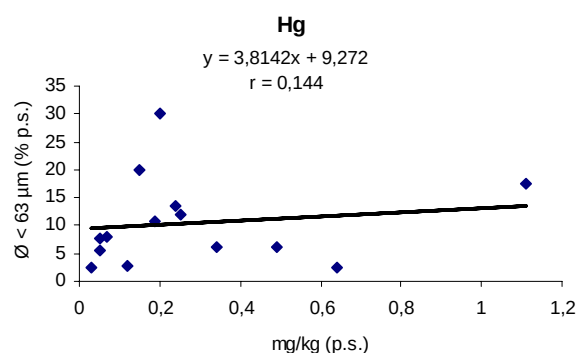
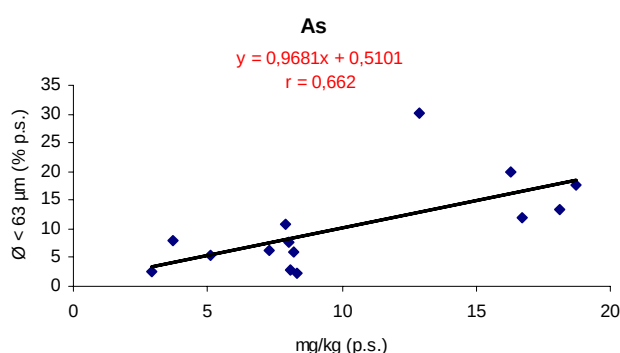
Campione n° 13

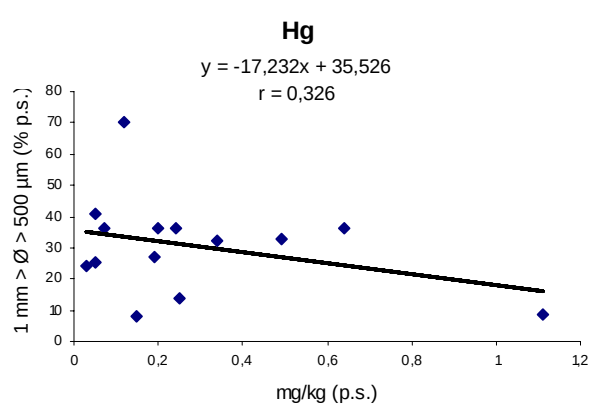
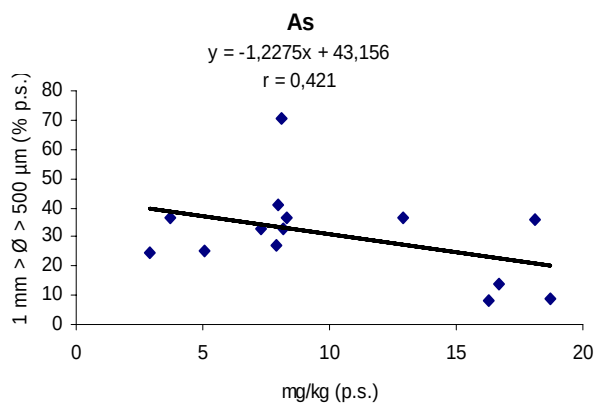
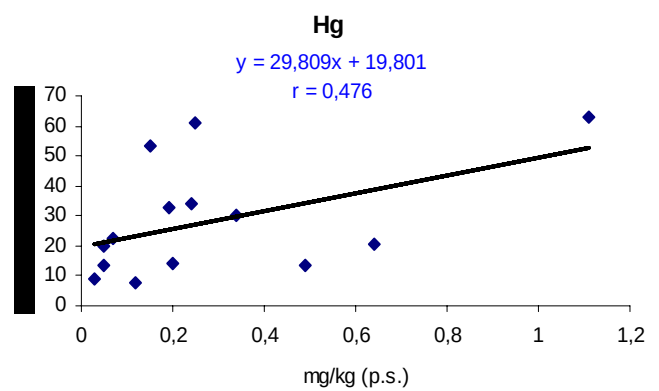
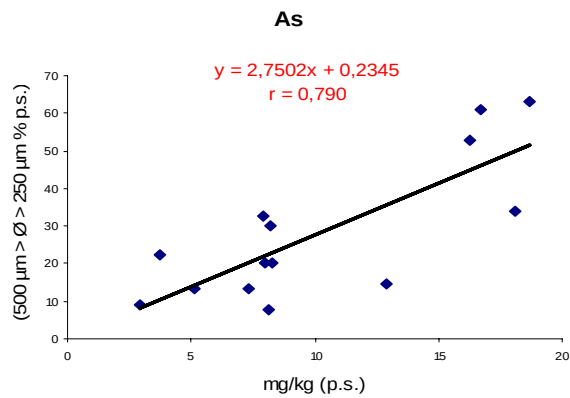
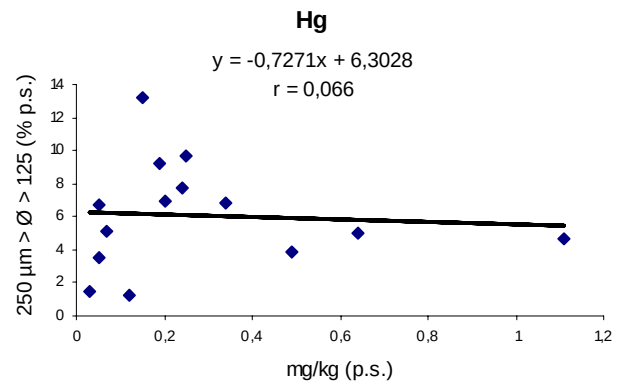
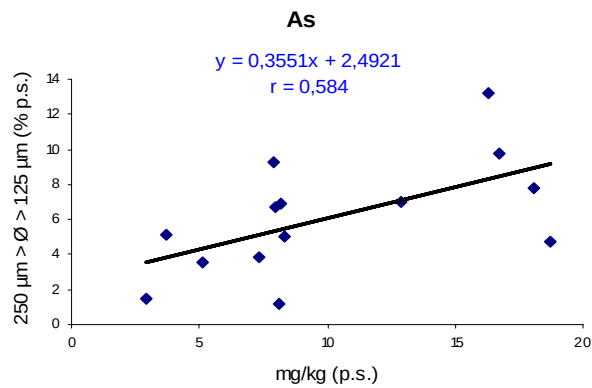


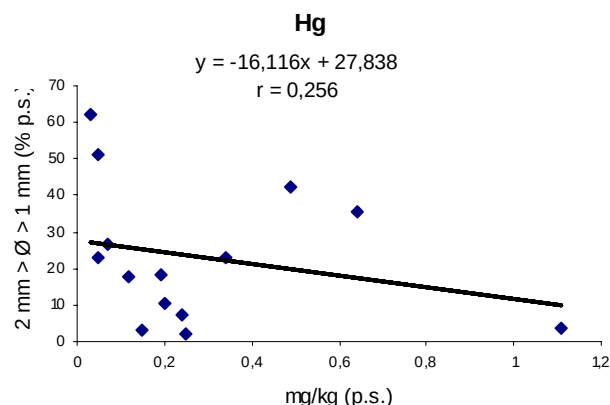
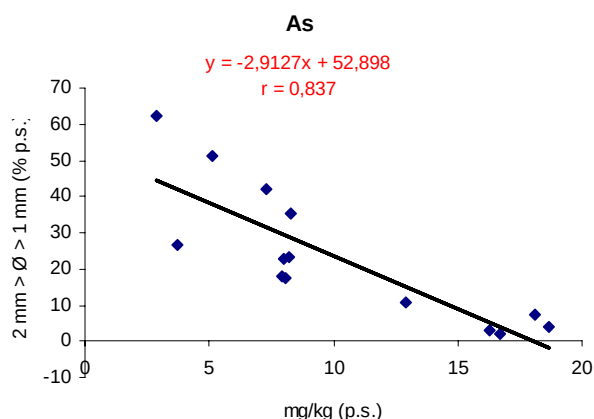
Campione n° 14



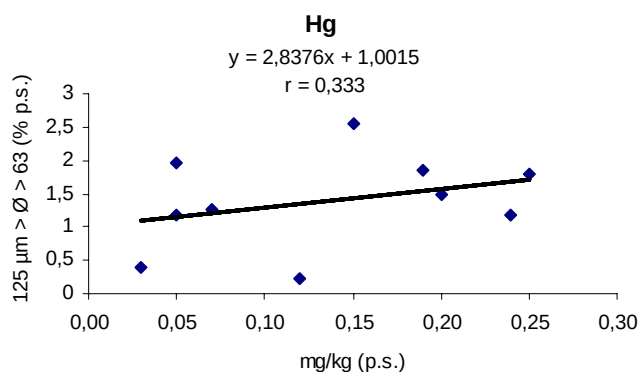
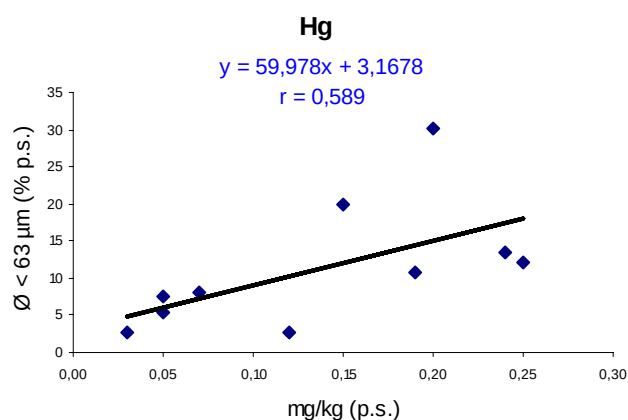
Correlando, per ogni campione di sedimento (frazione < 2 mm), la concentrazione totale di As e Hg con il contenuto percentuale delle singole frazioni granulometriche che lo compongono, si ottengono i seguenti diagrammi di dispersione (r = coefficiente di correlazione di Spearman; in rosso $P \leq 0,01$ e in blu $P \leq 0,05$):

