

## Componente Acque Superficiali – Allegato 2G

### Modello idraulico del torrente Vincio di Brandeglio

Il torrente Vincio di Brandeglio è stato analizzato mediante una modellazione idraulica, il tratto di interesse è situato a cavallo dell'opera di presa. E' interessante infatti studiare il tratto a monte dell'opera di presa, per la valutazione del trasporto solido in sospensione; e il secondo tratto a valle dell'opera di presa fino alla confluenza con l'Ombrone Pistoiese; utile come supporto alla valutazione del DMV con PHABSIM.

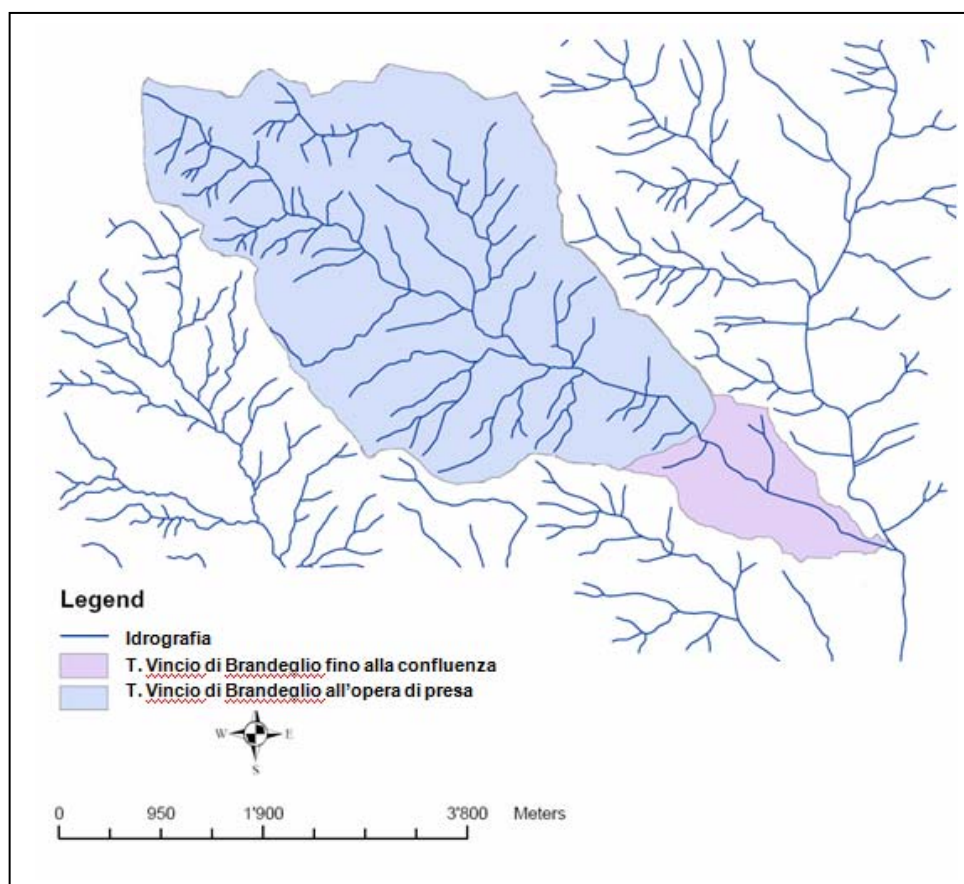


Figura 2.G.1 – Reticolo del Torrente Vincio di Brandeglio.

La modellazione nel suo complesso ha lo scopo di fornire un quadro conoscitivo del torrente Vincio di Brandeglio e caratterizzare lo stato delle opere in alveo. Nel presente studio la modellazione idraulica viene affrontata mediante un modello 1-D in moto permanente utilizzando il software Hec-Ras dell'Hydrologic Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America (2003).

