

CAPITOLO 6

ANALISI DEI DEFLUSSI

Lo studio dei deflussi di un bacino idrografico necessariamente include l'analisi delle portate fluviali.

A questo scopo sono stati acquisiti ed elaborati i dati idrometrografici presso l'archivio dell'A.P.A.T., disponibili per i fiumi Marta (PAR. 6.1) e Mignone (PAR. 6.2). Inoltre, sono state eseguite apposite campagne di misura delle portate, scegliendo sezioni di interesse sul Marta (PAR. 6.3) e sul Mignone (PAR. 6.4).

Lo studio del regime medio del corso d'acqua principale e dei valori estremi di portata è necessario nella valutazione del deflusso minimo vitale del fiume (cfr. CAP. 10); l'analisi e la scomposizione degli idrogrammi, inoltre, ha portato alla stima del deflusso di base, componente essenziale del bilancio idrologico (cfr. CAP. 9).

6.1 MISURE STORICHE DI PORTATA DEL FIUME MARTA

Per l'acquisizione dei dati idrometrici relativi al bacino oggetto di studio, si è fatto riferimento agli Annali Idrologici (Parte II) pubblicati dall'ex S.I.M.N (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, attualmente A.P.A.T.) e da lavori presenti in bibliografia (PAGANO, 2000).

I dati raccolti dagli Annali Idrologici consistono di misure su base giornaliera. Essendo disponibili solo in formato cartaceo, sono stati importati in ambiente MS Access e in Excel per le successive elaborazioni. Le serie storiche acquisite sono relative alle due stazioni di misura della portata del fiume Marta, a Ponte Cartiera e a Centrale Traponzo (cfr. FIG. 3.2 e FOTO 3.2), e alle due stazioni di misura del livello del lago, a Bolsena e a Marta (cfr. CAP. 3). La disponibilità dei dati copre periodi di osservazione sufficientemente lunghi, tali da garantire una valutazione affidabile dei valori medi delle grandezze idrologiche.

I dati raccolti dalla letteratura di riferimento consistono invece in misure mensili di portata, effettuate dall'ENEL che gestisce le centrali idroelettriche, solo per la stazione

di Ponte Cartiera, nel periodo compreso tra il 1986 e 2000, con alcune significative lacune mensili dal 1996.

Relativamente all'elaborazione delle misure acquisite, si è fatto riferimento alla bibliografia specialistica (principalmente, TONINI, 1959; DE WIEST, 1965; MOISELLO, 1985; CIVITA, 2005).

In TABELLA 6.1 sono riportati l'elenco e le caratteristiche delle stazioni idrometriche ed i relativi periodi di funzionamento delle stesse.

STAZIONE	TIPO DI MISURA	PERIODO DI OSSERVAZIONE	N° ANNI DI OSSERVAZIONE
Bolsena	Livelli idrometrici del lago (cm)	1951-1992	42
Marta		1951-1970 1987-1990	20
Ponte Cartiera	Portata del fiume (m ³ /s)	1948-1985 1986-2001*	37 15*
Centrale Traponzo		1930-1934 1939-1943 1947-1972	36

TABELLA 6.1 – Caratteristiche delle stazioni idrometriche relative al bacino del fiume Marta (* valori di portata concessi dall'ENEL).

6.1.1 STUDIO DEL REGIME FLUVIALE

Lo studio del regime fluviale deve tener conto della portata media annuale, o modulo annuale del corso d'acqua (cfr. PAR. 6.1.1.1), delle variazioni stagionali medie della portata, studiate attraverso medie mensili (cfr. PAR. 6.1.1.2) e curve di durata delle portate (cfr. PAR. 6.1.1.3), ed infine, dei valori estremi di portata (cfr. PAR. 6.1.1.4).

6.1.1.1 PORTATE MEDIE ANNUE

Allo scopo di valutare le oscillazioni delle portate nelle due sezioni strumentate, durante l'intero periodo di osservazione (cfr. TAB. 6.1), sono stati calcolati i valori delle portate annuali. I risultati sono riportati nella TABELLA 6.2.

Il modulo annuale rappresenta la media aritmetica delle portate annuali misurata sull'intero periodo di osservazione. Tale valore risulta pari a 2.46 m³/s per la stazione Ponte Cartiera, tenendo conto solo dei valori riportati dagli Annali Idrologici e di 2.26 m³/s, considerando anche le misure di portata effettuate dall'ENEL; alla stazione Centrale Traponzo il modulo annuale è pari a 7.54 m³/s (cfr. TAB. 6.2).

Nella FIGURA 6.1 vengono relazionate le portate medie annue relative ai valori degli Annali Idrologici, per entrambe le stazioni idrometrografiche e i dati reperiti in letteratura per Ponte Cartiera con il valore di portata trovato durante le misure di campagna, relativo alla magra del 2004 (cfr. TAB. 6.10).

Dal grafico in figura 6.1 si osserva una diminuzione negli ultimi 70 anni della portata del fiume Marta, sia a Ponte Cartiera che a Centrale Traponzo, da imputare probabilmente alle condizioni climatiche e allo sfruttamento della risorsa idrica, sotterranea e superficiale.

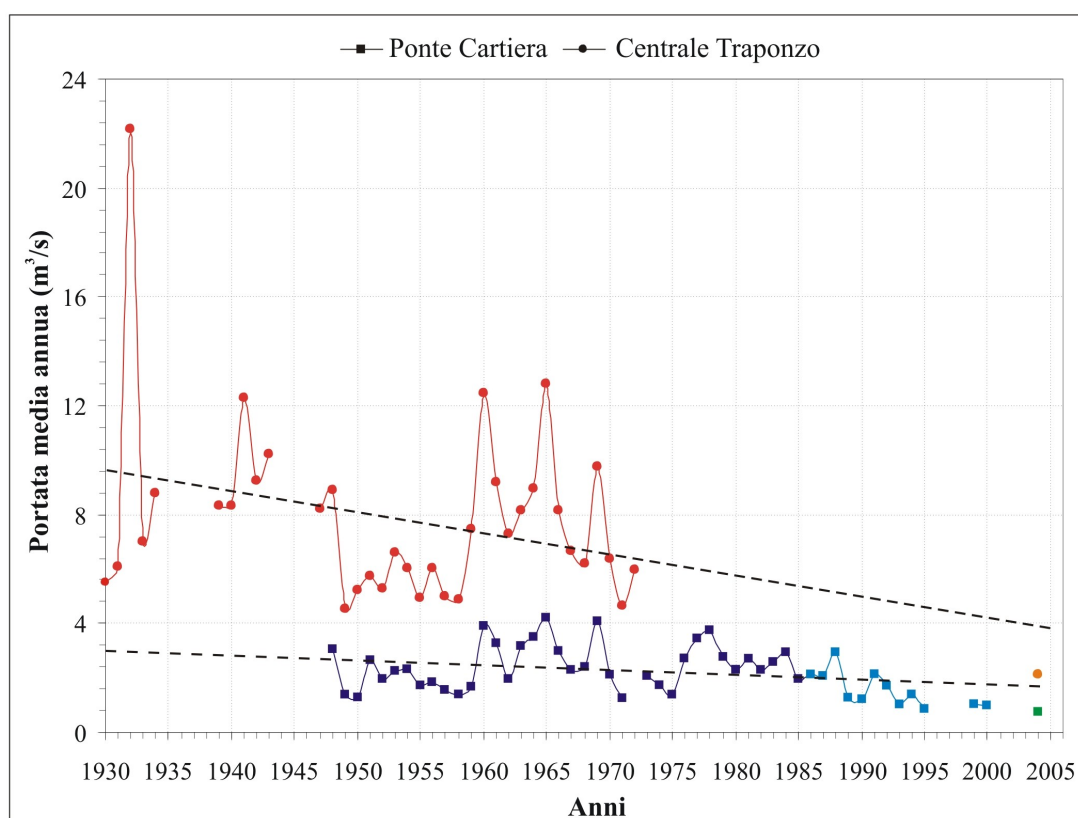


FIGURA 6.1 – Serie delle portate medie annue a Ponte Cartiera e Centrale Traponzo.

ANNO	PC	CT	ANNO	PC	CT
	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)		Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
1930	-	5.49	1965	4.18	12.80
1931	-	6.11	1966	2.99	8.14
1932	-	22.18	1967	2.32	6.65
1933	-	7.01	1968	2.40	6.22
1934	-	8.80	1969	4.06	9.79
1935	-	-	1970	2.11	6.39
1936	-	-	1971	1.27	4.64
1937	-	-	1972	-	5.96
1938	-	-	1973	2.07	-
1939	-	8.30	1974	1.70	-
1940	-	8.35	1975	1.35	-
1941	-	12.31	1976	2.72	-
1942	-	9.23	1977	3.44	-
1943	-	10.21	1978	3.74	-
1944	-	-	1979	2.76	-
1945	-	-	1980	2.31	-
1946	-	-	1981	2.73	-
1947	-	8.18	1982	2.29	-
1948	3.04	8.87	1983	2.57	-
1949	1.40	4.51	1984	2.92	-
1950	1.26	5.22	1985	1.98	-
1951	2.67	5.72	1986	2.14	-
1952	1.93	5.29	1987	2.10	-
1953	2.24	6.62	1989	2.93	-
1954	2.29	6.02	1990	1.27	-
1955	1.75	4.96	1991	1.19	-
1956	1.82	6.02	1992	2.11	-
1957	1.58	5.00	1993	1.70	-
1958	1.35	4.86	1994	1.06	-
1959	1.66	7.46	1995	1.37	-
1960	3.92	12.48	1996	-	-
1961	3.30	9.17	1997	-	-
1962	1.94	7.27	1998	-	-
1963	3.15	8.16	1999	1.04	-
1964	3.48	8.94	2000	0.99	-
MODULO ANNUALE			PC	2.46 m³/s	
			PC*	2.26* m³/s	
			CT	7.54 m³/s	

TABELLA 6.2 – Portata media annua di Ponte Cartiera (PC) e Centrale Traponzo (CT) dagli Annali Idrologici e dalla bibliografia di riferimento (*).

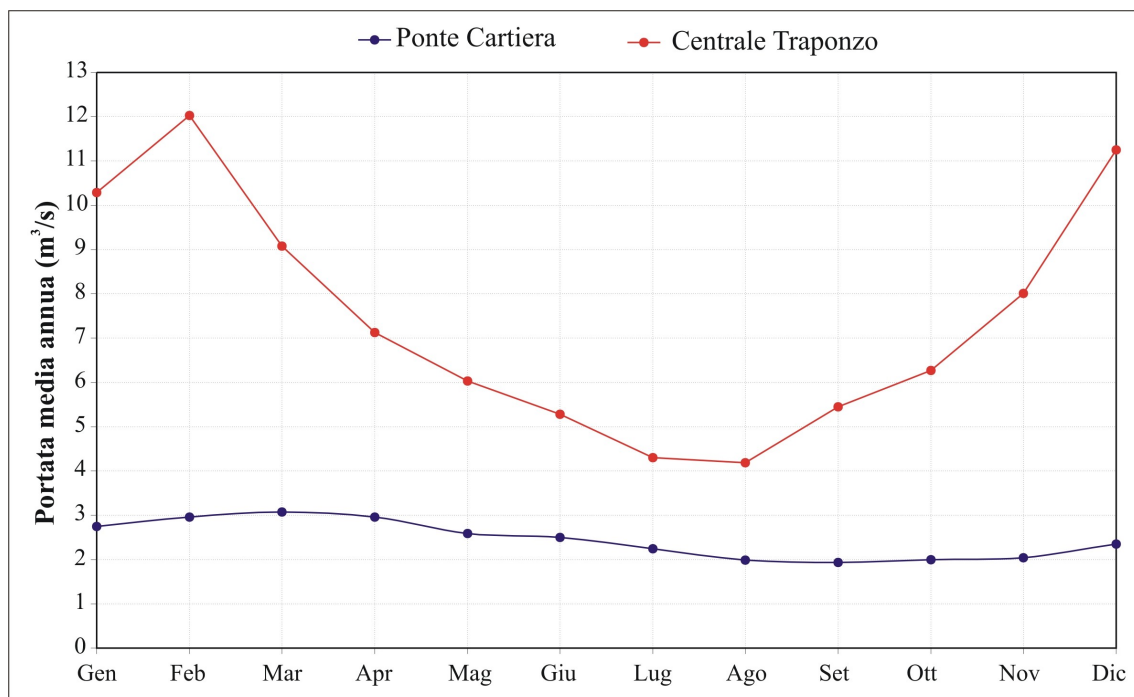
6.1.1.2 PORTATE MEDIE MENSILI

Le variazioni stagionali di portata del corso d'acqua vengono studiate attraverso le portate medie mensili osservate nelle due stazioni dall'ex S.I.M.N., calcolate sull'intero periodo di osservazione.

Tali portate rappresentano la media aritmetica delle portate mensili di ciascun mese dell'anno. Gli idrogrammi medi mensili relativi alle due stazioni sono mostrati in FIGURA 6.2.

La stazione Ponte Cartiera mostra una minima variazione stagionale delle portate: la serie si mantiene su valori relativamente costanti lungo l'arco dell'anno. La serie dei valori registrati a Centrale Traponzo, invece, mostra una più marcata variazione stagionale della portata ed, ovviamente, valori più elevati drenando un bacino più ampio (cfr. FIG. 3.2).

Al fine di valutare gli effetti dell'influenza del lago e delle precipitazioni nei confronti del regime fluviale, le portate relative alle due stazioni sono state confrontate con i livelli lacustri osservati a Bolsena e l'andamento delle precipitazioni registrate alla stazione di Tuscania. Per la stazione Ponte Cartiera (FIG. 6.3) sono stati calcolati i valori medi mensili di portata, precipitazione e livello del lago relativi agli anni 1981-1985; per la stazione Centrale Traponzo (FIG. 6.4), gli stessi valori sono invece calcolati per gli anni 1968-1972.



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Ponte Cartiera	2.75	2.97	3.07	2.96	2.59	2.51	2.26	2.00	1.95	2.03	2.12	2.39
Centrale Traponzo	10.29	11.93	9.08	7.13	6.03	5.28	4.30	4.19	5.45	6.27	8.19	11.25

FIGURA 6.2 – Idrogramma medio mensile relativo alle stazioni Ponte Cartiera e Centrale Traponzo.

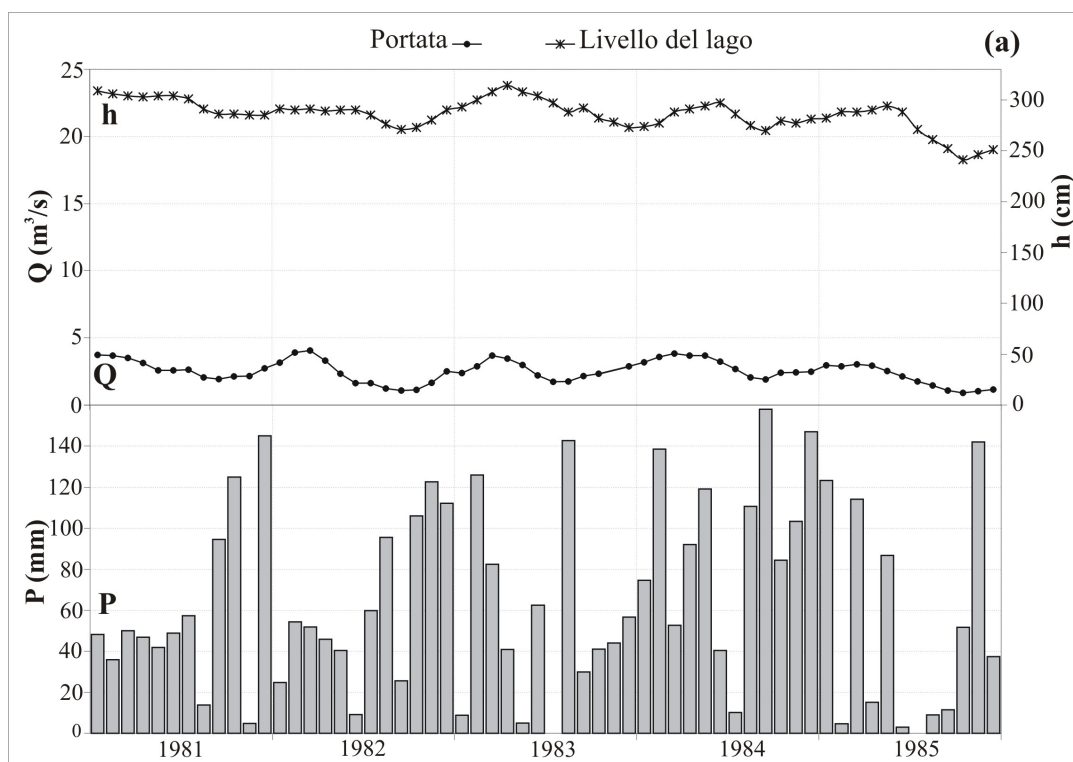


FIGURA 6.3 – Confronto tra portate osservate alla stazione Ponte Cartiera, livelli idrometrici del lago a Bolsena e precipitazioni alla stazione di Toscana ($\bar{X} \pm s_x = 2.50 \pm 0.84$).