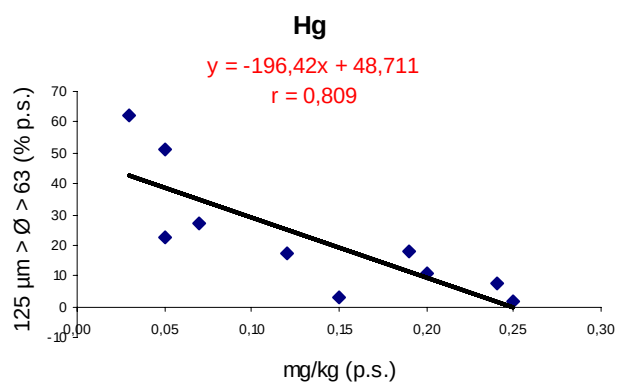
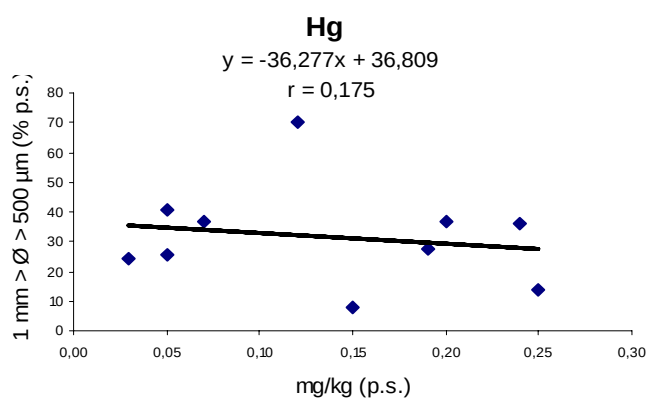
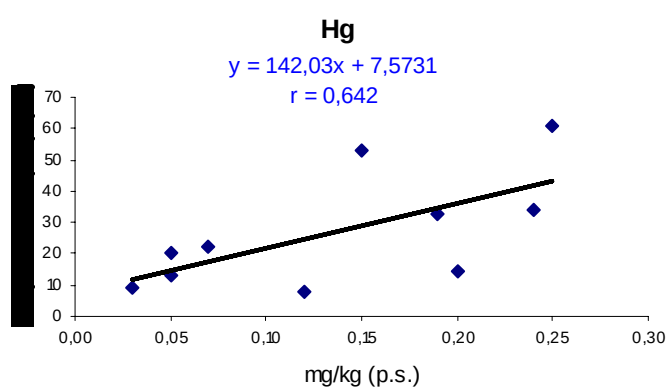
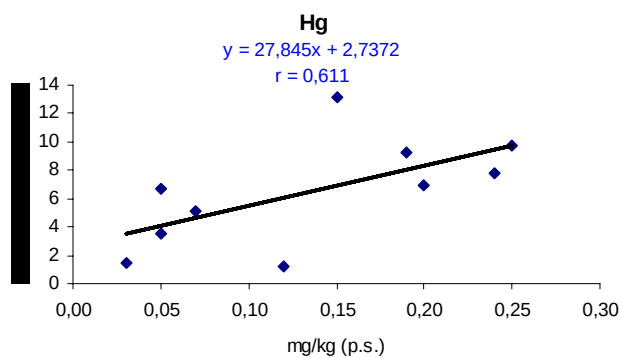






La concentrazione di As nel sedimento totale ($\text{Ø} > 2 \text{ mm}$) risulta correlata positivamente con il contenuto percentuale delle frazioni granulometriche $< 500 \mu\text{m}$, mentre per il Hg l'unica correlazione significativa appare quella relativa alla classe dimensionale $500 \mu\text{m} > \text{Ø} > 250 \mu\text{m}$. Eliminando dai diagrammi di dispersione le misure dei livelli di Hg nei sedimenti del Rigualdo, le correlazioni mostrano una maggiore rispondenza a quanto osservato per l'As:







La distribuzione dei valori di As e Hg nella frazione $< 63 \mu\text{m}$ e l'analisi delle correlazioni dei loro livelli (nel sedimento totale) con il contenuto percentuale delle singole frazioni granulometriche suggerisce la presenza di differenti meccanismi di trasporto e deposizione di questi elementi nell'ambiente sedimentario. In prima approssimazione, nell'area di studio le concentrazioni di As aumentano in ragione della presenza di sedimento fine e le relative anomalie del Rigualdo sono da considerare conseguenti alla eccessiva deposizione di queste frazioni. Diversamente, i meccanismi di dispersione del Hg nel Rigualdo non sembrano legati a quelli del particolato fine; la sua traccia, ben evidente nel tratto del Rigualdo a valle della miniera, testimonia probabilmente un comportamento meno dinamico ed una maggiore persistenza.



Solidi sospesi totali

Si riportano i contenuti di Solidi Sospesi Totali nei campioni d'acqua raccolti dal Rigualdo e Gretano in corrispondenza della S.P. 156 (stazioni n° 2 e n° 6 di Figura 9, pag. 97). I prelievi sono stati eseguiti ogni 24 h, per tre giorni, in differenti condizioni idrologiche (magra, piena, morbida alta) in modo da registrare le variazioni del trasporto solido in seguito alle precipitazioni. Per una stima del trasporto di massa, nei materiali in sospensione del Rigualdo sono stati determinati i contenuti di As e Hg.





Sono evidenti le alterazioni del contenuto di materiali solidi in sospensione nel Rigualdo in seguito alle precipitazioni notturne (25 - 26 novembre 2005). In termini di trasporto di massa, 1362 mg/L di solidi sospesi corrispondono a $\sim 5,5$ mg di As e $\sim 0,5$ mg di Hg ogni 100 L di acqua.

Conclusioni

I dati analitici direttamente acquisiti nel corso della presente indagine e l'analisi critica di quelli pregressi individuano, in sintesi, le seguenti evidenze:

- I materiali di miniera hanno incrementato i livelli di As e Hg del sedimento superficiale del Torrente Rigualdo, in particolare nel primo tratto a valle dell'attività estrattiva, dove le concentrazioni oscillano, in ragione delle condizioni idrologiche, attorno ai limiti di accettabilità del D.M. 471/1999.
- I contenuti di tali microinquinanti nella frazione solida sospesa del Rigualdo (in periodi di morbida alta o piena) segnalano come la contaminazione chimica sia ancora in atto.
- Le anomalie riscontrate nei sedimenti del Torrente Farma, di cui sarebbe opportuno seguire il *trend* temporale, sono, almeno in parte, riconducibili alle pregresse attività di coltivazione di pirite dell'area mineraria di Boccheggiano.
- Se le alterazioni a carico del Rigualdo dovessero perdurare, è possibile un ulteriore deterioramento della qualità chimica del Farma, in particolare nei tratti in cui la bassa energia delle acque favorisce i fenomeni di sedimentazione e dove sono più efficienti i processi di bioaccumulo.



Parte C: valutazione economica del danno

Quadro normativo

La problematica del Danno Ambientale è ampia e complessa ed è stata cambiata nel corso dell'incarico per la pubblicazione, sul Supplemento Ordinario n. 96 alla Gazzetta Ufficiale del 14 aprile 2006, n. 88 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 *"Norme in materia ambientale"* (Testo Unico sull'Ambiente). Appare opportuno riportare, anche come semplice e sintetico riferimento, alcune disposizioni in essa contenute:

Il D.Lgs. 152/2006 Parte Sesta (Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente) Titolo I (Ambito di applicazione) prevede che l'azione ministeriale si svolga normalmente in collaborazione con le regioni e con gli enti locali (art. 299 punto 2) nel rispetto della normativa comunitaria (art. 299 punto 3) avvalendosi, per l'accertamento e la quantificazione del danno ambientale, di soggetti pubblici e privati di elevata e comprovata qualificazione tecnico-scientifica (art. 299 punto 4).

Nell'art. 300 dello stesso D.Lgs. 152/2006 il punto 1 definisce *"danno ambientale qualsiasi deterioramento significativo e misurabile, diretto o indiretto, di una risorsa naturale o dell'utilità assicurata da quest'ultima"*. In particolare, ai sensi della direttiva 2004/35/CE, costituisce danno ambientale il deterioramento, in confronto alle condizioni originarie, provocato:

a) *alle specie e agli habitat naturali protetti dalla normativa nazionale e comunitaria di cui alla legge 11 febbraio 1992, n. 157, recante norme per la protezione della fauna selvatica, che recepisce le direttive 79/409/CEE del Consiglio del 2 aprile 1979; 85/411/CEE della Commissione del 25 luglio 1985 e 91/244/CEE della Commissione del 6 marzo 1991 ed attua le convenzioni di Parigi del 18 ottobre 1950 e di Berna del 19 settembre 1979, e di cui al decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357, recante regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche, nonché alle aree naturali protette di cui alla legge 6 dicembre 1991, n. 394, e successive norme di attuazione;*

b) *alle acque interne, mediante azioni che incidano in modo significativamente negativo sullo stato ecologico, chimico e/o quantitativo oppure sul potenziale ecologico delle acque interessate, quali definiti nella direttiva 2000/60/CE, ad eccezione degli effetti negativi cui si applica l'articolo 4, paragrafo 7, di tale direttiva;*

d) *al terreno, mediante qualsiasi contaminazione che crei un rischio significativo di effetti nocivi, anche indiretti, sulla salute umana a seguito dell'introduzione nel suolo, sul suolo o nel sottosuolo di sostanze, preparati, organismi o microrganismi nocivi per l'ambiente.*

Il D.Lgs. 152/2006 Parte Sesta (Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente) Titolo II (Prevenzione e ripristino ambientale) con gli articoli 305 e 306 norma il ripristino ambientale ed i relativi costi (art. 308).

Il D.Lgs. 152/2006 Parte Sesta (Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente) Titolo III (Risarcimento del danno ambientale) in ottemperanza alla Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 aprile 2004, sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale, istituisce un quadro per la responsabilità ambientale basato sul principio *"chi inquina paga"* (art. 176, Trattato Istitutivo della Comunità Europea).

L'art. 311 del D.Lgs. 152/2006 al punto 2 individua come responsabile del danno: *"Chiunque realizzando un fatto illecito, o omettendo attività o comportamenti doverosi, con violazione di legge, di regolamento, o di provvedimento amministrativo, con negligenza, imperizia, imprudenza o violazione di norme tecniche, arrechi danno all'ambiente, alterandolo, deteriorandolo o*



distruggendolo in tutto o in parte, è obbligato al ripristino della precedente situazione e, in mancanza, al risarcimento per equivalente patrimoniale nei confronti dello Stato".

Occorre d'altronde segnalare che, secondo l'art. 303 del DLgs. 152/2006, la Parte Sesta (Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente) *"non si applica al danno causato da un'emissione, un evento o un incidente verificatisi prima della data di entrata in vigore della parte sesta del presente decreto"* (comma 1, lettera f). Considerando che la prima segnalazione dell'evento risale al 25 giugno 2003, è ragionevole supporre l'esclusione del caso in oggetto dall'ambito della suddetta norma anche se, come esplicitato nella sezione dedicata alla caratterizzazione idrobiologia e chimica, tale evento sia da ritenere ancora in atto. La recente letteratura interpretativa riporta: *"... per quanto riguarda i fatti avvenuti prima dell'entrata in vigore del Testo Unico, è lo stesso tenore delle norme che mantiene in vita l'art. 18, legge 349/1986. L'abrogazione ad opera dell'art. 318, D.Lgs. 152/2006 è, infatti, contenuta nella stessa parte sesta del Testo Unico, con la conseguenza che l'art. 303 nella parte in cui dichiara non applicabile detta parte al danno causato da un'emissione, un evento o un incidente verificatisi prima della data di entrata in vigore della stessa, non può che essere letto nel senso che per questi fatti non vale l'abrogazione dell'art. 18, legge 349/1986. Di conseguenza per tutte le ipotesi di danno ambientale causato da un'emissione, un evento o un incidente verificatisi prima dell'entrata in vigore del Testo Unico (anche se manifestatisi successivamente) continua ad applicarsi l'art. 18 della legge 349/1986 e non vale il nuovo regime delle misure preventive e di ripristino e dell'ordinanza a contenuto risarcitorio introdotto dal Testo Unico"* (Fimiani, 2006).

Sempre nell'ambito del risarcimento l'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) nel 2002 ha pubblicato le linee guida per la stima del danno ambientale (ex art. 18 L. 349/86) e l'azione di risarcimento è finalizzata al recupero economico dei danni ambientali o al ripristino originario della risorsa ambientale danneggiata. Il risarcimento viene pertanto effettuato in forma specifica (ripristino dello stato dei luoghi a spese del responsabile) o per equivalente, cioè attraverso una precisa quantificazione economica monetaria del danno o attraverso una valutazione equitativa, operata dal Giudice, sulla base della gravità della colpa, del profitto conseguito dal trasgressore e del costo necessario per il ripristino dei luoghi.