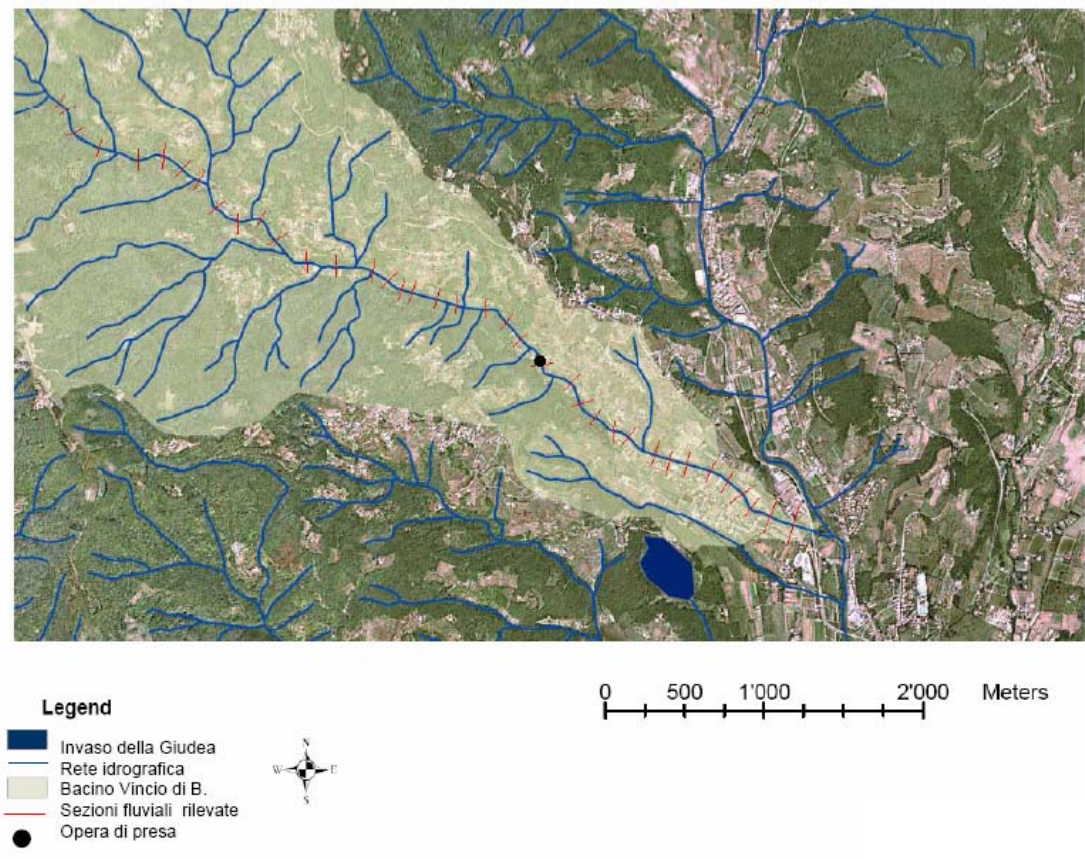
### **Modalità dei rilievi**

Al fine di realizzare il modello idraulico del torrente Vincio di Brandeglio è stato necessario effettuare un rilievo delle sezioni trasversali d'alveo, per poterle poi utilizzare come dati di ingresso al software HEC-Ras. Nella primavera 2007, sono stati effettuati i rilievi necessari.

Gli strumenti utilizzati sono stati:

- telemetro laser
- rotella metrica
- asta graduata
- mulinello per rilevare la velocità della corrente

Durante la campagna di misura soltanto le sezioni più significative del Vincio di Brandeglio, sono state rilevate. L'aspetto più importante è stato quello di calcolare le pendenze dei tratti con una buona accuratezza. Facendo riferimento a punti di altezza nota sulla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 e utilizzando il telemetro laser si è potuto individuare le quote delle sezioni con una sufficiente precisione da poterle usare nel modello idraulico. Grande attenzione è stata posta nella determinazione dell'altezza delle briglie le quali influiscono moltissimo sulla pendenza dei tratti. Complessivamente sono state rilevate 38 sezioni (Figura 2.G.2).



*Figura 2.G.2 - Sezioni topografiche rilevate nella campagna di misura e utilizzate per la modellazione idraulica del software HECRAS.*

Le velocità misurate con il mulinello per stimare la portata transitante sul Vincio di Brandeglio a causa dei bassi battenti d’acqua e della continua irregolarità delle sezioni non sono state considerate affidabili. Una stima della portata è stata ottenuta misurando l’altezza d’acqua su una briglia e assumendola pari all’altezza d’acqua critica per la portata in transito. Con tale valore si è calibrato la scabrezza del modello fino a ottenere le profondità d’acqua uguali a quelle osservate in alcune sezioni caratteristiche.

### **Morfologia dell’alveo**

Il tratto di alveo studiato inizia dalla località “La Sega” nel comune di Pistoia a circa 300 m s.l.m. di quota (Figura 2.G.3) e termina su una briglia poco a monte della confluenza con l’Ombrone Pistoiese. La lunghezza del tratto esaminato è di circa 4800 m.