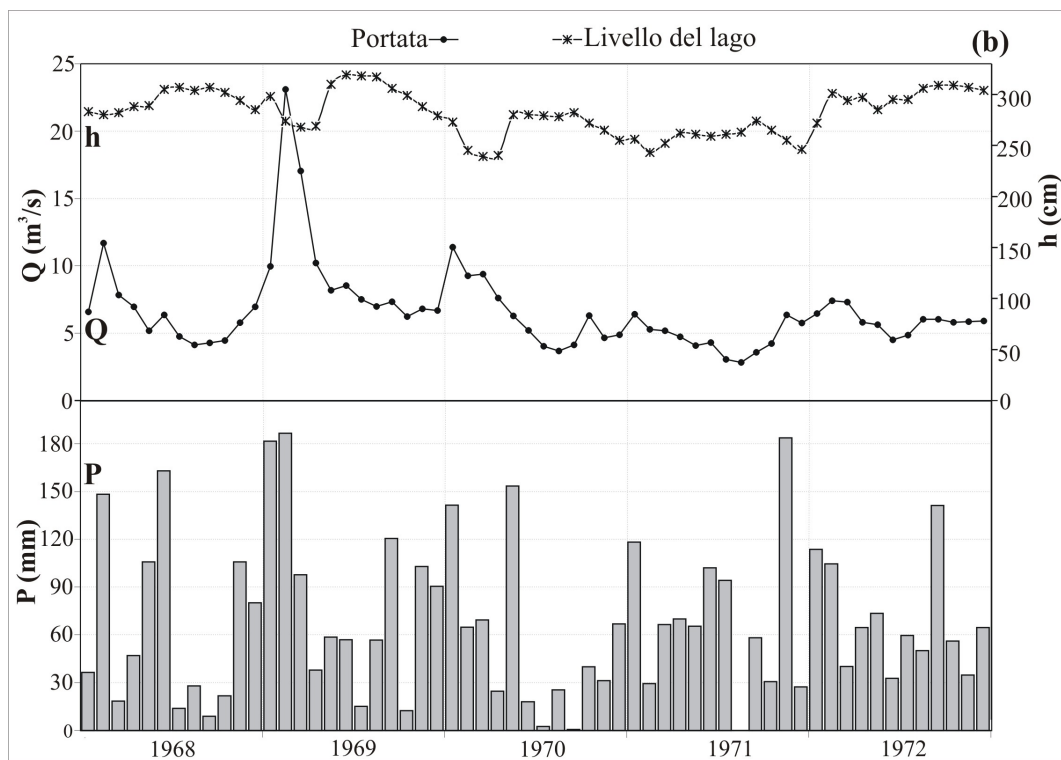


FIGURA 6.4 – Confronto tra portate osservate alla stazione Centrale Traponzo, livelli idrometrici del lago a Bolsena e precipitazioni alla stazione di Tuscania ($\overline{X} \pm s_x = 6.63 \pm 3.20$).

Le portate medie mensili osservate a Ponte Cartiera, pur oscillando entro valori limitati, mostrano una dipendenza dai livelli idrometrici del lago e dagli afflussi. In particolare, ai massimi stagionali di portata corrispondono generalmente valori massimi delle altezze idrometriche. La serie delle portate medie mensili a Centrale Traponzo è ugualmente influenzata dall'andamento delle precipitazioni, ma ai massimi stagionali di portata corrispondono, in linea generale, valori minimi delle altezze idrometriche del lago.

6.1.1.3 CURVA DI DURATA DELLE PORTATE

Al fine di determinare il regime medio del corso d'acqua sono state costruite, sulla base dei valori medi giornalieri calcolati sull'intero periodo di osservazione, le curve di durata delle portate nelle due stazioni strumentate (FIGG. 6.5 e 6.6).

Una curva di durata associa, ad un determinato valore di portata, il numero di giorni in un anno in cui tale valore è stato eguagliato o superato: tale curva è dunque una distribuzione di frequenza delle portate giornaliere ed è espressa in forma cumulativa (TONINI, 1959; MOISELLO, 1985).

Tra le leggi utilizzate più di frequente per regolarizzare le serie storiche delle portate giornaliere è stata scelta la log-normale, in cui i dati vengono riportati in un grafico semilogaritmico, con in ordinate le portate e in ascisse le durate espresse in giorni dell'anno.

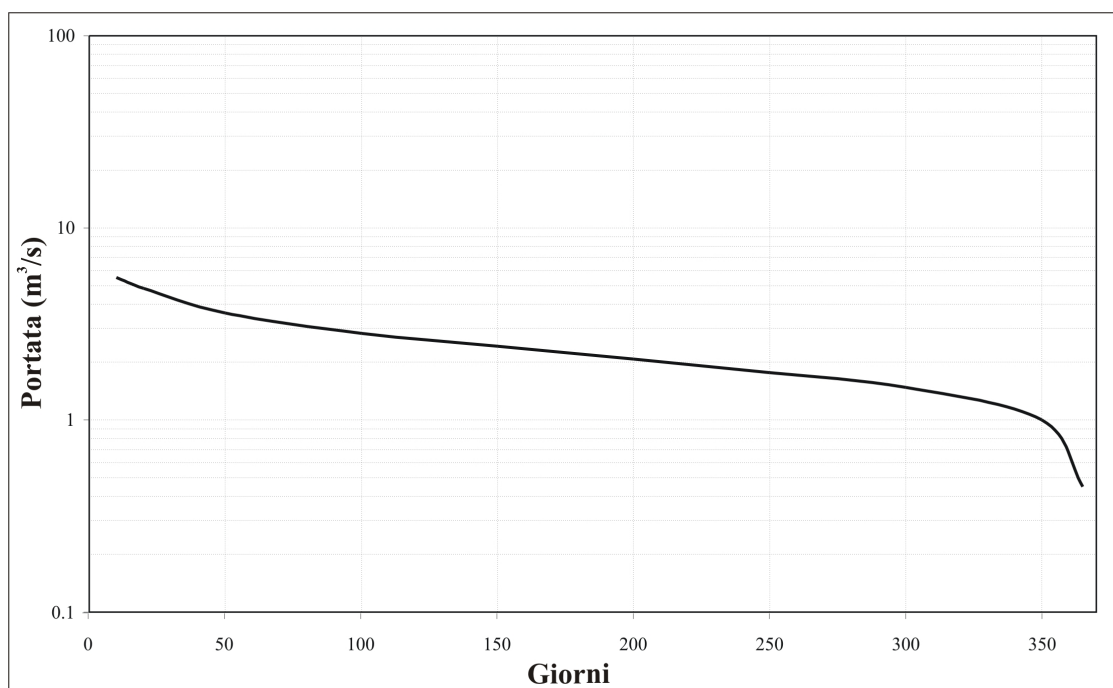


FIGURA 6.5 – Curva di durata delle portate per la stazione di Ponte Cartiera.

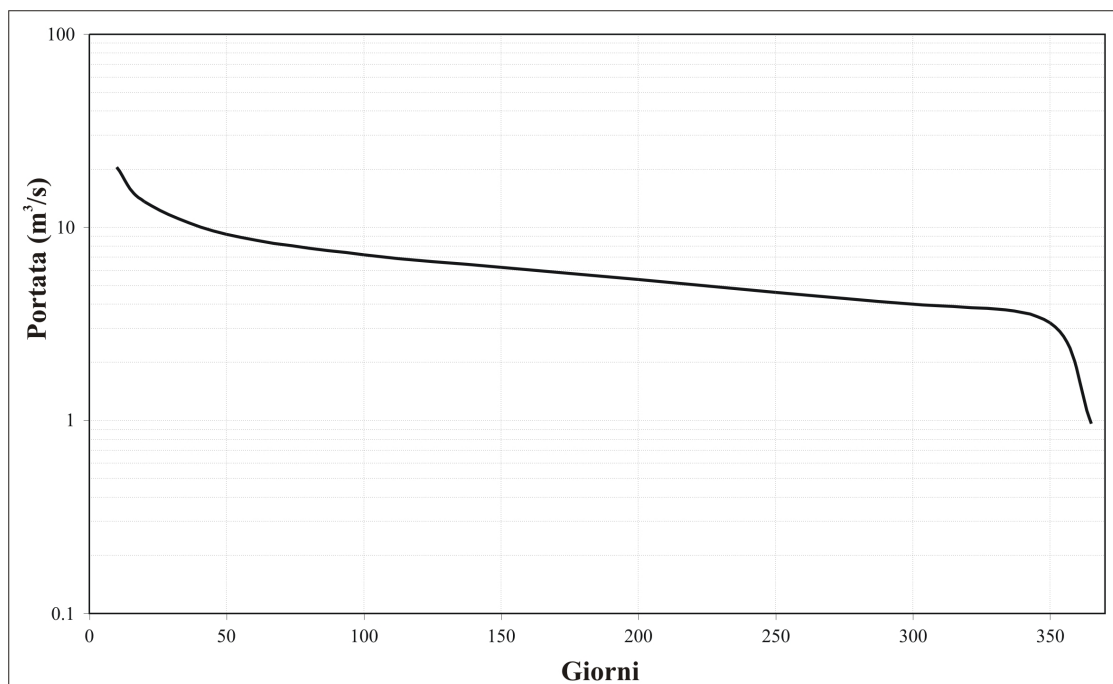


FIGURA 6.6 – Curva di durata delle portate per la stazione di Centrale Traponzo.

Le curve di durata, desunte sulla base di serie sufficientemente lunghe di dati, forniscono una buona rappresentazione delle caratteristiche del corso d'acqua nelle sezioni strumentate.

Gli andamenti delle curve relative alle due stazioni di misura sono sostanzialmente differenti: la distribuzione statistica dei deflussi osservati a Ponte Cartiera ha una forma più piatta (cfr. FIG. 6.5), indicando il livellamento del regime medio delle portate su valori piuttosto bassi.

Viceversa la curva di durata relativa a Centrale Traponzo (cfr. FIG. 6.6) è quella tipica di un corso d'acqua del regime tirrenico. Pertanto, l'anomala forma della curva di durata relativa a Ponte Cartiera è dovuta all'effetto modulatore del lago, come peraltro già evidente dal grafico di FIG. 6.2.

A seguito delle elaborazioni effettuate, si riportano nella seguente TABELLA 6.3 le portate corrispondenti ad alcune durate caratteristiche, unitamente al confronto con i valori di durata delle portate riportate negli Annali dell'ex S.I.M.N.

	DURATA (giorni)	PONTE CARTIERA (m³/s)		CENTRALE TRAPONZO (m³/s)	
Portata caratteristica massima	10	5.5	5.2*	20.5	22.3*
Portata di piena ordinaria	91	3.0	3.1*	6.5	7.53*
Portata caratteristica media	182	2.2	2.3*	5.8	5.51*
Portata di magra ordinaria	274	1.8	1.6*	4.5	4.20*
Portata caratteristica di magra	355	0.9	0.8*	3.0	2.73*

TABELLA 6.3 – Portate di assegnata durata per il fiume Marta, osservate alle stazioni di Ponte Cartiera e Centrale Traponzo. L'asterisco evidenzia i valori di durata delle portate riportati negli Annali Idrologici.

Nello studio delle portate di magra, finalizzato alla valutazione del deflusso minimo vitale, assume particolare importanza la portata caratteristica di magra (Q_{355}), essendo il valore che viene superato nel corso dell'anno per 355 giorni. Tale dato rappresenta dunque un valore di portata molto vicino al minimo assoluto, ed è pari a 0.9 m³/s per la stazione Ponte Cartiera e pari a 3.0 m³/s per la stazione Centrale Traponzo. Dal confronto con i dati riportati negli Annali, gli stessi valori relativi alle portate caratteristiche di magra risultano ancora inferiori. Tali differenze possono essere riconducibili ai diversi periodi di riferimento delle elaborazioni.

6.1.1.4 ANALISI E SCOMPOSIZIONE DEGLI IDROGRAMMI FLUVIALI

Un idrogramma fluviale, in una data sezione, è dovuto in generale a tre diversi tipi di deflusso: superficiale, ipodermico e sotterraneo. Questi, insieme, contribuiscono a definire il deflusso globale, rappresentato dall'intera area sottesa dall'idrogramma. La separazione della componente del deflusso sotterraneo (o deflusso di base), dalle restanti componenti dell'idrogramma, consente di individuare e quantificare il contributo dovuto alle acque sotterranee.

Allo scopo di individuare il deflusso di base, relativamente alle due stazioni di misura della portata, sono stati elaborati gli idrogrammi fluviali medi giornalieri. Le portate medie giornaliere, poste in ordinata, rappresentano la media aritmetica delle portate giornaliere di ciascun giorno dell'anno, calcolate su un periodo di 37 anni per la stazione Ponte Cartiera e di 36 anni per la stazione Centrale Traponzo.

L'idrogramma fluviale relativo alla stazione Ponte Cartiera è mostrato in FIGURA 6.7.

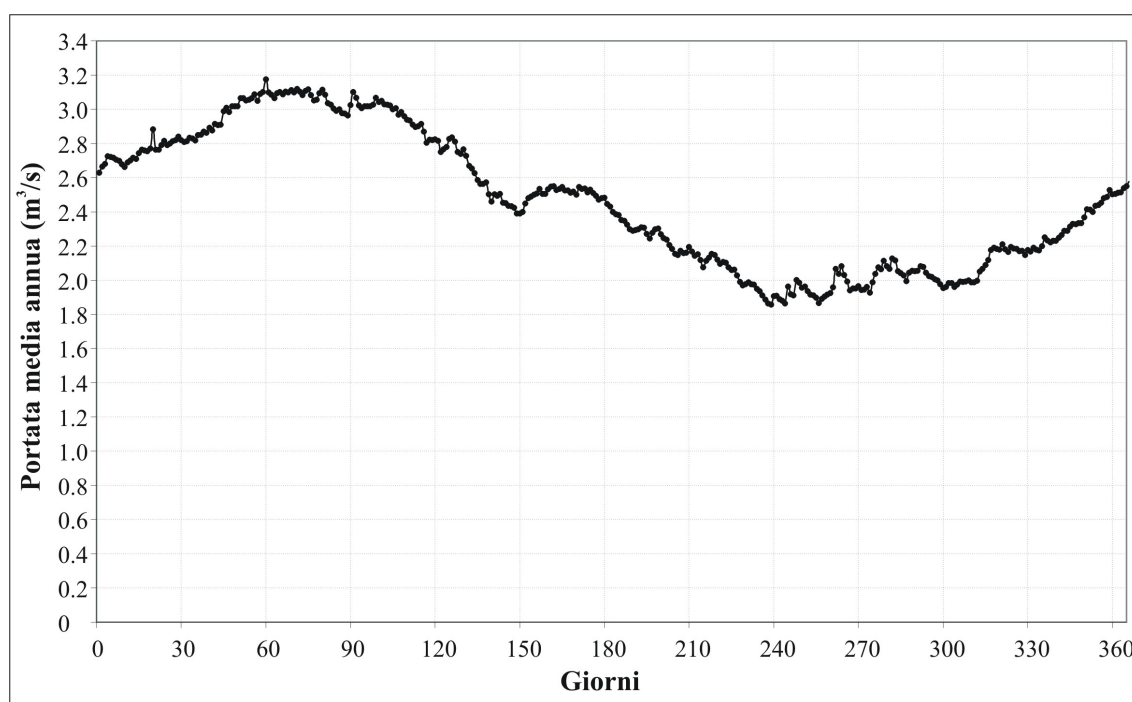


FIGURA 6.7 – Idrogramma fluviale medio della stazione Ponte Cartiera.

Relativamente a tale sezione fluviale, il deflusso in alveo è fortemente condizionato dagli efflussi dal lago, in conseguenza dell'azione regolatrice del lago e della presenza delle paratoie che obbligano la quantità di trabocco, essendo ridotto il bacino idrografico che separa l'incile dalla sezione di misura della portata. Il deflusso globale a Ponte Cartiera è quindi essenzialmente riconducibile al deflusso dal lago e ciò spiega

anche la notevole modulazione della portata (cfr. FIG. 6.7). Il volume annuo calcolato dall'idrogramma di FIGURA 6.7 risulta di $77.95 \times 10^6 \text{ m}^3$.

L'idrogramma fluviale relativo alla stazione Centrale Traponzo è mostrato in FIGURA 6.8. Il valore del volume globale medio annuo defluito a Centrale Traponzo, è pari a $235.07 \times 10^6 \text{ m}^3$, che rappresenta quindi la somma dei deflussi superficiale, ipodermico e sotterraneo.

L'analisi dell'idrogramma fluviale è basata sull'anno idrologico, equivalente al tempo che intercorre tra due minimi annui consecutivi, che nel caso della stazione di Centrale Traponzo sono stati individuati nel giorno del 6 Agosto, con una portata di $4.05 \text{ m}^3/\text{s}$, e del 5 Agosto, con una portata di $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$.

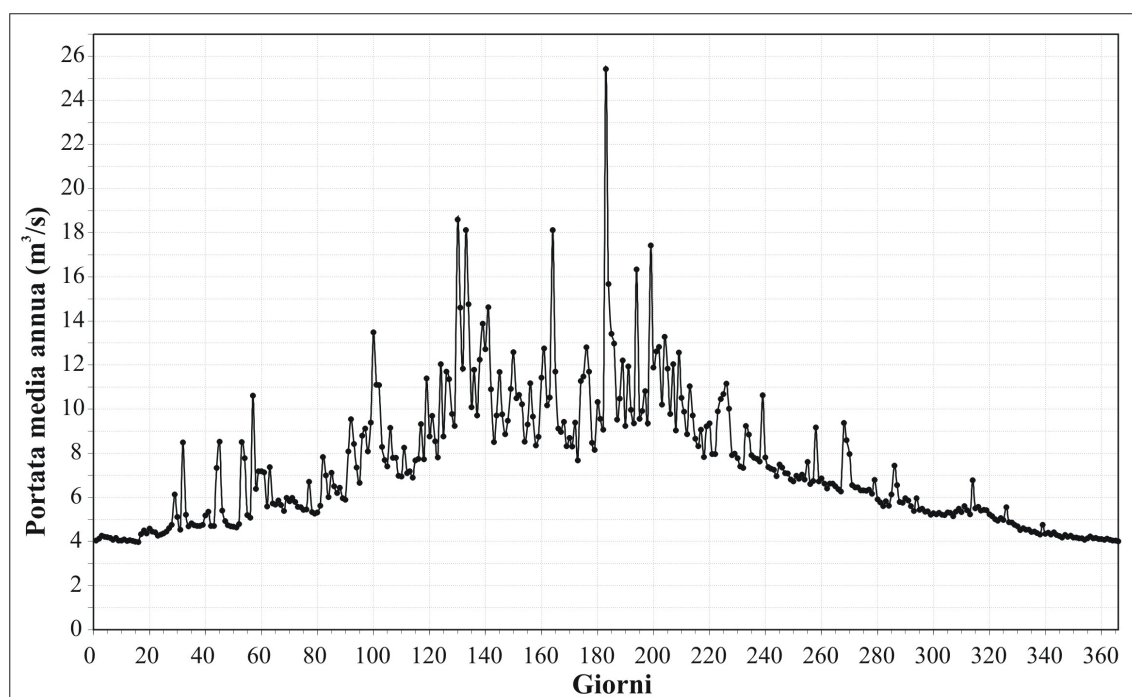


FIGURA 6.8 – Idrogramma fluviale medio della stazione Centrale Traponzo.