Il costo per il ripristino dello stato dei luoghi comprende le spese necessarie per il monitoraggio, la messa in sicurezza, la bonifica e la rinaturalizzazione dei luoghi compromessi. In questo ambito l'azione di ripristino viene ipotizzata indipendentemente dalla reale ed opportuna fattibilità dell'intervento in quanto l'unica finalità è quella di fornire un quadro più realistico possibile per poter effettuare una stima dei costi, sulla base delle estensioni dei luoghi compromessi e dei relativi costi unitari per il disinquinamento.

Le condizioni alterate

Dalle indagini idrobiologiche condotte risulta che il T. Rigualdo per una lunghezza complessiva di 2636 m e il T. Farma per 3120 m sono stati oggettivamente alterati per:

- diminuzione del valore dell'Indice Biotico Esteso;
- peggioramento della classe di qualità;
- depauperamento della varietà complessiva;
- alterazione dell'equilibrio trofico funzionale per la perdita degli invertebrati raccoglitori;
- riduzione della biodiversità della fauna macrobentonica;
- calo della densità e della biomassa di invertebrati acquatici, per unità di superficie.



Negli stessi ambiti spaziali sono stati rilevati i depositi di materiale fine e gli ammassi sabbiosi oltre alla definizione dei disequilibri a carico dello stato di qualità degli alvei (Indice QHEI) e delle fasce riparie con alterazione della funzionalità fluviale (Indice I.F.F.), capacità tampone (Indice B.S.I.) e grado di naturalezza (Indice W.S.I.).

Il degrado della qualità chimico-fisica subito dall'ambiente fluviale, che deprime il complessivo valore ecologico del sistema, è valutabile in termini di:

- incremento dei livelli di As e Hg nel sedimento del Torrente Rigualdo;
- alterazione del contenuto di Solidi sospesi totali in regime di morbida-piena.

Per gli aspetti di natura geomorfologica ed idraulica si sono presi in considerazione gli effetti indotti dall'attività estrattiva operata dalla Caolino d'Italia S.r.l. in località Piloni (Comune di Roccastrada) sulle aree sottese dal T. Rigualdo e Farma.

Si sono, pertanto, verificati sotto il profilo geomorfologico, idrologico-idraulico, del fenomeno erosivo e del trasporto solido i cambiamenti intervenuti lungo le aste fluviali e nei versanti da essi sottesi.

La prima evidenza consiste nel mutato aspetto delle coperture vegetali ed arboree che nell'area mineraria si sono drasticamente ridotte. Ciò incide in maniera palese sulla aumentata capacità erosiva delle acque meteoriche e sul trasporto solido. A tale proposito è opportuno sottolineare che sono soggetti ad erosione ed a trasporto da parte del T. Rigualdo i numerosi cumuli di "terre" presenti in miniera.

Si sono evidenziate, inoltre, due tipologie di fenomeni che continuano a manifestarsi, ossia il trasporto solido inquinante fuori dalla miniera (caolino) e lo scarico di materiali anche grossolani lungo le sponde e nell'alveo del Torrente Rigualdo.

Si sono, pertanto, accertati cambiamenti sostanziali nelle caratteristiche idrauliche del T. Rigualdo, sia per fenomeni di interrimento, sia per modifiche morfologiche, che hanno inciso sul profilo di equilibrio dello stesso corso d'acqua. Queste nuove condizioni hanno determinato al contorno fenomeni di franosità puntuali o arealmente contenuti, fenomeni di ruscellamento ed erosione diffusa ed esondazioni per sovralluvionamento.

Inoltre, il fatto che si producano sulle sponde del Torrente Rigualdo accumuli di materiali, che vanno granulometricamente dalle argille ai limi, ai quali si aggiungono anche depositi grossolani derivanti dai cumuli e dalle scarpate, determina una serie di cedimenti, che vanno a cambiare la configurazione delle sponde stesse e si trasformano in breve in una serie di piccole frane di sponda che, per coalescenza, possono assumere dimensioni ragguardevoli.

L'aspetto più preoccupante è rappresentato dal fatto che il tratto del Torrente Rigualdo che sottende la miniera è fortemente interessato dalla deposizione di abbondante materiale fine di colore giallo che si è compattato nelle cavità dell'alveo ed anche in prossimità delle sponde, mostrando valori di coesione elevati. Ciò impedisce che detto materiale possa essere ripreso dalla corrente e trasportato in sospensione o sul fondo.

Quale tributario del T. Farma e, nel contempo, ricettore di corsi d'acqua minori, il T. Rigualdo con le modifiche intervenute interagisce negativamente su un'area vasta con cambiamenti visibili dei profili d'equilibrio.

E' opportuno precisare che i due ambienti considerati hanno una diversa valenza in quanto il Torrente Farma è un Sito di Importanza Comunitaria (SIC) ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE del 21.05.92) per cui rientra fra gli ambienti posti sotto regime di tutela e sono espressamente citati nell'art. 300 del DLgs. 152/2006. Il Torrente Beccaraio è compreso nel SIC "Val di Farma" limitatamente al suo tratto inferiore.



Scelta delle componenti stimabili

Le alterazioni provocate sono molteplici, riguardano specifici comparti ambientali biotici e abiotici dell'ecosistema fluviale sia in forma diretta sia indiretta ed inoltre hanno sicuramente causato anche una perdita nella fruibilità degli ambienti idrici, riducendone l'interesse ai fini turistici-ricreativi e per la pesca.

Ci si è astenuti dal trasformare direttamente l'effetto ecologico in danno economico in quanto risulterebbe difficilmente condivisibile qualsiasi valutazione monetaria di un bene ambientale privo di un intrinseco valore commerciale come la comunità di invertebrati macrobentonici e la buona qualità chimica del sedimento superficiale. Per fare un unico, ma indicativo esempio si ricorda il duplice deterioramento della condizione ambientale rappresentato dalla perdita di biomassa o dalla minore varietà macrozoobentonica accertata nella stazione FA295 del T. Farma. Con la terminologia propria dell'ecologia, questi aspetti sono definibili come "sostenibilità della rete trofica" e "biodiversità" e sono entrambi di grandissima importanza per il buon funzionamento dell'ecosistema fluviale. Si tratta quindi di beni ambientali che, nonostante facciano parte del patrimonio collettivo ed abbiano una valenza ecologica particolarmente elevata, degna di essere posta, nel T. Farma, in regime di tutela, sono fuori commercio e come tali privi di una valutazione venale basata su un accertabile prezzo medio di mercato. Per questa valutazione gli Enti territoriali, direttamente interessati: Comune, Provincia, Regione e Ministero dell'ambiente, il cui patrimonio naturale è stato danneggiato, forniranno una specifica valutazione che prescinde dal computo oggettivamente stimato in questa relazione.

Quindi, ai fini della stima del danno ambientale complessivo, le indagini ecologiche condotte sono servite sia a quantificare con precisione l'entità delle alterazioni sia ad individuarne, con grande dettaglio, l'estensione spaziale.

Si ritiene che i danni ambientali rilevati e documentati siano prevalentemente reversibili, seppure in tempi medio-lunghi dissimili e qualora siano adottati tutti i possibili sistemi di messa in sicurezza dell'area mineraria e si eseguano alcuni specifici interventi di bonifica, da condursi con tecniche a basso impatto.

Per valutare, con strumenti tecnici-scientifici, l'entità economica del danno ambientale subito dai Torrenti Rigualdo e Farma si è condotta la determinazione economica di solo tre specifici aspetti che sono quantificabili con obiettività:

- Costi di messa in sicurezza e ripristino dei danni geomorfologici e idraulici;
- Costi di ripristino dei tratti fluviali danneggiati;
- Costi già sostenuti e da sostenere per il monitoraggio dell'area;
- Costi per la realizzazione di un'area umida che compensi i disequilibri naturali provocati.



Quantificazione del danno

Messa in sicurezza e ripristino dei versanti

La messa in sicurezza dei corpi di frana esistenti e la minimizzazione del rischio che altri corpi in condizioni di stabilità precaria possano evolversi in fenomeni attivi riveste, sotto il profilo geomorfologico ed anche idraulico, importanza rilevante. Gli interventi di bonifica e consolidamento dovranno affidarsi alle tecniche di ingegneria naturalistica. La riduzione della vulnerabilità dei suoli all'erosione e, di conseguenza, la diminuzione del ruscellamento e del materiale trasportato in alveo possono essere ottenute con una rete drenante superficiale efficace ed utilizzando ancora tecniche bioingegneristiche di copertura.

Per ciò che riguarda la instabilità delle sponde artificiali in prossimità della miniera, queste dovranno essere rifatte utilizzando massi ciclopici.

Trasformare il danno geomorfologico ed idraulico in danno economico è palesemente una contraddizione in termini. In questa sede si forniscono, pertanto, indicazioni relative esclusivamente ai ripristini, ove possibili, ed alla riduzione delle varie vulnerabilità innescate dall'attività di miniera.

Trattasi di opere che rientrano nelle categorie OG8 (opere fluviali di difesa, di sistemazione idraulica e di bonifica), OG12 (opere di ingegneria naturalistica), OS1 (scavi, movimento terra, demolizioni e sterri) secondo il D.P.R. 34/2000. Con riferimento al Prezzario Ufficiale del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per la Toscana e l'Umbria (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2006) i costi imputabili al solo consolidamento dei versanti ammontano a € **204.278,26** e sono dettagliatamente riportati nella seguente tabella:

				Costo (Euro)	
Voci a bilancio			u.m.	Entità	
					unitario
					complessivo
Elaborati					
	Studio e Progettazione geologica e ingegneristica	Tariffario	(a)		18776,32
	Relazioni specialistiche	a corpo	(a)		10000,00
	Piano di Sicurezza e Coordinamento	a corpo	(a)		8272,06
	Direzione Lavori	Tariffario	(a)		10110,33
	Assistenza naturalistica alla Direzione Lavori	1,50%	(a)		1800,00
Opere preparatorie					
	203.1.1.1 scavo di sbancamento	m ³	2500	3,72	9300,00
	203.6.1.1 rinterro	m ³	2500	3,63	9075,00
Interventi di ingegneria naturalistica					
	626.6.7.3 palizzata	m	500	50,11	25055,00
	626.2.1.1 fascinata	m	500	27,32	13660,00
	629.1.1.1 rivestimento con juta	m ²	2500	4,39	10975,00
	632.1.1.1 idrosemina	m ²	2500	1,80	4500,00
	625.2.1.12 scogliera	m ³	625	67,20	42000,00
Extra per imprevisti			5,00%		5729,00
Contr. Previdenziale (2% sulle voci indicate con "a")					979,17
IVA (20%)					34046,38
TOTALE					€ 204.278,26



Ripristino dei tratti fluviali danneggiati

Come si è detto le alterazioni ambientali coinvolgono complessivamente 5,7 km di corsi d'acqua dei quali 2,6 km appartengono al T. Rigualdo e 3,1 al T. Farma.

La qualità chimica del sedimento superficiale evidenzia le maggiori criticità nel primo tratto del T. Rigualdo a valle dell'attività estrattiva di caolino (~ 500 m), dove le concentrazioni di As e Hg possono superare, in ragione delle condizioni idrologiche, i limiti di accettabilità del D.M. 471/1999; per il Hg, il deterioramento delle condizioni chimiche dell'alveo del T. Rigualdo coinvolge l'intero tratto a valle della miniera fino alla confluenza con il T. Farma, con livelli costantemente superiori a quelli di *background* dell'area.

