



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
Servizio Difesa del suolo

LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO DI PIANO STRALCIO DELLE FASCE
FLUVIALI

Integrazioni Metodologiche

a cura della Direzione Scientifica di Progetto

Prof. ing Marco Mancini
(marco.mancini@polimi.it)
Dott. geologo Giovanni Tilocca
(tilokka@yahoo.it)

Cagliari, 25 luglio 2006
(agg. 19 Settembre 2006)

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DEFINIZIONI.....	3
2.1	FASCE FLUVIALI	3
2.2	AREA DI INDAGINE	4
2.3	PARAMETRI GEOMETRICI DELLE SEZIONI FLUVIALI NEL RETICOLO PRINCIPALE.....	5
2.4	ANALISI QUANTITATIVA DEL RETICOLO DI DRENAGGIO.....	6
3	ANALISI IDROLOGICA	8
3.1	STIMA DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	8
3.1.1	<i>Validazione</i>	8
3.1.2	<i>Siti in corrispondenza delle dighe</i>	9
3.1.3	<i>Effetto delle dighe sulle portate al colmo</i>	9
3.1.4	<i>Scelta e rappresentazione delle portate di progetto</i>	9
3.2	STIMA DEGLI IDROGRAMMI DI RIFERIMENTO	9
3.2.1	<i>Stima di idrogrammi ad assegnata portata al colmo</i>	10
3.2.2	<i>Idrogrammi con portata al colmo stimata con metodo indiretto</i>	10
4	ANALISI IDRAULICA.....	11
4.1	SEZIONI TOPOGRAFICHE E MODELLO DELLE QUOTE.....	12
4.2	SEZIONI DI CALCOLO IDRAULICO	12
4.3	SCABREZZA	13
4.4	OPERE IDRAULICHE	13
4.4.1	<i>Ponti</i>	13
4.4.2	<i>Soglie e Briglie</i>	13
4.5	CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE	13
4.6	CONDIZIONE AL CONTORNO DI VALLE	14
4.7	EFFETTO DELLE DIGHE	14
5	ANALISI DELLA VEGETAZIONE E VALUTAZIONE DELL'INDICE DI RESISTENZA	14
5.1	STIMA DELL'INDICE DI RESISTENZA K_{s0} DI RIFERIMENTO.....	15
5.2	SIMA DELL'INDICE DI RESISTENZA DOVUTA ALLA VEGETAZIONE	17
5.3	ESEMPI DI STIMA DELL'INDICE DI RESISTENZA	22
5.4	CALCOLO DELL'INDICE DI RESISTENZA EQUIVALENTE SULLA SEZIONE	24
5.5	APPROCCIO GLOBALE SULL'INTERA SEZIONE	25
6	ANALISI DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO.....	26
7	TRACCIAMENTO DELLE AREE INONDABILI.....	27
7.1	AREE DI INONDAZIONE NATURALE	27
8	ELABORATI DI PIANO	27
8.1	CARTOGRAFIA.....	27
8.2	MATERIALE PROPEDEUTICO	27

1 PREMESSA

Le integrazioni metodologiche alle “Linee Guida” per la determinazione delle fasce fluviali riportano alcuni approfondimenti necessari alla fase operativa di redazione del piano ed alla sua ripercorribilità qualità che ne caratterizza sia l’aspetto scientifico che applicativo anche per un suo utilizzo futuro. In quest’ottica sono approfonditi aspetti che riguardano: la metodologia di stima delle portate al colmo a diverso periodo di ritorno, l’analisi congiunta tra moto vario e moto permanente nel tracciamento delle fasce, l’analisi dell’effetto di riduzione sulle portate al colmo indotto dai volumi di laminazione delle dighe, la stima della scabrezza, la tipologia di restituzione degli elaborati di piano.

Essa quindi è complementare al documento delle Linee Guida edito dalla Regione Sardegna, e vuole essere una lista ragionata di analisi da eseguire per la parte idraulica idrologica e geomorfologica, e non un compendio di idrologia ed idraulica fluviale per il quale si rimanda all’ampia bibliografia esistente.

L’attività del Piano Fasce, sebbene abbia una finalità diversa da quella Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), ha con esso una forte complementarietà sia dal punto di vista metodologico, in quanto propone metodologie simili di analisi dei fenomeni di piena, sia dal punto di vista territoriale poiché esteso all’intero reticolo principale (sebbene con analisi differenziate per gli affluenti). In tal modo i risultati del Piano stralcio delle Fasce fluviali, che identifica le aree inondabili per gli stessi periodi di ritorno del PAI, potranno leggersi come una estensione territoriale di quelli ottenuti nel precedente PAI e quindi facilmente interpretabili anche dal punto di vista normativo.

Proprio nell’ottica di sinergia con il PAI la definizione delle fasce fluviali viene realizzata come un prodotto verificabile, ma anche aggiornabile in seguito a lavori migliorativi delle capacità di deflusso fluviale o in seguito a studi di maggior dettaglio.

2 DEFINIZIONI

2.1 Fasce fluviali

Le Fasce Fluviali nella loro accezione più ampia, anche dette aree di pertinenza fluviale, identificano quelle aree limitrofe all’alveo inciso occupate nel tempo dalla naturale espansione delle piene, dallo sviluppo morfologico del corso d’acqua, dalla presenza di ecosistemi caratteristici degli ambienti fluviali. Come noto il corso d’acqua si sviluppa nel tempo con sezioni e forme planimetriche diversificate in funzione del regime delle portate, delle dissipazioni energetiche della corrente, dell’apporto dei sedimenti e della dinamica di questi, nonché dei vincoli geologici della aree che vengono attraversate. L’ampiezza della fascia è l’involuppo della posizioni assunte dall’alveo nelle sue diverse configurazioni nel tempo e per tale motivo sia l’analisi geomorfologia che quella idraulica sono strumenti necessari ad identificarle.

In particolare se l’analisi geomorfologia mira ad individuare le tracce sul territorio della sviluppo dello corso d’acqua, l’analisi idraulica-idrologica identifica la massima estensione della sezione occupata dalla piena di riferimento. Proprio per questa sua funzione di documentazione le fasce fluviali tracciate per evento molto raro, anche detto catastrofico, fanno riferimento più all’analisi geomorfologica che a quella idraulica. La piena di riferimento è infatti valutata in base a modelli di probabilità per diversi valori della frequenza di accadimento compresi tra la piena annuale e quella di evento catastrofico. In particolare le fasce fluviali sono calcolate per portate di piena ad assegnata frequenza definita convenzionalmente in termini di tempo di ritorno, T , espresso in anni.

L’articolazione delle aree inondabili in fasce si deve eseguire attraverso la suddivisione in aree ad alta, media e bassa probabilità di inondazione seguendo l’articolazione prevista dal citato D.L. 180/98 e dalla L 267/98 a cui va aggiunta, per aspetti di salvaguardia ambientale, quella relativa alla portata media annua, caratterizzata con periodo di ritorno bi o triennale a seconda del modello di probabilità scelto. In ordine crescente di portate le fasce fluviali che si intende determinare nel presente piano sono:

Fascia A_2: aree inondabili al verificarsi dell’evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=2$ anni .

Fascia A_50: aree esterne alla precedente inondabile al verificarsi dell’evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=50$ anni.

Fascia B_100: aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell’evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=100$ anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento

ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;

Fascia B_200, area di inondabile per evento di piena con portata T=200 anni esterna alla precedente **Fascia C**: aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno **T=500 anni o superiore**, compresi va quindi anche di eventi storici eccezionali, e, nel caso siano più estese, comprendenti anche le aree storicamente inondate e quelle individuate mediante analisi geomorfologia. Tale area di piena, essendo riferita all'evento catastrofico, va definita in base all'involuppo tra l'analisi geomorfologica ed idraulica,

2.2 Area di indagine

L'elenco dei corsi d'acqua per i quali deve essere studiata la delimitazione delle fasce fluviali è quello previsto nelle Linee Guide ed è suddiviso in due gruppi:

- le aste principali, partendo dalla sezione fluviale che sottende un bacino idrografico con superficie maggiore o uguale a 30 km²;
- gli affluenti.

Il numero di tratti, per ciascun corso d'acqua principale, su cui svolgere l'analisi idraulica sarà quello individuato dal numero di sezioni di stima idrologica che si susseguono lungo l'alveo o principale la cui caratteristica è quella di presentare incrementi di area drenata minori del 20%. Tale valore è quello che permette di considerare costante la portata per ciascun tratto, ossia trascurabile sui livelli idrici di piena l'incremento della portata al colmo per aumento dell'area contribuente che si verifica man mano che si va verso valle nel corso d'acqua.

Per quanto riguarda le analisi della vegetazione e quelle del trasporto solido l'estensione di indagine sul reticolo principale è limitata ad una lunghezza non superiore di 10 km dalla sezione di foce.

La Tabella 1 riporta l'elenco delle aste principali oggetto dello studio, mentre nella Figura successiva si riporta una rappresentazione cartografica.

Tabella I.

- ELENCO DELLE ASTE PRINCIPALI

Corso d'acqua	Codice	Lunghezza [m]
Canale Urune	UR	10'787
Fiume Cedrino	CE	77'454
Fiume Budoni	BU	13'419
Fiume Coghinas	CO	67'409
Fiume Flumendosa	FL	146'907
Fiume Foddeddu	FO	14'885
Fiume Liscia	LI	52'141
Fiume Padrogiano	PA	14'345
Fiume Pelau	PE	16'587
Fiume Posada	PO	44'449
Fiume Temo	TE	47'838
Fiume Tirso	TI	150'364
Flumini Durci	DU	37'448
Flumini Mannu	FM	28'730
Flumini Mannu 041	MN	76'615
Rio Barca	BA	6'532
Rio Picocca	PI	35'446
Rio di Santa Lucia	SL	28'402
Riu Baccu Mannu	BM	5'926
Riu Cixerri	CX	42'258
Riu Corr'e Pruna	CP	20'651
Riu Filibertu	FI	9'941
Riu Girasole	GI	21'783
Riu Mannu 701	MA	65'096
Riu Mulargia	MU	4'971
Riu Palmas	PL	8'165
Riu Pramaera	PR	29'095
Riu San Girolamo	SG	11'324
Riu Solanas	SO	13'421
Riu Vignola	VI	25'278
Riu de Calvia	CA	11'678
Riu di Mare Foghe	MF	50'196
Riu di San Giovanni	GV	20'720
Riu di San Teodoro	ST	10'141
Riu Su Pardu	PD	13'976
Flumini Mannu di Pabillonis	FP	37'834
TOTALE		1'272'209

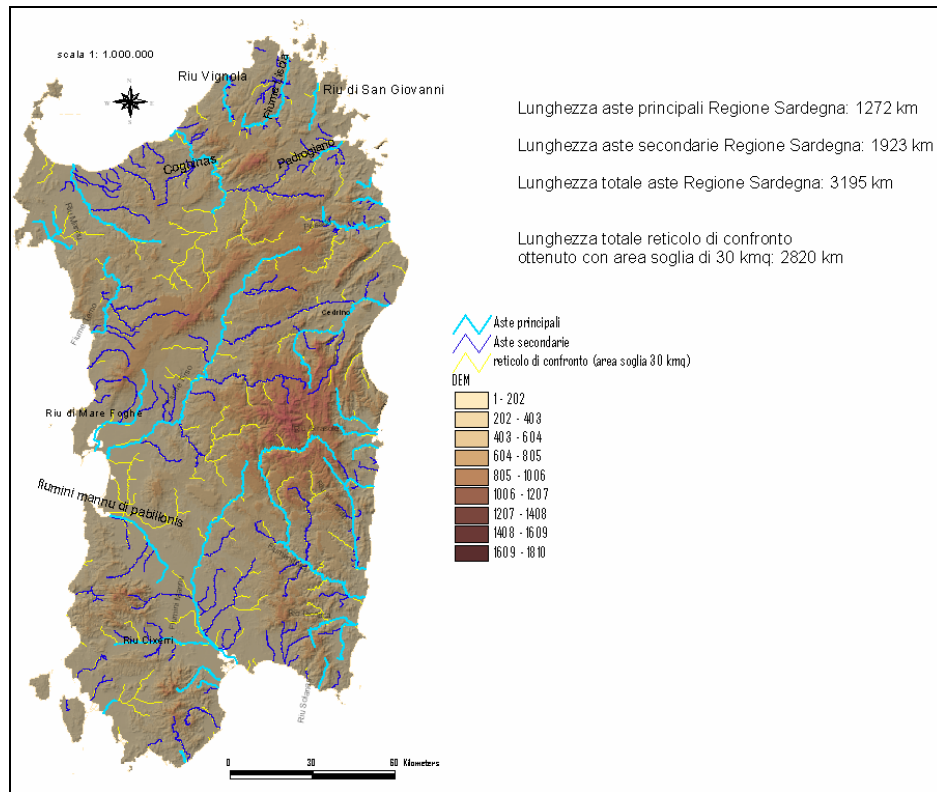


Figura 1. ----- Aste del reticolo principale celeste) e secondario(blue). In giallo parte del reticolo secondario con area drenata superiore a 30 km².

