

L'Indice di Qualità Morfologica (IQM) dei corsi d'acqua: applicazione del metodo di valutazione al F. Chiani (Italia centrale)

Corrado Cencetti, Pierluigi De Rosa, Andrea Fredduzzi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Perugia - Via G. Duranti, 93 – 06125 Perugia
Tel. ++39 075 5853760 – Fax ++39 075 5853756
email: corcen@unipg.it, pierluigi.derosa@unipg.it, fredduzzi@unipg.it

Abstract

La Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE si propone di perseguire il buono stato ambientale dei corpi idrici superficiali. Per classificare lo stato ecologico dei corsi d'acqua sono stati introdotti, oltre agli aspetti fisico-chimici e biologici, quelli idromorfologici, relazionandoli alle “pressioni” antropiche. Il fine consiste nel definire il grado di scostamento dei corsi d'acqua dalle condizioni di naturalità (o presunte tali), prese come riferimento. Per valutare, in particolare, lo stato di qualità morfologica dei corsi d'acqua, è stata messa a punto dall'ISPRA una procedura basata sulla determinazione di un indice (IQM, Indice di Qualità Morfologica).

Questo lavoro presenta i primi risultati dell'applicazione del metodo di valutazione dell'IQM ad un corso d'acqua dell'Italia centrale: il F. Chiani (bacino del Tevere). In particolare viene presentata l'analisi di inquadramento iniziale (1° fase del metodo proposto) che ha comportato un esteso utilizzo di tecniche e strumenti GIS, con la realizzazione di un apposito database geografico in ambiente open source.

Introduzione

La Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), recepita in Italia con il D.L. 3 aprile 2006, n. 152 (*"Norme in materia ambientale"*) prevede il raggiungimento, entro l'anno 2015, per tutti i corpi idrici naturali, di un “Buono Stato Ecologico” che rifletta le condizioni di biodiversità e di buono stato chimico-fisico. L'obiettivo finale dichiarato è quello di proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, promuovere un utilizzo sostenibile delle risorse idriche e contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

La Direttiva impone, per il raggiungimento degli obiettivi suddetti, la valutazione dello stato di tutte le componenti costituenti il corpo idrico. Tra questi, sono considerati anche gli aspetti idromorfologici. L'importanza di questi elementi è ormai ben nota in letteratura, in quanto gli aspetti di carattere morfologico-sedimentario sono direttamente connessi con i principali processi fisici che controllano il sistema fluviale. Infatti, le caratteristiche idraulico-geometriche di un corso d'acqua in ogni punto (variabili dipendenti) sono frutto di una serie di variabili di controllo (o variabili indipendenti) connesse con il clima, con la geologia, l'uso del suolo e i caratteri fisiografici del bacino idrografico. Tutti questi elementi, insieme, determinano il regime idrologico e sedimentologico del corso d'acqua. In aggiunta ai suddetti controlli naturali, è necessario considerare l'attività antropica che interferisce con il fiume, sia agendo direttamente sulle sue caratteristiche morfologico-sedimentarie (es. interventi in alveo) sia indirettamente, modificando le variabili di controllo (es. modificazioni dell'uso del suolo).

I corsi d'acqua costituiscono sistemi molto complessi e dinamici, i cui caratteri variano nel tempo e nello spazio in conseguenza dei cambiamenti delle suddette variabili di controllo.

In quest'ottica, l'approccio morfologico-sedimentario allo studio dei corsi d'acqua parte dall'analisi delle forme e dei processi osservabili sul fiume, per ricostruire le trasformazioni che lo stesso ha

subito nel tempo, individuarne le cause (alle diverse scale di analisi spazio-temporale) e definire le sue tendenze evolutive; ciò al fine di intervenire sulla dinamica dell'alveo, ove necessario, senza stravolgerne le caratteristiche morfologico-sedimentarie e senza innescare processi indesiderati. In pratica, lo scopo ultimo è quello di identificare le condizioni che determinano l'equilibrio naturale del sistema e valutare i condizionamenti apportati dall'uomo che spesso lo allontanano da tale stato di equilibrio.

L'Indice di Qualità Morfologica dei corsi d'acqua (IQM)

Recentemente, è stato elaborato dall'ISPRA (e accettato dal Ministero dell'Ambiente come procedura standard di analisi dei caratteri idromorfologici degli alvei fluviali) un metodo che prevede la valutazione di un indice (IQM, Indice di Qualità Morfologica) che esprime, in sintesi, la valutazione della funzionalità fluviale del corso d'acqua dal punto di vista geomorfologico (Rinaldi et alii, 2010).