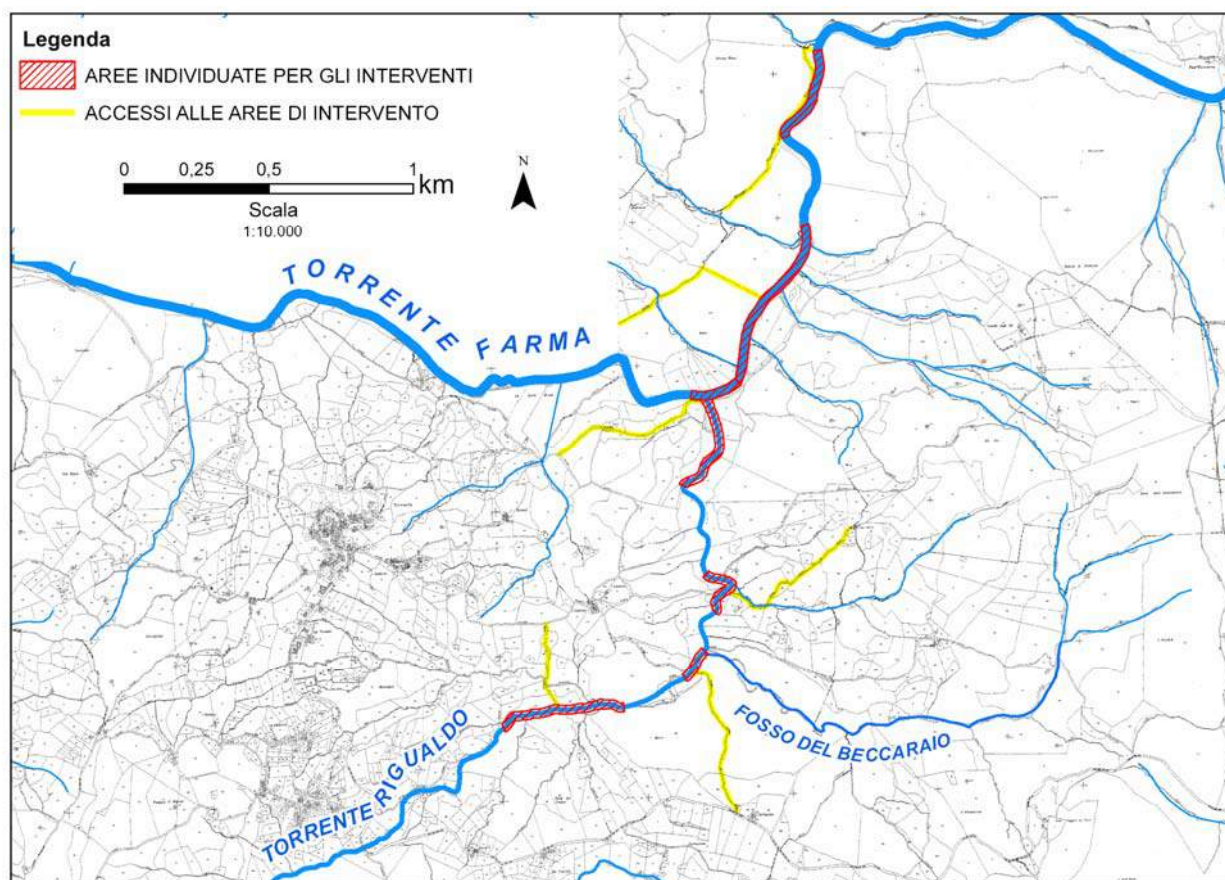
Gli interventi di restauro ambiente riguardano l'intero alveo (asciutto e bagnato), entrambe le sponde con una parte dei relativi ambiti ripari.

Si tratta di opere generali che rientrano nelle categorie OG8 (Opere fluviali di difesa, di sistemazione idraulica e di bonifica) e OG12 (Opere di ingegneria naturalistica) del DPR 34 del 25 gennaio 2000.

Nel corso dei rilevamenti eseguiti si sono mappate le aree, con relativi accessi, nelle quali risulta in prima analisi fattibile un restauro ambientale "leggero" che non comporti per i corsi d'acqua una perturbazione ulteriore e/o superiore al beneficio atteso. Nel corso del restauro si dovranno inoltre realizzare, nelle immediate vicinanze degli accessi viari, ambienti di pool che dovrebbero funzionare come temporanee trappole di sedimento fine, frazione in cui i contaminanti tendono a concentrarsi.

I tratti sono indicati nella seguente tabella ed individuati nella successiva mappa:

	Stazioni di riferimento	LOCALIZZAZIONE	ACCESSO	LINGHEZZA (m)	ESTENSIONE (m ²)
A	RI325	T. Rigualdo a monte della confluenza Fosso del Beccaraio	Strada vicinale dei Gobbi	446	13355
B	RI320	T. Rigualdo immediatamente a monte della confluenza Fosso del Beccaraio	Strada vicinale dei Berci	119	3559
C	RI310	T. Rigualdo località Casaloni	Strada vicinale di Naspra	224	6690
D	RI300 e RI297	T. Rigualdo località i Colli a monte della confluenza con il T. Farma	Strada privata località I Colli	380	11169
E	FA295	T. Farma alla confluenza con il T.	Strada privata località I Colli	173	5198
F	FA295	T. Farma a valle della confluenza con il T. Rigualdo	Strada vicinale della Ferriera e carrareccia	617	18390
G	FA280	T. Farma a monte della Ferriera	Strada vicinale della Ferriera, carrareccia e guado	343	10297



Risultano quindi bonificabili solo il 40% dei tratti danneggiati e precisamente 1,133 km del T. Farma (pari al 36% del tratto alterato) e 1,169 km del T. Rigualdo (44% del profilo longitudinale compromesso).

In appendice si riportano, in dettaglio (scala 1:2000) i mappali catastali delle aree oggetto dei possibili interventi di restauro.

Le voci da inserire nel capitolato di bonifica ed i relativi costi sono stati derivati sia dal Prezzario Ufficiale del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per la Toscana e l'Umbria (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2006) sia dal prezzario adottato dalla Regione Emilia-Romagna (*Elenco regionale dei prezzi per lavori e servizi di difesa del suolo e della costa, indagini geognostiche, rilievi topografici e sicurezza*) del 2006.

Dal computo delle voci considerate si ottiene il seguente prospetto economico particolareggiato:



			Costo (Euro)	
Voci a bilancio	u.m.	Entità	unitario	complessivo
Elaborati				
Studio e progettazione	Tariffario	(a)		45726,62
Relazioni tecniche	a corpo	(a)		15000,00
Cantierizzazione	a corpo	(a)		10000,00
Piano di Sicurezza e Coordinamento	Tariffario	(a)		21490,00
Direzione Lavori	Tariffario	(a)		24621,00
Assistenza naturalistica alla Direzione	1,50%	(a)		6450,00
Attività preparatoria				
Opere per la viabilità di accesso		5	1500,00	7500,00
Opere per il cantiere e la sicurezza	a corpo			12000,00
Interventi per la tutela della fauna ittica	m ²	9216	1,60	14745,60
Bonifica				
Scavi per sbancamenti	m ³	2304	3,52	8110,08
Carico e trasporto a 20 km	m ³	2304	6,69	15413,76
Espurgo	m ³	922	81,39	75041,58
Sovrapprezzo per il trasporto	m ³	922	6,69	6168,18
Restauro dell'alveo				
Scavo con movimentazione raggio azione macchina	m ³	1152	1,62	1866,24
Scavo con movimentazione area cantiere	m ³	576	4,42	2545,92
Trasporti per opere idrauliche	m ³	576	6,69	3853,44
Interventi di ingegneria naturalistica				
Perlustrazione di scarpate	m ²	13732	2,45	33643,40
Semina con preparazione delle superfici	m ²	687	1,80	1236,60
Difese spondali	m	230	58,14	13372,20
Presidi di sponda	m	461	80,58	37147,38
Rinverdimenti vivi con talee e astoni	cad.	2289	1,53	3502,17
Sistemazioni a grata viva in legname	m ²	1716	68,76	117992,16
Sistemazioni a fascinata o viminata	m ²	1716	27,32	46881,12
Ripristino della viabilità	a corpo	5	2000,00	10000,00
Extra per imprevisti	5,00%			20551,00
Contr. Previdenziale (2% sulle voci indicate con "a")				2465,75
IVA (20%)				111464,84
TOTALE				€ 668.789,04

Il costo per il ripristino del 40% della lunghezza dei tratti fluviali alterati ammonta complessivamente a **668.789,04 €**.

Adottando il concetto che la stima del danno rimborsabile, calcolato con i costi di restauro ambientale, è indipendentemente dalla reale ed opportuna fattibilità dell'intervento (ANPA, 2002), si è proceduto a stimare l'importo che dovrebbe essere rimborsato rapportando al 100% le sole voci attive degli interventi e cioè i costi per la Bonifica, il Restauro degli alvei e gli Interventi di Ingegneria Naturalistica. Con questa quantificazione monetaria dell'alterazione causata ai T. Rigualdo e Farma, la cifra complessiva da richiedere per il restauro della condizione naturale ammonta a **€ 1.671.972,61**.



Monitoraggio

Dal 2003 ad oggi sono state condotte numerose indagini di monitoraggio finalizzate ad evidenziare e quantificare le alterazioni ambientali indotte dall'attività mineraria in atto a Piloni (Roccastrada). Le indagini sono state condotte da svariati Enti (ARPAT, Università di Siena, Università di Bologna) ed hanno considerato sia i torrenti direttamente interessati (Rigualdo e Farma) sia altri ambienti fluviali situati nelle immediate vicinanze e ritenuti idonei per un attendibile confronto (Gretano e Beccaraio). Una di queste indagini (5 aprile 2004) è stata condotta in contraddittorio tra le parti, alla presenza dei Dirigenti e Tecnici della Ditta Caolino d'Italia S.r.l..

Dagli atti delle Delibere Comunali risulta che fino ad oggi, per l'esecuzione dei monitoraggi si sono spesi complessivamente circa 60.000,00 € e questa cifra non tiene conto dei costi sostenuti dall'Amministrazione Comunale per gli innumerevoli sopralluoghi condotti dalla Polizia Municipale e per le attività di relazione, supervisione e coordinamento che i Funzionari ed i Tecnici comunali hanno dovuto effettuare.

I Torrenti Rigualdo e Farma dovranno essere monitorati anche in futuro al fine di verificarne la condizione sia nel corso sia a conclusione degli interventi di messa in sicurezza dell'area mineraria e ulteriori monitoraggi serviranno a valutare ed eventualmente integrare le fasi di recupero attese per l'effetto degli interventi di bonifica e restauro da condursi sui tratti alterati.

Si devono quindi prevedere vari monitoraggi, da condursi con le stesse modalità già adottate per le indagini conoscitive eseguite, al fine di avere un quadro di riferimento noto e confrontabile.

Quindi appare realistico e necessario prevedere:

- 2 monitoraggi nel corso delle attività di messa in sicurezza dell'area mineraria;
- 2 monitoraggi durante gli interventi di restauro;
- 8 monitoraggi post opera.