L'analisi geomorfologica sarà eseguita sul reticolo idrografico principale e secondario per uno sviluppo complessivo di almeno 3200 km con riferimento all'elenco dei corsi d'acqua individuato.

L'analisi dei bacini idrografici relativi al reticolo idrografico di studio si pone di individuare il riconoscimento delle principali caratteristiche morfologiche del bacino, dell'influenza delle geometrie tettoniche, dei vari ordini di terrazzi alluvionali, degli alvei stagionali ed abbandonati, delle morfologie deposizionali ed erosive etc. In particolare le analisi morfologiche devono caratterizzare il corso d'acqua interessato, con riferimento all'alveo attivo e alle forme fluviali abbandonate e/o riattivabili in piena al fine di definire il *grado di stabilità dell'alveo inciso*, in concomitanza a situazioni di piena, in rapporto a possibili fenomeni di divagazione trasversale (erosioni di sponda, modificazioni del tracciato del thalweg) e di innalzamento o abbassamento del fondo alveo, tenendo conto delle opere di difesa idraulica presenti e dell'assetto complessivo dell'alveo definito dalle fasce fluviali.

Nell'ambito del presente piano l'analisi si presenterà sinergica a quella idrologica nell'individuazione della Fascia C, ove le possibili tracce morfologiche dell'alveo individuano le dimensioni fluviali di eventi alluvionali catastrofici, l'evoluzione del corso d'acqua attraverso l'analisi storica e recente della cartografia. Inoltre l'analisi geomorfologia permetterà una quantificazione del grado di ramificazione del reticolo di drenaggio utile alla determinazione dei parametri di forma e di scala dell'idrogramma istantaneo unitario caratteristico dell'idrogramma di riferimento ad assegnato tempo di ritorno. Di seguito si propone un approfondimento per i tre punti evidenziati.

2.3 Parametri geometrici delle sezioni fluviali nel reticolo principale

La stima delle portate al colmo nei punti significativi del reticolo idrografico permetterà di operare attraverso l'utilizzo delle leggi tipiche della geomorfologia che legano le portate alle principali grandezze di forma dalle pionieristiche equazioni di Leopold e Muddoc, (1958) ai più recenti studi geomorfologici (R. Thorne ed al., 2000)¹

Tale attività andrà svolta principalmente per la piena T=500 anni ossia quella catastrofica al fine di rendere possibile un confronto quantitativo tra l'analisi Idrologica idraulica e quello geomorfologia.

¹, Applied Fluvial Geomorphology for River engineering and management, edited by Thorne R. C. R. D. Hey, M.d. Newson, J. Wiley 2000.

In particolar nelle ipotesi di isofrequenza della sollecitazione idrologica è possibile verificare l'estensione della piena tramite la stima della larghezza che avrebbe l'alveo per sezione naturale, utilizzando ad esempio le equazioni empiriche di Leopold e Muddok (1953)² dove

la velocità della corrente $V = KQ^m$

la larghezza dell'alveo $W = AQ^b$

il tirante idrico $h = CQ^f$

essendo Q la portata ad assegnata frequenza, K, A, C delle costanti di proporzionalità ed m, b, ed f gli esponenti delle rispettive leggi di potenza. Poiché $Q = V h W$ la somma dei coefficienti; $m + b + f = 1$, mentre il prodotto delle costanti $K A C = 1$.

Gli stessi autori riportano per regioni semiaride degli Stati Uniti i seguenti valori degli esponenti:

$$m = 0.1, b = 0.5, f = 0.4$$

Tale analisi verrà confrontata con quella più propriamente idraulica per quei tratti d'alveo non arginati del reticolo idrografico. L'applicazione di tale espressione risente della natura sperimentale che la caratterizza e va vista come un tentativo di quantificare la larghezza indisturbata della sezione idraulica alla Fascia C. La sua applicazione dovrà essere discussa con la direzione di progetto. La taratura delle costanti andrà effettuata su tratti opportuni non delimitati da difese arginali, mentre la sua validazione verrà eseguita su opportuni tratti di validazione.

2.4 Analisi quantitativa del reticolo di drenaggio

L'analisi quantitativa della struttura geomorfologica seguirà il criterio classificazione gerarchica noto come Horton-Straeler, che i rami del reticolo assumono via via che questo da monte si sviluppa verso valle, (Figura.2) secondo le seguenti regole:

- Le sorgenti originano rami e canali di ordine 1.
- Quando due rami di ordine i -esimo e j -esimo si congiungono, il ramo risultante assume l'ordine

$$k = \text{Max} \left[i, j, \text{int} \left(1 + \frac{i+j}{2} \right) \right],$$

e due o più rami in successione, aventi medesimo ordine, formano un canale del loro stesso ordine;

- L'ordine Ω del bacino di drenaggio corrisponde a quello del canale di ordine massimo.

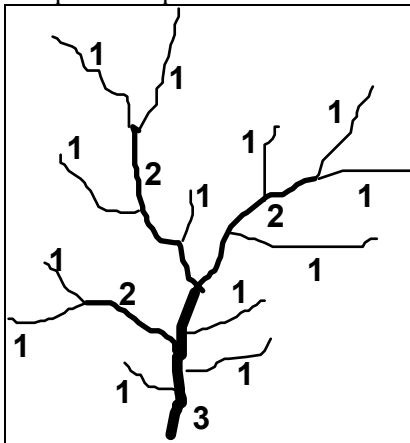


Figura 2. ---- Ordinamento gerarchico di un reticolo di ordine 3

Tale analisi gerarchica, da condursi sulla scala almeno del 25:000 o da cartografia tradizionale o digitale permetterà quindi di valutare le leggi di Horton del numero, della lunghezza e della pendenza dei canali ordinati (*aste*) ed quella delle aree drenate (Shumm, 1956). Tali leggi mostrano come le reti di drenaggio presentino una organizzazione gerarchica di tipo sistematico, la cui validità è stata verificata per numerosi casi pratici in differenti situazioni geografiche e climatiche e che risultano correlati alla definizione dei tempi caratteristici della risposta di piena alla sollecitazione meteorica.

² Hydrology: an introduction to hydrologic science, R. Bras, Addison Wesley, isbn 0-201-059222-3, 1990.

La *Prima Legge di Horton* (o del numero dei canali) individua nella successione $\{N_1, N_2, \dots, N_{\Omega}=1\}$ del numero dei canali (decescente con l'ordine $[1, 2, \dots, \Omega]$ delle stesse) una serie geometrica inversa, in cui l'ultimo termine è unitario. Il rapporto R_B , detto *rapporto di biforcazione*, porge il numero dei canali di qualsivoglia ordine ω , noto l'ordine Ω del bacino

$$N_{\omega} = R_B^{\Omega - \omega}.$$

La *Seconda Legge di Horton* (o delle lunghezze dei canali) individua nella successione $\{L_1, L_2, \dots, L_{\Omega}\}$ della lunghezza media dei canali (generalmente crescente con l'ordine delle stesse), una serie geometrica in cui il primo termine è pari alla lunghezza media dei canali di primo ordine, o rami esterni. Il rapporto R_L , detto *rapporto delle lunghezze*, porge la lunghezza media dei canali di qualsivoglia ordine ω , nota la lunghezza dei rami esterni

$$L_{\omega} = L_1 R_L^{\omega - 1}.$$

La *Terza Legge di Horton*, che riguarda la *pendenza media dei canali*, e la *Legge delle aree drenate*, dovuta al successivo lavoro di Strahler [1952], sono analoghe, rispettivamente, alla legge del numero dei canali e delle lunghezze, dove vengono considerate, rispettivamente, la pendenza media dei canali $\{S_1, S_2, \dots, S_{\Omega}\}$ e l'area mediamente drenata dalle aste $\{A_1, A_2, \dots, A_{\Omega}\}$. Pertanto le *Leggi di Horton* si possono enunciare come

$$R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}}, \quad \text{per } 2 \leq \omega \leq \Omega,$$

$$R_L = \frac{L_{\omega}}{L_{\omega-1}}, \quad \text{per } 2 \leq \omega \leq \Omega,$$

$$R_S = \frac{S_{\omega-1}}{S_{\omega}}, \quad \text{per } 2 \leq \omega \leq \Omega,$$

$$R_A = \frac{A_{\omega}}{A_{\omega-1}}, \quad \text{per } 2 \leq \omega \leq \Omega.$$

In quest'ultima il valore di A_{ω} , che rappresenta il valore medio dell'area drenata da un canale di ordine ω , comprende sia l'area a_{ω} direttamente drenata dall'asta di ordine ω che l'area drenata di monte, $A_{\omega-1}$, relativa alle aste tributarie di ordine inferiore a ω .

La rappresentazione grafica di queste leggi si ottiene riportando i valori delle trasformazioni logaritmiche di N_{ω} , L_{ω} , S_{ω} e A_{ω} al variare del corrispondente ordine ω (si veda Fig. 3).

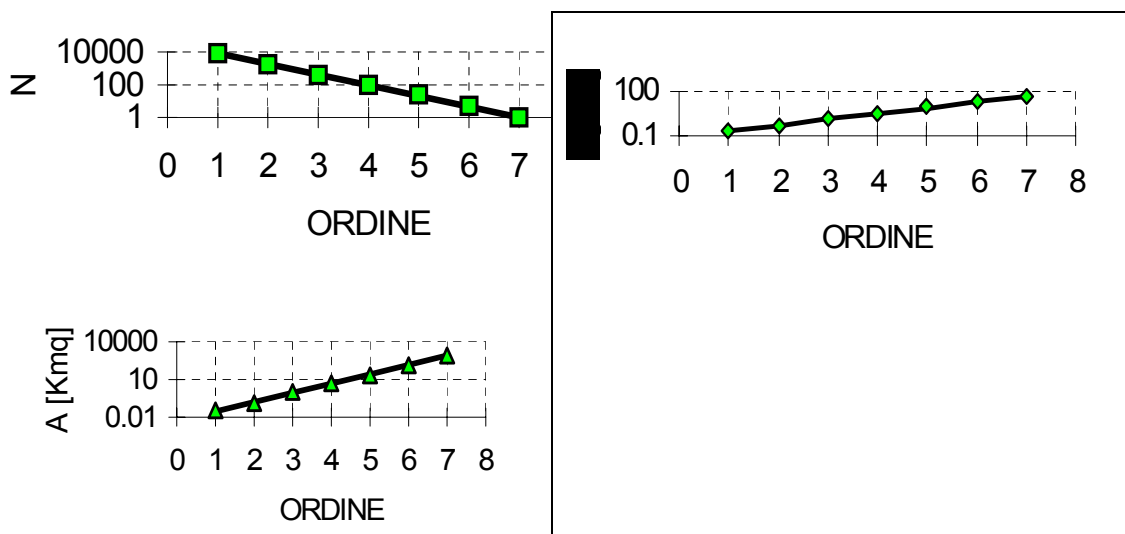


Figura 3. ----- Determinazione dei rapporti di Horton mediante interpolazione semilogaritmica dei valori rilevati del numero di canali (N), della loro lunghezza (L), e delle relative aree tributarie (A).

L'interpolazione lineare dei dati sperimentali fornisce i valori dei parametri R_B , R_L , R_S e R_A , che sono dati dalla pendenza delle rette interpolate. Un'ampia messe di risultati sperimentali mostra come, per i bacini di drenaggio naturali, i valori di R_B siano normalmente compresi fra 3 e 5, quelli di R_L e R_S fra 1.5 e 3.5, quelli di R_A fra 3 a 6, essendo inoltre $R_S \leq R_L \leq R_B \leq R_A$.