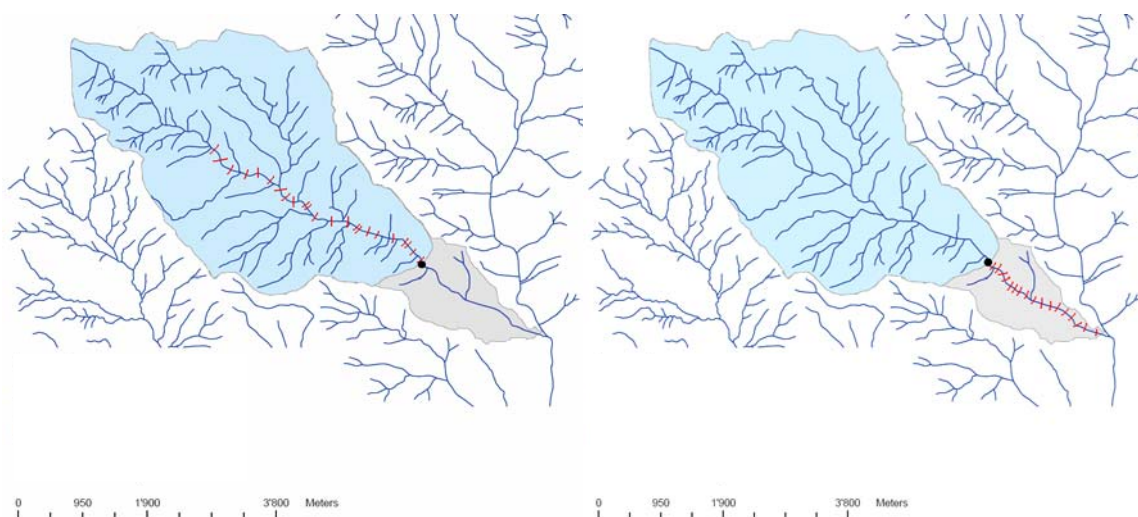


Figura 2.G.3 Schema della modellazione idraulica del Vincio

Le sezioni presentano un andamento disomogeneo lungo il tratto, ciò è anche dovuto alla morfologia di tipo *step-pool* e *boulder-step* nei tratti con pendenze maggiori del 2% e *riffle-pool* per pendenze minori. La larghezza della sezione di bankfull è mediamente di 4-5m. Nella fase di rilievo è stata posta molta attenzione alla forma della sezione nell’alveo attivo. In particolare per ogni sezione sono state ricavate almeno 6 punti quotati, tale risoluzione è stata necessaria per la caratterizzazione idraulica inerente lo studio della fauna ittica. In figura 2.G.4 si riporta il profilo altimetrico rilevato nel Vincio di Brandeglio

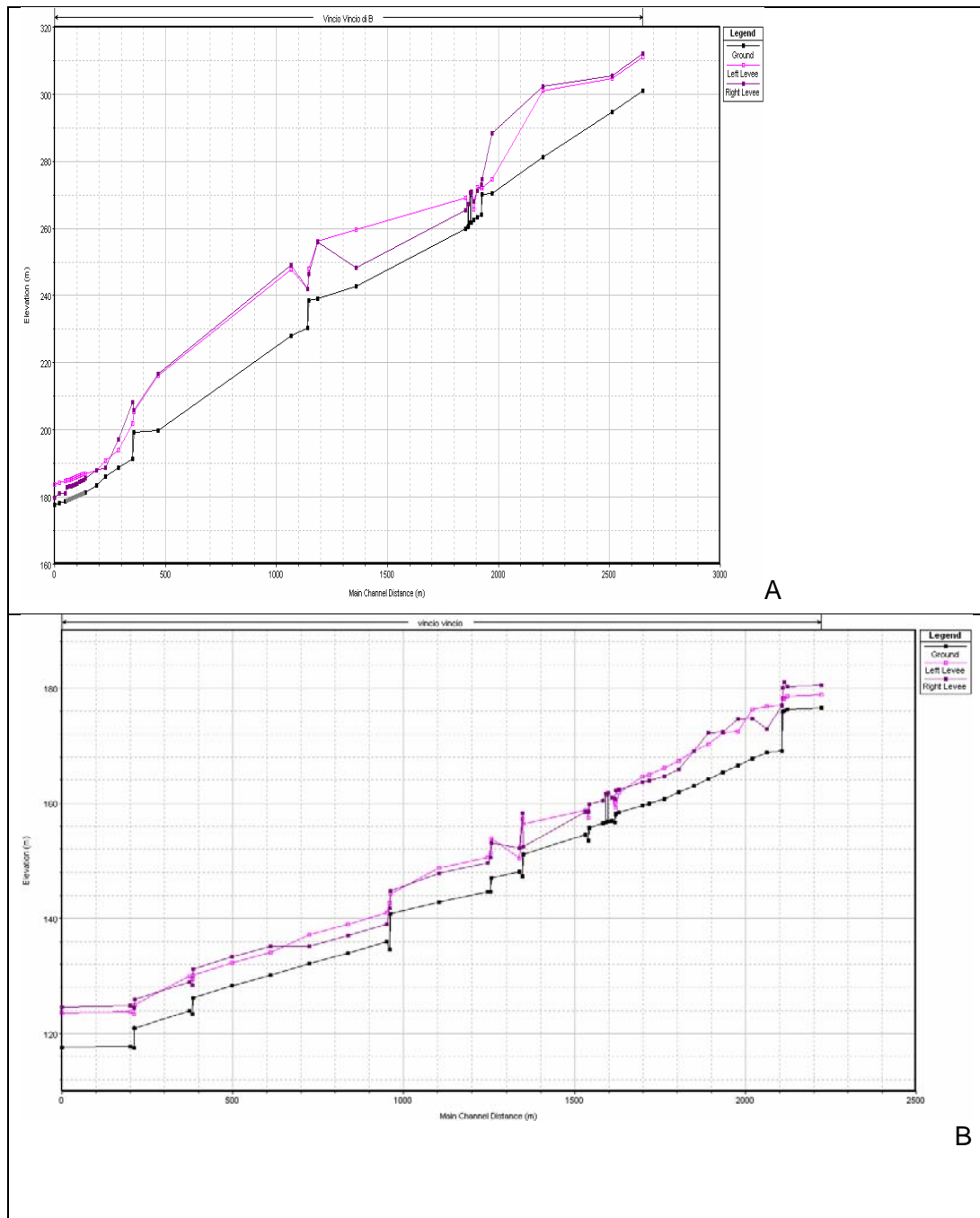


Figura 2.G.4 Profilo altimetrico del tratto di monte (A) e di valle (B) del Vincio di Brandeglio