La curva del deflusso medio annuo si può suddividere in due parti: una curva di riempimento e una curva di svuotamento, quest'ultima successiva al picco di massima piena annuale. Nel caso dell'idrogramma ricostruito per Centrale Traponzo la portata massima è stata individuata nel giorno del 20 Febbraio ed è risultata di $17.43 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il tratto iniziale dell'idrogramma, che si estende dal 6 Agosto fino al picco del 20 Febbraio, viene chiamato curva di riempimento ed è caratterizzata da una funzione crescente del tipo $Q = f(t)$. Successivamente al picco di portata annuale la restante porzione dell'idrogramma è detta curva di svuotamento che, a sua volta, può essere

suddivisa in due parti: una prima, successiva al picco di massima portata e generalmente piuttosto acclive, detta curva di esaurimento superficiale; una seconda parte, molto meno inclinata, detta curva di esaurimento profondo.

La curva di svuotamento è invece caratterizzata da una funzione $Q = f(t)$ decrescente.

Per l'analisi dell'idrogramma fluviale, e della relativa curva di esaurimento, è stato utilizzato il modello esponenziale di MAILLET (1905), mentre la separazione dei deflussi che compongono l'idrogramma è stata realizzata attraverso il metodo elaborato da BARNES (1939). Tali metodologie vengono di seguito illustrate.

Secondo MAILLET il ramo di esaurimento dell'idrogramma può essere rappresentato da un'equazione esponenziale del tipo:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad [6.1]$$

dove:

Q_t [m^3/s] è la portata al tempo $t \neq 0$ [giorni];

Q_0 [m^3/s] è la portata all'inizio dello svuotamento;

e è la base dei logaritmi neperiani, pari a 0.43429;

α [giorni^{-1}] è un coefficiente che è funzione delle caratteristiche morfologiche e geologiche del bacino.

Risolvendo per α , si ottiene:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.43429 \times t} \quad [6.2]$$

Il volume di acqua immagazzinato all'inizio dello svuotamento, al tempo $t = 0$, è dato da:

$$W_0 = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt \quad [6.3]$$

Risolvendo l'integrale per $t = 0$, si ottiene:

$$W_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \times 86400 \quad [6.4]$$

dove 86400 è il numero dei secondi in un giorno, necessario per omogeneizzare l'espressione, dal momento che le portate Q sono espresse in m^3/s ed il coefficiente α in giorni^{-1} .

Il volume defluito a un tempo $t \neq 0$ si calcola:

$$W_d = \frac{(Q_0 - Q_t) \times 86400}{\alpha} \quad [6.5]$$

Ai fini del calcolo dei volumi immagazzinati, risulta necessario mettere in evidenza il punto di separazione tra il ramo di esaurimento superficiale e profondo, arrivando così

alla separazione completa dei deflussi che compongono l'idrogramma, secondo il metodo elaborato da BARNES e illustrato in FIGURA 6.9.

Si assume, come ramo di esaurimento profondo, il segmento finale del ramo di svuotamento caratterizzato da una minore pendenza, che va dal giorno 5 Aprile, con una portata di $6.95 \text{ m}^3/\text{s}$, al 5 Agosto con una portata pari a $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$. Se si ammette che la curva di esaurimento dell'idrogramma è rappresentata da un'equazione esponenziale come quella di MAILLET [6.1], i dati relativi alla parte finale della serie, cioè la curva di esaurimento in regime non influenzato, tendono a disporsi lungo una retta in un grafico $Q-t$ dove la portata è riportata in scala semilogaritmica. La serie considerata, relativa alle portate di Centrale Traponzo, risponde all'equazione di MAILLET, come si può vedere in FIGURA 6.10, dove i dati sono interpolati con una correlazione soddisfacente ($r^2 = 0.81$).

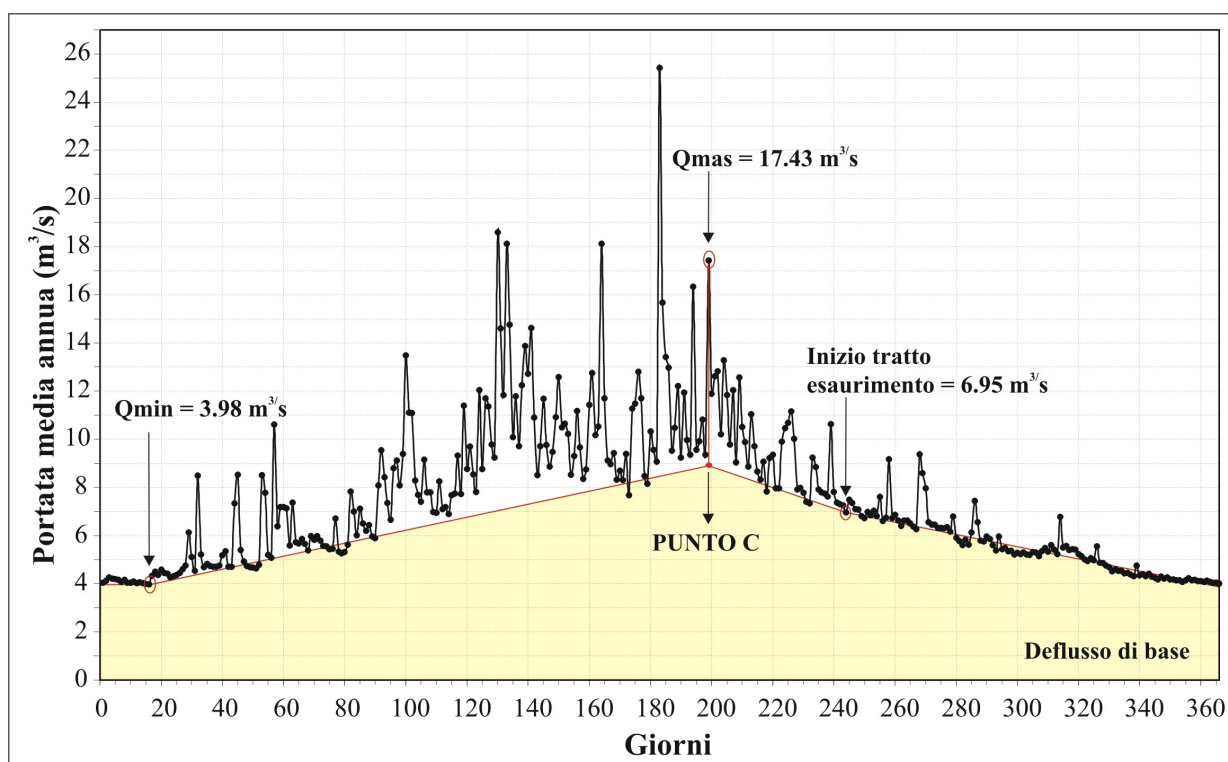


FIGURA 6.9 – Scomposizione dell'idrogramma fluviale relativo a Centrale Traponzo.

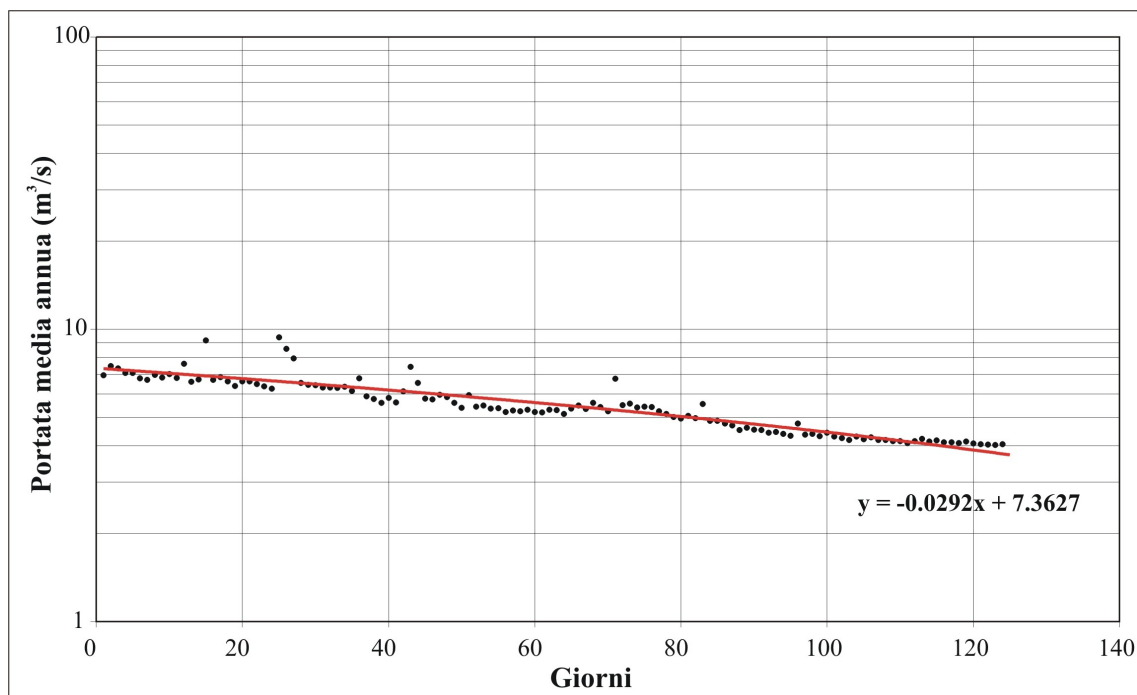


FIGURA 6.10 – Retta rappresentativa della curva di esaurimento profondo alla stazione Centrale Traponzo.

La retta mostrata in FIGURA 6.10 è di equazione:

$$Y = -0.0292 X + 7.3627$$

dove $Y = \log Q$ e $X = t$.

Per risalire all'entità del contributo che le acque sotterranee hanno sulla portata complessiva all'inizio del periodo di esaurimento, si effettua l'estrapolazione della stessa legge di esaurimento profondo, andando a ritroso nel tempo fino alla fine del periodo di ricarica, che si assume corrispondente al picco di portata annuale, all'inizio dell'esaurimento pari a $17.43 \text{ m}^3/\text{s}$ (cfr. FIG. 6.9).

E' proprio in corrispondenza di tale valore, infatti, che la funzione $Q = f(t)$ assume un andamento decrescente, tipico della curva di esaurimento. È necessario quindi determinare il punto C (cfr. FIG. 6.9) che rappresenta la Q_0 nell'equazione esponenziale di MAILLET [6.1].

La correlazione in FIGURA 6.10 viene quindi modificata considerando come tempo sull'ascissa il periodo compreso tra il picco di massima portata (20 Febbraio) e il giorno ultimo che individua la fine dell'idrogramma e, quindi, della curva di esaurimento profondo (5 Agosto). Tale tempo di esaurimento vale nel caso in esame 167 giorni. Il grafico così modificato viene riportato in FIGURA 6.11.

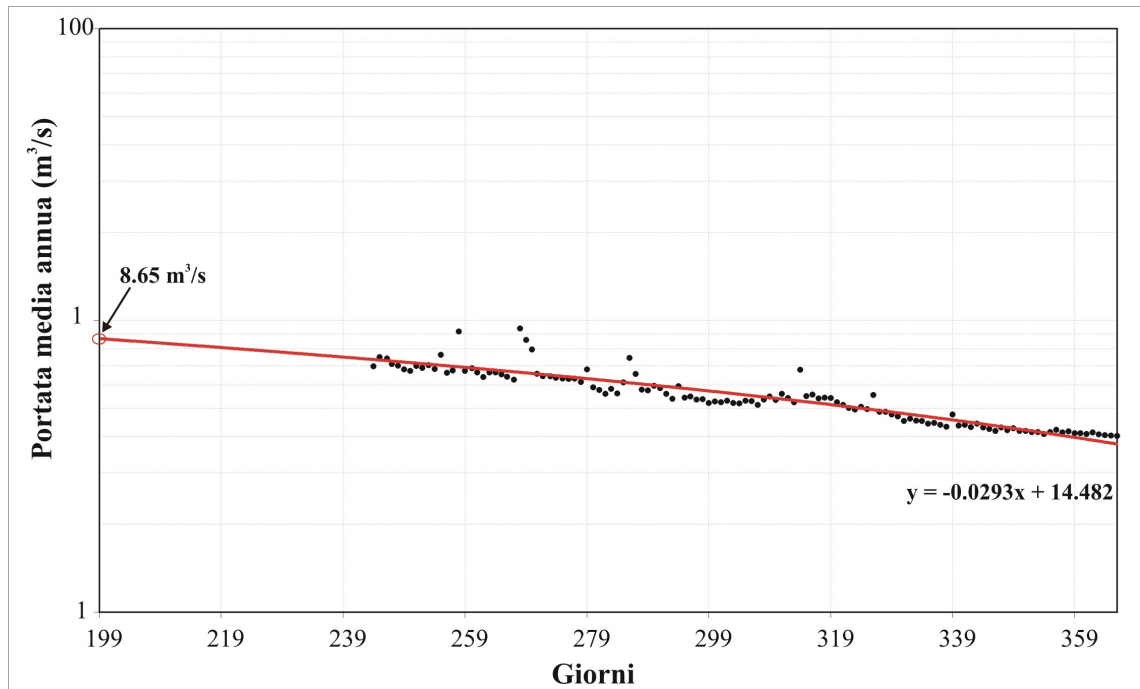


FIGURA 6.11 – Retta rappresentativa della curva di esaurimento profondo modificata.

Da questo nuovo grafico si ricava il punto C (cfr. FIG. 6.9) che rappresenta l'intercetta della retta di correlazione con l'asse del Y ed equivale a $8.65 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando come $Q_t = 3.76 \text{ m}^3/\text{s}$ determinata graficamente e come $t = 167$ giorni si applica la [2] ottenendo il coefficiente di esaurimento (α):

$$\alpha = \frac{(\log 8.65) - (\log 3.76)}{0.43429 \times 167} = 5 \times 10^{-3} \text{ giorni}^{-1}$$

Sono stati quindi calcolati i termini dell'equazione di MAILLET [6.1], relativamente ai due tratti dell'idrogramma separati dal picco di portata: il secondo tratto, rappresentato dalla curva di svuotamento, e il primo tratto, rappresentato dalla curva di riempimento. Questi termini sono necessari per valutare l'entità dei volumi sotterranei defluiti nel periodo di svuotamento (Wd_I) applicando l'equazione [6.5]:

$$Q_0 = 8.65 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_t = 3.76 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$t = 167 \text{ giorni};$$

$$\alpha = 0.005 \text{ giorni}^{-1};$$

$$Wd_I = \frac{(Q_0 - Q_t)}{\alpha} \times 86400 = 84.67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Per il tratto di riempimento (Wd_{II}) è stato calcolato un nuovo valore del coefficiente (α_I), tenendo conto della stessa Q_0 e ponendo $Q_t = 4.05 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente al primo valore di portata dell'anno idrologico, per cui si ha:

$$\alpha_t = \frac{(\log 8.65) - (\log 4.05)}{0.43429 \times 199} = 3.8 \times 10^{-3} \text{ giorni}^{-1}$$

Il volume di acqua sotterranea defluita nel tratto di riempimento è pari a:

$$Q_0 = 8.65 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_t = 4.05 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$t = 199 \text{ giorni};$$

$$\alpha_1 = 0.0038 \text{ giorni}^{-1};$$

$$W_{dII} = \frac{(Q_0 - Q_t)}{\alpha} \times 86400 = 104.59 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

La somma dei volumi sotterranei defluiti nell'anno idrologico medio è pari a:

$$W_{dI} + W_{dII} = 189.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

L'idrogramma del deflusso sotterraneo è rappresentato dalla spezzata, mostrata in FIGURA 6.9, che congiunge il segmento finale del ramo di esaurimento al punto C, e quest'ultimo punto con la portata minima, pari a 4.02 m³/s, che segna l'inizio della curva di ricarica. L'area sottesa da questa retta rappresenta il volume del deflusso di base alla stazione di Centrale Traponzo.

L'area oggetto di studio è stata in precedenza definita (cfr. CAP. 3) come l'area sottesa tra le due stazioni di misura della portata, Ponte Cartiera e Centrale Traponzo. E' stato necessario, quindi, stimare il contributo delle acque sotterranee relativo a tale bacino, valutando il deflusso di base a Centrale Traponzo al netto delle acque defluite a Ponte Cartiera.

Il deflusso totale a Ponte Cartiera è pari a $77.95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$; tale valore è stato sottratto alle acque sotterranee stimate a Centrale Traponzo, che, in base all'equazione di MAILLET, sono pari a $189.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$.

Tale differenza vale $111.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ ed è equivalente alla portata media annua di 3.5 m³/s. Quest'ultimo valore rappresenta la stima delle acque sotterranee medie annue del bacino in esame.