3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica dovrà produrre le portate di riferimento ed ove necessario (cfr analisi idraulica) i relativi idrogrammi di piena per la definizione delle fasce lungo il reticolo idrografico principale.

Lungo il reticolo principale le sezioni ove stimare le portate saranno identificate da sezioni trasversali successive lungo lo stesso alveo, che non presentino incrementi di area maggiori del 20%. Tale valore è quello che permette di considerare trascurabile sulla propagazione l'effetto di aumento dell'area contribuyente sulla portata al colmo e sui livelli idrici corrispondenti. Per ciascuna sezione verrà quindi calcolato:

- La stima delle portate di piena al colmo, per i tempi di ritorno di 2, 50, 200, 500 anni, nelle sezioni individuate lungo il reticolo principale.
- Il calcolo degli idrogrammi relativi alle portate di piena evidenziati nei casi ove necessario.

3.1 Stima delle portate di riferimento

La stima delle portate al colmo per assegnati tempi di ritorno dell'evento sarà eseguita come riportato nell'Annesso tecnico 4 "Linee Guida"³ per l'attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia" paragrafo 1.7. Per ciascun tempo di ritorno va valutata la varianza di stima e riportata sulla curva di crescita.

Lungo ciascun corso d'acqua sono individuate una serie di sezione trasversali, successive da monte verso valle, in modo che l'area drenata da ciascuna non presenti incrementi maggiori del 20%. Tale analisi dovrà essere svolta per ciascun bacino idrografico chiuso alla sezione di chiusura individuata lungo il reticolo idrografico principale

Visto che il dominio in studio riguarda le aste principali la dimensione dei bacini drenanti rientra in quella per cui ha validità l'analisi regionale (anche detta VAPI) i cui dettagli ed i cui parametri sono riportati nelle citate Linee Guida (annesso 4).

La scelta del metodo di stima va condotta, per alcune sezioni significative del corso d'acqua tramite un confronto con la metodologia indiretta, quella cioè che si basa sulla trasformazione afflussi deflussi, con alcune formule empiriche valide localmente e ove possibile con il confronto con serie storiche. Queste ultime vanno considerate quando la numerosità dei massimi annuali è maggiore almeno di 20 anni. Infatti l'analisi di una singola serie di n dati di portata al colmo massima annuale, non consentirebbe di prevedere valori di portata temibile con periodo di ritorno superiore a $2n$ (Committee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, 1988)⁴.

3.1.1 Validazione

Al fine della validazione delle risultanze dell'analisi regionale in corrispondenza delle stazioni idrografiche dotate di un numero di osservazioni recenti significativamente superiore a quello utilizzato per l'elaborazione della regionalizzazione VAPI delle portate, saranno acquisite e regolarizzate (Gumbel, TCEV, GEV ...) le serie storiche delle portate al colmo massime annuali, con finalità di confronto con i risultati della stessa regionalizzazione.

³ Linee guida – attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia – Regione Autonoma della Sardegna (agosto 2000, a cura di Dott. Geol. D. Dovera, Prof. Ing. M. Mancini, Prof. Ing. M. Salis).

⁴ Committee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, *Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods: Methods and Recommended Research*, National Academy Press, Washington, D.C., 1988.

3.1.2 Siti in corrispondenza delle dighe

La presenza di un numero elevato di serbatoi artificiali lungo il reticolo idraulico regionale insieme con le misure condotte dagli enti gestori possono essere utilizzati come elementi di validazione delle stime dirette o indirette delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena.

Infatti dalla classica equazione di continuità, note le leggi di efflusso dalla diga è possibile in base alla misura dei livelli e delle portate rilasciate ricavare l'idrogramma in ingresso al serbatoio.

3.1.3 Effetto delle dighe sulle portate al colmo

L'effetto del volume di un serbatoio artificiale sull'idrogramma di riferimento e quindi sulle portate al colmo in uscita dal serbatoio è come noto funzione sia del volume disponibile del lago sia dal volume di afflusso generabile dal bacino idrografico in esame.

Il calcolo dell'effetto di laminazione sulle portate al colmo (per tutti i TR) indotto sulle sezione di valle sarà così calcolato:

Idrogramma in ingresso al lago:

- Stima della portata al colmo attraverso il metodo diretto;
- Stima dell'idrogramma in ingresso al lago ad assegnata portata al colmo, dove il volume dell'idrogramma di piena è calcolato con la metodologia indiretta ricercando l'altezza di pioggia netta che per una durata pari al tempo di corrivazione genera la portata assegnata ed la forma dell'idrogramma sia triangolare (Metodo SCS)

Idrogramma in uscita.

Applicazione dell'equazione di continuità, con opportuno passo temporale Δt ; calcolo di ΔV invasato in Δt relativo a ΔQ dell'idrogramma in ingresso; calcolo del corrispondente livello nel bacino dalla curva d'invaso e della conseguente portata ΔQ_{out} sfiorata.

La propagazione dell'effetto di laminazione a valle della diga sarà valutata con la seguente procedura (per tutti i TR):

- valutazione delle portate al colmo con metodo VAPI diretto in tutte le sezioni di calcolo prefissate (stesso metodo applicato a tutti i bacini);
- calcolo dell'esponente di scala della relazione portate al colmo area derienante dove le portate al colmo sono quelle ottenute con il metodo vapi senza dighe.;
- applicazione della traslazione della portata verso valle in funzione dell'area con lo stesso esponente di scala definito al punto precedente. Va verificato che in ogni caso le riduzioni di portata al colmo nelle sezioni a valle siano \leq di quella in corrispondenza dello sbarramento

Presso i gestori saranno acquisiti gli elementi principale del lago artificiale:

- i FCEM o comunque le informazioni relative: a curva d'invaso, curve di deflusso degli scarichi superficiali, eventuali vincoli sulla capacità da riservare all'invaso delle piene;
- i dati relativi alle portate massime annuali sfiorate (o ai livelli d'invaso massimi annuali) e (se disponibili) agli andamenti dei livelli d'invaso nel corso dei principali eventi di piena osservati;
- gli studi idrologici relativi allo sbarramento (con riferimento in particolare alle valutazioni idrologiche svolte in ottemperanza alla circolare 3199 UIDR del RID "Attuazione art. 4 D.L. 29/03/04 Disposizioni urgenti in materia di sicurezza di grandi dighe e di edifici istituzionali").

3.1.4 Scelta e rappresentazione delle portate di progetto

La definizione della portata temibile va quindi documentata e motivata nell'apposita relazione idrologica. Oltre alle relazioni idrologiche per singoli bacini, sarà prodotta un'elaborazione di sintesi su base GIS contenente, per ogni sezione di calcolo, la tabella dei valori delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno, la superficie del bacino sotteso e i parametri più significativi derivanti dall'analisi morfometrica dei bacini.

3.2 Stima degli idrogrammi di riferimento

La stima degli idrogrammi di riferimento ha lo scopo di permettere il calcolo delle fasce di piena allorché la geometria dell'alveo presenti un volume di invaso rilevante rispetto a quello dell'idrogramma di

riferimento determinato per ciascuna sezione idrografica. La capacità d'invaso dell'alveo, responsabile del processo di attenuazione dell'onda di piena noto anche come diffusione, è riscontrabile o in corsi d'acqua di pianura caratterizzati da ampi volumi golenali o dalla presenza di serbatoi artificiali lungo i corsi d'acqua principali, situazione questa assai frequente nell'area in studio.

In questi casi infatti l'ipotesi di moto permanente, può risultare oltremodo cautelativa e la fascia di esondazione deve essere verificata in base ad analisi di moto vario.

Poiché come noto la definizione dell'idrogramma di riferimento è operazione assai complessa e problema ancora in discussione dal punto di vista scientifico, la cui teoria va ricercata nella definizione di funzioni di frequenza di probabilità condizionata, si consiglia l'applicazione di tecniche di stima semplificate, che implicano l'ipotesi di isofrequenza tra portata al colmo e idrogramma di piena, da applicare rispettivamente allorché l'analisi delle portate al colmo è eseguita con metodologia diretta o in diretta. Ciò in considerazione di alcuni fattori quali: la finalità pianificatoria del presente studio, la mancanza di idonei dati idrologici, e non ultimo i vincoli temporali di esecuzione del lavoro.

3.2.1 Stima di idrogrammi ad assegnata portata al colmo

La definizione dell'idrogramma di piena, allorché la portata al colmo è stimata con il metodo diretto (analisi locale o metodo regionale) può essere condotta con tecniche semplificate, quale quella proposta dal SCS⁵. Queste assegnano la forma triangolare dell'idrogramma, ipotizzando che il tempo di base, T_b , sia dato

da: $T_b = \frac{2W}{Q_{max}}$, dove W è il volume dell'idrogramma depurato della portata di base e quindi pari al volume di pioggia netta e Q_{max} la portata al colmo stimata.

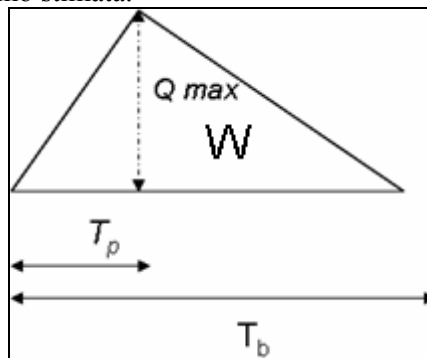


Figura 4. -----Idrogramma di forma triangolare di volume W

Il volume dell'idrogramma di piena è calcolato con la metodologia indiretta ricercando l'altezza di pioggia netta che per una durata pari al tempo di corrvazione genera la portata assegnata.

Una volta stimato il volume di pioggia netta è quindi possibile calcolare i tempi caratteristici dell'idrogramma note le relazioni:

$$T_p = T_b/2.67, T_b - T_p = 1.67 T_p$$

L'idrogramma avrà quindi le seguenti ordinate.

$$q(t) = \begin{cases} 1.335 \frac{Q_{max}^2}{V} t & 0 \leq t \leq T_p \\ 1.6 Q_{max} - 0.8 \frac{Q_{max}^2}{V} t & T_p \leq t \leq T_b \end{cases}$$

3.2.2 Idrogrammi con portata al colmo stimata con metodo indiretto

In questo caso sarebbe consigliato un modellistica distribuita della trasformazione afflussi deflussi altrimenti le caratteristiche del modello di trasferimento che si basano sulla teoria lineare della risposta all'impulso anche nota come "Idrogramma Istantaneo Unitario" (IUH) possono essere calcolate attraverso relazioni empiriche con la geomorfologia attraverso la quantificazione del reticolo di drenaggio. Tali

⁵ Chow V., D. R. Maidment and L. W Mays Applied Hydrology, Mc Grawn Hill, 1988

relazioni conducono ad una stima della funzione di risposta all'impulso nota in letteratura come "modello geomorfologico" (GIUH ossia Geomorfologic Instantaneous Unit Hydrograph)

In particolare l'idrogramma di piena, $q(t)$, (a meno della superficie del bacino), alla sezione di chiusura del bacino, è calcolato secondo il ben noto idrogramma di convoluzione che moltiplica la precipitazione netta per la corrispondente ordinata della funzione di risposta all'impulso sommandone quindi gli effetti nel tempo.

$$q(t) = \frac{P}{t_0} \int_0^t \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t-\tau}{k} \right)^{n-1} e^{-(t-\tau)/k} d\tau$$

Dove la precipitazione netta, P , è calcolata dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica, tramite il metodo dell' SCS -CN, una volta calcolato l'effetto di ragguaglio all'area e valutato la combinazione dei parametri dell'IUH che permettono il calcolo della portata critica al colmo.

Tale procedura ripercorre quella evidenziata nella metodologia di gara dove il Modulo NAM della famiglia dei codici Mike viene utilizzato per l'analisi idrologica indiretta. I parametri n e K del modello IUH secondo Nash sono anche stimabili in funzione della struttura morfologica del reticolo di drenaggio per mezzo delle relazioni empiriche⁶:

$$n = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} R_L^{0.07}, \quad K = 0.70 \left(\frac{R_A}{R_B R_L} \right)^{0.48} \frac{L_\Omega}{V}$$

Dove V rappresenta la velocità di piene rive nell'asta terminale e L_Ω rappresenta la lunghezza del ramo di ordine massimo del reticolo in esame.