Le condizioni geomorfologiche, in accordo con lo spirito della Direttiva Quadro sulle Acque, devono essere definite valutando lo scostamento rispetto ad uno stato di riferimento.

Tuttavia, in questo caso, lo stato di riferimento è inteso non come la configurazione "primigenia indisturbata" (data la storia ormai millenaria di interventi antropici sui corsi d'acqua italiani e più in generale europei), quanto come "... *quelle condizioni idromorfologiche che esisterebbero, nelle attuali condizioni del bacino, in assenza di influenza antropica, in alveo, nelle zone riparie e nella pianura adiacente...*" (Rinaldi et alii, 2010).

L'indice IQM viene calcolato sulla base di steps successivi di analisi, secondo un approccio gerarchico, prima a scala di bacino, poi a scala di macrotratti (segmenti), e infine a scala di tratti omogenei. Per questi ultimi sono previsti la ricognizione, l'analisi e il rilevamento puntuale dei caratteri morfologici e antropici.

Il metodo è strutturato in due fasi. La prima fase, che può essere considerata di inquadramento, è finalizzata alla suddivisione del corso d'acqua in tratti omogenei che vengono definiti, principalmente, in funzione dei diversi ambiti fisiografici presenti nel bacino idrografico, del grado di confinamento del corso d'acqua e del tipo di tracciato fluviale.

Tale fase è stata in questa sede realizzata in ambiente GIS, attraverso l'esame di una serie di *layers* informativi, costituiti da foto aeree, immagini satellitari, carte topografiche, geologiche, dell'uso del suolo e altre carte tematiche di interesse.

A questo proposito, risultano estremamente utili i database cartografici disponibile in rete, quali ad esempio quello del Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/PCN/>) o quelli sviluppati da vari Enti locali (Regioni, Province, Comunità montane, ecc.) e, in particolare, la possibilità di consultazione e visualizzazione degli stessi tramite servizi WMS (Web Map Services). La seconda fase consiste nel rilevamento sul terreno di dati, raccolti tramite la compilazione di un'apposita scheda, per ognuno dei tratti individuati. Il rilevamento è effettuato su una porzione di alveo considerata rappresentativa dell'intero tratto, detta *sito*. I dati riguardano tre aspetti: funzionalità dei processi geomorfologici in atto; artificialità, intesa come frequenza e impatto delle opere e degli interventi antropici; variazioni morfologiche subite dal fiume negli ultimi cinquant'anni. Il risultato finale è rappresentato dal valore dell'indice IQM, relativo a ogni tratto, che si ottiene sommando i punteggi di volta in volta assegnati.

Questo lavoro presenta i primi risultati dell'applicazione del metodo a un corso d'acqua dell'Italia centrale, il F. Chiani (bacino del Tevere). In particolare viene presentata l'analisi di inquadramento iniziale (1° fase) che ha comportato un esteso utilizzo di tecniche e strumenti GIS.

Inquadramento generale del bacino in studio

Il bacino idrografico del T. Chiani si estende complessivamente per 523 km² (dei quali due terzi in Umbria e un terzo in Toscana) e l'asta principale misura complessivamente 64,5 km (Figura 1). Dal punto di vista idrologico e idrogeologico, l'affioramento di litotipi ad elevata componente argillosa (sedimenti marini plio-pleistocenici e torbiditi arenaceo-marnose in facies di flysch) rende il bacino

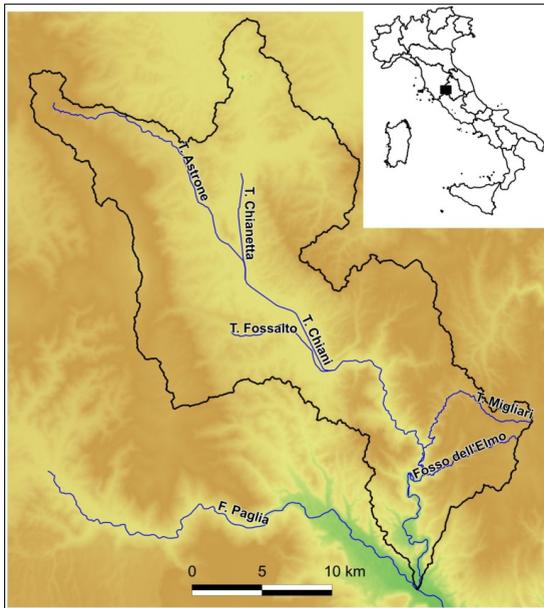


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio.