La simulazione idraulica è stata condotta in moto permanente. Per mantenere la possibilità di avere una corrente sia lenta che veloce, sono state utilizzate due condizioni al contorno:

- *Profondità di moto uniforme* come condizione al contorno di monte.
- *Altezza critica* in corrispondenza di una briglia come condizione al contorno di valle.



### **Rilievi sedimentologici**

La caratterizzazione dei sedimenti d'alveo del Vincio di Brandeglio è stata eseguita mediante una campagna di misure sedimentologiche in un tratto in prossimità dell'opera di presa (Figura 2.G.5).



Figura 2.G.5 Sito della stazione di campionamento.

Le metodologie adottate per il campionamento, sono state due una finalizzata alla caratterizzazione dei sedimenti presenti nello strato superficiale l'altra per valutare la composizione granulometrica del sottostrato.

#### Campionamento dello strato superficiale

Nell'ambito della categoria dei campionamenti superficiali, si possono a sua volta distinguere tre principali metodi, a seconda soprattutto dell'estensione della superficie che si desidera campionare:

- a) campionamento statistico (*pebble counts*): si raccoglie un numero predefinito di particelle superficiali secondo un passo costante (definito tenendo conto delle dimensioni dei clasti maggiori) lungo determinati stendimenti paralleli (o transetti), in modo da ricoprire superfici relativamente ampie (dell'ordine dei 100 m<sup>2</sup>);
- b) metodo della griglia (*grid counts*): si raccolgono tutti i ciottoli in corrispondenza dei nodi di una griglia, anche in questo caso con passo costante sui due lati della griglia stessa, in modo da ricoprire superfici relativamente piccole (dell'ordine di 1-10 m<sup>2</sup>);
- c) campionamento areale (*areal samples*): si raccolgono tutti i clasti superficiali che rientrano in una determinata area di piccole dimensioni (dell'ordine di 0.1-1 m<sup>2</sup>).

Per una descrizione dettagliata delle procedure dei tre metodi e delle relative differenze si rimanda a Bunte & Abt (2001). Il primo metodo (*pebble counts*) viene considerato il più adatto per ricavare la distribuzione granulometrica delle barre (Kellerhals & Bray, 1971; Church et al., 1987), sia per la sua riproducibilità e precisione che per essere in grado di ricoprire superfici relativamente ampie ed evitare di campionare in situazioni locali scarsamente rappresentative.

In particolare, si è proceduto nella maniera seguente:

- a) ricognizione preliminare della barra da campionare; in un tratto a monte in prossimità dell'opera di presa è stata individuata una barra emersa avente dimensioni longitudinali di circa 40 m ed una larghezza media di circa 4 m (Figura 2.G.5);
- b) definizione di 5 stendimenti tali da garantire un campionamento della barra nella parte di testa, corpo e coda;
- c) definizione della spaziatura da utilizzare di 0.5 m, in funzione della lunghezza complessiva dei tre stendimenti, in maniera tale da prelevare un numero totale intorno a 200 campioni ed avendo cura di verificare che il passo così definito risultasse maggiore del diametro massimo presente.

Una volta effettuato lo stendimento delle fettucce metriche, si è proceduto al prelievo dei clasti identificando visivamente il granulo che andava a cadere all'intersezione del passo predefinito sulla fettuccia metrica. Per la misura delle dimensioni dei singoli granuli si è utilizzata una piastra di alluminio (*template*) sagomata con fori circolari di diametri predefiniti con passo  $\frac{1}{2}\phi$ , per diametri compresi tra  $-7\phi$  (128 mm) e  $-2.5\phi$  (5.66 mm); dove  $\phi$  rappresenta la scala di Wentworth definita come  $\phi = -\log_2(D)$ , essendo D il diametro caratteristico del sedimento espresso in mm. Per ciottoli di dimensioni superiori ai  $-7\phi$  si è proceduto alla misura diretta dell'asse intermedio, mentre per particelle fini di dimensioni inferiori a  $-2\phi$  si è utilizzato un comparatore visivo, anch'esso con diametri predefiniti con passo  $\frac{1}{2}\phi$  (compresi tra  $-3.5\phi$  e  $4\phi$ ); una fotografia degli strumenti di campo è riportata in figura 2.G.6. Si è quindi definita, per ogni singolo ciottolo, la classe granulometrica corrispondente al "trattenuto" (cioè il diametro massimo che trattiene il granulo o, equivalentemente, la classe immediatamente inferiore al diametro minimo attraverso cui passa il granulo) e tale dato veniva riportato su una apposita scheda di rilievo granulometrico.