Una soluzione alternativa (Rodriguez Iturbe e Valdes)⁷ ipotizzando un IUH triangolare definisce il tempo di picco e il valore di picco come:

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V, \quad t_p = \frac{0.44}{L_\Omega} \left(\frac{R_B}{R_\Omega} \right)^{0.55} R_L^{-0.38}$$

Eguagliando il tempo di picco del modello di Nash con quello previsto da Rodriguez Iturbe si possono ricavare n e K .

4 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica permetterà il calcolo della massima estensione del corso d'acqua per le portate di piena ad assegnata frequenza fino a quella catastrofica ($T=500$ anni). In generale ciò verrà calcolato dall'intersezione dei livelli di piena caratteristici della sezione di piena del corso d'acqua con la topografia della piana alluvionale. Per tale motivo l'individuazione di queste aree di piena è molto sensibile, a parità dei valori di portata, alla definizione ed alla geometria della sezione di piena del corso d'acqua, alla parametrizzazione delle eterogenee scabrezze presenti, ed alla tipologia di moto (permanente o vario) considerato rappresentativo del moto della corrente di piena.

L'ipotesi di una modellistica idraulica di moto permanente richiesta dall'Amministrazione per il Piano Fasce va vista nella valenza pianificatoria del presente Piano Fasce lungo l'intero sviluppo del corso d'acqua. Essa permette una valutazione conservativa delle fasce fluviali, ossia di fasce di maggiori estensioni, rispetto a quelle cui si perverrebbe adottando modelli di moto vario, in quanto l'ipotesi di portata costante lungo il tratto fluviale, svincola le aree di valle da condizionamenti impropri al deflusso di piena che causano una riduzione di portata a valle a scapito di inondazioni in aree di monte non a questo preposte. Nell'ipotesi di moto permanente le aree inondabili, a valle di ostruzioni improprie o aginature insufficienti, restano invariate rispetto ai miglioramenti dell'alveo di monte che si verificheranno nel tempo.

Tale ipotesi ovviamente non è veritiera allorché la geometrie d'alveo presentano un'elevata capacità di invaso rispetto alle onde di piena di riferimento come si riscontra nei tratti di pianura dei corsi d'acqua principali o quando si è in presenza di importanti invasi artificiali. In tal caso è necessario valutare l'effetto diffusivo sulla propagazione dei livelli di piena, abbandonando l'approccio di moto permanente e valutando quindi l'effetto della propagazione dell'intero idrogramma di piena sui livelli idrici e quindi sulle fasce di inondazione.

⁶ Rosso, R. 1984. 'Nash Model Relation to Horton order ratios', Water Resources Research, 20, 962-970

⁷ Rodriguez Iturbe e Valdes, 1985

Un criterio adottabile per definire l'attendibilità delle ipotesi di moto permanente è quello di verificare che il volume d'invaso dell'alveo di piena nel tratto considerato è trascurabile rispetto al volume dell'idrogramma di piena in esso transitante. Ciò si verifica generalmente allorché l'alveo di piena è limitato dalla topografia, e quindi la larghezza della piana alluvionale è comparabile alla larghezza delle sezioni di calcolo idraulico. Al contrario una modellistica di moto vario risulta quantomeno indicativa allorché il volume golenale è non trascurabile quindi l'effetto di invaso rende necessario l'analisi degli effetti della variazione della portata nel tempo sui livelli idraulici.

L'utilizzo del codice HEC-RAS (River Analysis System), versione 3.1 è il codice di calcolo richiesto dall'Amministrazione, che permette il calcolo dei profili idraulici con tecniche di moto permanente per le portate di piena ($T= 2, 50, 200, 500$ anni) determinate attraverso i metodi precedentemente descritti. In un numero di sezioni topografiche sufficientemente significative.

L'analisi idraulica sia di moto permanente, che di moto vario ove necessario, dovrà essere corredata di documentazione che rendano riproducibili i risultati ottenuti in particolare:

- descrizione della geometria di calcolo con le opportune condizioni al contorno,
- profili idraulici del tratto di alveo in esame;
- calcolo del solido delle velocità sulla sezione trasversale in funzioni delle classi di scabrezza individuate e del livello calcolato al punto precedente
- relazione di calcolo

4.1 Sezioni topografiche e modello delle quote

Le sezioni topografiche saranno rilevate in quote assolute in un unico sistema di riferimento e saranno eseguiti secondo quanto richiesto nei documenti a base di gara. Al fine di una corretta analisi idraulica è consigliato garantire un errore altimetrico inferiore a 30 cm.

In alcune sezioni significative, caratterizzate da sponde con elementi facilmente distinguibili saranno riportati con un chiodo o altro segno visibile le stazioni di partenza.

Nella specifica relazione dei rilievi, oltre ai caposaldi IGM di riferimento verranno riportate la metodologia di misura e la validazione dell'errore di misura.

L'estensione del rilievo va condotta su transetti anche nella piana alluvionale, anche oltre il rilevato arginale fino a dove potenzialmente può giungere l'esonazione.

I transetti così rilevati, saranno utilizzati per correggere le quote del modello digitale delle quote a 10 m, in modo tale da poter avere un piano quotato dell'area golenale esteso fino a dove potenzialmente può giungere un'esonazione.

I rilievi topografici dovranno anche far propri le opere idrauliche esistenti, acquisite nel catasto delle opere, i ponti, ed altri manufatti utilizzando sempre lo stesso sistema di riferimento.

In base ai profili così determinati verranno definite quindi come allagabili tutte le porzioni di territorio limitrofe al corso d'acqua le cui quote del piano di campagna risultino minori di quelle del pelo libero della corrente nelle sezioni considerate.

4.2 Sezioni di calcolo idraulico

Le sezioni di calcolo idraulico dovranno essere congruenti a quelle topografiche riproducendone l'intera larghezza comprensivi dell'eventuali discontinuità dovute all'ingombro di difese longitudinali, occupazioni trasversali quali edifici e vegetazione arborea. Esse dovranno essere estese a tutta l'alveo attivo, ossia a quella larghezza del rilievo per cui è ipotizzabile un campo di velocità della corrente diverso da zero. In caso di presenza di rilevati infrastrutturali che possono delimitare aree della golena con sola capacità di invaso, queste dovranno essere modellate considerando l'effetto dell'invaso sulla variazione di portata e quindi sui livelli. E' chiaro che tale situazione inficerebbe l'ipotesi di moto permanente per cui anche in questo caso va valutato se l'eventuale volume invasabile in tali aree particolari è trascurabile o meno rispetto al volume della piena di riferimento. Ai fini della determinazione dei profili idraulici fintanto che i livelli di piena sono contenuti nelle sponde dell'alveo, la sezione trasversale della corrente sarà costituita dalla sezione arginata; successivamente, quando il livello idrico supera le sponde anzidette, la sezione trasversale risulterà dall'unione della sezione arginata e della piana alluvionale compresa tra il corso d'acqua e la linea isoipsa corrispondente al livello idrico per la portata di calcolo. Tale tipo di approccio a sezione mista (**Figura 4**), se da un lato risulta più gravoso nella definizione della geometria delle sezioni idrauliche, anche a causa delle

abitazioni o di eventuali ostacoli rigidi presenti lungo la sezione e che costituiscono delle ostruzioni al moto della corrente, permette allo stesso tempo una più reale definizione dei livelli idrici e delle caratteristiche idrauliche della corrente lungo tutta la sezione idraulica.

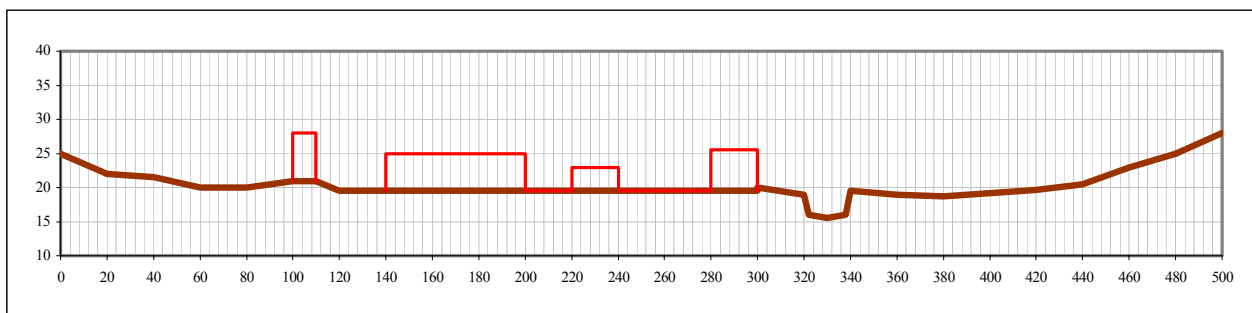


Figura 5. ----- Esempio di sezione mista comprensiva della parte alveata e di quella del piano alluvionale con gli insediamenti abitativi che costituiscono ostruzioni al moto della corrente

4.3 Scabrezza

La valutazione della scabrezza è trattata nel capitolo seguente, stante la sensibilità dei modelli di propagazione al loro valore

4.4 Opere idrauliche

Di seguito si suggeriscono le tecniche di modellazione idraulica di alcuni dei manufatti più frequenti che condizionano la sezione fluviale, lasciando alle specifiche tecniche quelle relative ad opere idrauliche quali dighe, traverse, vasche di laminazioni e canali scolmatori.

4.4.1 Ponti.

Nel rimandare all'ampia bibliografia sull'argomento, si suggerisce di utilizzare l'equazione del bilancio energetico qualora il ponte non presenta e si ritiene trascurabile la spinta dell'impalcato o delle spalle sulla corrente, mentre di utilizzare l'equazione globale del moto allorché le spinte sulla corrente indotte dagli elementi del ponte: pile, impalcato, spalle siano non trascurabili.

Al fine di una più corretta rappresentazione della dinamica dell'attraversamento di tali sezioni può essere opportuno confinare la sezione del ponte tra due sezioni appena a monte ed a valle dello stesso senza ovviamente gli eventuali ingombri di pile e spalle.

Nel software Hec Ras in uso è bene verificare che il criterio di passaggio dal deflusso a pelo libero a battente sia regolato dalla quota del pelo libero della corrente.

4.4.2 Soglie e Briglie

Anche in questo caso l'ampia bibliografia sull'argomento è assai estesa ed esaustiva. Va tuttavia precisato allorché ci si trova in presenza di queste strutture di inserirle nei codici di calcolo non come strutture separate, ma utilizzando la geometria di rilievo, al fine di evitare che la condizione al contorno interna da queste introdotte possa essere vista dal codice come una sola condizione di valle per il tratto in esame.

4.5 Condizioni al contorno di monte

Le condizioni al contorno di monte sono caratterizzate dalle portate di piena ad assegnata frequenza o dai relativi idrogrammi di progetto. In particolare, si assume in ingresso al tratto la portata di piena idrologica stimata per il bacino chiuso alla sezione di valle del tratto in studio.

La condizione al contorno di valle del singolo tratto sarà definita di volta in volta in funzione dei livelli di piena corrispondenti alla portata di piena a stessa frequenza indotti presenti nella sezione di monte del tratto appena a valle. Utilizzando il codice "Hec-Ras" ciò è realizzabile dividendo l'intera asta in studio nei tratti previsti utilizzando la procedura "junction" tra i diversi tratti. Una volta introdotta tale elemento

andrà valutato di volta in volta se calcolarvi i livelli in base alla sola equazione di conservazione dell'energia o a quella globale del moto.

4.6 Condizione al contorno di valle

La condizione di valle di ciascun tratto dovrà essere opportunamente scelta. Va sottolineato come alcuni dei principali corsi d'acqua, nel loro tratto terminale, possono essere soggetti durante le piene ad una condizione di valle sfavorevole indotta dall'innalzamento della quota media mare per i fenomeni di tempesta oltre a quelli di sopralzo dovuti alla marea. In generale si può assumere come condizione al contorno la somma della quota di marea (0.5m) di quella di tempesta (0.5 m) più l'altezza d'onda frangente .