Nel caso specifico, l'asse dell'alveo è stato determinato tramite fotointerpretazione eseguita sulla base delle ortofoto più recenti (2008 – Fonte: Portale Cartografico Nazionale, Servizio WMS) e della CTR della Regione Umbria, mentre l'asse della valle è stato definito seguendo l'andamento della valle alluvionale sulla base della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e del DTM fornito sempre dalla Regione Umbria, con risoluzione al suolo pari a 20 metri.

Definizione delle Unità Fisiografiche

L'approccio previsto dal metodo IQM per lo studio dei corsi d'acqua, è di tipo “stratificato” (gerarchico): si parte da osservazioni fatte a scala di bacino idrografico e si aumenta via via il grado di dettaglio.

All'interno del bacino idrografico, che rappresenta l'unità spaziale fondamentale di partenza, vengono definite innanzi tutto le unità fisiografiche, individuate come aree relativamente omogenee per caratteristiche morfologico-fisiografiche.

Per quanto riguarda le aree appenniniche, si può fare riferimento alla tabella in figura 2.

Operativamente, le unità fisiografiche sono state determinate tramite la sovrapposizione di 3 strati informativi: la Carta Geologica d'Italia (in scala 1:100.000 – Fogli 121, 122, 130, 131); il DTM (con risoluzione pari a 20 m – Fonte: Regione Umbria); una carta delle pendenze (derivata dal DTM tramite il software GRASS GIS).

Il risultato è rappresentato dalla suddivisione del bacino in 3 unità fisiografiche (Figura 4):

- Unità collinare-montuosa dei rilievi interni;
- Unità collinare;
- Pianura intermontana appenninica.

Definizione dei Segmenti (Macrotratti)

I segmenti derivano dall'intersezione del corso d'acqua con i limiti delle unità fisiografiche e rappresentano una prima suddivisione in macrotratti omogenei. All'interno di una stessa unità

scarsamente permeabile. Il Chiani presenta, pertanto, un regime torrentizio, caratterizzato da portate idriche fortemente variabili nel tempo e strettamente dipendenti dal regime pluviometrico.

Descrizione della procedura di lavoro

Definizione dei sistemi di riferimento

Nello studio della dinamica fluviale si rende necessaria l'adozione di sistemi di riferimento interni, funzionali all'analisi dei processi dinamici (Tacconi, 1990). Quelli normalmente considerati sono due:

- Asse dell'alveo, inteso come linea equidistante dai limiti dell'alveo attivo (sponde). Per alvei di dimensioni maggiori di 10 m può essere determinato da fotointerpretazione.
- Asse della valle, che corrisponde alla direzione della valle nella quale scorre il fiume ed è considerato invariabile nel periodo di osservazione (scala temporale storica) e quindi è indipendente dalla dinamica dell'alveo.

1. Aree montuose appenniniche (Appennino interno)	Aree a quote elevate. Si ritrovano molte tipologie di valli ma, generalmente, soprattutto nelle aree di affioramento dei litotipi più competenti, le valli sono strette e gli alvei in genere confinati.
2. Aree collinari appenniniche	Aree a quote inferiori, frequentemente a dolce morfologia per la presenza di serie flyschoidi relativamente erodibili. Le valli sono piuttosto ampie e gli alvei meno confinati. Comprende i grandi pianalti terrazzati profondamente incisi dai corsi d'acqua nei depositi alluvionali antichi e nelle serie sedimentarie marine recenti.
3. Pianure intermontane appenniniche	Pianure (conche) intermontane di origine tettonica, frequenti sul versante appenninico tirrenico.
4. Rilievi interni	Rilievi interni del versante tirrenico collinari o montuosi (compresa fascia di vulcanismo vulsino –campano) e rilievi della Sardegna
5. Alta pianura (o pianura prossimale)	Pianura con maggiore pendenza, generalmente a partire dagli apici

Figura 2 – Principali unità fisiografiche del settore appenninico e isole (da Rinaldi et alii, 2010).

fisiografica, è possibile individuare più segmenti in funzione del confinamento del corso d'acqua, distinguendo (Brierley & Fryirs, 2005):

- alveo confinato - pianura alluvionale assente. Oltre il 90% delle sponde è in diretto contatto con versanti. Tipico di ambiti montani.
- alveo semiconfinato - pianura discontinua. Le sponde sono a contatto con la pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 ed il 90% della lunghezza del tratto.
- alveo non confinato - pianura continua. Le sponde sono completamente mobili.