6.1.1.5 REGIMAZIONE ARTIFICIALE DELLE PORTATE

Il deflusso dal lago al fiume Marta è regolato attraverso un'antica costruzione in muratura conosciuta come "*Traversa sul Marta*". L'opera è provvista di bocchette la cui apertura è regolata da paratie in legno che scorrono verticalmente a ghigliottina, fino ad appoggiarsi sulla soglia dell'incile quando vengono totalmente chiuse. Il meccanismo è

manuale e dagli anni '60 fino al 1995 la regolazione artificiale delle portate in ingresso è stata effettuata dall'ENEL per garantire il minimo di portata necessario al funzionamento delle centrali idroelettriche (TAB. 6.4). La traversa è provvista di 5 bocchette larghe 2 metri e, negli ultimi anni, quattro di queste sono permanentemente chiuse, lasciando aperta solo quella centrale, in aggiunta a perdite dovute alla presenza di tavole di legno rotte, aumentando così la sezione di passaggio (Foto 6.1).



Foro 6.1 – Traversa sul fiume Marta.

CENTRALE IDROELETTRICA	CORPO IDRICO	POTENZA NOMINALE (KW)	PORTATA DERIVATA (m ³ /s)
S. Savino I	F. Marta	477.9	2.0
S. Savino II	F. Marta	1141.2	2.1
S. Savino III	F. Marta	687	1.7
La Fioritella	F. Marta	253.4	2.0
Centrale Traponzo	T. Traponzo	568.3	2.0

TABELLA 6.4 – Caratteristiche delle centrali idroelettriche (da AA. VV., 2006).

La portata all'incile dell'emissario è stata in passato calcolata mediante le formule dello stramazzo (BRUNI, 2005).

Si riportano di seguito i grafici in cui la pioggia annua, relativa alla stazione pluviometrica di Marta, viene relazionata al livello del lago (espresso in cm sullo zero idrometrico), all'apertura delle paratoie e alla portata, nel periodo 2000-2005 (BRUNI, 2005; FIG. 6.12).

La massima apertura delle paratoie è stata registrata nel 2001 (80 cm), in occasione di modeste precipitazioni, se confrontate con quelle del 2002 e del 2004, ma; la portata media calcolata è di 2.3 m³/s. Dal 2002 al 2004 l'apertura delle paratoie è stata minima, nonostante le notevoli variazioni del livello del lago in seguito alle abbondanti

precipitazioni (113 cm nel 2004), riducendo la portata media in alveo a $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ nel 2004.

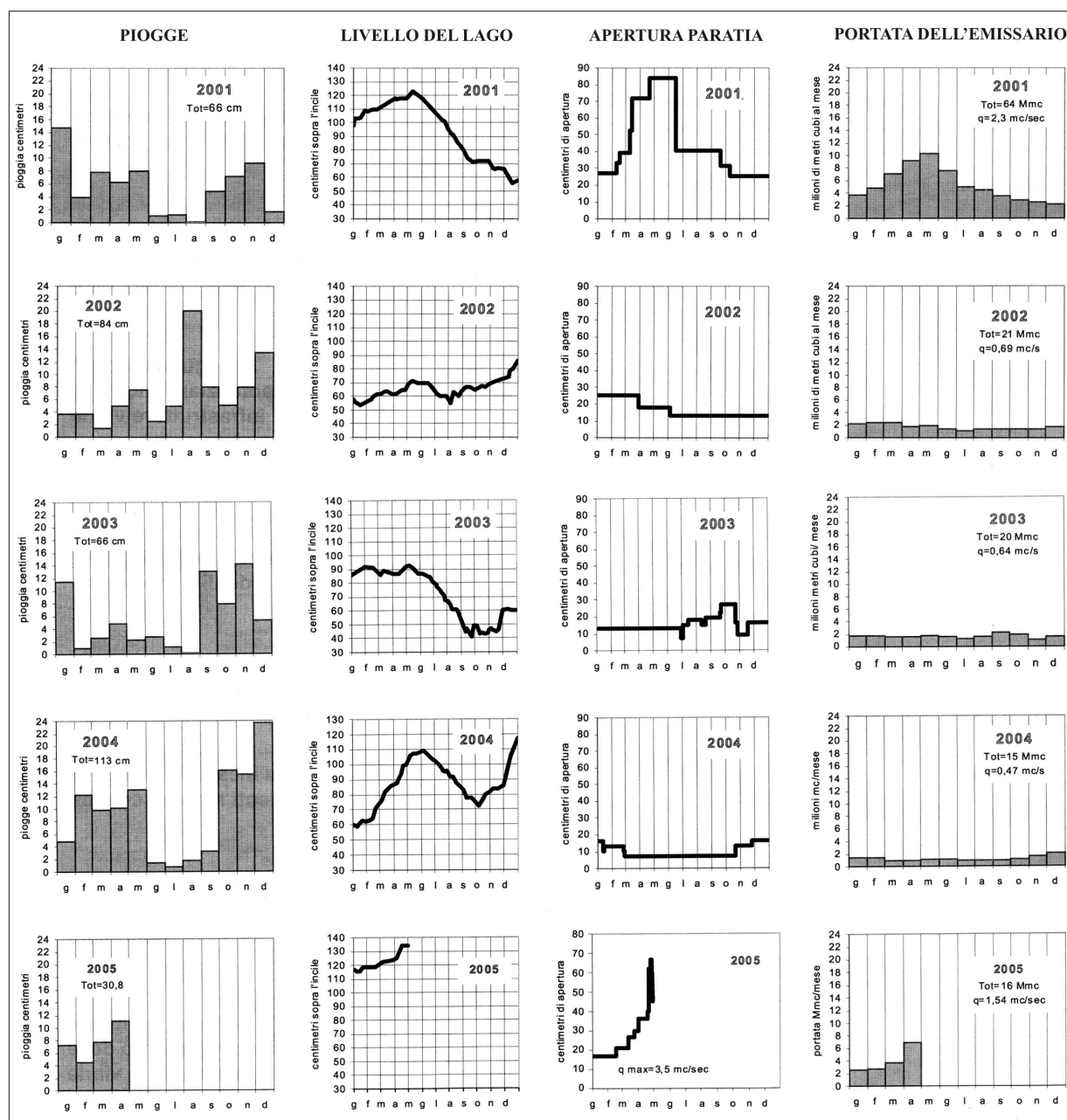


FIGURA 6.12 – Relazione tra aperture delle paratoie e portata dell'emissario (da BRUNI, 2005).

6.1.1.6 DEFINIZIONE DELL'INDICE DI DEFLUSSO DI BASE (B.F.I.)

Le caratteristiche idrogeologiche di un bacino condizionano in modo determinante le portate di un corso d'acqua e pertanto risulta interessante stabilire una relazione quantitativa tra i deflussi di base e tali caratteristiche. Per tale finalità i deflussi di base vengono espressi percentualmente rispetto ai deflussi totali fornendo un indice di deflusso di base, indicato anche come B.F.I. (*Base Flow Index*). Tale indice è adimensionale e rappresenta il rapporto tra il volume del deflusso di base, alimentato dalle acque sotterranee, e il deflusso totale, che include anche i contributi del deflusso superficiale e ipodermico.

Il B.F.I. è definito come il rapporto tra il volume annuo di deflusso di base (W_d) e il deflusso globale (W_g), secondo la relazione:

$$\text{B.F.I.} = 100 \times \frac{W_d}{W_g} \quad [6.6]$$

Il B.F.I. è stato calcolato utilizzando il valore del deflusso di base alla stazione Centrale Traponzo, calcolato precedentemente attraverso l'equazione di MAILLET (cfr. PAR. 6.1.1.5). Il valore di tale indice è pari a:

$$\text{B.F.I.} = 100 \times \frac{189.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}}{235.07 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}} = 80.51$$

Nella Relazione Generale dell'Autorità di Bacino della Regione Lazio (1998), è stato stimato il valore dell'indice del deflusso di base per la stazione Centrale Traponzo; in questo caso, i valori W_d e W_g sono stati ricavati attraverso il metodo proposto da LOVOVITCH (1972) e modificato da CASADEI (1995), che consente, in modo oggettivo ed automatico, di tracciare la curva dei deflussi profondi utilizzando il diagramma annuo delle portate giornaliere. Il valore del B.F.I. relativo alla stazione Centrale Traponzo, secondo l'Autorità di Bacino, è pari a 74.63. Tale valore non si discosta in maniera significativa da quello calcolato sopra (circa 7 %) e può essere utilizzato per un ulteriore confronto riguardo i contributi del deflusso di base alla stazione di Centrale Traponzo.

Il valore del B.F.I. così calcolato, è rappresentativo del rapporto tra i volumi di infiltrazione (I) e di deflusso idrico globale ($I + R$) e relativo all'intero bacino idrografico del fiume Marta, compreso il lago.

E' necessario, tuttavia, calcolare il B.F.I. relativamente all'area oggetto di studio, già definito come il bacino compreso tra le stazioni idrometriche di Ponte Cartiera e Centrale Traponzo (cfr. FIG. 3.2).

In questo caso, si pone:

W_d = acque sotterranee medie del bacino in esame, pari alla differenza tra le acque sotterranee stimate a Centrale Traponzo e il volume globale defluito a Ponte Cartiera (cfr. PAR. 6.1.1.5);

W_g = volume globale medio del bacino in esame, pari alla differenza tra i valori del volume globale calcolati per le stazioni Ponte Cartiera e Centrale Traponzo (cfr. PAR. 6.1.1.5).

Il valore dell'indice così impostato, è pari a:

$$\text{B.F.I.} = 100 \times \frac{111.31 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{anno}}{(235.07 - 77.95) \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{anno}} = 70.8$$

Quest'ultimo valore rappresenta il rapporto $\frac{I}{I + R}$ relativamente al sottobacino individuato, nell'ipotesi di corrispondenza tra bacino superficiale e sotterraneo e di assenza di altri recapiti.

6.2 MISURE STORICHE DI PORTATA DEL FIUME MIGNONE

I dati idrometrici necessari per lo studio del bacino del fiume Mignone sono stati di nuovo acquisiti dagli Annali Idrologici (Parte II) dell'ex S.I.M.N.

Le misure di portata raccolte consistono in dati giornalieri, archiviati in ambiente MS Access e successivamente importati in Excel per le elaborazioni necessarie, procedendo come per il fiume Marta (cfr. PAR. 6.1). La serie storica acquisita fa riferimento solo ad una stazione di misura sull'asta principale del fiume Mignone, ubicata nei pressi dell'abitato di Rota, a valle della confluenza con il fosso Verginese (cfr. FIG. 3.4). Gli anni di osservazione coperti dalle misure sono 11, da gennaio 1964 a dicembre del 1974.

6.2.1 STUDIO DEL REGIME FLUVIALE

Lo studio del regime fluviale ha tenuto conto solo dei dati a disposizione relativi quindi al periodo 1964-1974, calcolando così la portata media annuale (cfr. PAR. 6.2.1.1), analizzando le variazioni stagionali medie della portata attraverso medie mensili (cfr. PAR. 6.2.1.2) e la curva di durata delle portate (cfr. PAR. 6.2.1.3).

6.2.1.1 PORTATE MEDIE ANNUE

Dai dati giornalieri sono state calcolate le portate medie mensili e da queste la portata media di ogni anno di osservazione (cfr. FIG. 6.13), riportando i risultati nella TABELLA 6.5.

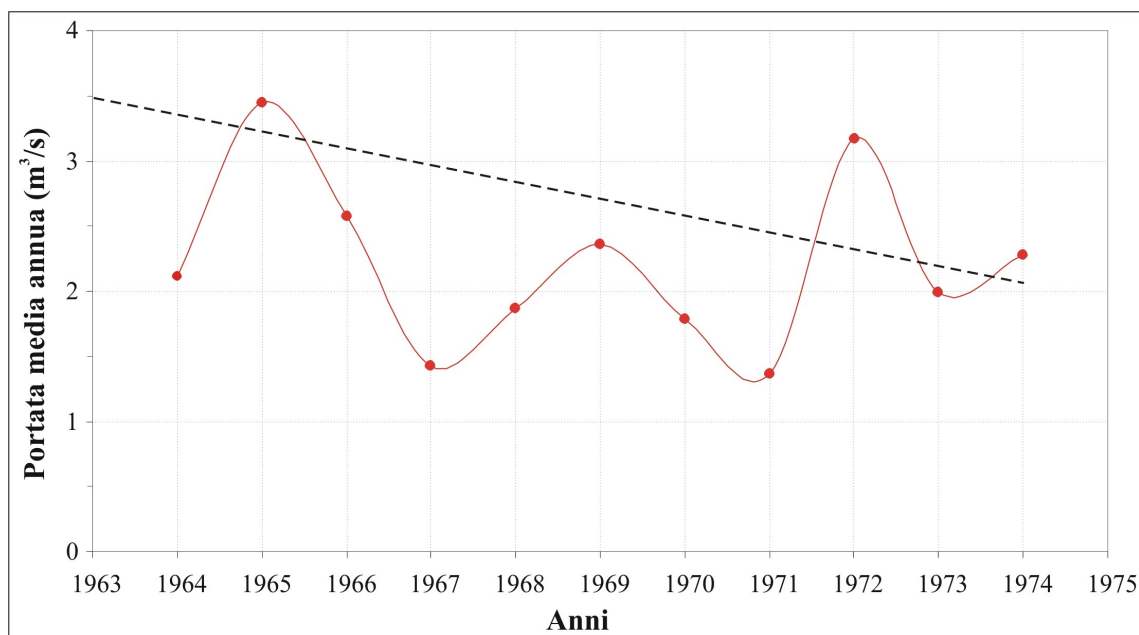


FIGURA 6.13 – Serie delle portate medie annue a Rota.

Il modulo annuale risulta pari a $2.30 \text{ m}^3/\text{s}$. Analizzando il grafico si nota un andamento delle portate medie annue irregolare, con portate maggiori registrate negli anni 1965 e 1972.

ANNO	Q (m³/s)	ANNO	Q (m³/s)
1964	2.12	1970	1.79
1965	3.45	1971	1.36
1966	2.58	1972	3.17
1967	1.42	1973	1.98
1968	1.86	1974	2.28
1969	2.36	-	-

TABELLA 6.5 – Portate medie annue a Rota.

6.2.1.2 PORTATE MEDIE MENSILI

Per analizzare le variazioni stagionali di portata del fiume Mignone sono state esaminate le portate medie mensili, calcolate considerando la media aritmetica delle portate mensili di ciascun anno per l'intero periodo di osservazione (TAB. 6.6).

L' idrogramma medio mensile relativo alla stazione di Rota è mostrato in FIGURA 6.14.

MESE	Q (m ³ /s)	MESE	Q (m ³ /s)
Gennaio	3.38	Luglio	0.42
Febbraio	5.39	Agosto	0.39
Marzo	5.44	Settembre	1.12
Aprile	4.20	Ottobre	0.92
Maggio	3.61	Novembre	1.31
Giugno	0.68	Dicembre	0.69

TABELLA 6.6 – Portate medie mensile annue a Rota.

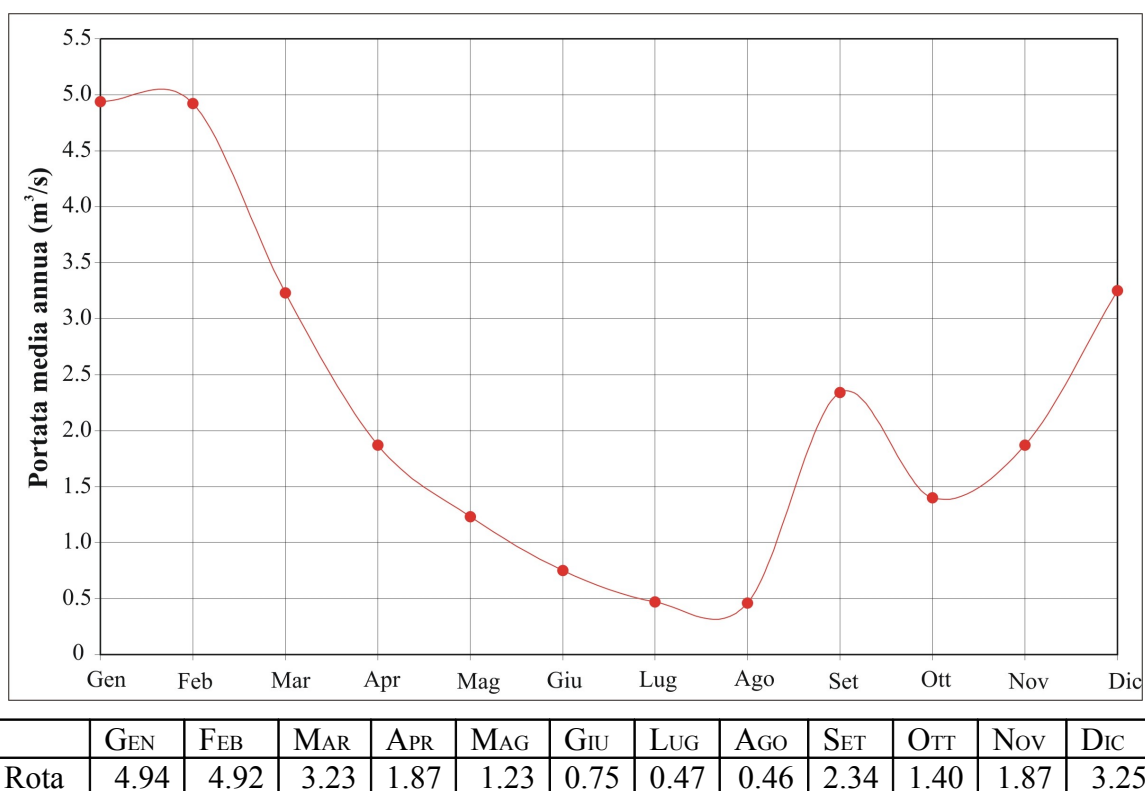


FIGURA 6.14 – Idrogramma medio mensile a Rota.