Le confluenze, come singolarità idraulica non sono considerate perché lo studio è esteso alla sola asta principale

4.7 Effetto delle dighe

L'elevato numero di dighe che caratterizza gli alvei della Sardegna impone l'analisi del loro effetto sulla definizione delle fasce inondabili a valle, sia quindi sulla stima della portata al colmo e del relativo idrogramma sia sull'eventuale effetto di laminazione riscontrabile nella propagazione di piena.

Tale attività sarà condotta considerando preliminarmente l'entità del volume di regolazione delle dighe o il volume di laminazione previsto rispetto al volume di piena. Una volta ritenuto non trascurabile l'effetto del volume di vaso rispetto a quello dell'idrogramma dovrà essere calcolato l'effetto di laminazione sull'idrogramma di piena e sulle aree inondabili a valle della diga

5 ANALISI DELLA VEGETAZIONE E VALUTAZIONE DELL'INDICE DI RESISTENZA

L'indice di resistenza ossia il coefficiente dimensionale che regola le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza di un corso d'acqua rappresenta l'insieme di svariati meccanismi dissipativi che intervengono nello scorrere di una corrente fluviale. In esso, sono rappresentati meccanismi dissipativi dovuti alla forma della sezione, alle caratteristiche del materiale di fondo, alla presenza di ostacoli rigidi o flessibili nonché al grado di sommergenza delle asperità presenti all'interno di una sezione fluviale⁸. Come noto la scabrezza di ciascuna sottosezione è valutata tramite il coefficiente di Strickler, $k [m^{1/3}s^{-1}]$, o dal suo inverso coefficiente di Manning $n = 1/k$ che compaiono nelle elazione di moto uniforme che legano velocità e tiranti idrici.

Nel presente studio l'eterogeneità della copertura del suolo lungo le sezioni estese alla piana golenale e l'ipotesi di monodimensionalità del moto fa assumere alla determinazione di questo parametro un valore rilevante ai fini della determinazione delle fasce di allagamento per la sua influenza sul tirante idrico e sul regime di moto della corrente.

Di seguito (**Figura 4**) si osserva la sensibilità del cappio di piena alla scabrezza per valori di K (equivalente sulla sezioni) da 20 a 30.

⁸ Marchi, Meccanica dei Fluidi, UTET, 1972

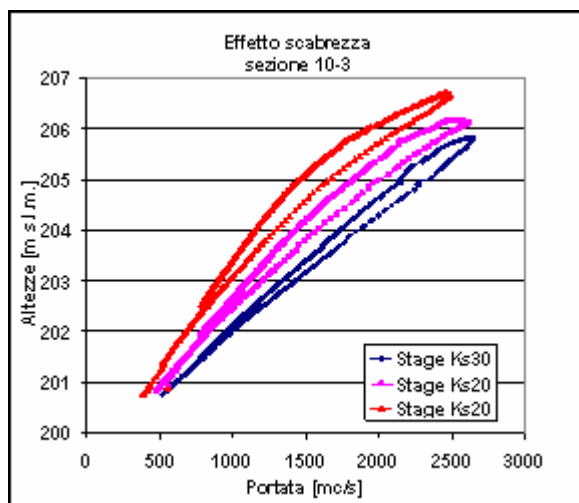


Figura 6. Fiume Toce esempio degli effetti della variazione di scabrezza sul legame h-Q per valori globali del K_s (10-30).

La ricerca della massima estensione della sezione idraulica per diverse frequenze di piena fa sì che verosimilmente una sezione sia caratterizzata da differenti tipologie di scabrezze diverse di coperture che vanno da quelle dell'alveo inciso al piano golenale.

Per tale motivo e stante l'ipotesi di moto monodimensionale si propone, anche sulla base di esperienze operative di studi pregressi⁹, di rappresentare la scabrezza lungo una sezione secondo il classico approccio della scabrezza equivalente in cui ciascun tratto di sezione è caratterizzato da una scabrezza che tiene conto del grado e del tipo di vegetazione presente.

Per quanto riguarda l'indice di scabrezza dovuta alla vegetazione essa è calcolata in base alle caratteristiche di un valore di scabrezza di riferimento dovuto alla tipologia di copertura del fondo della sezione (K_{s0}) e dalla tipologia di vegetazione (rigida o flessibile) che vi si instaura (K_{sveg}).

Di seguito sono quindi proposte alcune formulazioni per il calcolo delle singole componenti che conducono alla stima dell'indice di scabrezza caratteristico di una parte della sezione idraulica e quindi i classici metodi di media pesata per il calcolo della scabrezza equivalente sull'intera sezione.

Le informazioni utilizzate sono le ortofoto per la definizione di una mappa di uso del suolo, le informazioni visive raccolte durante i sopralluoghi, la granulometria del materiale che hanno permesso di considerare e ove possibile le scale di deflusso misurate.

5.1 Stima dell'indice di resistenza k_{s0} di riferimento.

Al fine di determinare il coefficiente di scabrezza la prima analisi effettuata ha comportato la definizione e relativa mappatura del parametro K_{s0} caratteristico di superfici senza ostacoli rigidi (parametro caratteristico della resistenza offerta dalla "microrugosità"). Questo è stato calcolato per l'alveo inciso e per le zone golenali estese a tutta la larghezza della piana fluviale.

5.1.1 Stima del k_{s0} nell'alveo inciso

Per la parte di alveo fluviale il valore del K_{s0} è quello di letteratura valutato anche con l'ausilio di delle curve granulometriche del materiale d'alveo. Dall'analisi di queste e dall'osservazione diretta, sono state individuate quattro zone omogenee i cui valori riflettono la diminuzione del diametro del materiale di fondo procedendo da monte verso valle (Figure 15-19).

⁹ Autorità di Bacino del Fiume Po Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua del bacino del fiume Po - Specifica per la caratterizzazione della vegetazione di sponda e in alveo, 2002.


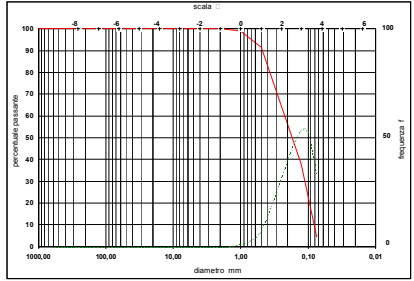
	
Alveo tipo:	Monocursale
Sponda sinistra:	Generalmente poco ripida, sabbiosa e coperta da vegetazione
Sponda destra:	Generalmente poco ripida, sabbiosa e coperta da vegetazione
Classe granulometrica prevalente:	Sabbia e sabbia-limosa

Figura 7. Fiume Toce Tr_5: Sezione 4 vista da valle, $d_{90}=0.5$ mm in alveo di magra


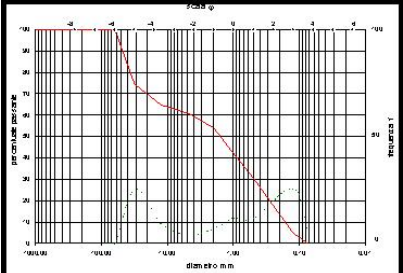
	
Alveo tipo:	Monocursale
Sponda sinistra:	Generalmente ripida, sabbiosa e ricoperta da vegetazione, talora con blocchi antropici
Sponda destra:	Generalmente ripida, sabbiosa e ricoperta da vegetazione
Classe granulometrica prevalente:	Prevalentemente sabbia e ghiaia con rari ciottoli

Figura 8. Fiume Toce parte Tr_5 e Tr_4: Sezione 14 Vista da monte, $d_{90}= 49$ mm in alveo di magra


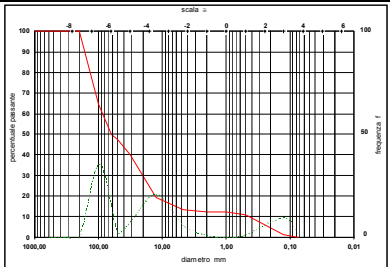
	
Alveo tipo:	Monocursale
Sponda sinistra:	Ripida sabbiosa-ghiaiosa
Sponda destra:	Ripida con blocchi a scogliera artificiale
Classe granulometrica prevalente:	Ghiaia e sabbia con limitate zone ciottolose

Figura 9. Esepio Fiume Toce Tr_3 e Tr_2: Sezione 20 Vista da monte d_{90} in alveo 160 mm

Per ciascuna delle sezioni in esame è stata valutata la scabrezza in termini di coefficiente di Strickler sia secondo la formulazione dello stesso autore (rif. a d_{50}) sia di Muller (rif. a d_{90}) per la sola granulometria dell'alveo: $Ks_o = \frac{26}{d_{90}}$. Si ricordando che tali valori risultano non tenere in conto le forme fluviali presenti.

La granulometria esaminata è quella ritenuta caratteristica della sezione secondo le apposite specifiche previste negli annessi alle linee guida.

Tabella II.

Valori del coefficiente di scabrezza in funzione della granulometria del materiale

Sezione	d ₉₀ (m)	d ₅₀ (m)	k Strikler	k Muller
4	0.0005	0.00017	89.65	92.64
14	0.049	0.0015	62.36	43.15
20	0.14	0.057	34.01	36.22
30	0.4	0.25	26.58	30.41

5.1.2 Stima del K_{s0} nelle aree golenali

La stima del k_{s0} nelle aree golenali è ottenuta in base all'uso del suolo prevalente ricavabile dalle ortofoto (Tabella IV). Tale valore costituisce la scabrezza del terreno (resistenza da microrugosità) senza considerare l'effetto degli ostacoli, vegetazione e abitazioni. Alla vegetazione appartenente alle altre aree ed ai prati è stato attribuito un valore di 28 m^{1/3}s⁻¹ così come desunto dalla letteratura (Chow, 1959). Analogamente, alle zone mediamente urbanizzate è stato attribuito un valore di k_{s0} pari a 40 m^{1/3}s⁻¹, alle zone densamente urbanizzate un valore di k_{s0} pari a 50 m^{1/3}s⁻¹ mentre al suolo privo di vegetazione ed allo scalo ferroviario un valore di k_{s0} pari a 30 m^{1/3}s⁻¹ (Tabella VI).

Tabella III. Classi di uso del suolo e valori del K_{s0}

Tipologia uso suolo	k _{s0} [m ^{1/3} s ⁻¹]
Case sparse	40
Case dense	50
Suolo tra vegetazione fitta	28
Suolo tra vegetazione rada	28
Prato	28
Terreni nudi	25
Ferrovia	25
Specchi liquidi	Non definito (n.d.)

5.2 Sima dell'indice di resistenza dovuta alla vegetazione

La resistenza offerta dalla vegetazione richiede una trattazione specifica, soprattutto per il carattere flessibile posseduto da questo tipo di ostacolo.

La presenza di vegetazione sul contorno bagnato di un corso d'acqua può comportare un notevole aumento della scabrezza equivalente e quindi un sensibile aumento della resistenza al moto, come si evince anche dalla Figura successiva, relativa a vegetazione erbacea flessibile¹⁰.

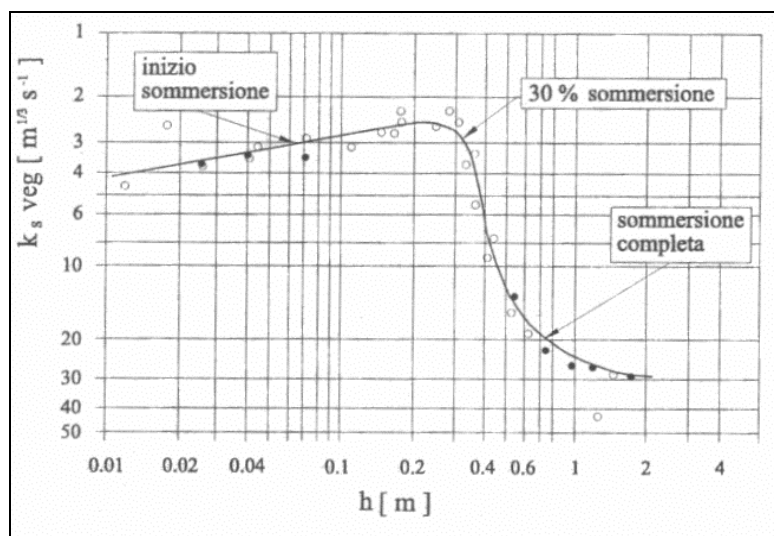


Figura 10. Effetto dell'erba sul coefficiente di scabrezza al variare del livello (Prezedwojski et al.