Il confinamento viene esplicitato da due parametri, che vengono calcolati per ogni segmento e per i relativi tratti:

- indice di confinamento, definito come il rapporto tra la larghezza della pianura e la larghezza dell'alveo. Esprime il confinamento in direzione trasversale.
- grado di confinamento, corrispondente alla percentuale di tracciato del corso d'acqua con sponde a contatto diretto con versanti o terrazzi antichi. Esprime il confinamento in senso longitudinale.

Nel caso specifico, l'individuazione dei segmenti è stata eseguita sulla base della CTR della Regione Umbria, della carta geologica, della carta delle pendenze e dell'ortofoto 2008.

Il risultato di questa operazione è rappresentato dalla suddivisione del tracciato del T. Chiani in 7 segmenti, caratterizzati da diverso grado di confinamento (Figura 4, da S1 a S7).

Definizione dei Tratti omogenei

La suddivisione in tratti omogenei del corso d'acqua dal punto di vista morfologico, implica un aumento del grado di dettaglio dell'analisi.

Il parametro da considerare è ancora una volta il grado di confinamento, al quale si aggiunge la definizione della morfologia d'alveo (Schumm, 1977; Rust, 1978; Montgomery & Buffington, 1993; Rosgen, 1994).

L'identificazione della morfologia d'alveo si basa sulla misura di due parametri utili a caratterizzare il corso d'acqua: l'indice di sinuosità (rapporto tra la distanza di due sezioni del fiume misurata lungo l'asse dell'alveo e la stessa distanza misurata lungo l'asse della valle) e l'indice di intrecciamento (numero di canali attivi, separati da barre, misurato lungo una sezione trasversale dell'alveo).

Entrando ulteriormente nel dettaglio, la procedura prevede di considerare altri elementi, quali:

- pendenza del fondo;
- discontinuità idrologiche naturali (affluenti importanti) o artificiali (dighe o grandi briglie);
- artificializzazione;

- dimensioni della pianura alluvionale;
- variazione della larghezza dell'alveo (frequentemente associata alle discontinuità idrologiche);
- granulometria dei sedimenti (qualora si disponga di tale dato tra le fonti bibliografiche).

Una volta definiti i tratti omogenei, i caratteri morfologici degli stessi vengono esplicitati tramite il calcolo dei valori medi dei seguenti parametri, per ogni tratto:

- area di drenaggio sottesa dalla sezione di chiusura del tratto;
- grado di confinamento e indice di confinamento;
- indice di sinuosità e indice di intrecciamento,
- larghezza media dell'alveo;
- pendenza media del fondo; il metodo prevede che, dove non siano disponibili rilevati topografici, si utilizzino le carte topografiche. Nel presente lavoro la pendenza e il profilo longitudinale sono stati valutati a partire dal DTM della Regione Umbria;
- diametro dei sedimenti del fondo (qualora si disponga di tale dato tra le fonti bibliografiche);
- portate liquide (massima, media annua, con tempo di ritorno pari a 1,5 anni), qualora nel tratto sia presente una stazione di misura.

Questa fase, come le precedenti, è stata portata a termine facendo ampio uso di strumenti GIS. In particolare, ci si è avvalsi di due software liberi (con licenza GPL): Quantum Gis (<http://www.qgis.org/>) e GRASS GIS (<http://grass.fbk.eu/>).

Il lavoro ha comportato la messa a punto di un database geografico, realizzato con il software libero PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/>) con estensione PostGIS (<http://postgis.refractor.net/>), contenente tutta la cartografia topografica e tematica acquisita, i dati derivati dalla fotointerpretazione e dalla vettorializzazione degli elementi morfologici di interesse, nonché i dati derivati dalle analisi e dalle misure effettuate.

La realizzazione di un database di tal genere, anche se non specificatamente prevista dalla procedura, viene considerata dagli autori della presente nota uno strumento importante che può essere utilizzato sia nella successiva fase della procedura stessa (rilevamento sul terreno dei siti, rappresentativi dei tratti), sia per la fase ultima di monitoraggio del sistema fluviale.

Operativamente, si sono rivelati molto utili i moduli per le analisi idrologiche di bacino del software GRASS (*r.flow*, *r.watershed*, *r.water.outlet*) che consentono, ad esempio, di calcolare l'area di drenaggio sottesa in qualsiasi punto della rete idrografica.