La valutazione economica complessiva per l'esecuzione dei monitoraggi è la seguente:

	numero	Importo (€)
Spesa per monitoraggi condotti		60.000,00
Messa in sicurezza	2	80.000,00
Restauro	2	80.000,00
Post interventi	8	320.000,00
Totale		540.000,00



Realizzazione di un'area umida

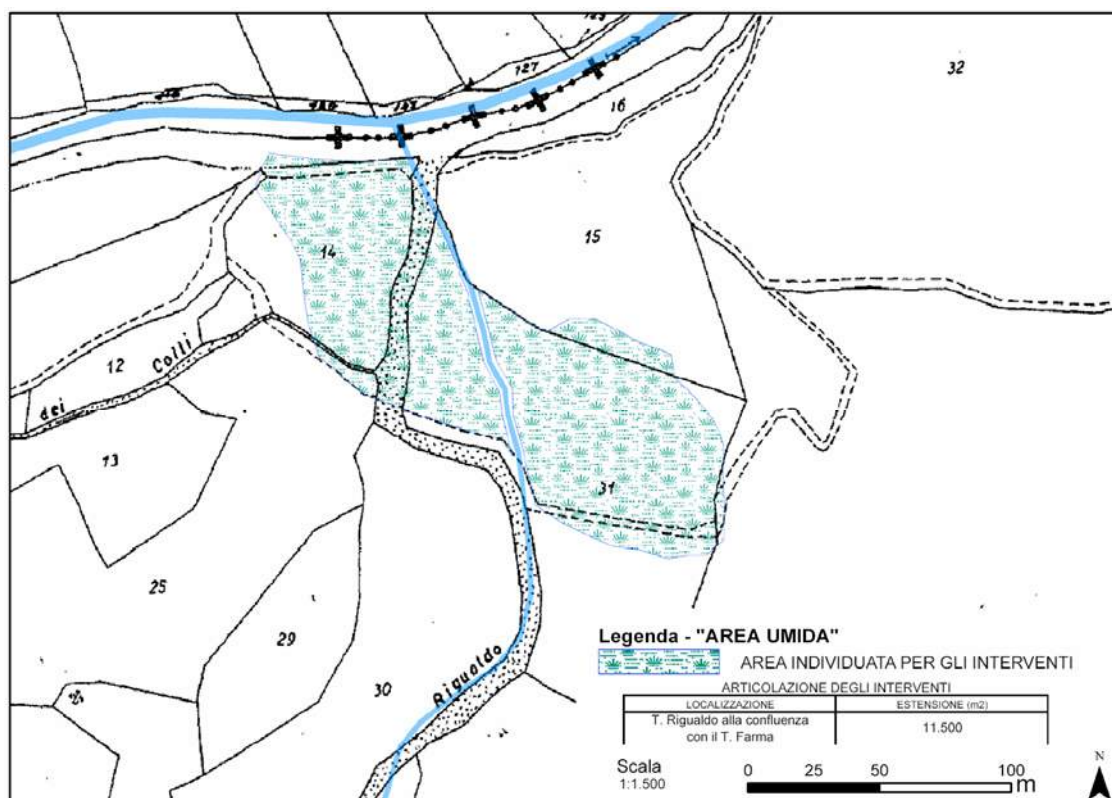
A compensazione del danno ambientale subito, la realizzazione di un'area umida, adiacente ai torrenti Rigualdo e Farma, risulta essere un'opera che ripaga l'ambiente con una equivalente unità monetaria. Si pensa, infatti, ad un ambito naturale di acque a lento ricambio, che abbia il principale scopo di arricchire in biodiversità il territorio leso.

Inoltre, fra le finalità di questa zona umida non devono essere sottovalutate altre possibili fruizioni quali quelle: turistica, ricreativa e didattica.

Si ritiene che l'estensione possa essere valutata con congruità considerando il 50% della superficie di alveo danneggiato e quindi $\frac{1}{2}$ di $5,756 * 4$ m pari a 1,15 ettari.

L'opera di compensazione dovrà essere idraulicamente regimata in modo tale da ricevere con continuità e con quantità proporzionale ai deflussi le acque fluviali nei soli periodi di magra e morbida mentre, nei momenti di piena e quindi di massimo trasporto solido, devono accedere all'area umida le sole acque di reflusso dalle quote inferiori, in modo tale da evitare il possibile e temuto, rapido interrimento dell'ambito naturale ricostruito.

Da un primo esame dello stato di fatto e dalla volontà di restituire all'ambiente danneggiato una congrua bio-diversificazione ambientale, appare opportuno pensare alla confluenza del Torrente Rigualdo con il T. Farma (vedi mappa seguente) come un ambito proponibile, come prima ipotesi, per la realizzazione di questa area umida.





I costi per la realizzazione di quest'ambito naturale di compensazione si sono calcolati utilizzando gli stessi prezzi usati per la stima degli interventi di messa in sicurezza e di restauro degli ambienti fluviali. L'ammontare complessivo è di **439.669,58 €** che scaturisce dal seguente prospetto economico:

			Costo (Euro)	
Voci a bilancio	u.m.	Entità	unitario	complessivo
Acquisto terreni extra demaniali	m ²	10112	3,0	30.336,00
Elaborati				
Studio e progettazione	Tariffario	(a)		32414,11
Relazioni tecniche	a corpo	(a)		30000,00
Cantierizzazione	a corpo	(a)		15000,00
Piano di Sicurezza e Coordinamento	Tariffario	(a)		14015,84
Direzione Lavori	Tariffario	(a)		16817,26
Assistenza naturalistica alla Direzione	1,50%	(a)		3675,00
Attività preparatoria				
Opere per la viabilità di accesso		2	1500	3000
Opere per il cantiere e la sicurezza	a corpo			7500
Interventi per la tutela della fauna ittica	m ²	800	1,6	1280
Costi di realizzazione				
Opere idrauliche	a corpo			85000
Movimento terra	m ³	6907,2	3,52	24313,344
Acquisto e trasporto massi ciclopici	a corpo			8000
Soglia in massi ciclopici (d>1mc)	m ³	12	166,1375	1993,65
Interventi di Ingegneria naturalistica				
Difese spondali	m	500	58,14	29070
Presidi di sponda	m	500	80,58	40290
Piantumazioni	cad.	575,6	1,53	880,668
Ripristino della viabilità	a corpo	5	2000,00	10000,00
Extra per imprevisti	5,00%			10567,00
Contr. Previdenziale (2% sulle voci indicate con "a")				2238,44
IVA (20%)				73278,26
TOTALE				€ 439.669,58



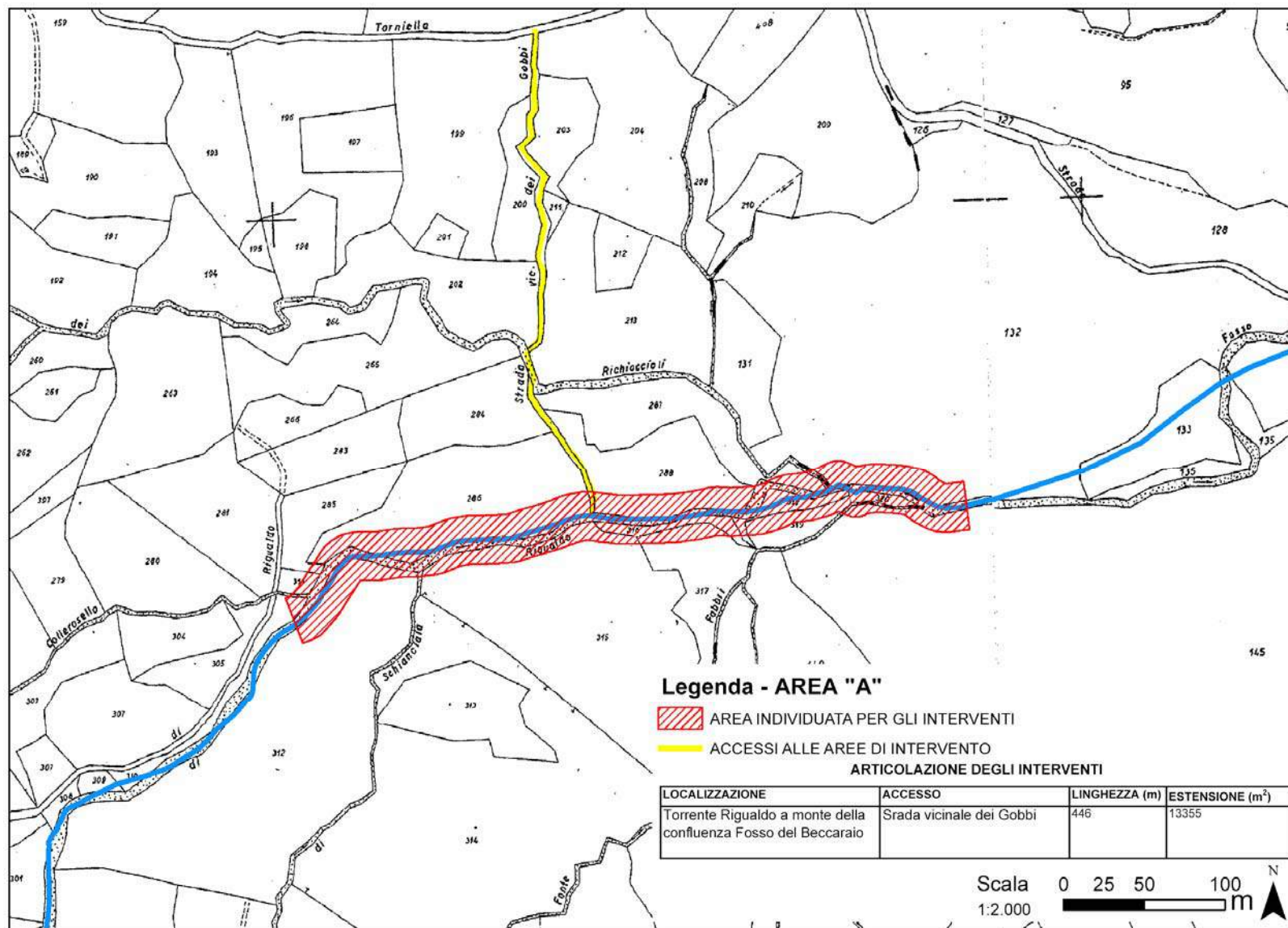
Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

Parte C: valutazione economica del danno

Mappali catastali e viabilità di accesso per l'esecuzione degli Interventi di Recupero Ambientale