Dalla serie dei valori mensili registrati a Rota, si nota una variazione stagionale della portata, con valori massimi registrati nei mesi di Febbraio e Marzo e valori minimi nei mesi di Luglio e Agosto, regime questo tipico dei torrenti del versante tirrenico.

Il regime fluviale del Mignone è stato confrontato con le precipitazioni della stazione meteorologica di Rota, al fine di valutare la relazione afflussi-deflussi. Nella FIGURA 6.15

si riporta la relazione tra i valori medi mensili di portata del Mignone e le precipitazioni medie mensili a Rota, nel periodo compreso tra il 1964 e il 1974, coincidente con gli anni delle misure di portata.

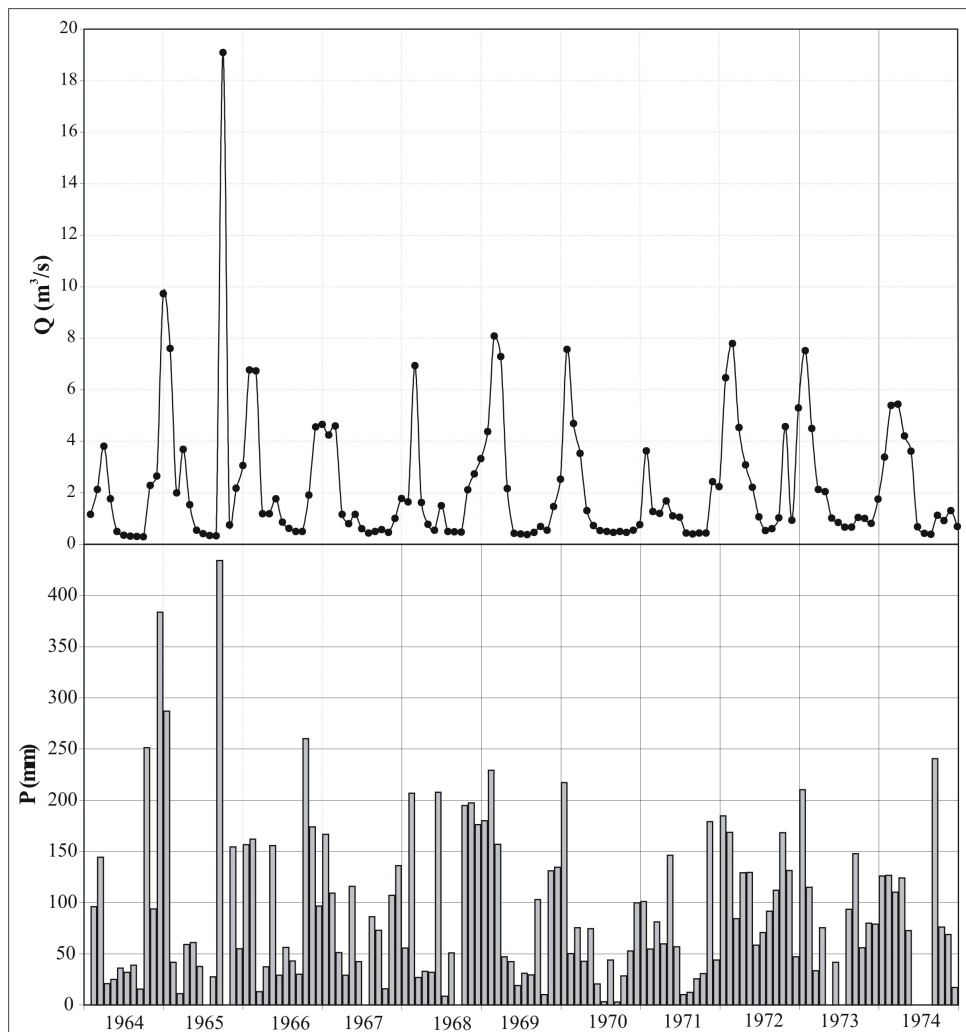


FIGURA 6.15 – Confronto tra portate osservate e precipitazioni alla stazione di Rota.

Le portate medie mensili osservate a Rota mostrano un andamento nettamente influenzato dalle precipitazioni, facendo registrare i picchi di altezza idrometrica massima in corrispondenza delle maggiori apporti meteorologici. Ciò conferma le ridotte capacità di infiltrazione dei terreni del bacino rispetto a quelli del Marta, come risulta dalle caratterizzazione idrogeologica dei litotipi affioranti (cfr. CAP. 4).

6.2.1.3 CURVA DI DURATA DELLE PORTATE

Utilizzando i valori medi giornalieri di portata, relativi alla stazione di Rota, è stata ricostruita la curva di durata nel periodo di osservazione.

Tale curva è riportata nel grafico semilogaritmico di FIGURA 6.16.

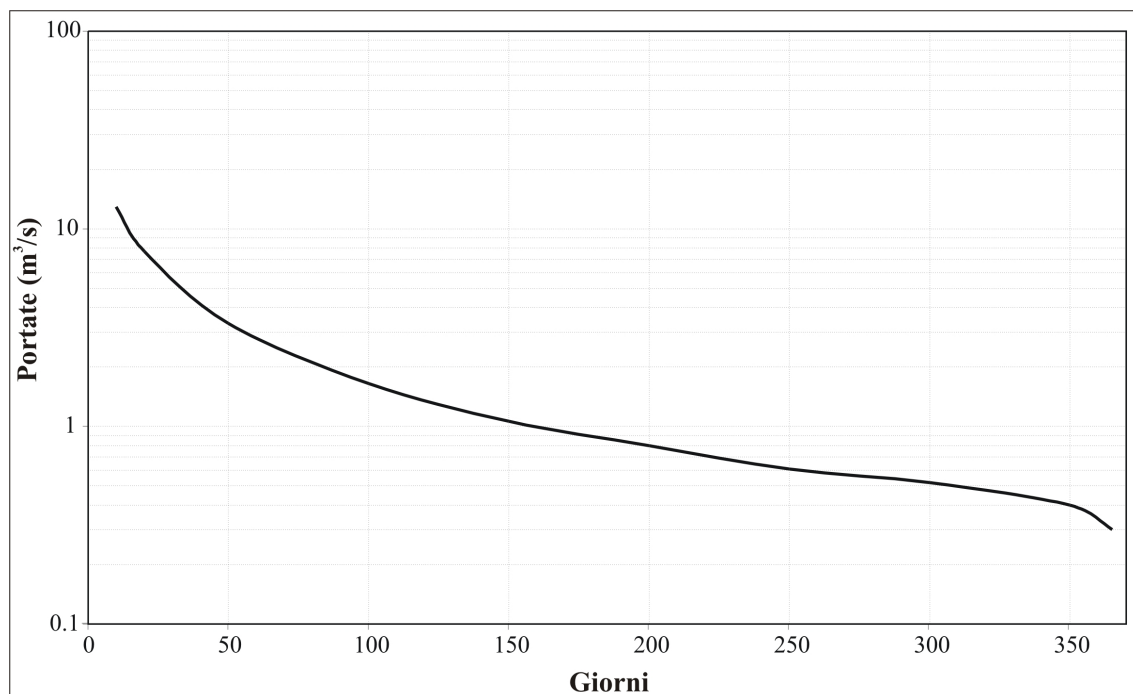


FIGURA 6.16 – Curva di durata delle portate per la stazione di Ponte Cartiera.

A seguito delle elaborazioni effettuate, si riportano nella seguente TABELLA 6.7 le portate corrispondenti ad alcune durate caratteristiche.

	DURATA (giorni)	ROTA (m³/s)
Portata caratteristica massima	10	12.90
Portata di piena ordinaria	91	1.92
Portata caratteristica media	182	0.90
Portata di magra ordinaria	274	0.58
Portata caratteristica di magra	355	0.35

TABELLA 6.7 – Portate di assegnata durata per il fiume Marta, osservate alle stazioni di Ponte Cartiera e Centrale Traponzo. L'asterisco evidenzia i valori di durata delle portate riportati negli Annali Idrologici.

Per la stima del deflusso minimo vitale è importante considerare la Q_{355} risultata di 0.35 m³/s.

6.2.1.4 ANALISI E SCOMPOSIZIONE DELL'IDROGRAMMA FLUVIALE

L'idrogramma fluviale medio giornaliero del fiume Mignone è stato ricostruito utilizzando le portate medie giornaliere degli anni 1964-1974 registrate a Rota, allo scopo di individuare il deflusso di base relativo solo alla porzione di bacino sotteso dalla stazione idrometrica di Rota, di circa 223 km² (FIG. 6.17).

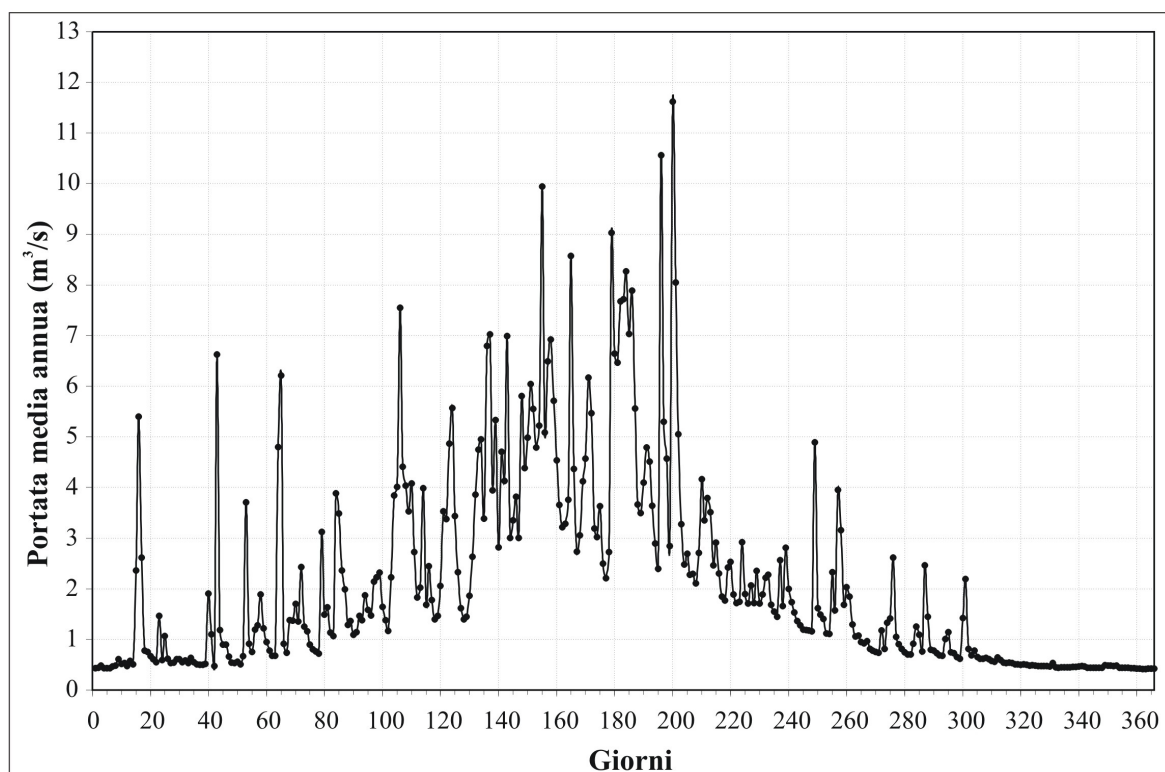


FIGURA 6.17 – Idrogramma fluviale medio della stazione a Rota.

L'idrogramma fluviale medio del fiume Mignone è relativo all'anno idrologico corrispondente al periodo compreso tra il minimo del 18 Agosto, con una portata registrata pari a 0.43 m³/s, ed il minimo del 17 Agosto, con una portata di 0.42 m³/s.

Il deflusso globale a Rota calcolato dall'idrogramma risulta pari a 70.6×10^6 m³.

La curva del deflusso medio annuo è stata suddivisa nelle due parti che la costituiscono, in seguito all'individuazione del picco di massima piena annuale, che corrisponde alla portata di 9.95 m³/s registrata il 19 Gennaio.

Il tratto iniziale dell'idrogramma, la curva di riempimento si estende dal 18 Agosto fino al picco del 4 19 Gennaio (FIG. 6.18).

Il tratto finale, la curva di svuotamento, è stata suddivisa nella curva di svuotamento superficiale, fino al 18 Aprile, e nella curva di svuotamento profondo dal 18 Aprile fino al 17 Agosto.

Per l'analisi e la scomposizione dell'idrogramma del Mignone, sono stati di nuovo utilizzati il modello esponenziale di MAILLET (1905) e il metodo di BARNES (1939).

È stato isolato dall'idrogramma e riportato su un grafico $Q-t$ in scala semilogaritmica il ramo di esaurimento profondo, che va dal giorno 18 Aprile (portata di $1.19 \text{ m}^3/\text{s}$), al 17 Agosto (portata pari a $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$). La serie considerata risponde all'equazione di MAILLET, come è mostrato in FIGURA 6.19, dove i dati sono interpolati con una correlazione soddisfacente ($r^2 = 0.86$).

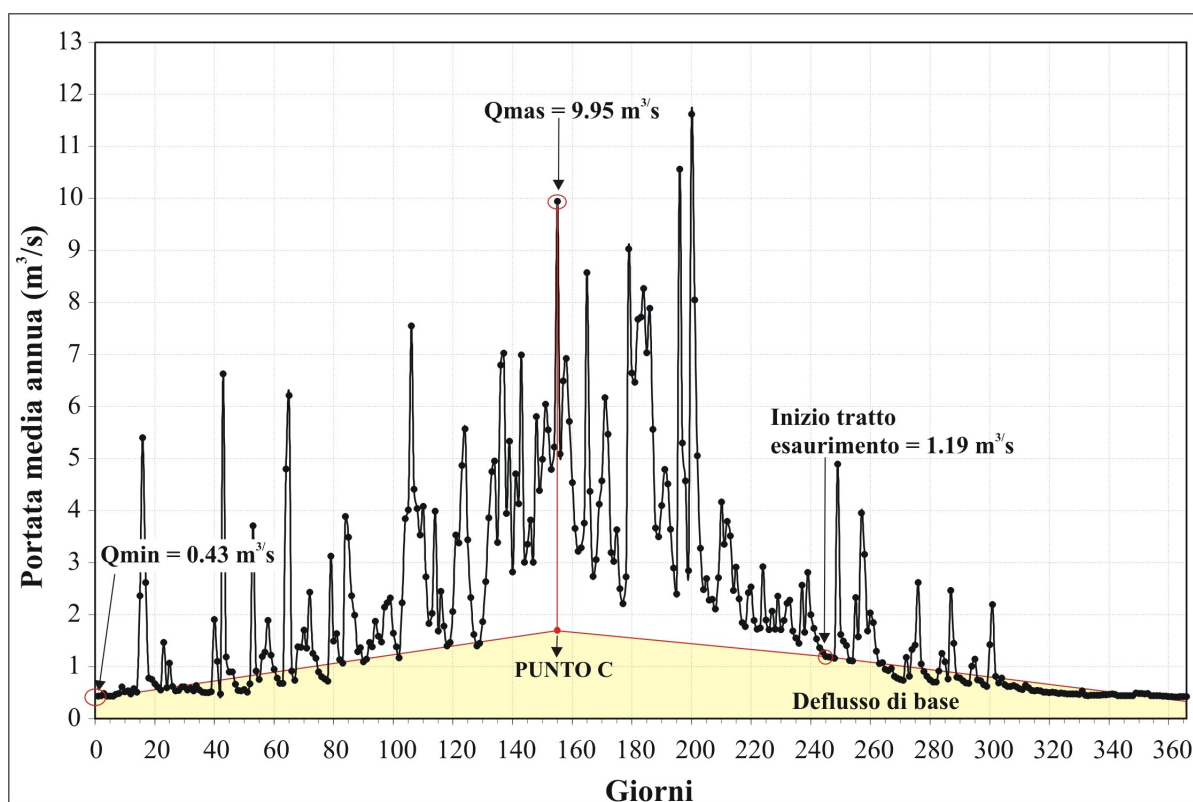


FIGURA 6.18 – Scomposizione dell'idrogramma fluviale medio della stazione di Rota.

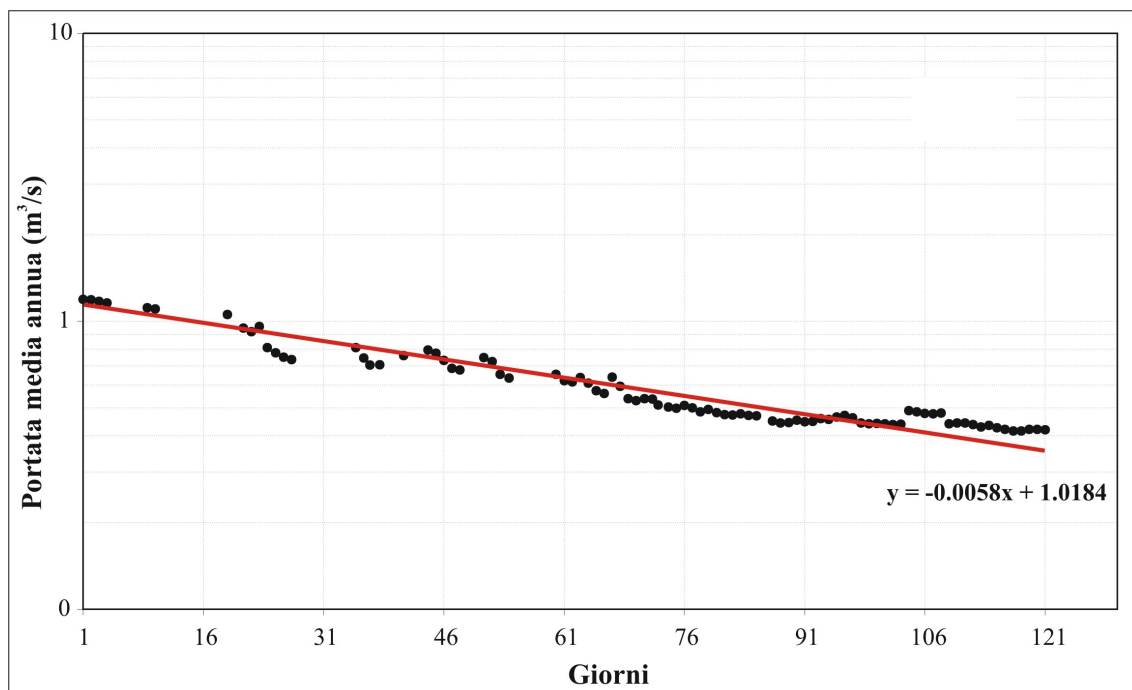


FIGURA 6.19 – Retta rappresentativa della curva di esaurimento profondo alla stazione di Rota.