Il calcolo dell'indice di sinuosità è stato eseguito suddividendo l'asse dell'alveo in segmenti di 200 m, pari a circa 15-20 volte la larghezza media dell'alveo (come generalmente previsto da letteratura - cfr. Thorne, 1997). Il grafico di figura 3 riporta i risultati delle misure effettuate; i dati sono mediati su 1 km.

L'indice di intrecciamento è stato calcolato effettuando le misure (osservazione del numero di canali sulle ortofoto 2008) ogni 100 m e mediando le stesse su tratti lunghi 1 km. Allo stesso modo la larghezza dell'alveo è stata misurata sulle ortofoto 2008 con passo di 500 m.

La pendenza del fondo e il profilo longitudinale del collettore principale sono stati ottenuti a partire dal DTM della Regione Umbria, in quanto non si disponeva di rilevati topografici specifici.

Il dato è stato ottenuto tramite una procedura automatica che ha previsto, innanzi tutto, l'estrazione di un file vettoriale di punti (con equidistanza 100 m) a partire dall'elemento lineare rappresentante l'asse dell'alveo. Ad ogni punto è stata poi associata la quota corrispondente del modello digitale del terreno (DTM).

Le analisi e le misure effettuate hanno condotto alla suddivisione del tracciato del F. Chiani in 14 tratti omogenei dal punto vista morfologico, rappresentati in figura 4. La tabella riportata in figura 5 mostra i valori medi dei principali parametri morfologici misurati per ciascuno dei tratti omogenei individuati.

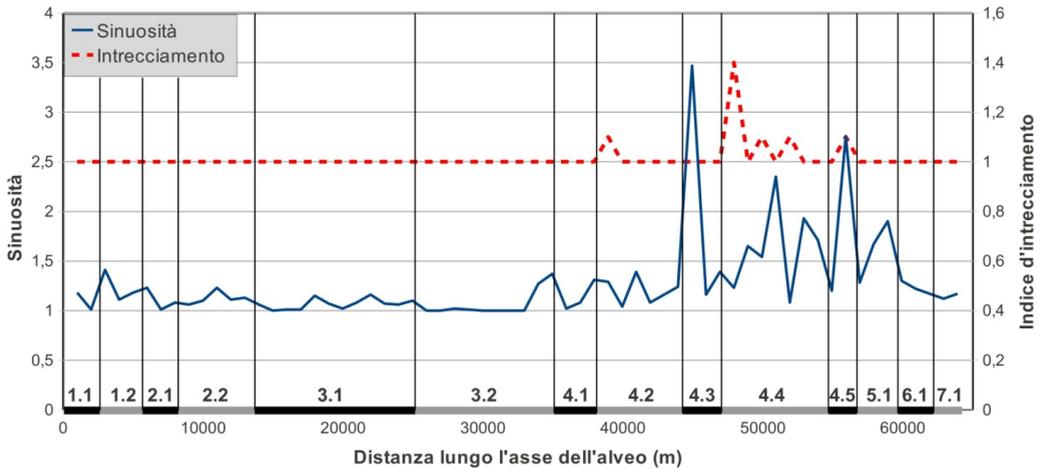


Figura 3 – Variazione dell'indice di sinuosità e dell'indice di intrecciamento lungo l'asse dell'alveo. Sull'asse delle ascisse, al di sopra delle distanze progressive, sono riportati i tratti omogenei individuati (il primo numero si riferisce al segmento che contiene il tratto).

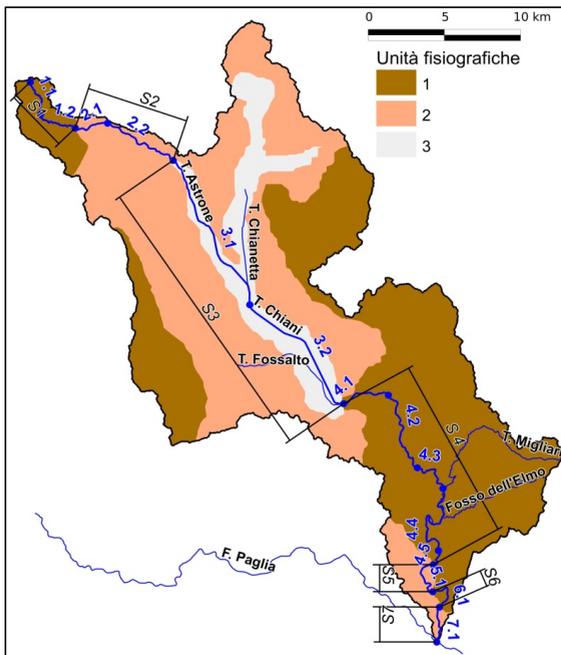


Figura 4 – Risultato dell'analisi iniziale. Sono riportate le unità fisiografiche, i segmenti (indicati con S) e i tratti omogenei. 1: Unità collinare-montuosa (rilievi interni appenninici); 2: Unità collinare; 3: Unità di pianura intermontana appenninica.