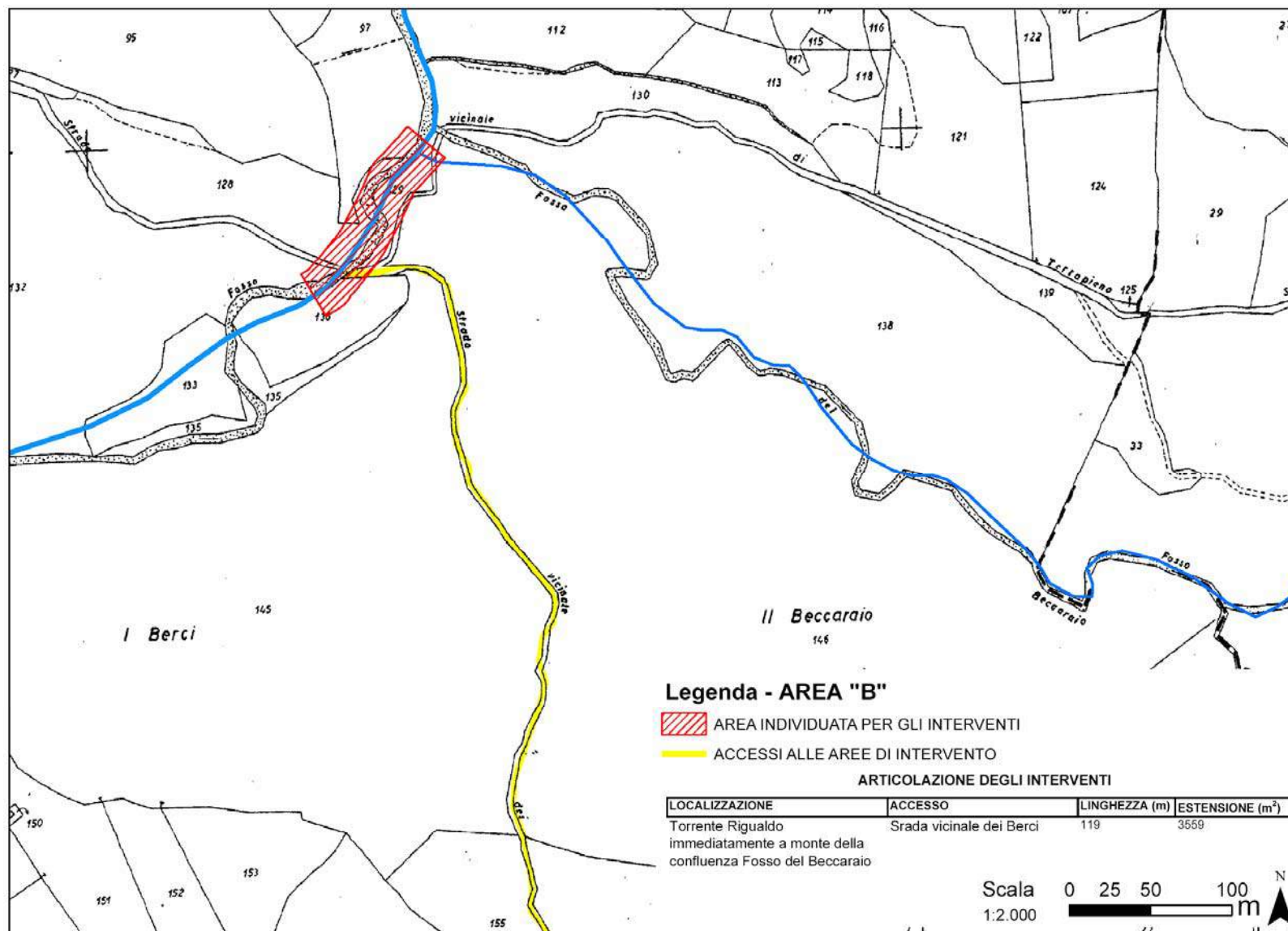


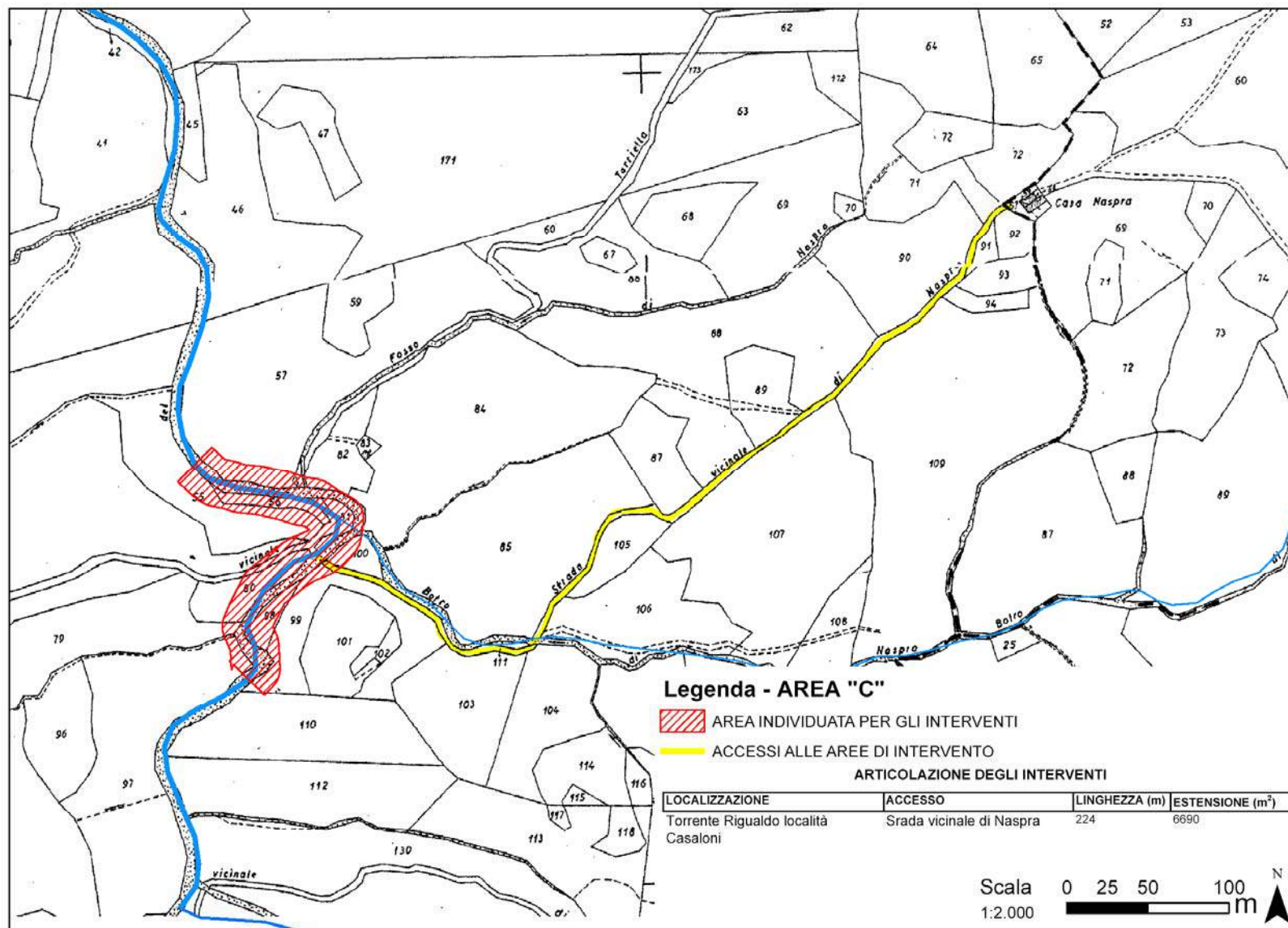


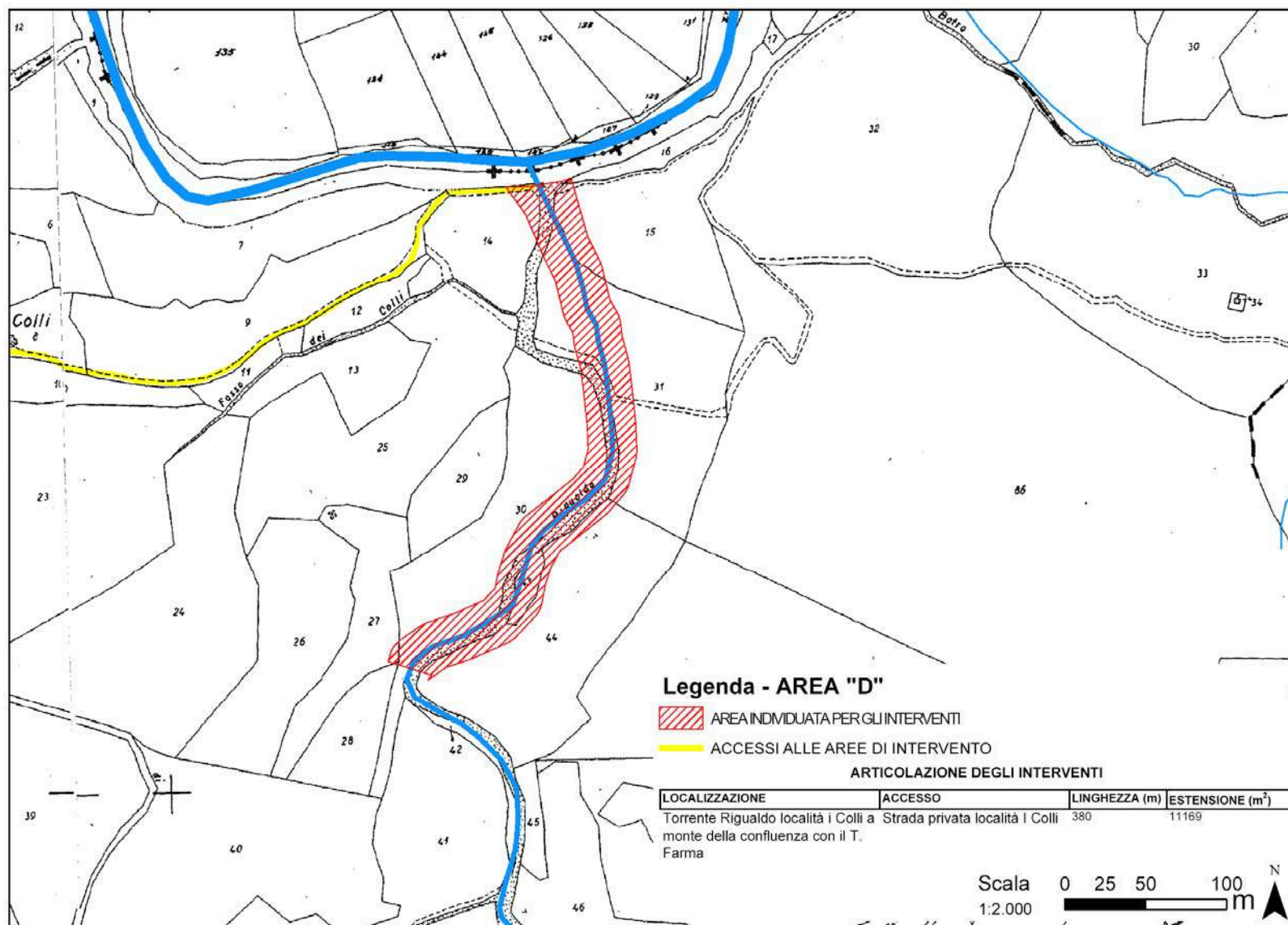
Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"