La retta mostrata in FIG. 6.19 è di equazione:

$$Y = -0.0058 X + 1.0184$$

dove $Y = \log Q$ e $X = t$.

Allo scopo di valutare l'entità del contributo delle acque sotterranee dall'inizio del periodo di esaurimento, si è considerato il tempo compreso tra la fine della ricarica (19 Gennaio) fino alla fine della curva di esaurimento profondo.

Il grafico in FIGURA 6.19 viene modificato assumendo come tempo sull'asse delle X i giorni che vanno dal 19 Gennaio al 17 Agosto, per un totale di 211 giorni (FIG. 6.20).

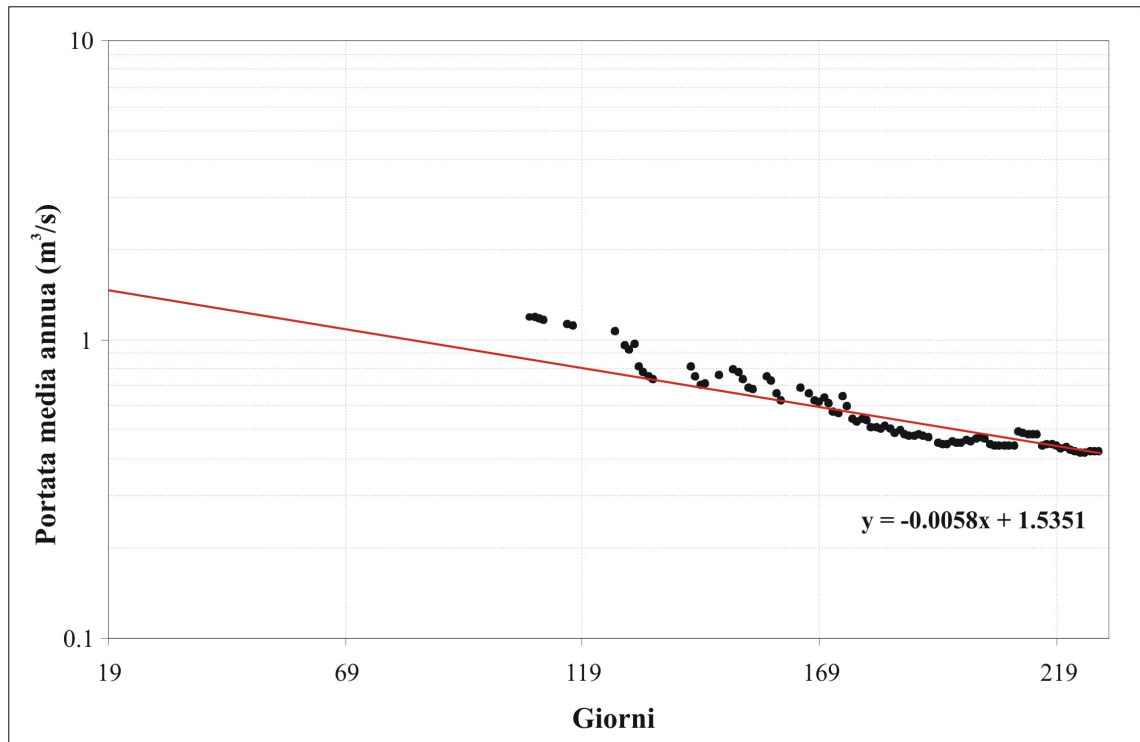


FIGURA 6.20 – Retta rappresentativa della curva di esaurimento profondo modificata.

Da questo nuovo grafico si ricava il punto C (cfr. FIG. 6.18) che rappresenta l'intercetta della retta di correlazione con l'asse del Y ed equivale a $1.53 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando come $Q_t = 0.31 \text{ m}^3/\text{s}$ e come $t = 211$ giorni è stata applicata la [6.2] ottenendo il coefficiente di esaurimento (α):

$$\alpha = \frac{(\log 1.53) - (\log 0.31)}{0.43429 \times 211} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ giorni}^{-1}$$

Sono stati quindi calcolati i termini dell'equazione di MAILLET [6.1] necessari per valutare l'entità dei volumi sotterranei defluiti nel tratto di svuotamento (W_{dI}) applicando l'equazione [6.5]:

$$Q_0 = 1.53 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_t = 0.31 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$t = 211 \text{ giorni};$$

$$\alpha = 0.0075 \text{ giorni}^{-1};$$

$$W_{dI} = \frac{(Q_0 - Q_t)}{\alpha} \times 86400 = 14.10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

Per il tratto di riempimento (W_{dII}) è stato calcolato un nuovo valore del coefficiente (α_I), tenendo conto della stessa Q_0 e ponendo $Q_t = 0.43 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente al primo valore di portata dell'anno idrologico in un tempo di 155 giorni, per cui si ha:

$$\alpha_t = \frac{(\log 1.53) - (\log 0.43)}{0.43429 \times 155} = 8.2 \times 10^{-3} \text{ giorni}^{-1}$$

Il volume di acqua sotterranea defluita nel tratto di riempimento è pari a:

$$Q_0 = 1.53 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_t = 0.43 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$t = 155 \text{ giorni};$$

$$\alpha_t = 0.0066 \text{ giorni}^{-1};$$

$$Wd_{II} = \frac{(Q_0 - Q_t)}{\alpha} \times 86400 = 11.64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

La somma dei volumi sotterranei defluiti nell'anno idrologico medio è pari a:

$$Wd_I + Wd_{II} = 25.74 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

L'idrogramma del deflusso sotterraneo è quindi rappresentato dalla spezzata, mostrata in FIGURA 6.17, che congiunge il segmento finale del ramo di esaurimento al punto C, e quest'ultimo punto con la portata minima, pari a $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$, che segna l'inizio della curva di ricarica. L'area sottesa da questa retta rappresenta il volume del deflusso di base alla stazione di Rota.

Conoscendo poi il volume globale risultato essere di 70.56 m^3 è stato stimato anche il contributo delle acque superficiali, pari a 44.82 m^3 .

6.2.1.5 DEFINIZIONE DELL'INDICE DI DEFLUSSO DI BASE (B.F.I.)

L'Indice di Deflusso di base del fiume Mignone relativo alla stazione di Rota è stato calcolato applicando l'equazione [6.7].

Considerando il deflusso di base risultato di 22.21 m^3 e il deflusso globale pari a 70.56 m^3 si trova che:

$$B.F.I. = 100 \times \frac{25.74 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}}{70.56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}} = 36.47$$

Nella Relazione Generale dell'Autorità di Bacino della Regione Lazio (1998), è stato stimato anche il valore dell'indice del deflusso di base per la stazione Rota, applicando, anche in questo caso, il metodo proposto da LOVOVITCH (1972) e modificato da CASADEI (1995). Il valore del B.F.I così trovato secondo l'Autorità di Bacino è pari a 44.40. Tale valore si differenzia da quello calcolato poco più del 20 %, forse da imputare a metodologie di calcolo diverse. In ogni caso il ridotto valore di B.F.I. è coerente con i litotipi affioranti nell'area di studio.

6.3 PORTATE “NATURALI” DI MAGRA DEL FIUME MARTA E MIGNONE

L’Autorità di Bacino della Regione Lazio, nella Relazione Generale sulle “Disponibilità idriche superficiali e minimi vitali” (AA. VV., 1998) riporta uno studio dettagliato sui deflussi naturali di magra per il fiume Marta e Mignone.

Tra le variabili che meglio caratterizzano i principali aspetti delle portate di magra, è stata considerata la distribuzione di probabilità dei minimi annuali delle portate medie di 7 giorni (Q_7).

La procedura e i risultati proposti vengono di seguito illustrati e considerati successivamente nella determinazione del deflusso minimo vitale (cfr. CAP. 10), essendo questa variabile essenziale per l’applicazione di alcuni metodi idrologici per il calcolo della portata minima vitale.

Le portate “naturali” di magra sono state studiate facendo riferimento alle due stazioni strumentate di Ponte Cartiera e Centrale Traponzo per i Marta, e di Rota per il Mignone. Sono stati utilizzati i dati disponibili di portata storiche pubblicate sugli Annali Idrologici (cfr. PAR. 6.1).

La minima portata media annua di ciascun anno è stata ricavata come minimo valore delle medie mobili di ordine 7 delle portate giornaliere Q_i :

$$Q_7 = \min_i \left(\frac{1}{7} \sum_{i-3}^{i+3} Q_i \right) \quad \text{con } i = 4, 5 \dots 361 \quad [6.7]$$

I minimi annuali delle portate medie di 7 giorni sono state regolarizzate con la legge asintotica del minimo valore tipo III (GUMBEL, 1958), secondo cui la probabilità che la variabile X superi il suo generico valore x si esprime:

$$\text{prob}(Q_7 \leq x) = 1 - P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\varepsilon-x_0}\right)^{\frac{1}{\lambda}}} \quad [6.8]$$

definita per $x \geq x_0$, dove x è il minimo annuale della portata media di 7 giorni e x_0 , incognito, è il limite inferiore di questa grandezza.

I parametri x_0 , ε e λ sono stati stimati per mezzo delle relazioni proposte da MAIONE e MOISELLO (1981) e riportati in TABELLA 6.8.

STAZIONE	$\varepsilon(\text{m}^3/\text{s})$	$x_0(\text{m}^3/\text{s})$	λ
FIUME MARTA			
Ponte Cartiera	1.494	0.203	0.432
Centrale Traponzo	3.920	0.743	0.278
FIUME MIGNONE			
Rota	0.507	0.009	0.163

TABELLA 6.8 – Parametri delle distribuzioni di probabilità delle Q_7 (da Autorità di Bacino, AA. VV., 1998).

Il tempo di ritorno $T(x)$, inteso come tempo medio di non superamento del valore x , è dato dalla relazione:

$$T(x) = \frac{1}{P(x)} \quad [6.9]$$

Sono state calcolate le portate corrispondenti ai vari tempi di ritorno T , ($Q_{7/T}$). In particolare nella TABELLA 6.9 sono riportati i valori di $Q_{7,T}$ per i tempi di ritorno di 2, 5, 10 e 20 anni.

STAZIONE	T (anni)			
	2	5	10	20
FIUME MARTA				
Ponte Cartiera	1.305	0.878	0.691	0.561
Centrale Traponzo	3.609	2.827	2.430	2.121
FIUME MIGNONE				
Rota	0.481	0.393	0.348	0.313

TABELLA 6.9 – Valori calcolati delle $Q_{7/T}$ in m^3/s per diversi tempi di ritorno T (da Autorità di Bacino, AA. VV., 1998).

I valori di $Q_{7,10}$ sono stati considerati dall’Autorità di Bacino e dalla scrivente per la stima del deflusso minimo vitale (cfr. PARR. 10.1 e 10.2).

6.4 MISURE DELLE PORTATE FLUVIALI

Allo scopo di approfondire le conoscenze sull’andamento dei deflussi idrici nei bacini, relativamente anche a sezioni non strumentate, sono state eseguite delle campagne di misura delle portate fluviali, in alcune sezioni di interesse, sia per il fiume Marta che per il Mignone (cfr. PARR. 6.3.1 e 6.3.2).

In entrambi i casi le misure sono state effettuate con un mulinello idrometrico S.I.A.P.

mod. ME-4001 (FOTO 6.2), innestato su aste graduate ogni 5 cm. Tale strumento è costituito da un'elica di 25 cm di passo e 12 cm di diametro e misura le velocità di flusso fino ad un massimo di 10 m/s con una sensibilità di 0.05 m/s. Le rotazioni effettuate dall'elica, in seguito alla corrente fluviale, vengono acquisite tramite un contatore S.I.A.P. mod. CE-6015 che, in base al tempo di misura, restituisce un valore medio di velocità del flusso nel punto considerato.



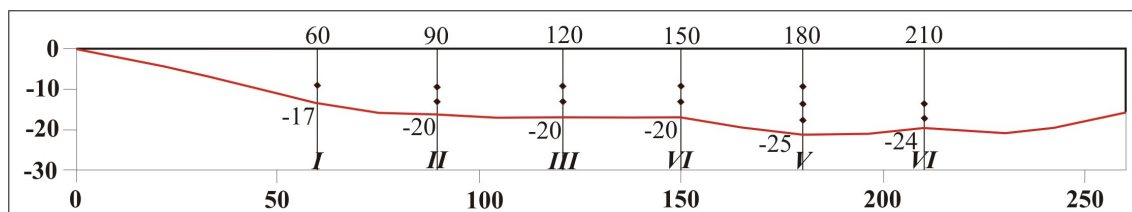
Foto 6.2 – Mulinello idrometrico S.I.A.P. ME-4001 e contatore CE-6015 utilizzati per le misure di portata.

Il mulinello idrometrico ha permesso la misura delle velocità puntuali lungo le sezioni prescelte ottenendo per ogni sezione il relativo valore di portata.

La sezione è stata ricostruita misurando la larghezza a partire da un punto fisso posto su una delle due sponde del corso d'acqua. In seguito si è misurato la profondità dell'acqua in corrispondenza di un opportuno numero di verticali poste a distanza nota e si è posizionato il mulinello lungo la verticale a profondità diverse.

I punti di misura lungo la verticale sono stati eseguiti ogni 10-15 cm, in relazione all'altezza dell'acqua, e le misure lungo la sezione ogni 30-50 cm, in relazione alla lunghezza massima della sezione (FIG. 6.21).

Il mulinello è stato posizionato parallelo alla corrente con l'elica diretta verso la direzione di flusso (FOTO 6.3).



VERTICALE	X	Y ₁	Y ₂	Z
Inizio sezione	0	0	0	0
I	60	17	-17	0
	60	10	-7	0.1208
II	90	20	-20	0
	90	15	-5	0.3
	90	10	-10	0.1708
III	120	20	-20	0
	120	15	-5	0.25
	120	10	-10	0.1791
VI	150	20	-20	0
	150	15	-5	0.2375
	150	10	-10	0.2041
V	180	25	-25	0
	180	20	-5	0.1458
	180	15	-10	0.1333
	180	10	-15	0.1458
VI	210	24	-24	0
	210	20	-4	0.1375
	210	15	-9	0.0958
Fine sezione	260	20	-20	0

FIGURA 6.21 – Punti di misura considerati per la sezione G (X = distanza in cm dalla sponda destra; Y₁ = altezza dei punti di misura in cm e in grassetto altezza massima del pelo dell'acqua; Y₂ = correzione dei dati per l'applicazione del programma Surfer®; Z = velocità della corrente in m/s).



Foro 6.3 – Uso del mulinello.

La velocità della corrente è stata rilevata dal contatore collegato al mulinello idrometrico, che ha misurato il numero di giri compiuti dall'elica, in un dato intervallo

di tempo, stabilito pari a 60 secondi. Si è ottenuto così un valore di velocità per ogni punto di misura individuato lungo la verticale della sezione; questi dati sono stati organizzati in tabelle Excel ed utilizzate per l'elaborazione attraverso l'ausilio del programma Surfer®.

L'automatizzazione dei dati ha permesso di ricostruire la sezione del corso d'acqua e di tracciare al suo interno le curve di uguale velocità della corrente fluviale (FIG. 6.22).

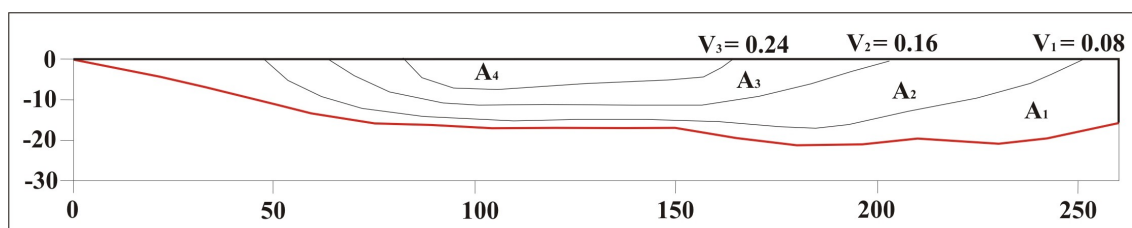


FIGURA 6.22 – Ricostruzione delle curve di uguale velocità per la sezione G₁.

In seguito sono state calcolate l'area compresa tra le curve ad uguale velocità utilizzando il programma G.I.S. AutoCad-Map-GDL 2000, la velocità media tra le curve e, quindi, il valore finale della portata secondo la seguente relazione:

$$Q = \left(\frac{(V_2 + V_1)}{2} \times A_1 \right) + \left(\frac{(V_3 + V_2)}{2} \times A_2 \right) + \left(\frac{(V_n + V_m)}{2} \times A_i \right) \quad [6.11]$$

dove Q è la portata, V₁, V₂ ... V_m sono le velocità delle curve e A₁, A₂ ... A_i sono le aree comprese tra le curve di uguale velocità.

Nella TABELLA 6.10 è riportato a titolo di esempio il calcolo della portata della sezione G₁.