Conclusioni

Il lavoro presenta i risultati dell'analisi di inquadramento iniziale prevista dalla procedura di calcolo dell'IQM, che costituisce la base di partenza per la successiva fase di analisi e misure condotte in sito, oggetto del proseguimento della ricerca.

L'indice IQM, in osservanza alla Direttiva Quadro Acque della Comunità Europea (2000/60/CE), costituisce un notevole passo avanti, rispetto ai precedenti tentativi di valutazione della qualità dei corsi d'acqua (es. IFF, Indice CARAVAGGIO, Indice IBE etc.), nella considerazione dei caratteri idromorfologici quali elementi essenziali di riferimento al fine di una corretta "gestione" della risorsa fluviale nel rispetto di uno sviluppo sostenibile.

L'applicazione della metodologia al F. Chiani dimostra come l'utilizzo di tecniche di telerilevamento e fotointerpretazione, nonché di strumenti GIS, sia indispensabile per portare a termine efficacemente l'analisi di inquadramento iniziale. In particolare, si mette in evidenza come risultino estremamente utili allo scopo i database cartografici disponibili in rete, quali ad esempio quello del Portale Cartografico

Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/PCN/>) o quelli sviluppati dai vari enti locali (regioni, province, comunità montane, ecc.).

	Tratti													
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	6.1	7.1
Confinamento	C	C	C	SC	NC	NC	NC	NC	NC	SC	SC	NC	SC	NC
Grado di conf. (%)	100	100	97	41,3	4,8	0	3	5	7	34	37	9	24	9
Area del bacino (km ²)	4,5	11,9	19,3	43,5	108	271	389	426	432	490	493	505	517	523
Lunghezza (km)	2,6	3,1	2,4	5,6	11,5	9,6	3,0	6,2	2,8	7,5	1,5	3,5	2,5	2,0
Tracciato	...	...	...	Sin	Rett	Rett	Sin	Sin	Mean	Mean	Sin	Mean	Sin	Sin
I. di sinuosità	...	...	...	1,12	1,07	1,03	1,15	1,43	1,74	1,82	1,45	1,78	1,35	1,13
I. di intrecciamento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,08	1,01	1,00	1,00	1,00
Larghezza media (m)	5,3	5,8	6,1	6,9	7,4	7,9	8,16	10,9	9,5	12,1	12,6	9,8	12,2	10,1
Pendenza media (%)	5,3	2,5	1,4	1,07	0,52	0,08	0,86	1,08	0,83	0,71	0,28	0,31	1,11	0,55

Figura 5 – Principali caratteristiche e parametri morfologici del F. Chiani. C: alveo confinato; SC: alveo semiconfinato; NC: alveo non confinato. Rett: tracciato rettilineo; Sin: tracciato sinuoso; Mean: tracciato a meandri.

Riferimenti bibliografici

- Brierley G.J., Fryirs K.A. (2005), *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*, Blackwell Publishing, 398 pp.
- Montgomery D.R., Buffington J.M. (1993), *Channel classification, prediction of channel response and assessment of channel condition*, Report TFW-SH10-93-002. Department of Geological Sciences and Quaternary Research Center, University of Washington, Seattle.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2010), *Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d'acqua – Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua - Versione 0*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 191 pp. - ISBN: 978-88-448-0438-1.
- Rosgen D.L. (1994), "A Classification of Natural Rivers", *Catena*, 2: 169-199.
- Rust B.R. (1978), "A classification of alluvial channel systems", in: Miall A.D. (Ed.), *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists (Calgary), Memoir, 5: 187-198.
- Schumm S.A. (1977), *The fluvial system*, John Wiley and Sons, New York.
- Tacconi P. (1990), "La dinamica fluviale", *Atti del VII Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi* (Roma, 25-27 ottobre 1990), 29-42, 1 app.
- Thorne C.R. (1997), "Channel types and morphological classification", in: Thorne C.R., Hey R.D., Newson M.D. (Eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley & Sons Ltd., 175-222.