¹⁰ Kouven, N. and Unny T.E.1969, Flow retardance in vegetated channels, J. Of Irrig. And Drain. Div., ASCE, IR2, June, 329-342.

1995)¹¹

Per dare una trattazione sistematica del problema conviene distinguere tra vegetazione flessibile di carattere erboso e vegetazione rigida di tipo arboreo. Bisogna ancora discriminare tra vegetazione completamente immersa nella corrente e vegetazione emergente dalla corrente.

5.2.1 Vegetazione flessibile completamente immersa

Nel caso di canale con vegetazione sommersa è stata osservata l'esistenza di uno strato, in prossimità della parete, dominato dalla scabrezza offerta dalla vegetazione (Figura 14).

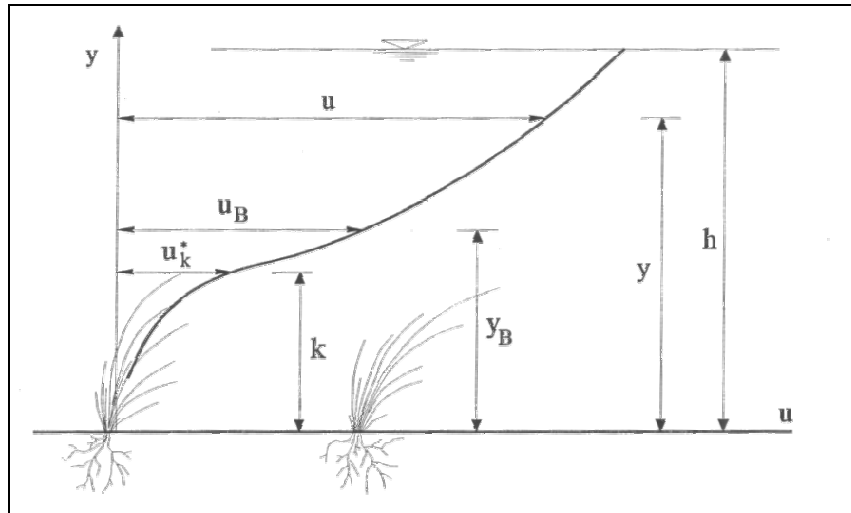


Figura 11. Schema di profili di velocità osservati al di sopra di vegetazione flessibile [Kouwen¹², 1988]

Per valutare gli effetti sulla resistenza al moto, si fa riferimento alla espressione di Darcy-Weisbach, ipotizzando l'esistenza di uno strato dominato dalla turbolenza di parete e di conseguenza da una legge di resistenza di tipo logaritmico.

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = A_v \ln \frac{h}{k_v} + B_v$$

dove f rappresenta la funzione di resistenza secondo Darcy-Weisbach, h [L] il tirante idrico e k_v [L] rappresenta la scabrezza equivalente dovuta alla vegetazione. Una possibilità per definire la scabrezza della vegetazione è quella di assumere per k_v l'altezza della vegetazione stessa.

I coefficienti adimensionali empirici A_v e B_v dipendono dal tipo e dallo stato della vegetazione. Nella seguente Tabella sono riportati alcuni valori reperiti in letteratura.

Tabella IV. Valori dei parametri A_v e B_v proposti da diversi autori.

Tipologia della vegetazione	A_v	B_v
Vegetazione eretta	1.85	0.15
Vegetazione prona	0.6 - 0.8	7.6 - 9.9

Kouven (Kouven, 1988, Kouwen e Unny, 1969) ha proposto un criterio che tiene conto, nella definizione della scabrezza equivalente, della flessibilità della vegetazione; k_v viene fatta dipendere dalla rigidità della vegetazione stessa, attraverso il parametro seguente M_v [N/m^2], che tiene conto implicitamente anche della densità spaziale della vegetazione:

¹¹ Prezedwojski, B., Blazejewski, R. and Pilarczyk, K. W., River Training Techniques: Fundamentals, Design and Applications, A.A. Balkema, Rotterdam, 1995.

¹² Kouven, N., 1988, Field Estimation of the Biomechanical Properties of Grass; J. Of hydr. Research, Vol. 26, No. 5, 559-568.

$$k_v = 0.14 h_{veg} \left(\frac{\left(\frac{M_v}{\tau_0} \right)^{0.25}}{h_{veg}} \right)^{1.59}$$

h_{veg} rappresenta l'altezza media delle piante e τ_0 [ML⁻¹T⁻²] lo sforzo tangenziale al fondo calcolato in ipotesi di scabrezza di riferimento, K_{s_0} . Il valore della rigidezza M_v , per la vegetazione verde è e per quella morta o dormiente sono rispettivamente espresse dalle relazioni :

$$M_v = 319 h_{veg}^{3.3} \quad [M_v] = [N/m^2] ; [h_{veg}] = [m] \quad (\text{vegetazione verde})$$

$$M_v = 2.54 h_{veg}^{2.26} \quad [M_v] = [N/m^2] ; [h_{veg}] = [m] \quad (\text{vegetazione dormiente})$$

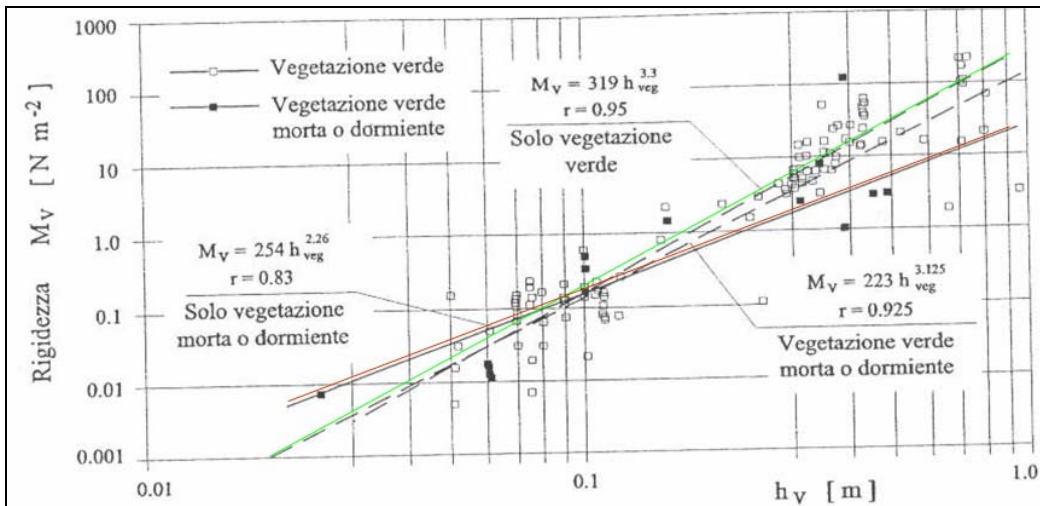


Figura 12. --- Rigidità della vegetazione flessibile in alveo a seconda dello stato di attività¹³

5.2.2 Scabrezza equivalente dovuta a vegetazione rigida, parzialmente sommersa

Nel caso di piante o cespugli praticamente rigidi, distribuiti in maniera non troppo densa lungo la parete del corso d'acqua, la resistenza viene calcolata analizzando la resistenza offerta dalle singole piante.

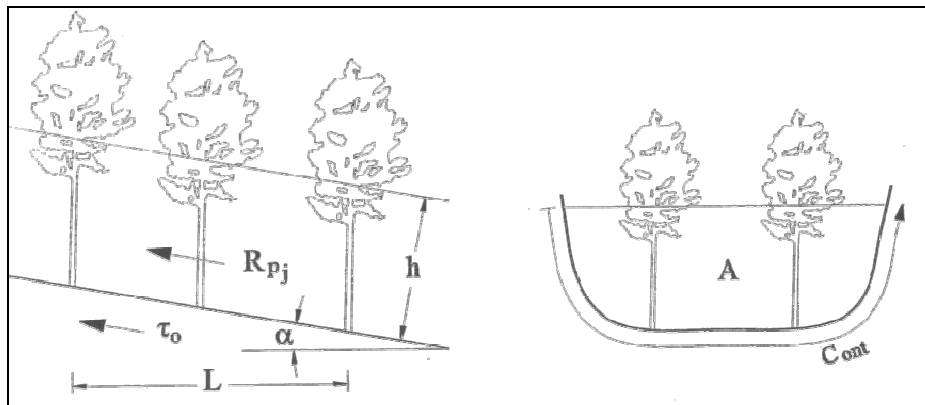


Figura 13. Schema di calcolo della scabrezza in presenza di piante singole.

In moto uniforme la componente della forza peso nella direzione del moto di un tratto di canale lungo L ($\rho g A L_E$) è bilanciata dagli sforzi alla parete agenti sul contorno $Cont$, ($\tau_0 C_{ont} L$) e dalla resistenza idrodinamica offerta dalle singole piante ($\sum R_{pj}$):

$$\rho g A L_E = \tau_0 C_{ont} L + \sum R_{pj}$$

¹³ (cfr. nota precedente)

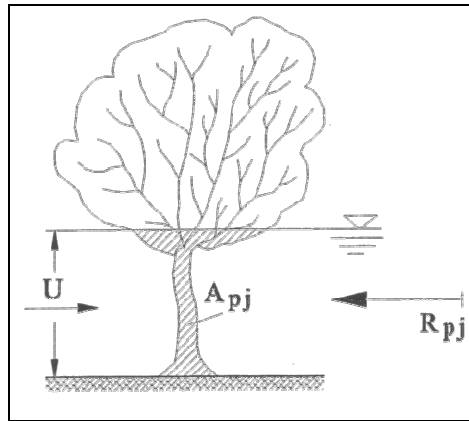


Figura 14. Schema dell'ingombro di una singola pianta.

dove ρ è la densità dell'acqua, i_E la cadente della linea dell'energia. La resistenza offerta dalla singola pianta può essere espressa in funzione del coefficiente di resistenza C_R e della sezione d'ingombro medio delle piante A_{pj} e della velocità U

$$R_{pj} = C_R \rho A_{pj} \frac{U^2}{2}$$

Tramite sostituzione e passaggi matematici, definita con

$$\Lambda_v = C_R \frac{A_{pj}}{a_x a_y}$$

la densità della vegetazione, in definitiva si ha (Petrysk e Bosmajian, 1975)

$$k_{s-veg} = \frac{k_{s0}}{\sqrt{1 + \frac{\Lambda_v}{2g} k_{s0}^2 R_h^{1/3}}}$$

Dove

A_{pj} sezione orizzontale di ingombro di una pianta [m²], C_R coefficiente di resistenza, a_x distanza tra le piante nella direzione della corrente, a_y distanza tra le piante nella direzione perpendicolare alla corrente, R_h raggio idraulico dell'area interessata, k_{s0} coefficiente di Strickler del terreno [m^{1/3}/s].

Valori ricorrenti di questi parametri sono riportati nella tabella successiva.

Tabella V.

Parametri geometrici tipici della vegetazione in funzione delle diverse tipologie.

vegetazione	grado di sviluppo	d_p [m]	a_x [m]	a_y [m]
vegetazione distribuita - <i>canneto</i> - <i>arbusti</i> - <i>salici</i> alberi - <i>Betulla</i>	1 anno	0.003 ÷ 0.01	0.01 ÷ 0.03	0.01 ÷ 0.03
	più anni	0.03	0.25 ÷ 0.35	0.25 ÷ 0.35
	5 anni	0.03 ÷ 0.06	0.15 ÷ 0.25	0.15 ÷ 0.25
	> 5 anni	0.04 ÷ 0.10	1.0 ÷ 5.0	1.0 ÷ 5.0
piante isolate e gruppi di alberi - <i>cespugli</i> - <i>gruppi di alberi</i>	solo tronchi	0.15 ÷ 0.50	3.0 ÷ 10.0	3.0 ÷ 10.0
	più anni	0.5 ÷ 1.0	10.0 ÷ 20.0	5.0 ÷ 15.0
	più anni	3.5	3.5 ÷ 10.0	3.0 ÷ 10.0
	più anni	1.0	10.0	10.0

5.2.3 Stima dell'indice di resistenza per ostacoli rigidi

Per la stima del coefficiente di scabrezza effettivo (combinazione della resistenza offerta dalla microrugosità e della macrorugosità), tenente conto dell'effetto della vegetazione o comunque degli ostacoli rigidi delle aree urbanizzate, occorre stimare i parametri della formula di Petryks e Bosmajian: spaziatura, diametro e coefficiente di resistenza. A tal fine sono utilizzabili le informazioni ricavabili dalle schede di rilievo della vegetazione (Figura 13) compilata a titolo di esempio per un tratto del Fiume Toce.