	AREA (m ²)	V _m (m/s)	A*V _m
A ₁	0.16803754	0.04	0.006721502
A ₂	0.13343646	0.12	0.016012375
A ₃	0.06539115	0.20	0.013078231
A ₄	0.04710704	0.28	0.013189971
AREA TOTALE	0.41397219	Q	0.0490 m³/s

TABELLA 6.10 – Calcolo della portata.

6.4.1 MISURA DELLA PORTATA DEL FIUME MARTA

Le sezioni di misura della portata per il fiume Marta sono relative sia all'asta principale che ai suoi principali affluenti; esse sono state opportunamente scelte sulla base dell'articolazione della rete idrografica, considerando anche l'incidenza antropica sul regime fluviale (FIGG. 6.23 (a), (b) e (c)). Infatti, per quanto riguarda l'asta fluviale principale, le misure della portata hanno riguardato, in particolare, le opere di presa e derivazione delle acque, dovute alle cinque centrali idroelettriche dislocate lungo il corso del fiume, e i relativi tratti depauperati, dove la portata naturale del fiume è alterata dai suddetti prelievi.

Le tre campagne di misura sono state effettuate nel Maggio 2004, Marzo 2005 e Maggio 2005. Le informazioni principali raccolte in campo per le sezioni analizzate per ciascuna campagna di misura riguardano:

- lettera identificativa della sezione;
- tratto esaminato corrispondente o al nome dell'asta fluviale o del canale di derivazione e ubicazione della sezione;
- ampiezza della sezione in m;
- profondità massima dell'acqua in cm;
- area della sezione in m^2 ;
- velocità media della sezione in m/s;
- valore di portata in l/s.

Di seguito è riportato un sintetico commento dei risultati ottenuti.

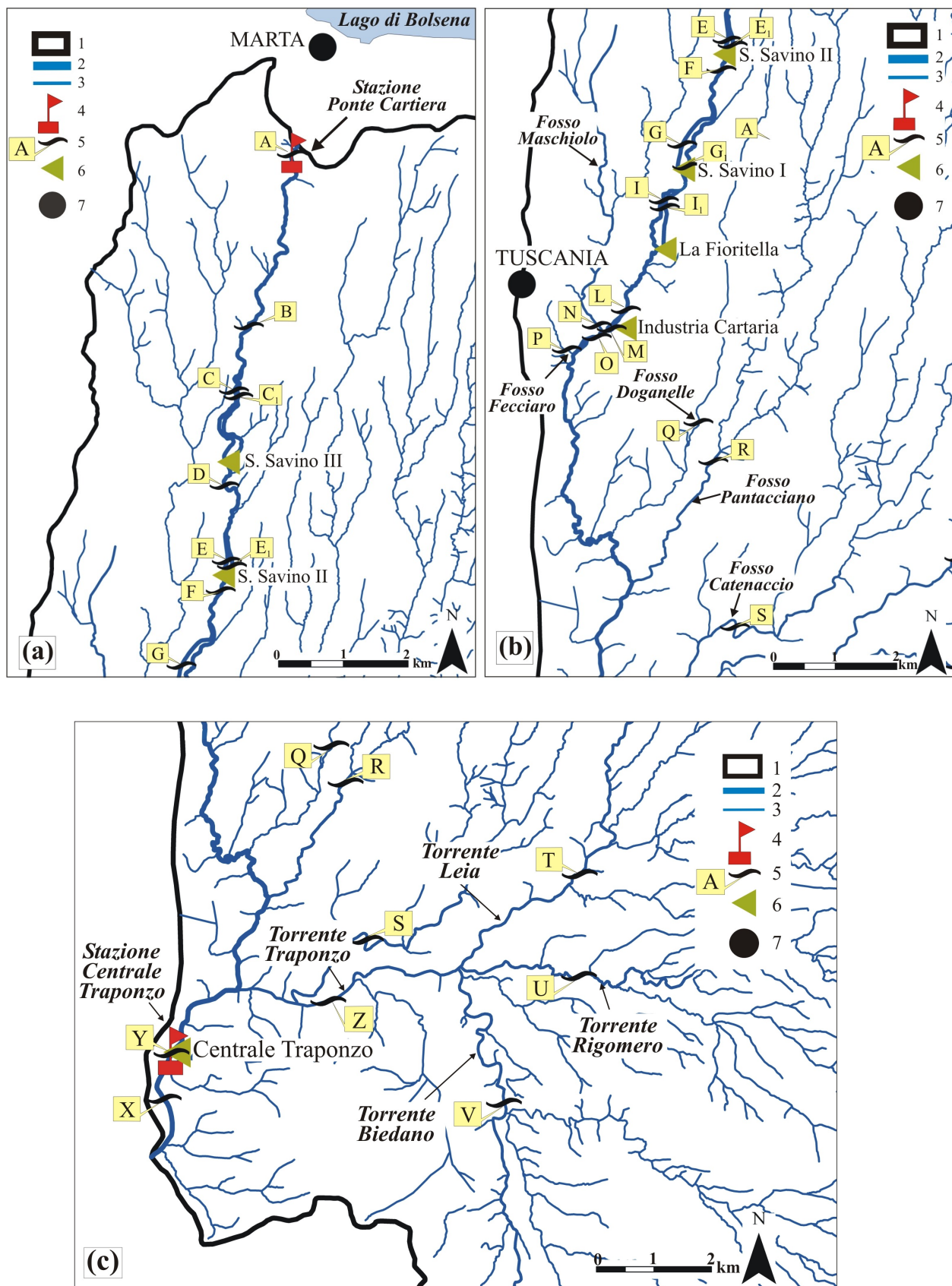


FIGURA 6.23 – Ubicazioni delle stazioni di misura della portata nella porzione di bacino a nord (a), in corrispondenza (b) e a sud della città di Tuscania (c) (1: area di studio; 2: fiume Marta; 3: reticolo idrografico; 4: stazioni idrometrografiche; 5: sezioni di misura della portata e relativa sigla; 6: impatti antropici; 7: centri urbani).

- ***I CAMPAGNA DI MISURE (MAGGIO 2004)***

La prima campagna di misure della portata, i cui risultati sono riassunti in TABELLA 6.11, è stata effettuata nell'anno 2004, nei giorni compresi tra il 7 Maggio e il 2 Giugno. Il fiume, nel periodo delle misure, era caratterizzato da un regime di magra, in relazione all'assenza di precipitazioni significative nei quindici giorni precedenti i rilievi.

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m ²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m ³ /s)
A	Fiume Marta a Ponte Cartiera	4.30	0.56	1.77	0.33	0.33
A*	Fiume Marta a Ponte Cartiera	3.60	0.44	1.35	0.69	0.76
B	Fiume Marta a monte di S. Savino III	4.35	0.36	1.09	0.32	0.37
C	Canale S. Savino III	3.50	0.41	1.43	0.29	0.30
C₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino III					0.008 (stima)
D	Fiume Marta a valle di S. Savino III	4.10	0.55	1.56	0.29	0.31
E	Canale S. Savino II	2.80	1.01	2.83	0.17	0.33
E₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino II	---	---	---	---	0.012 (stima)
F	Fiume Marta a valle di S. Savino II	6.20	0.44	1.98	0.31	0.34
G	Canale S. Savino I	---	---	---	---	0.29 (stima)
G₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino I	2.60	0.26	0.41	0.18	0.05
I	Canale Fioritella	---	---	---	---	0.30 (stima)
I₁	Fiume Marta depauperato di Fioritella	---	---	---	---	0.010-0.015 (stima)
L	Fiume Marta a valle di Fioritella	4.30	0.53	1.87	0.23	0.32

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m ²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m ³ /s)
M	Fiume Marta depauperato della cartiera	2.60	0.25	0.41	0.23	0.072
N	Torrente Maschiolo	3.80	0.26	0.74	0.45	0.23
O	Fiume Marta a valle della Cartiera	6.40	0.33	1.74	0.46	0.64
P	Torrente Fecciaro (depuratore)	2.35	0.26	0.50	0.12	0.034
Q	Torrente Doganelle	---	---	---	---	0.02 (stima)
R	Torrenti Pantacciano e Cadutella	4.20	0.15	0.45	0.20	0.053
S	Torrente Catenaccio	2.80	0.32	0.42	0.50	0.125
Z	Torrente Traponzo	5.60	0.50	1.99	0.19	0.30
Y	Fiume Marta a monte di Centrale Traponzo	10.20	0.76	5.67	0.29	1.173
X	Fiume Marta a valle di Centrale Traponzo	9.00	0.96	7.45	0.40	2.13

TABELLA 6.11 – Tabella riassuntiva dei risultati relativi alla prima campagna di misure della portata.

La stazione A coincide con la stazione idrometrica di misura della portata a Ponte Cartiera, situata a circa 2 km dall'abitato di Marta; la portata misurata in tale sezione, durante la prima campagna di misure, è stata di circa 0.33 m³/s. La misura relativa alla stessa sezione, contrassegnata in tabella da un asterisco, è stata eseguita, invece, alla fine del mese di Giugno dello stesso anno ed è successiva all'apertura delle paratoie, ubicate presso l'incile del lago: tale apertura ha provocato un marcato aumento della portata nella sezione, che risultava pari a circa 0.76 m³/s.

La stazione B è ubicata circa 2 km a valle della precedente e, a sua volta, immediatamente a monte della centrale idroelettrica denominata S. Savino III, la prima delle cinque centrali dislocate lungo il corso del fiume Marta. La portata misurata in tale

sezione ha mostrato un debole incremento rispetto alla sezione A, essendo pari a circa $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione C è il canale artificiale di derivazione delle acque della Centrale S. Savino III; la portata misurata è risultata pari a circa $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.4).



Foro 6.4 – Canale di derivazione della Centrale S. Savino III (stazione C).

La stazione D è ubicata a valle della suddetta centrale e la portata misurata è risultata di circa $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$. Il decremento di portata tra la stazione B, a monte della centrale idroelettrica, e la stazione D, posta a valle della stessa, è probabilmente dovuto a prelievi per usi irrigui.

La portata nella stazione C_1 , ubicata sul tratto di fiume Marta depauperato dalle acque del canale di derivazione, è stata stimata in circa $0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ da misure volumetriche; tale stima è stata poi confermata, in sede di elaborazione dei dati, attraverso i valori di portata calcolati nelle stazioni a monte e a valle della stessa.

La stazione E è riferita al canale artificiale di derivazione delle acque della Centrale S. Savino II; la portata misurata è stata di circa $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.5).

La portata nella stazione E_1 , relativa al tratto del fiume Marta depauperato dalle acque del canale della Centrale S. Savino II, è stata stimata in circa $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione F è ubicata sul fiume Marta, a valle della suddetta centrale, e la portata misurata è risultata circa $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$: tale misura ha permesso di confermare, per differenza, la stima della portata nella stazione E_1 , posta a monte della stessa.



Foto 6.5 – (a) Canale di derivazione della Centrale S. Savino II (Stazione E) e (b) tratto depauperato (stazione E₁).

La stazione G₁ è riferita al fiume Marta nel tratto depauperato dalle acque della Centrale S. Savino I; la portata misurata in tale sezione è stata pari a circa 0.05 m³/s. La portata calcolata in quest'ultima stazione, sottratta al valore di portata relativo alla stazione immediatamente a monte (stazione F), ha permesso quindi di ricavare, per differenza, la portata della stazione G, costituita dal canale artificiale di derivazione della Centrale S. Savino I, pari a circa 0.29 m³/s.

Le acque derivate dalla Centrale S. Savino I vengono restituite al fiume in un tratto sbarrato da una traversa; da qui parte immediatamente la derivazione della Centrale Fioritella, che lascia al tratto depauperato del fiume Marta, identificato come stazione I₁, una portata molto esigua, per mezzo di uno stramazzo posto al termine dell'invaso. Tale portata è stata stimata in circa 0.010-0.015 m³/s (Foto 6.6).



Foto 6.6 – (a) Depauperato della Centrale la Fioritella e (b) particolare dello stramazzo (stazione I₁).

La stazione L, posta a valle della Centrale Fioritella, ha una portata misurata pari a circa $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$; ciò consente di ricavare, per differenza, la portata del canale di derivazione della suddetta centrale, denominato stazione I, pari a circa $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.7).



Foro 6.7 – (a) Opera di presa e (b) canale di derivazione della Centrale La Fioritella (stazione I).

La stazione M è relativa al tratto del fiume Marta depauperato dalle acque utilizzate per l'industria di lavorazione della carta, sita in Toscana. La portata misurata in tale stazione è risultata pari a circa $0.072 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.8).



Foro 6.8 – (a) Opera di presa e (b) tratto depauperato relativo all'industria cartaria (stazione M).

La stazione N è relativa al torrente Maschiolo, che confluisce nel fiume Marta immediatamente a valle rispetto all'impianto della cartiera; la portata misurata in tale stazione è stata pari a circa $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione O è ubicata sul fiume Marta; essa comprende la restituzione delle acque prelevate dalla cartiera e la confluenza del torrente Maschiolo (FOTO 6.9); la portata misurata in tale stazione è risultata di circa $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$. La misura relativa a tale stazione,

unitamente alla misura rilevata nella stazione L, ha permesso di ricavare la quota parte delle acque utilizzate dall'industria della cartiera, sottratte alla portata naturale del fiume. Tale quota si aggirava intorno ai $0.25\text{-}0.34\text{ m}^3/\text{s}$.



Foto 6.9 – Confluenza del fiume Marta (a sinistra), fosso Maschiolo (a destra) e restituzione dell'industria cartaria (al centro).

La stazione P è ubicata sul torrente Fecciaro, che riceve gli scarichi del depuratore dell'abitato di Tuscania; la portata misurata in tale stazione è stata pari a circa $0.034\text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione Q è riferita al torrente Doganelle, la cui confluenza con l'asta fluviale principale è situata circa 4 km a sud di Tuscania. In tale stazione, non è stato possibile misurare la portata per mezzo del mulinello idrometrico, a causa delle basse velocità dell'acqua. La portata è stata stimata intorno ai $0.02\text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione R è ubicata sul torrente Pantacciano, immediatamente a valle della confluenza di quest'ultimo con il torrente Cadutella; la portata misurata in tale sezione è risultata pari a circa $0.053\text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione S è posta sul torrente Catenaccio, a valle delle confluenze con il torrente Pisciareello e il torrente Secco; la portata misurata è stata pari a circa $0.125\text{ m}^3/\text{s}$.

La stazione Z è ubicata sul torrente Traponzo, a monte della confluenza con il torrente Catenaccio; ed è stata misurata una portata di circa $0.30\text{ m}^3/\text{s}$ (Foto 6.10).



Foro 6.10 – Torrente Traponzo (stazione Z).

La stazione Y è ubicata sul fiume Marta, a monte dell’impianto della Centrale Traponzo; la portata misurata è stata di circa 1.173 l/s. Questo impianto restituisce le acque captate, per mezzo di un lungo canale artificiale, da uno sbarramento del torrente Traponzo, immediatamente a valle delle confluenze dei torrenti Leia, Rigomero, Sambuchete e Biedano, conosciuta come la diga la Roccaccia (FOTO 6.11).



Foro 6.11 – (a) Diga la Roccaccia e (b) restituzione del canale sotterraneo a Centrale Traponzo.

La stazione X, ubicata sul fiume Marta, è posta a valle della Centrale Traponzo; la portata misurata è risultata di circa 2.13 m³/s. Ciò ha permesso di stimare la portata del canale di derivazione della Centrale Traponzo, che risultava pari a circa 0.10 m³/s (FOTO 6.12).



Foro 6.12 – Fiume Marta dopo la restituzione della Centrale Traponzo (stazione X).

• **II CAMPAGNA DI MISURE (MARZO 2005)**

La TABELLA 6.12 riassume i risultati relativi alla seconda campagna di misure della portata, eseguita nel Marzo 2005, a seguito di un periodo di intense precipitazioni.

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m ²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m ³ /s)
A	Fiume Marta a Ponte Cartiera	6.20	0.65	2.80	0.56	0.97
C	Canale S. Savino III	2.90	0.85	2.46	0.52	1.044
C₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino III	1.80	0.41	0.44	0.25	0.065
D	Fiume Marta a valle di S. Savino III	---	---	---	---	1.10 (stima)
E	Canale S. Savino II	2.30	0.55	1.26	1.33	1.335
E₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino II	---	---	---	---	0.015-0.020 (stima)
F	Fiume Marta a valle di S. Savino II	---	---	---	---	1.35 (stima)
G	Canale S. Savino I	3.20	1.05	3.12	0.56	1.52
G₁	Fiume Marta depauperato di S. Savino I	3.50	0.71	1.74	0.22	0.195

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m³/s)
I₁	Fiume Marta depauperato di Fioritella	---	---	---	---	0.05 (stima)
I	Canale Fioritella	---	---	---	---	1.60 (stima)
L	Fiume Marta a valle di Fioritella	5.90	0.57	2.57	0.61	1.138
M	Fiume Marta depauperato della cartiera	5.00	0.35	1.30	0.97	0.933
N	Torrente Maschiolo	4.10	0.36	1.02	0.60	0.362
O	Fiume Marta a valle della cartiera	4.70	0.56	2.49	0.85	1.627
P	Torrente Fecciaro (depuratore)	2.80	0.30	0.51	0.22	0.07
Q	Torrente Doganelle	---	---	---	---	0.02 (stima)
R	Torrenti Pantacciano e Cadutella	4.75	0.22	0.79	0.63	0.20
S	Torrente Catenaccio	6.95	0.17	0.97	0.62	0.30
T	Torrente Leia	8.80	0.62	3.34	0.65	1.70
U	Torrente Rigomero	4.10	0.65	1.52	0.52	0.50
V	Torrente Biedano	10.10	0.46	3.48	0.51	1.10
Z	Torrente Traponzo	11.20	1.15	8.76	0.36	2.20
Y	Fiume Marta a monte di Centrale Traponzo	---	---	---	---	4.42
X	Fiume Marta a valle di Centrale Traponzo	---	---	---	---	5.52

TABELLA 6.12 – Tabella riassuntiva dei risultati relativi alla seconda campagna di misure della portata.