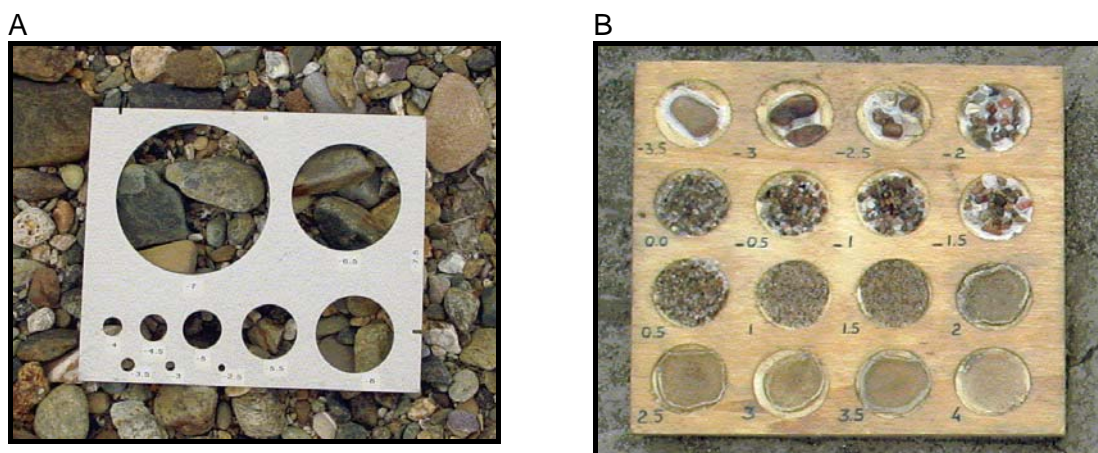


Figura 2.G.6 Piastra sagomata (A) e comparatore visivo (B) utilizzati durante il campionamento dello strato superficiale.

### Campionamento volumetrico

Adottati per la misura della distribuzione granulometrica del sottostrato, consistono nel prelevare un volume prefissato di sedimenti. Il peso totale del volume da prelevare ( $m$ ) viene definito in funzione del diametro del ciottolo di dimensioni maggiori presente sull'unità da campionare ( $D_{max}$ ), secondo la relazione di Church et al., (1987) e il diagramma in figura 2.G.7:

$$m = (2.87 D_{max} - 44.8)$$

dove  $m$  è il peso del campione (in kg) e  $D_{max}$  è espresso in mm.

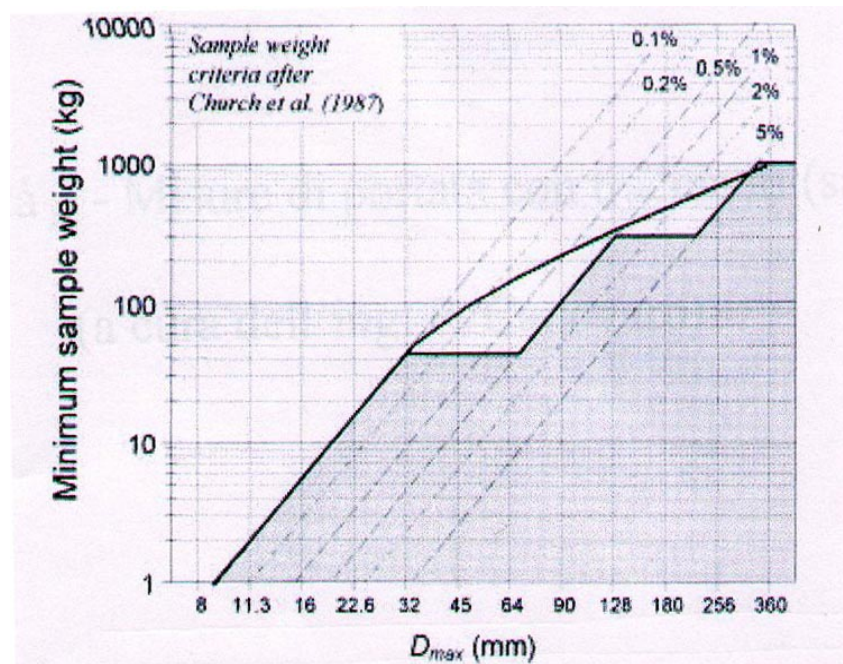


Figura 2.G.7 Diagramma di Church per la stima del minimo peso di materiale da prelevare

Il campionamento volumetrico si è composto di due fasi:

- 1) Scelta del sito rappresentativo e rimozione dello strato corazzato superficiale, è stato determinato il peso del campione da prelevare in base al diametro massimo presente applicando la formula di Church et al., (1987). Nel caso in esame è risultato un peso complessivo di circa 350 kg. Quindi è stata operata la prima quartatura del sedimento: il materiale di dimensioni superiori o uguali a  $-5\phi$  è stato misurato in maniera analoga ai campionamenti superficiali (piastra sagomata) e quindi pesato per classi granulometriche, mentre il restante materiale è stato pesato indistintamente e quindi scelto un campione (di circa 27 Kg) per l'ulteriore fase di sottoquartatura.
- 2) La seconda fase è stata invece l'analisi granulometrica in laboratorio tramite setacci del campione prelevato in sito caratterizzato da granuli di dimensioni inferiori a  $-5\phi$ . E' stata quindi eseguita una vagliatura meccanica mediante l'impiego di setacci a maglie quadrate con dimensioni fissate dalla scala di Udden-Wentworth. La setacciatura è stata eseguita a "secco", cioè asciugando preventivamente tutto il materiale mediante apposite lampade termiche. La presenza di sostanze organiche è stata eliminata manualmente e mediante l'uso di appositi solventi. I dati derivanti dalla setacciatura sono stati quindi raccolti e proporzionalmente uniti ai risultati derivanti dalla fase di campo per ottenere la distribuzione granulometrica totale del campione granulometrico.

### **Risultati dei campionamenti d'alveo**

I risultati del campionamento granulometrico dello strato superficiale (Figura 2.G.8) hanno prodotto i seguenti diametri caratteristici:  $D_{10}= 2.8$  mm;  $D_{50}= 18.4$ mm e  $D_{90}= 79.3$ mm. Risulta inoltre che i sedimenti sono costituiti per il 64% da ghiaia fine con diametri compresi

nell’intervallo tra 2 e 64 mm, mentre la parte fine, avente diametri inferiori a 2mm, costituisce soltanto circa il 10% del campione (Figura 2.G.9).

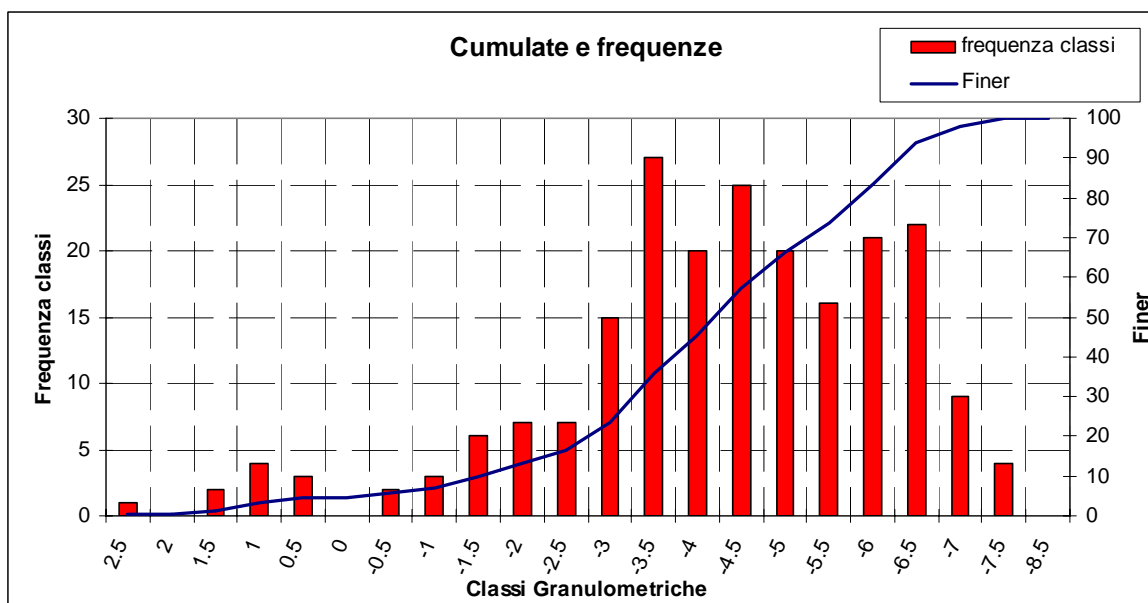


Figura 2.G.8 Grafico della cumulata del campionamento superficiale

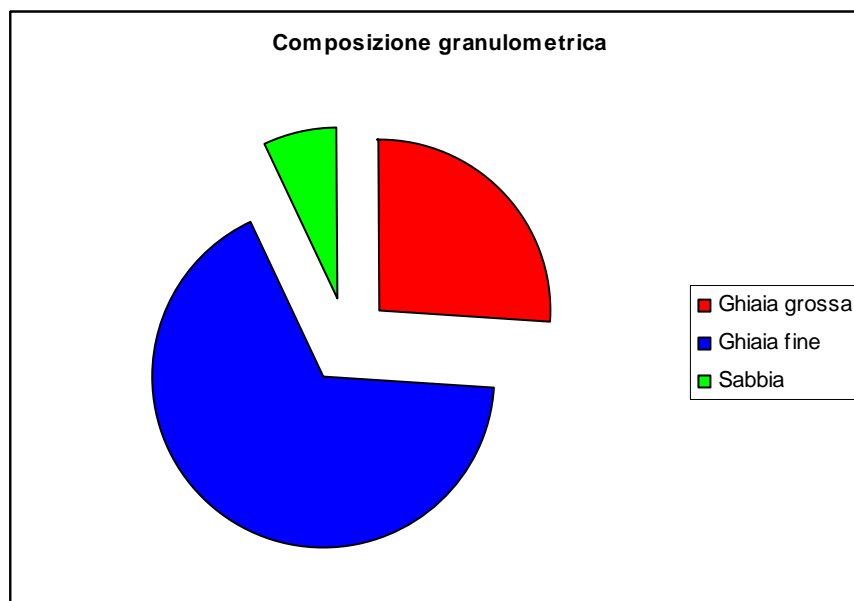


Figura 2.G.9 Grafico della composizione granulometrica per il campionamento superficiale