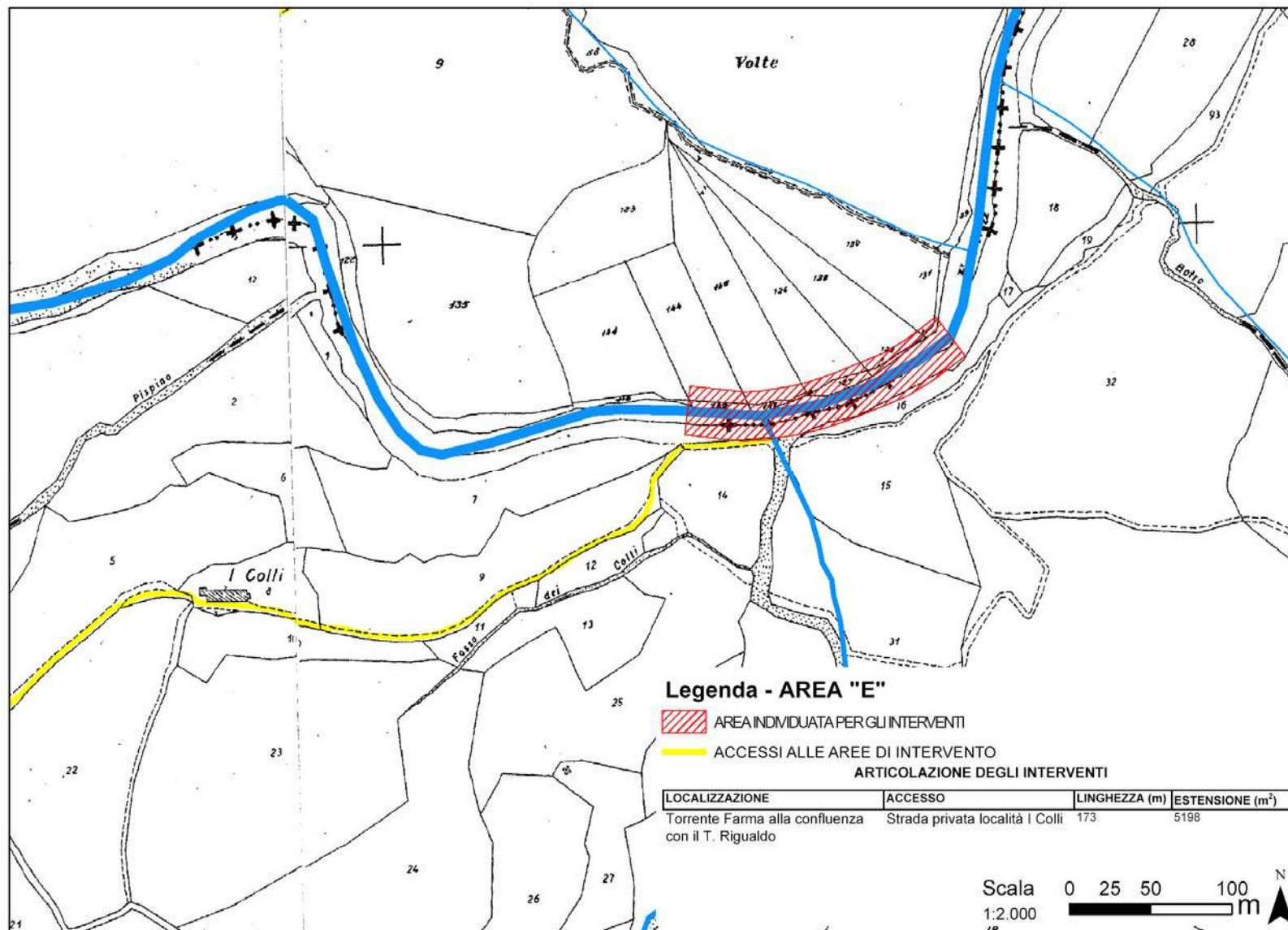


Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale







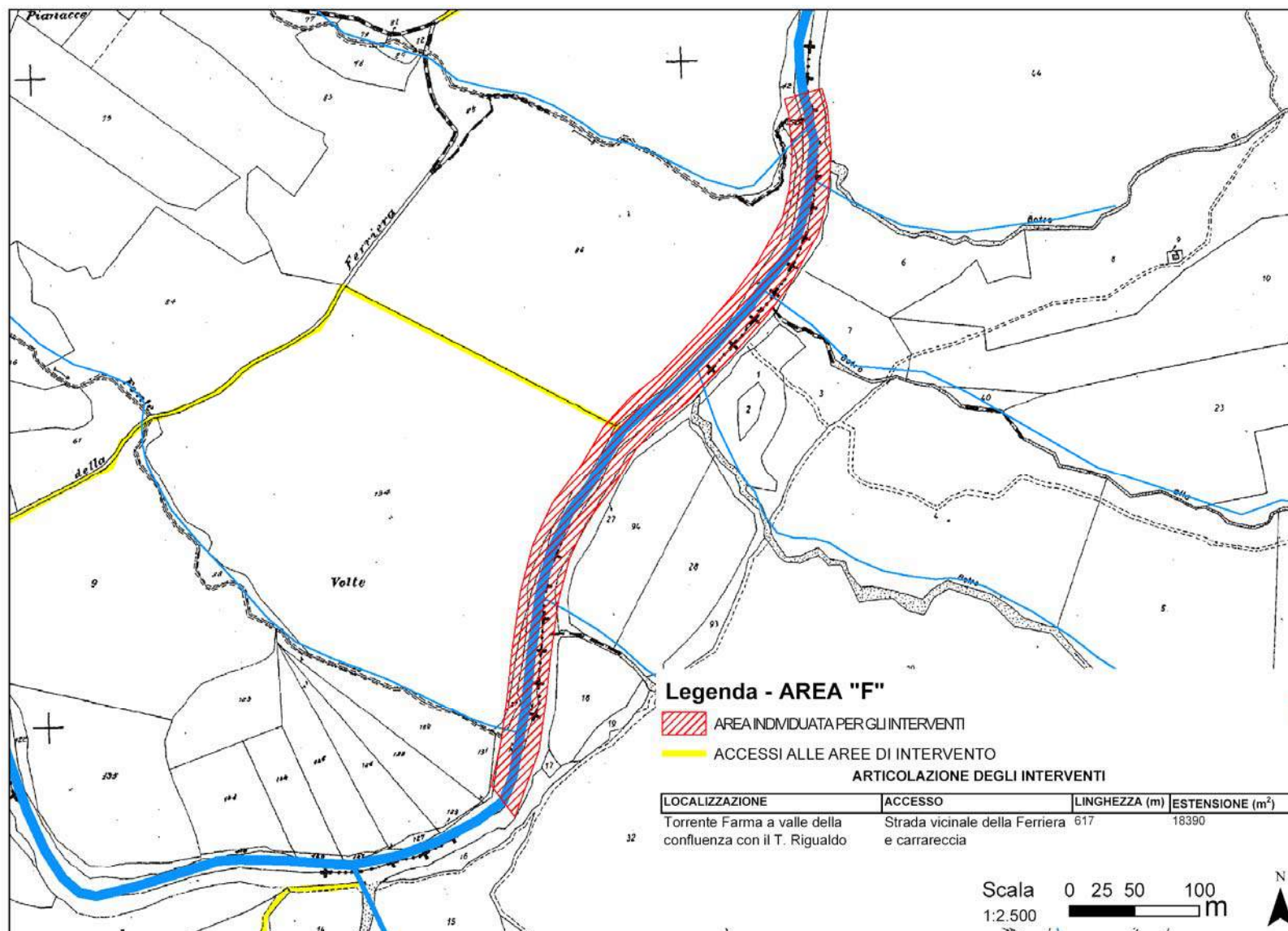




Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale

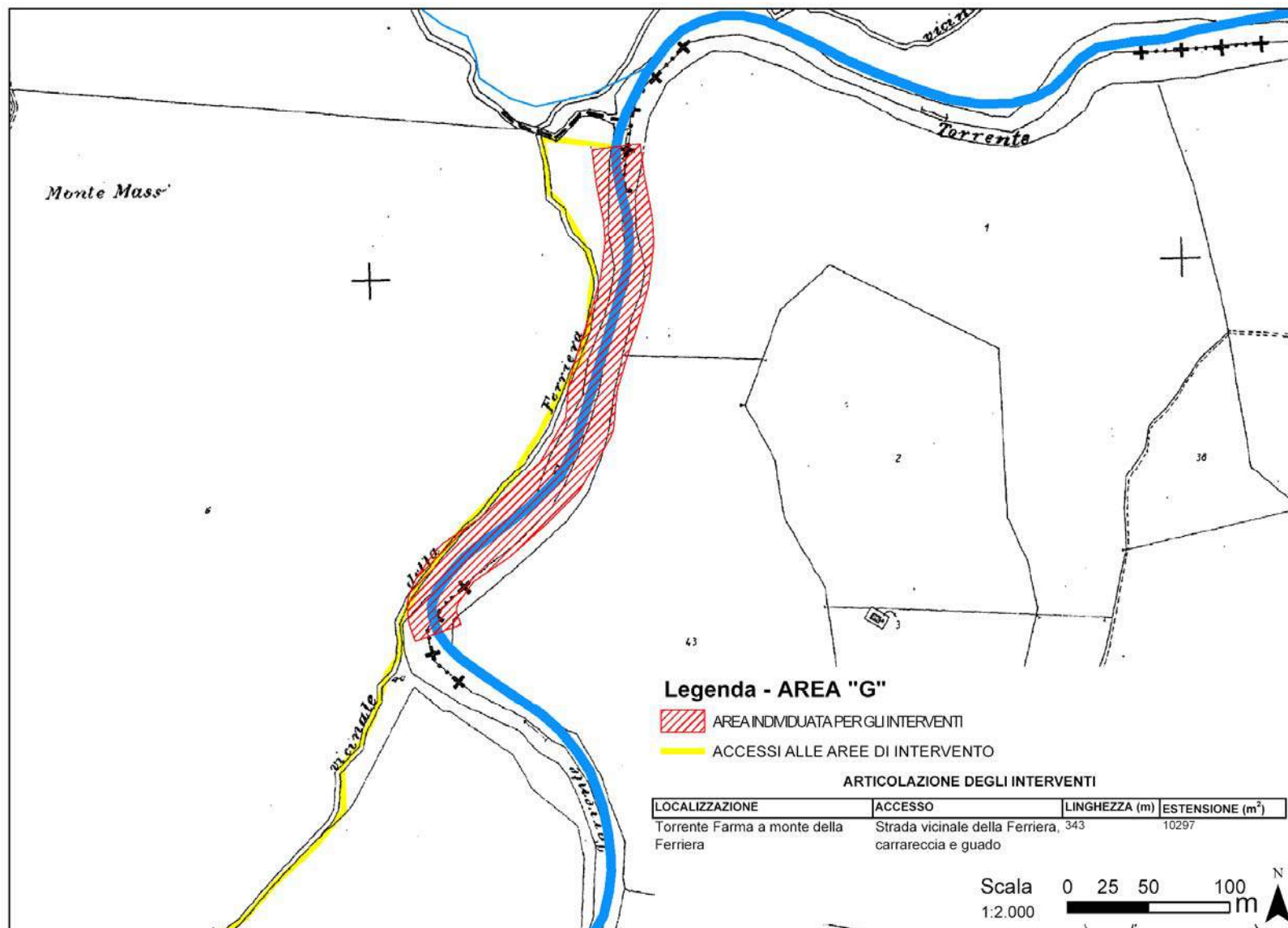




Dipartimento di Scienze
Ambientali "G. Sarfatti"