Figura 15. Esempio di scheda per la stima del coefficiente di scabrezza compilata per il transetto T1 in vicinanza dell'abitato di Villadossola .

5.2.4 Analisi di sensitività ai parametri descrittivi degli ostacoli

Per definire i limiti di applicabilità e i margini di errore consentiti nella stima dei parametri della formula di Petryks e Bosmajian per il calcolo della scabrezza effettiva tenente conto della vegetazione rigida, è stata effettuata una analisi di sensitività univariata (variando in un range di riferimento il valore di un solo parametro alla volta). I parametri analizzati sono stati:

- diametro degli alberi
- spaziatura
- coefficiente di resistenza
- altezza idrica

Nell'analisi si ipotizza una sezione trasversale molto larga così da poter approssimare il raggio idraulico con l'altezza idrica. In Tabella seguente vengono riportate le combinazioni di parametri adottate nell'analisi.

Tabella VI. Parametri analizzati per l'analisi di sensitività

Sensitività parametro:	al	Coeff. di Resistenza (Cr)	Diametro [m]	Spaziatura [m]	Altezza Idrica [m]	$K_{s0} [m^{1/3} s^{-1}]$
		1 – 1.5	0.2	2	1	30
		1	0.01 – 1.5	2	1	30
		1	0.2	0.1 - 20	1	30

Altezza Idrica	1	0.2	2	1 - 3	30
----------------	---	-----	---	-------	----

I risultati dell'analisi di sensitività in forma grafica sono mostrati nelle Figure 16 e 17 nelle quali si visualizza in colore blu il valore di K_{s0} , in verde il valore effettivo di scabrezza risultante dalla formula di Petryks e Bosmajian e in colore azzurro la percentuale di variazione del coefficiente di scabrezza effettivo rispetto al valore di riferimento K_{s0} .

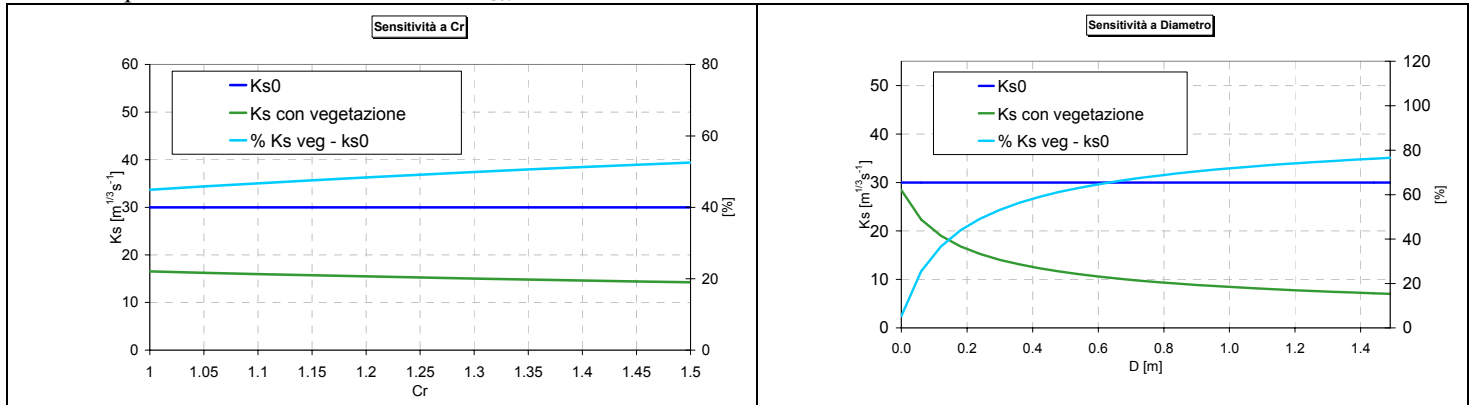


Figura 16. Sensibilità al coefficiente di resistenza (sin) e al diametro medio della vegetazione (dx): in colore blu il valore di K_{s0} , in verde il valore effettivo di scabrezza risultante dalla formula di Petryks e Bosmajian e in colore azzurro la percentuale di variazione del coefficiente di scabrezza effettivo rispetto al valore di riferimento K_{s0}

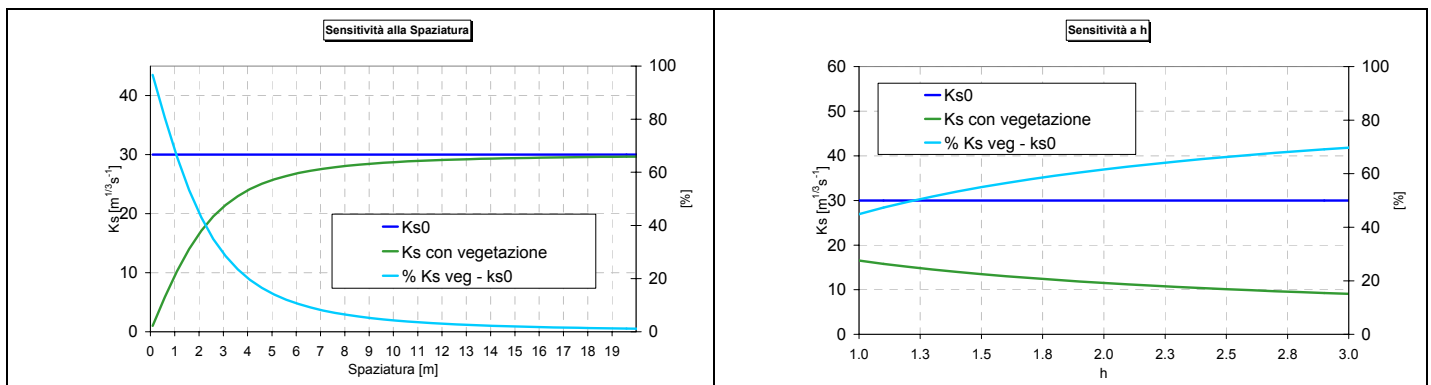


Figura 17. Sensibilità alla spaziatura degli alberi (sin) e all'altezza idrica (dx): in colore blu il valore di K_{s0} , in verde il valore effettivo di scabrezza risultante dalla formula di Petryks e Bosmajian e in colore azzurro la percentuale di variazione del coefficiente di scabrezza effettivo rispetto al valore di riferimento K_{s0}

Il metodo di stima del coefficiente di scabrezza dovuto all'effetto della vegetazione rigida secondo Petryks e Bosmajian risulta poco sensibile al coefficiente di resistenza, mediamente sensibile all'altezza idrica e molto sensibile al diametro e alla spaziatura degli alberi (Tabella XV). Così come si evince dal grafico (Figura 29 sin.), l'effetto della vegetazione non si denota più per valori di spaziatura al di sopra dei 10 m. Ciò comporta un'attenta stima dei parametri della vegetazione con rilievi di dettaglio delle caratteristiche della componente vegetale per quelle zone con vegetazione fitta, mentre risulta ininfluente l'applicazione del metodo a zone con spaziatura della vegetazione maggiore di 10 m.

Tabella VII. Sensibilità del K_s ai vari parametri

Parametro	Grado di sensibilità
Coeff. Di Resistenza (Cr)	Poco sensibile
Diametro	Molto Sensibile
Spaziatura	Molto Sensibile
Tirante Idrico	Mediamente Sensibile

5.3 Esempi di stima dell'indice di resistenza

Di seguito si stima il valore di scabrezza effettiva lungo ciascuna sezione idraulica. Laddove risulta esserci vegetazione o urbanizzazione (cioè dove risulta definito il parametro Λ_v), il valore di scabrezza

effettiva viene calcolato secondo la formula di Petryks e Bosmajian; nelle altre zone la scabrezza effettiva risulta uguale alla scabrezza di riferimento K_{s0} . La mappa della scabrezza effettiva risultante viene riportata in Figura 18.

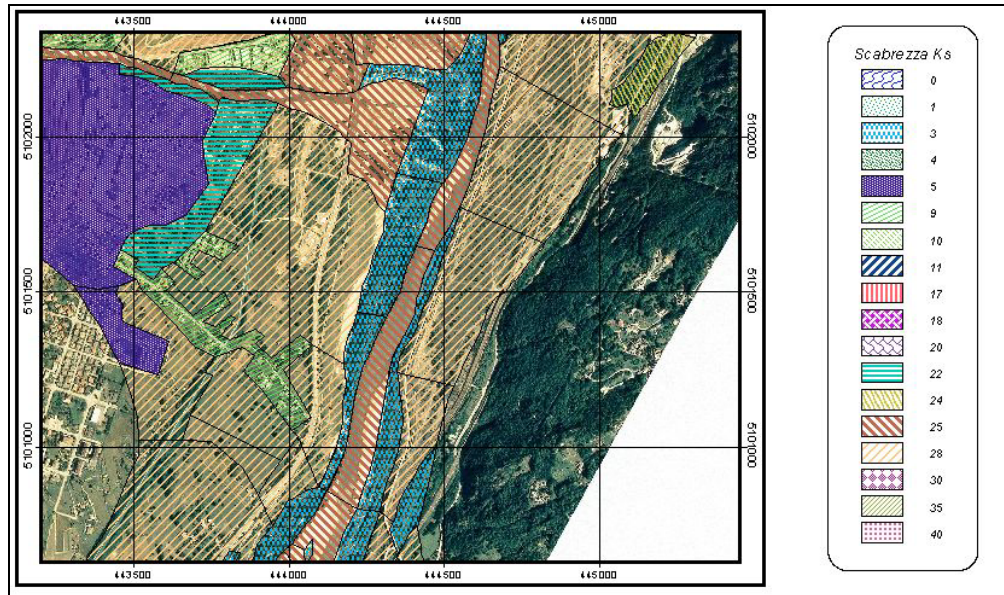


Figura 18. Esempio Mappa del coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$) risultante secondo la formulazione di Petryks e Bosmajian (contributo della microrugosità e della macrorugosità) per l'area di riferimento in località Villadossola.

Tabella VIII.

Esempio dei parametri della formula di Petryks e Bosmajian adottati per le diverse classi di uso del suolo e valore del K_s risultante.

Tipologia uso suolo	k_{s0} [$m^{1/3} s^{-1}$]	Spaziatura [m]	Diametro [m]	Δv	K_s effettivo
Case sparse	30	15	10	0.0444	10
Case dense	30	10	10	0.1	5
Vegetazione fitta	28	2.5	0.25	0.12	4
Vegetazione rada	28	10	0.4	0.004	24
Prato	28	-	-	-	28
Terreni nudi	25	-	-	-	25
Ferrovia	25	-	-	-	25
Specchi liquidi	(n.d.)	-	-	-	-
Vegetazione in alveo	20 - 40	1 - 7	0.2 - 0.3	0.0153 - 0.6	1 - 14
Alveo Tr1	20	-	-	-	20
Alveo Tr2	20-25	-	-	-	20-25
Alveo Tr3	25	-	-	-	25
Alveo Tr4	35	-	-	-	35
Alveo Tr5	35-40	-	-	-	35-40

In conclusione per ciascuna delle sezioni si è calcolata la scabrezza in modo distribuito lungo lo sviluppo della sezione come intersezione del piano contenente la sezione e del piano topografico (Figura 19)

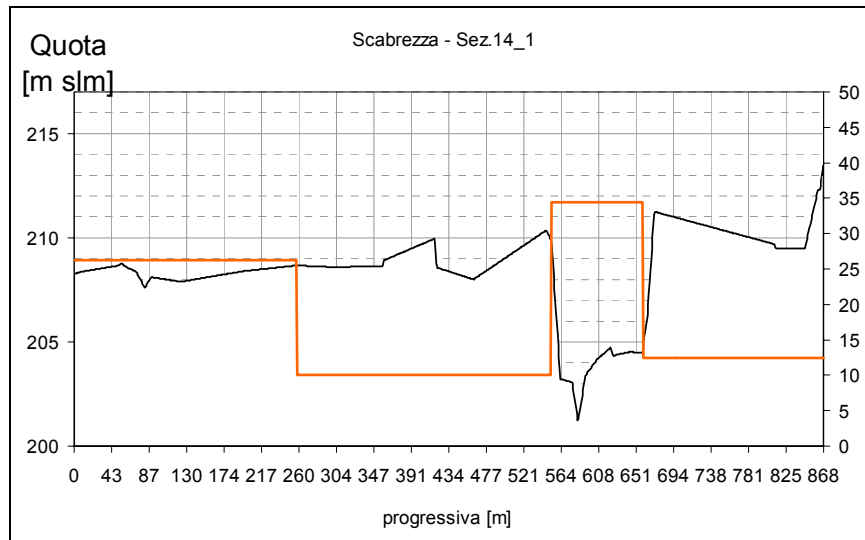


Figura 19. Esempio di scabrezza distribuita lungo la sezione idraulica

5.4 Calcolo dell'indice di resistenza equivalente sulla sezione

Allorquando si presentano sezioni trasversali del corso d'acqua con tratti a scabrezza diversa (Figura 20) occorre riferirsi ad un metodo per il calcolo del coefficiente di scabrezza equivalente.