La curva granulometrica relativa al campione del sottostrato (Figura 2.G.10) mostra i seguenti diametri caratteristici:  $D_{10}= 1.6$  mm;  $D_{50}= 32$ mm e  $D_{90}= 136$  mm. Si noti che anche nel campione del sottostrato la frazione fine occupa una percentuale relativamente piccola.



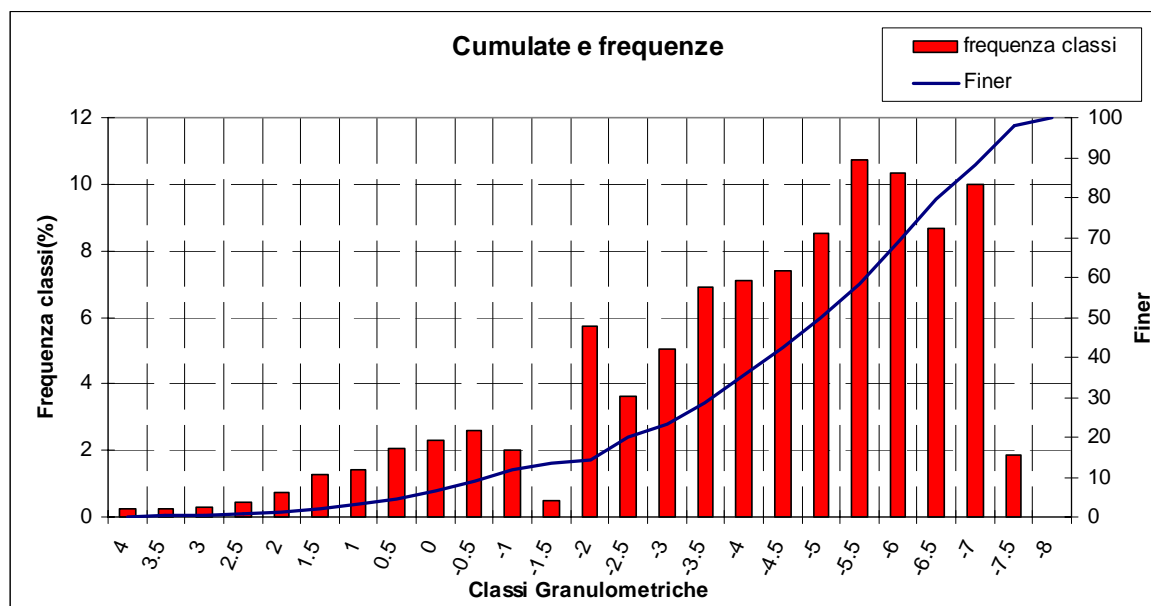


Figura 2.G.10 Curva granulometrica del campione del materiale d’alveo nel sottostrato