Dipartimento di Biologia
Evoluzionistica Sperimentale





Bibliografia

- A.N.P.A., 2000. *I.F.F. Indice di Funzionalità Fluviale*. Manuale A.N.P.A./ 2000, Roma, pp. 223.
- ANPA, 2001. *Elementi per la caratterizzazione fisico-chimica, biologica ed ecotossicologica dei parametri addizionali (D.Lgs. 152/99) nella matrice acquosa, nel sedimento e nel biota*. RTI CTN_AIM 4./2001.
- ANPA, 2002. *Il danno ambientale ex art. 18 L. 349/86. Aspetti teorici e operativi della valutazione economica del risarcimento dei danni*. ANPA, Manuali e Linee guida. ISBN 88-448-0062-4
- APAT e CNR-IRSA, 2003. *Metodi analitici per le acque*. APAT, Manuali e Linee Guida 29/2003.
- APAT, 2004. *Atlante delle opere di sistemazione fluviale*. APAT, Manuali e Linee guida. ISBN 88-448-0118-3
- Bacci E., Baroni D., Caneschi S., 2005. Dal Decreto Legislativo 152/99 alla Direttiva Quadro: ruolo dell'Ecotossicologia. Atti del Seminario: *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 2000/60 CE*. Trento, 12-13 febbraio 2004. G.N. Baldaccini e G. Sansoni (Eds.). Ed. APAT, APPA Trento, CISBA. Trento, 2005. *Biologia Ambientale*, 19 (1): 117-122.
- Benner S.G., Blowes D.W., Gould W.D., Hebert R.B., Ptacek C.J., 1999. Geochemistry of a permeable reactive barrier for metals and acid mine drainage. *Environ. Sci. Technol.*, 33: 2793-2799.
- Braioni M.G., Braioni A., Ghetti P.F., Salmoiraghi G., Siligardi M., 2005. Prime esperienze di applicazione della Direttiva CEE 60/2000: limiti e prospettive. *Biologia Ambientale*, 19 (1): 1-8.
- Braioni M.G., Braioni A., Ghetti P.F., Salmoiraghi G., Siligardi M., 2005. Prime esperienze di applicazione della WFD 60/2000: limiti e prospettive. Atti del Seminario: *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 2000/60 CE*. Trento, 12-13 febbraio 2004. G.N. Baldaccini e G. Sansoni (Eds.). Ed. APAT, APPA Trento, CISBA. Trento, 2005. *Biologia Ambientale*, 19 (1): 17-24.
- Braioni M.G., Braioni A., Salmoiraghi G., 2005. Valutazione integrata del sistema "Fiume – corridoio fluviale" mediante Indici ambientali e paesaggistici: i casi studio del sistema Adige e Cordevole. (monografia) *Associazione Analisti Ambientali VQA n.2 - Studi*: 1-166.
- Braioni M.G., Braioni A., Salmoiraghi S., 2004. Gli Indicatori dell'ecosistema e del paesaggio nella pianificazione del sistema Fiume Adige – corridoio fluviale e nella riqualificazione della Val Cordevole. 15° Convegno Annuale A.A.A. *La valutazione ambientale in Italia: gli Indicatori* (Milano 5 marzo 2004): 1-5.
- Braioni M.G., Braioni A., Salmoiraghi G., 2004. A model for the integrated management of river ecosystems. *Verh. Internat. Ver. Limnol.* (in press).
- Braioni M.G., Salmoiraghi G., 2003. Impiego di Indicatori Bio-ecologici per la coerente pianificazione degli interventi di Recupero delle condizioni qualitative e funzionali dei corsi d'acqua. In: R. Rossi, F. De Bernardi, M. Groppi, L.G. Henzali. *Ingegneria Naturalistica dal progetto ai risultati*. CNR GNDICI n°2817 Edizioni CUSL Milano: 202-212
- Braioni G., De Franceschi P.F., Montresor A., 2001. *Rive 5.0 Indici ambientali di valutazione della qualità delle rive: Wild State Index (W.S.I.) - Buffer Strip Index (B.S.I.)*. Software prodotto da Regione Veneto, Autorità di Bacino dell'Adige e MURST.
- Braioni G., Penna, G., 1998. I nuovi Indici Ambientali sintetici di valutazione della qualità delle rive e delle aree riparie: Wild State index, Buffer Strip index, Environmental Landscape Indices: il metodo. *Bollettino C.I.S.B.A.* 6.



- Braioni M.G., Salmoiraghi G., 1999. *Progetto per la realizzazione di ricerche e studi finalizzati alla conoscenza integrata della Qualità delle rive del Fiume Adige nella regione Veneto. Relazione conclusiva*. Autorità di Bacino Fiume Adige.
- C.N.R., 1977-1986. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. RUFFO S., (Editor), Collana del Progetto Finalizzato "Promozione della Qualità dell'Ambiente", C.N.R., ROMA.
- Campaioli S., Ghetti P.T., Minelli A., Ruffo S., 1994. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane*. Volume I. APR & B (eds), Trento. p. 356.
- Campaioli S., Ghetti P.T., Minelli A., Ruffo S., 1999. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane*. Volume II. ARPA Trento (eds).
- Canciani L., Locascio A., Salmoiraghi G., 2004. *Contributo per aggiornare ed approfondire le conoscenze sulla conformazione e la qualità dell'alveo, delle rive e delle fasce di pertinenza fluviale*. Supporto all'attività di pianificazione relativa alla redazione della variante di adeguamento del vigente Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio.
- CCME, 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian sediment quality guidelines for aquatic life: Summary tables, aggiornate. In: *Canadian environmental quality guidelines*, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CNR-IRSA, 2005. *Gli ecosistemi e i sedimenti: caratterizzazione dei sedimenti. Linee guida, Protocolli operativi, Attività sperimentali*. Area Chimica-Microbiologica del Progetto nazionale di monitoraggio delle acque superficiali.
- Commissione Europea, 1996. *Economics Aspects of Liability and Joint Compensation Systems for remedying Environmental damage*. DG XI, vol. II, Topic Papers (3066), Bruxelles.
- Decreto del Presidente della Repubblica 25 gennaio 2000, n. 34. *Regolamento per l'istituzione di un sistema di qualificazione unico dei soggetti esecutori di lavori pubblici, a norma dell'articolo 8, comma 2, della legge 11 febbraio 1994, n. 109*. Gazzetta Ufficiale n. 49 del 29 febbraio 2000 - Supplemento Ordinario n. 35.
- Decreto Legislativo 152, 1999. *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana n. 101/L, Roma.
- Decreto Legislativo 152, 2006. *Norme in materia ambientale*. Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96.
- Decreto Legislativo 258, 2000. *Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana n. 153/L, Roma.
- Direttiva 2004/35/CE. *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 aprile 2004 sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale*. In G.U.C.E. L del 30 aprile 2004, n. 143.
- EC Directive 60/2000. *Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. L.327, 2000.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1986. Preliminary requirements statement for rapid Bioassessment Protocols. *EA Engineering, Science and Technology, Inc.* 106 pp.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1989. *Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume III. Standardized biological field sampling and laboratory methods for assessing fish and macroinvertebrate communities*. Ohio Environmental Protection Agency, Columbus, OH.



- Fergusson J.E., 1990. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford.
- Fimiani P., 2006. *Le Nuove Norme sul Danno Ambientale. Azioni risarcitorie, procedimenti amministrativi e giurisdizionali, competenze, regime transitorio*. Il Sole 24 ORE S.p.A., Milano.
- Förstner U., 1990. Inorganic sediment chemistry and elemental speciation. In: Baudo R., Giesy J., Muntau H. (Eds.) *Sediments: Chemistry and toxicity of In-Place Pollutants*. Lewis Publishers/CRC Press, Ann Arbor.
- Förstner U., Wittmann G.T.W., 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin.
- Geoscience, 2002. *Studio complessivo esteso alle aree interessate dai fenomeni di inquinamento in atto presso la miniera di Campiano in Comune di Montieri, Rapporto di sintesi*. Regione Toscana - Giunta Regionale.
- Ghetti P.F., G. Salmoiraghi, 1994. The macroinvertebrate community and the changing Italian rivers. *Boll. Zool.*, 61: 409-414.
- Ghetti P.F., 1997. *Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque corrente*. Provincia Autonoma di Trento, pp. 222.
- Johnston T.A., Cunjak R.A., 1999. Dry mass-length relationships for benthic insects: a review with new data from Catamaran Brook, New Brunswick, Canada. *Freshwat. Biol.* 41: 653-674
- Karr J.R., Dudley D.R., 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5: 55-68.
- Krebs C.J., 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row, Publishers, New York 654 pp.
- Kwang-Guk An, Seok Soon Park, Joung-Yi Shin, 2002. An evaluation of a river health using the index of biological integrity along with relations to chemical and habitat conditions. *Environment International* 28: 411 – 420.
- Margalef R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3:37-71.
- Merritt R.W., Cummins C.W., 1988. *An introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Dubuque, Iowa, USA.
- Meyer E., 1989. The relationship between body and length parameters and dry mass in running water invertebrates. *Arch. Hydrobiol.* 117: 191-203.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2006. *Prezzario Ufficiale di Riferimento del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per la Toscana e l'Umbria*. Libreria Pirola, Firenze, 840 pp.
- Petersen R.C.Jr., 1992. The RCE: A Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27, 2: 295-306.
- Regione Emilia-Romagna, 2006. *Elenco regionale dei prezzi per lavori e servizi di difesa del suolo e della costa, indagini geognostiche, rilievi topografici e sicurezza*. (<http://www.regione.emilia-romagna.it/appaltipubblici/prezziario.htm>).
- Salmoiraghi G., 1996. *Il monitoraggio delle acque interne: lettura ed interpretazione delle comunità macrozoobentoniche*. Gli indicatori biotici nell'analisi della qualità ambientale dei corsi d'acqua del bacino idrografico del Fiume Reno: esperienze e prospettive. Autorità di bacino del Fiume Reno (Ed.): 25-43.
- Sanconi G., 1988. *Macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani*. APR & B (eds) – Trento, 190 pp.
- Shackelford B., 1988. *Rapid Bioassessments of Lotic Macroinvertebrate Communities*. Biocriteria Development. Arkansas Department of Pollution Control and Ecology. 45 pp
- Shannon C.E. & Weaver W., 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana.
- Siligardi S., Maioloni B., 1993. L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini. Guida all'uso della scheda RCE-2. *Biologia Ambientale. C.I.S.B.A.*, VII, 30: 18-24.



- Smock L., 1980. Relationships between body size and biomass of aquatic insects. *Freshwater Biology* 10: 375-383.
- Somerville D.E., Pruitt B.A., 2004. *Draft. Physical Stream Assessment: A Review of Selected Protocols*. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Wetlands Division (Order No. 3W -0503-NATX). Washington, D.C. 207 pp.
- Spaggiari R., 1997. Indicatori in ambito fluviale: concetti generali, metodologie ed ambiti di applicazione. Atti del workshop *La qualità ambientale dei corsi d'acqua: l'RCE-2 riparian Channel and Environmental Inventory*. Regione Piemonte, Centro Ricerche ENEA, Saluggia.
- Spaggiari R., Genoni P., 2005. Ruolo dei macroinvertebrati bentonici nell'applicazione della Direttiva 200/60/CE. Atti del Seminario: *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 2000/60 CE*. Trento, 12-13 febbraio 2004. G.N. Baldaccini e G. Sansoni (Eds.). Ed. APAT, APPA Trento, CISBA. Trento, 2005. *Biologia Ambientale*, 19 (1): 39-46.
- Stoeppler M., Backhaus F., 1978. Pretreatment studies with biological and environmental materials. I. Systems for pressurized multisample decomposition. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 291: 116-120.
- Tachet M., Bournard M., Richoux P., 1980. *Introduction à l'étude des macroinvertebrates des eaux douces. (Systematique élémentaire et aperçus écologique)*, 155 pp.
- Washington H.G., 1982. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystem. *Water Res.* 18 (6):653-694.
- Westrich B., 1986. Hydromechanic aspects of contaminated sediment transport in fluvial systems. In: Sly P.G. (Ed.) *Sediments and Water Interactions*. Springer-Verlag, New York.
- WRC, 1996. *The harmonised monitoring and classification of ecological quality of surface water in the European Union*. Final report. European commission. Directorate general XI, may, Bruxelles, 293 pp.