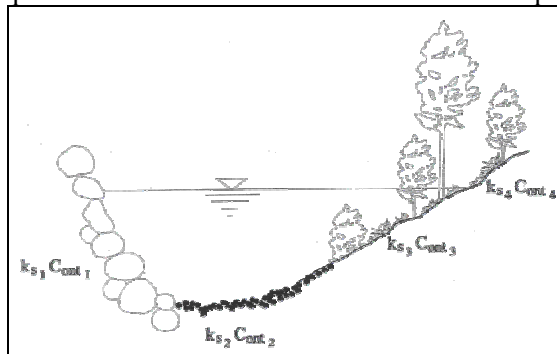


Figura 20. Schema di sezione trasversale con scabrezze diverse.

In queste situazioni la distribuzione delle velocità può risultare sensibilmente influenzata dalle differenze di scabrezza. In particolare, in presenza di vegetazione folta sulle sponde, l'influenza della scabrezza delle sponde si può estendere sensibilmente all'interno della parte centrale del canale e quindi gli sforzi tangenziali lungo le linee verticali possono essere confrontabili con quelli lungo le pareti e pertanto non più trascurabili (Figura 21).

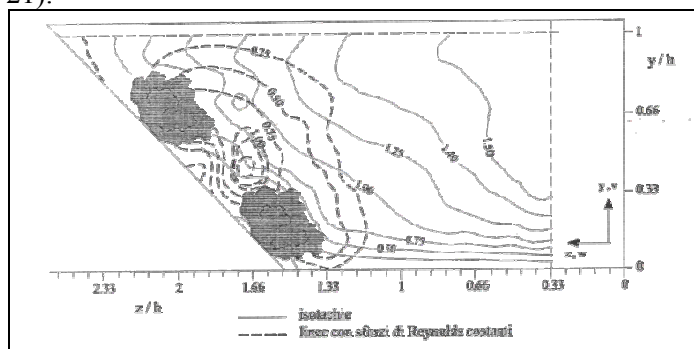


Figura 21. Distribuzione delle linee isotachie, normalizzate rispetto alla velocità media, e delle linee di uguale sforzo di Reynolds, normalizzato rispetto alla velocità di attrito media, in presenza di vegetazione folta sulla sponda destra. (da Armanini, 1999¹⁴)

Esistono allora diversi criteri per calcolare il coefficiente di scabrezza equivalente di queste sezioni.: quello della media ponderale sulla lunghezza del perimetro bagnato (p_j):

¹⁴ Armanini, A., Principi di Idraulica Fluviale, ed BIOS, 1999.

$$k_{eq} = \frac{\sum_j^N k_j p_j}{\sum_j^N p_j}$$

dove il termine k_j rappresenta il valore del coefficiente di scabrezza comprensivo della granulometria e forme del fondo e della copertura vegetale che insiste sul tratto J in cui è suddivisa la sezione trasversale. Altrimenti è possibile utilizzare l'espressione di Lotter modificata da Engelund¹⁵:

$$Ks_{eq} = \frac{\sum_i Ks_i A_i R_i^{2/3}}{A R_{eq}^{2/3}}$$

Dove R_{eq} è il raggio idraulico equivalente

$$R_{eq}^{2/3} = \frac{\sum_i A_i R_i^{2/3}}{A}$$

5.5 Approccio globale sull'intera sezione

Nelle sezioni a monte dei tratti vallivi definiti come i 10 km teminali del corso d'acqua, soprattutto allorché la sezione idraulica si presenta di tipo inciso, la stima del coefficiente di scabrezza può farsi confrontandosi con i valori di letteratura che, generalmente si riferiscono ad un valore globale della sezione fluviale considerata (Figura seguente).



Figura 22. --- Sezione trasversale interessata da vegetazione folta sulle sponde interessate da deflusso per portate di piena superiori all'ordinaria (sin) e Situazione parametrizzata in letteratura ($Ks = 28 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) dx¹⁶

La stima dell'indice di resistenza va completata attraverso le modifiche proposte da Chow rispetto alla vegetazione rigida, alla tortuosità come proposto da Chow, (1959) attraverso un modello dell'indice di Manning, che ipotizza ritenendo lineare l'effetto dei diversi parametri riportati nella Tabella seguente. L'espressione dell'indice di Manning, (inverso dell'indice di Strikler) è quindi dall'espressione:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m^5$$

¹⁵Chow, Open Channel flow, Mc Graw Hill, 1959

¹⁶ Cfr nota precedente

Tabella IX. Valori dell'indice di manning per fattori che influenzano la resistenza al moto

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n ₀	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n ₁	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n ₂	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010- 0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n ₃	0.000
	Modesto		0.010- 0.015
	Apprezzabile		0.020- 0.030
	Elevato		0.040- 0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n ₄	0.005- 0.010
	Medio		0.010- 0.025
	Alto		0.025- 0.050
	Molto alto		0.050- 0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	m ₅	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

6 ANALISI DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO

Sebbene l'analisi del trasporto solido non costituisce l'obiettivo principale del presente studio sono tuttavia indicate l'analisi delle capacità di trasporto nei tratti alluvionali del reticolo principale. In particolare essendo l'interesse principale per i tratti d'alveo in prossimità della costa (cfr Linee Guida) si ritiene utile definirli anche tramite l'analisi delle pendenze di fondo eseguite dal modello digitale. Infatti in base ad analisi del fondo alveo su DEM di dettaglio (10m) si cercherà di individuare il tratto alluvionale su cui eseguire i rilievi identificando come inizio del tratto alluvionale quello limitato a monte dal punto (tratto), che permette di individuare la discontinuità tra il profilo montano e quello di pianura.

Nei tratti così definiti verranno prelevati i campioni per la definizione delle curve granulometriche

Il calcolo della capacità di trasporto solido verrà condotta con le espressioni empiriche di Meier Peter Muller o altre maggiormente indicate per le specifiche condizioni dell'alveo in esame. In caso di corazzamento dell'alveo la capacità di trasporto solido verrà valutata per la portata $T=2$ anni di periodo di ritorno con il diametro d_{90} , altrimenti con il d_{50} che caratterizza la sezione idraulica interessata da tale portata (Thorne ed al, 2000)¹⁷.

La stessa formulazione ma estesa anche al d_{50} verrà applicata per le portate di riferimento.

Verrà inoltre anche valutato in base alla teoria di Shields (correggendo opportunamente l'indice di stabilità per le specifiche condizioni di pendenza, corazzamento, sommergenza etc..) la pendenza di equilibrio per la porta $T=2$ anni evidenziando il confronto con la pendenza di fondo alveo attuale.

Ai fini poi di una stima puramente indicativa del materiale che mediamente raggiunge in un anno la sezione fociva del bacino verrà applicata la formula di Gabrilovich.

¹⁷ Thorne ed al, Applied Fluvial Geomorphology for river engineering and management, J. Wiley 2000.

7 TRACCIAMENTO DELLE AREE INONDABILI

7.1 Aree di inondazione naturale

Il tracciamento delle fasce fluviali è l'operazione di sintesi delle attività di analisi del presente piano che riporta sul territorio le tracce di piena di eventi di diversa gravità ottenute tramite simulazione dei fenomeni idraulici e supportato sia dalla teoria della propagazione delle onde di acque basse (mono o bidimensionali) sia dall'analisi geomorfologia per quel che riguarda l'individuazione di tracce storiche della dinamica fluviale. Esso è come noto argomento, che presenta indubbe caratteristiche di intuitività per il tecnico, ma allo stesso tempo delicato rispetto alla traduzione sul territorio delle ipotesi teoriche adottate e quindi alla definizione delle linee che individuano le fasce fluviali, come inviluppo della massima estensione raggiunta dalla corrente di piena.

In generale l'impostazione del presente lavoro ed il supporto topografico ricostruito dalla georeferenziazione dei rilievi topografici acquisiti per transetti con il piano quotato offerto dal modello delle quote, permette per ogni livello idrico il calcolo della relativa area inondabile naturale (Fascia A e Fascia B) tramite l'intersezione della quota idraulica con il modello topografico del fondo non solo lungo la sezione ma tra i differenti transetti a diversa progressiva lungo l'asta fluviale. E' noto che tale rappresentazione necessita di un'interpretazione dell'operatore nella definizione dei confini delle aree inondabili allorché vincoli lineari quali arginature o infrastrutture viarie confinano artificialmente l'area di esondazione.

La determinazione dei livelli idraulici risentono delle ipotesi di moto permanente assunte nel presente studio che vanno rilassate allorché la geometria dell'alveo ed i relativi volumi di invaso rende necessario ampliare al modellistica alle più estese condizioni di moto vario. Per tale motivo il tracciamento delle aree dovrà tenere conto della disponibilità di volume disponibile sia nell'alveo di piena del reticolo idrografico. Questo è il caso di corsi d'acqua quali il Padrogiano, il Tirso, il Flumendosa, il Coghinas, per i quali si dovrà verificare l'estensione della fascia di allagamento anche in ipotesi di moto vario al fine di tener conto del considerevole volume di invaso della gola.

Nel caso della Fascia C vanno confrontate e scelte in modo critico (giustificato nell'opportuna relazione, il confronto tra la Fascia C ottenuta con il criterio geomorfologico e la Fascia C ottenuta con il criterio idraulico.

8 ELABORATI DI PIANO

8.1 Cartografia

Il piano stralcio fasce fluviali conterrà gli elaborati previsti dall'art. 6 delle Linee Guida. In particolare sulla cartografia tecnica regionale (scala 1:10'000) saranno riportate le fasce come linee a differente graficismo, che individuano la tipologia delle aree inondabili sopra definite. Inoltre sempre sullo stesso supporto verranno individuate con graficismo lineare le linee di contenimento della corrente così come censite nel catasto opere idrauliche. Tali linee verranno anche fornite in forma vettoriale per l'utilizzo nel sistema informativo regionale.

8.2 Materiale propedeutico

Agli elaborati di sintesi contribuiranno una serie di elaborati di supporto, in formato cartaceo e digitale, opportunamente archiviato che renda possibile la riproduzione dei calcoli e dei risultati presentati ed il loro aggiornamento in tempi successivi.

Sulla cartografia saranno identificate i transetti che individuano la sezione topografica utilizzata nei calcoli secondo una opportuna numerazione. A ciascun transetto corrisponderà un atlante delle sezioni con evidenziati il disegno della sezione idraulica, i livelli idrici di piena e i relativi diagrammi della velocità nella sezione trasversale e delle scabrezze. Tale specificazione sebbene fornisca una velocità approssimata permette eventuali affinamenti del livello di pericolosità in base alle caratteristiche di trascinarsi della corrente.

I livelli di piena dovranno essere anche riportati come profili idraulici all'interno della relazione ed anche archiviati su formato Microsoft Excell, ed all'interno dei progetti del codice HEC-RAS scelto per il loro tracciamento. La codifica delle sezioni dovrà essere tale da rendere agevole la consultazione della relativa relazione di calcolo idrologico ed idraulico.

Gli indici delle relazioni andranno discussi con la direzione scientifica di progetto