I valori di portata misurati durante tale campagna hanno mostrato un generale aumento, dovuto al regime stagionale di piena del fiume Marta.

La portata misurata alla stazione A è risultata pari a circa $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

Relativamente al canale artificiale della Centrale S. Savino III, denominato stazione C, la portata è risultata circa $1.044 \text{ m}^3/\text{s}$, notevolmente superiore rispetto al dato del Maggio 2004 (circa il 29 %). Anche la misura della portata nel relativo tratto depauperato, denominato stazione C₁, ha mostrato un debole aumento (circa il 12 %) ed è risultata pari a $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata alla stazione D non è stata misurata a causa delle elevate velocità della corrente fluviale; tuttavia è stata ricavata, per somma dei due contributi a monte, in circa $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.13).



Foro 6.13 – Fiume Marta a valle della Centrale S. Savino III (stazione D).

La portata del canale artificiale della Centrale S. Savino II, denominato stazione E, è risultata pari a $1.335 \text{ m}^3/\text{s}$, e notevolmente superiore al valore di portata relativo alla campagna di misure precedente (circa il 25 %). Tuttavia, nel relativo tratto depauperato, denominato stazione E₁, la portata stimata era solo leggermente superiore rispetto al Maggio 2004, ovvero pari a circa $0.015\text{-}0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata relativa alla stazione F, posta a valle della Centrale S. Savino II, è stata ricavata, come somma dei due contributi precedenti, in circa $1.350 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda il canale artificiale della Centrale S. Savino I, identificato come stazione G, la portata è risultata pari a circa $1.520 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.14), mentre nel relativo tratto depauperato, denominato stazione G₁, la portata è risultata di circa $0.195 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel tratto di fiume Marta depauperato dalle acque convogliate alla Centrale Fioritella, identificato come stazione G₁, è stata stimata la portata in circa $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$.



Foto 6.14 – Canale artificiale della S. Savino I (stazione G).

La portata del canale artificiale della suddetta centrale è stata stimata pari a circa 1.60 m³/s. Tale stima è da considerare approssimativa, poichè desunta da poche misure di velocità della sezione artificiale; tuttavia tale stima risulta in accordo con i valori di portata misurati nelle stazioni a monte.

La portata misurata nella stazione L è risultata pari a circa 1.135 m³/s, il decremento di portata rispetto ai valori calcolati a monte della stessa è probabilmente dovuto a ulteriori derivazioni lungo il tratto fluviale.

Relativamente alla stazione M, ubicata sul tratto di fiume Marta depauperato dalle acque raccolte dalla cartiera, la portata è risultata pari a circa 0.933 m³/s.

Nel torrente Maschiolo, denominato stazione N, la portata è risultata circa 0.362 m³/s (FOTO 6.15).



Foto 6.15 – Torrente Maschiolo (stazione N).

Nella stazione O, posta a valle della cartiera, la portata è risultata circa $1.627 \text{ m}^3/\text{s}$. Da questo dato è stato possibile risalire alla portata delle acque derivate dalla cartiera, pari a circa $0.284 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata relativa al torrente Fecciaro, denominato stazione P, è risultata pari a circa $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.16).



Foto 6.16 – Torrente Fecciaro (stazione P).

La portata relativa al torrente Doganelle, identificato come stazione Q, è stata stimata in circa $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella stazione R, la portata calcolata è stata di circa $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$, comprensiva dei contributi dei torrenti Pantacciano e Cadutella.

Nella stazione S, ubicata sul torrente Catenaccio, la portata è risultata circa $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Durante questa campagna di misure, oltre che calcolare la portata sul torrente Traponzo, nella stazione Z, sono stati misurati i singoli contributi dei torrenti Leia, Rigomero e Biedano, identificati rispettivamente come stazione T, U, e V.

Nel torrente Leia, la portata misurata è risultata pari a circa $1.70 \text{ m}^3/\text{s}$; la portata del torrente Rigomero è risultata pari a circa $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$; relativamente al torrente Biedano, la portata è risultata circa $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.17, 6.18 e 6.19).

Alla stazione Z, ubicata sul torrente Traponzo, la portata è risultata circa $2.20 \text{ m}^3/\text{s}$: dunque il canale artificiale che porta acqua alla Centrale Traponzo, durante il Marzo 2005, presentava una portata pari a circa $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$, confrontabile con quella della campagna precedente.



Foro 6.17 – Torrente Leia (stazione T).



Foro 6.18 – Torrente Rigomero (stazione U).



Foro 6.19 – Torrente Biedano (stazione V).

Le portate relative alle stazioni ubicate sul fiume Marta, rispettivamente a monte e a valle della Centrale Traponzo, sono state ricavate attraverso la somma dei singoli contributi, a causa delle elevate velocità dell'acqua in questa sezione d'alveo (proibitive per misure a guado). La portata alla stazione Y risulta di circa 4.42 m³/s; sommando a tale dato la portata delle acque del canale della suddetta centrale, alla stazione X si ricava un valore di 5.52 m³/s.

- **III CAMPAGNA DI MISURE (MAGGIO 2005)**

La terza campagna di misure della portata si è svolta, nell'arco di una singola giornata, nel mese di Maggio 2005, ed ha riguardato solamente quattro sezioni, elencate nella seguente TABELLA 6.12. Il periodo investigato è da ritenere di morbida.

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m ²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m ³ /s)
A	Fiume Marta a Ponte Cartiera	6.0	0.95	4.78	0.80	2.96
N	Torrente Maschiolo	3.65	0.28	0.73	0.51	0.25
W	Fiume Marta a valle di Tuscania	7.40	0.83	4.70	0.98	3.73
X	Fiume Marta a valle di Centrale Traponzo	18.20	0.89	13.31	0.55	5.48

TABELLA 6.12 - Tabella riassuntiva dei risultati relativi alla terza campagna di misure della portata.

La portata calcolata alla stazione A è risultata pari a circa 2.96 m³/s, valore nettamente più elevato (circa il 33 %) rispetto a quello calcolato nel Marzo precedente.

Tale valore è spiegato con la grande quantità di acqua fatta defluire dalle paratoie poste all'incile del lago, che ha l'effetto di aumentare notevolmente la portata nella stazione in questione.

Alla stazione N, relativa al torrente Maschiolo, la portata è risultata pari a circa 0.25 m³/s, valore questo minore rispetto al dato misurato due mesi prima.

La stazione W è posta a circa 2 km sud dall'abitato di Tuscania e la portata misurata è pari a circa 3.73 m³/s; la misura relativa a tale sezione è stata effettuata unicamente

durante questa campagna di misure. Per un confronto con il Marzo precedente, tuttavia, si considera tale sezione come somma dei contributi delle stazioni O e P (cfr. TAB. 6.11), essendo essa comprensiva delle acque che defluiscono a valle della cartiera di Tuscania e del torrente Fecciaro. Anche in tale sezione, la portata risulta notevolmente incrementata rispetto al Marzo precedente (circa il 45 %); l'aumento della portata è, anche in questo caso, effetto dell'apertura delle paratoie poste sul lago.

Alla stazione X, posta a valle della Centrale Traponzo, in prossimità della sezione di chiusura del bacino idrografico oggetto di studio, la portata è risultata pari a $5.48 \text{ m}^3/\text{s}$, tale dato rimane dunque invariato rispetto a quello rilevato durante la campagna di misure precedente.

6.4.1.1 CONSIDERAZIONI

Il regime idrico del fiume Marta risulta complicato a causa degli interventi di regolazione dislocati lungo tutto il suo percorso, che inducono notevoli trasformazioni del reticolo idrografico naturale per la presenza di opere di sbarramento e di canali artificiali delle centrali idroelettriche.

Il deflusso idrico che viene derivato dai canali di adduzione delle centrali varia da $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ nel periodo di magra fino a superare portate che oscillano intorno a $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ nei mesi caratterizzati da abbondanti precipitazioni (FOTO 6.20).



Foro 6.20 – Salto della centrale S. Savino III nel Maggio del 2004 (a) e nel Marzo del 2005 (b).

La situazione è molto diversa nei tratti naturali del fiume stesso, dove non si è registrata una portata superiore a $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Infatti durante i tanti sopralluoghi effettuati sul fiume, anche in stagioni differenti, in molte occasioni sono stati individuati tratti asciutti o caratterizzati da acque superficiali stagnanti o comunque con un movimento ridotto.

Quindi nella maggioranza dei casi, nei canali di derivazione deviano la maggior parte del deflusso naturale in alveo e questo ha causato una trasformazione della morfologia nell'alveo naturale, risultando più ristretto, occupato per quasi la sua larghezza originaria dalla vegetazione (FOTO 6.21).



Foto 6.21 – Fiume Marta depauperato della S. Savino III.

Dall'analisi dell'assetto idrogeologico (cfr. CAP. 7), il fiume Marta risulta alimentato da acque sotterranee dove si annulla l'effetto del lago di Bolsena. I tratti depauperati, analizzati direttamente in sito, si presentavano prevalentemente con portate ridotte in corrispondenza delle opere di prese e successivamente con deflusso maggiore. Questo è da collegare forse ad una presunta alimentazione da parte di affioramenti in alveo. A titolo di esempio la stazione C₁ nel mese di marzo 2005 è stata misurata in due sezioni diverse, registrando un valore di 45 l/s a monte (FOTO 6.22 (a)) e di 65 l/s nelle vicinanze della restituzione della centrale (FOTO 6.22 (b)).



Foto 6.22 – Fiume Marta depauperato della S. Savino III.

Le tre centrali idroelettriche, ad eccezione di Centrale Traponzo, e l'industria cartaria sono concentrate nel tratto che si estende fino alla città di Tuscania, per una lunghezza totale di circa 15 km e sono disposte in sequenza, dove il rilascio della prima centrale idroelettrica viene utilizzato dalla successiva quasi immediatamente. Quindi nei tratti naturali del Marta, compresi tra le centrali, la situazione tende a migliorare, con valori di portata maggiori, ma la ripresa del fiume è comunque influenzata e di nuovo interrotta dalla successiva opera di sbarramento.

Dopo l'abitato di Tuscania, a valle delle restituzioni, l'alveo riacquista le sue caratteristiche originali, anche grazie al contributo del Traponzo e agli incrementi in alveo da parte delle acque sotterranee, essendo questa la zona di recapito preferenziale della falda di base (cfr. CAP. 7).

L'opera di derivazione idroelettrica della Centrale Traponzo è ubicata alla triplice confluenza dei torrenti Leia, Rigomero e Biedano. Il canale è sotterraneo ma conoscendo le portate dei tre torrenti che originano il Traponzo e il valore dopo la restituzione, è stata stimata una portata del canale intorno a 1 m³/s (cfr. FOTO 6.11).

6.4.2 MISURE DELLE PORTATE FLUVIALI DEL FIUME MIGNONE

A completamento dell'analisi dell'andamento dei deflussi idrici del fiume Mignone, in relazione anche alle misure di portata storiche del fiume che sono limitate solo ad 11 anni in un periodo lontano dalla situazione attuale, è stata eseguita una campagna di misura delle portate fluviali.

Le sezioni di interesse sono state selezionate solo lungo l'asta principale del fiume, scelte soprattutto sulla base dell'impatto antropico sul regime fluviale e sulle caratteristiche idrogeologiche (FIG. 6.24).

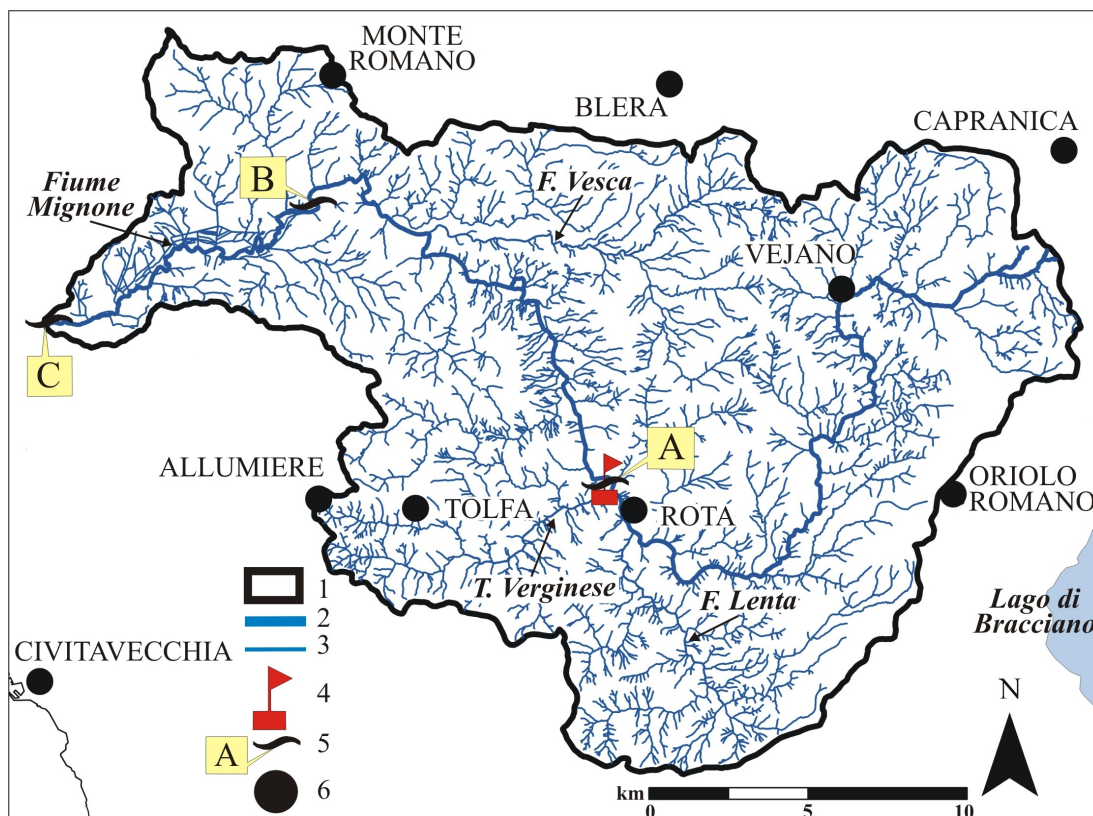


FIGURA 6.24 – Ubicazioni delle stazioni di misura della portata lungo il fiume Mignone (1: area di studio; 2: fiume Mignone; 3: reticolo idrografico; 4: stazione idrometrografica; 5: sezioni di misura della portata e relativa sigla; 6: centri urbani).

Le misure sono state effettuate con il mulinello idrometrico S.I.A.P. mod. ME-4001 (cfr. PAR. 6.1) nel mese di Maggio 2006.

Di seguito è riportato un sintetico commento dei risultati ottenuti.

- ***I CAMPAGNA DI MISURE (MAGGIO 2006)***

La prima campagna di misure della portata, i cui risultati sono riassunti in TABELLA 6.13, è stata effettuata nell'anno 2006, nei giorni compresi tra il 7 e il 10 Maggio. Il fiume, nel periodo delle misure, era caratterizzato da un regime di magra, in relazione all'assenza di precipitazioni significative nei quindici giorni precedenti i rilievi.

STAZIONE	TRATTO ESAMINATO	AMPIEZZA (m)	PROFONDITÀ MASSIMA (m)	AREA (m ²)	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	PORTATA (m ³ /s)
A	Stazione idrometrica di Rota	5.80	0.91	4.32	0.47	0.68
B	Zona agricola	5.60	0.90	7.48	0.56	1.61
C	Diga “Mole del Mignone”	6.80	0.76	5.64	0.52	1.23

TABELLA 6.13 – Tabella riassuntiva dei risultati relativi alla campagna di misure della portata.

La stazione A coincide con la stazione idrometrica di misura della portata a Rota e la presa dell’Acquedotto di Civitavecchia, situata a circa 200 metri a valle della confluenza con il fosso Verginese; la portata misurata in tale sezione, durante la prima campagna di misure, è stata di circa 0.68 m³/s (FOTO 6.23).



Foto 6.23 – Fiume Mignone a Rota (stazione A).

La stazione B è ubicata circa 19 km a valle della precedente ed a circa 13 km dalla diga sul Mignone (FOTO 6.24). La portata misurata in tale sezione ha mostrato un aumento rispetto alla sezione A, essendo pari a circa 1.61 m³/s, corrispondente ad un incremento specifico di 0.93 m³/s. Il fiume Mignone in questo tratto attraversa una zona caratterizzata da un’intensa attività agricola. Infatti l’asta principale presenta delle deviazioni in cui le acque superficiali vengono incanalate verso i campi coltivati, alterando così la portata in alveo e il corso naturale del fiume. La scelta di questa sezione è legata oltre che all’alta naturalità dell’alveo del Mignone e quindi alla bassa modulazione della portata a scopi irrigui, anche dalle caratteristiche idrogeologiche dei

terreni attraversati dal fiume. Da questo tratto in poi affiorano le formazioni accorpate nel complesso idrogeologico alluvionale (cfr. CAP. 3).



Foro 6.24 – Fiume Mignone (stazione B).

La stazione C è ubicata a circa 100 metri dopo la diga gestita dal Consorzio sul Mignone, in località “Le Mole” (FOTO 6.25); la portata misurata è risultata pari a circa $1.23 \text{ m}^3/\text{s}$ (FOTO 6.26). Il valore di portata minore rispetto a quella misurata nella sezione B è forse da ricondurre ai forti prelievi a cui il fiume è sottoposto a scopi irrigui a monte della stazione C o all'alimentazione della falda da parte del fiume.



Foro 6.25 – La diga sul Mignone in località “Le Mole”.



Foro 6.26 – Fiume Mignone (stazione C).