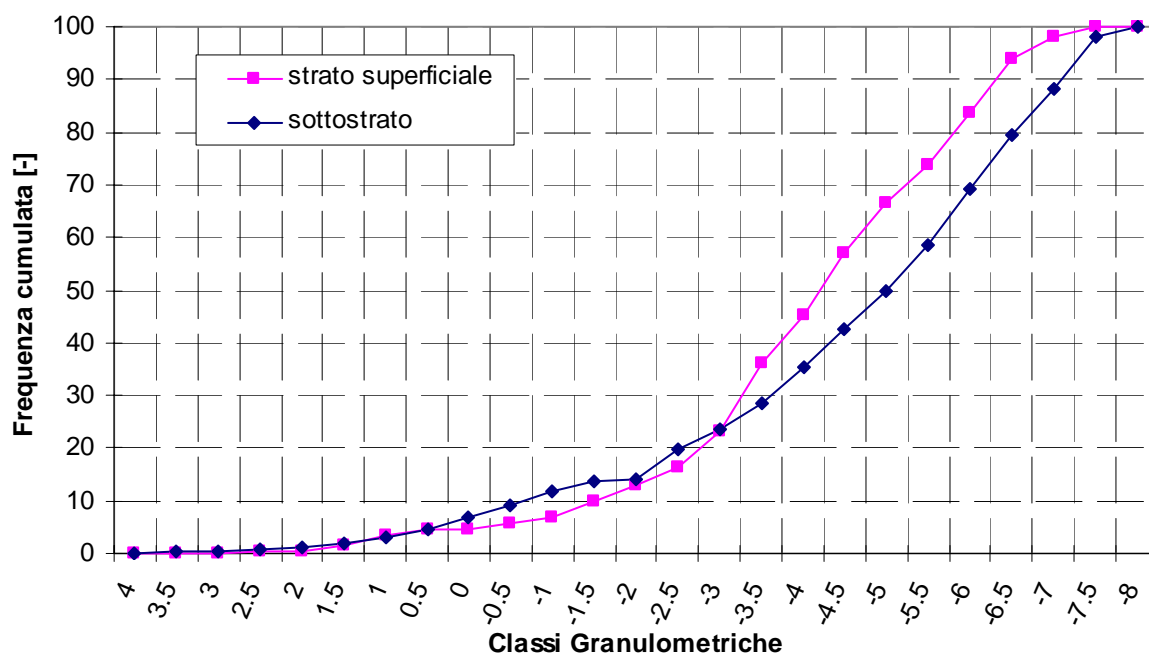


Figura 2.G.11 Confronto tra le curve granulometriche dello strato superficiale e del sottostrato.

Il confronto tra le due curve granulometriche dello strato superficiale e del sottostrato (Figura 2.G.11), mostra che le due curve sono molto simili e che il fenomeno del corrazzamento è pressochè assente. Risulta inoltre che la frazione fine in entrambi i campioni è simile e dell’ordine del 10%. La presenza di percentuali così basse di frazione fine può essere spiegata da diversi fattori inputabili principalmente alle caratteristiche litologiche del bacino del Vinci e al regime idrologico di tipo torrentizio delle portate di piena.

### Valutazione del trasporto solido in sospensione

I volumi solidi in ingresso all’opera di presa e quindi alla diga di Gello sono stati stimati sulla base delle portate solide dei sedimenti trasportati in sospensione.

Per poter valutare le portate liquide in grado di trasportare in sospensione i sedimenti costituenti l’alveo si è fatto riferimento al criterio per l’incipiente trasporto in sospensione di Bagnold (1966) che risulta:

$$\frac{u_*}{W_s} \geq 1$$

in cui  $u_*$  rappresenta la velocità di attrito definita come  $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$  essendo  $\tau$  la tensione

tangenziale media sul contorno bagnato e  $\rho$  la densità dell’acqua, e  $W_s$  la velocità di sedimentazione dei grani.

La velocità di attrito è stata ricavata nel tratto in cui è stato condotto il campionamento tramite la modellazione idraulica effettuata in moto permanente con il software Hec-Ras.

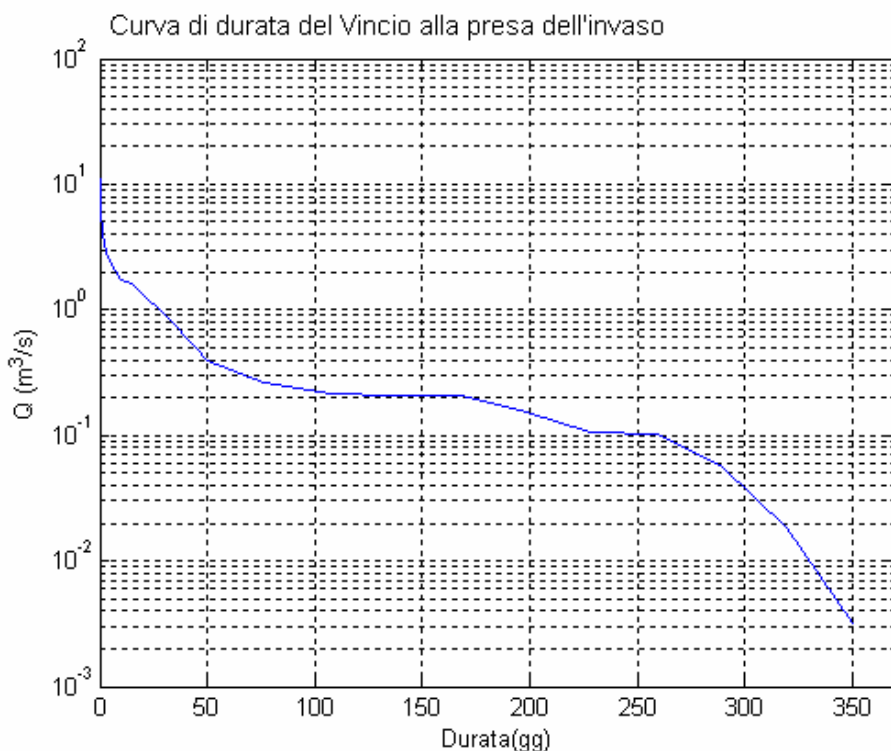


Figura 2.G.12 Curva di durata delle portate medie giornaliere del Vincio di Brandeglio all’opera di presa secondo il modello idrologico qui sviluppato.

Le portate ottenute dalla curva di durata riportate nella tabella 1, sono state calcolate mediante modellazione idrologica (Allegato, 2.F).

| durata(gg) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|------------|----------------------|
| 50         | 0.389                |
| 45.735     | 0.478                |
| 30         | 0.91                 |
| 20         | 1.322                |
| 15.305     | 1.592                |
| 10         | 1.717                |
| 5          | 2.404                |
| 3          | 2.91                 |
| 1          | 4                    |
| 0.1        | 6.283                |
| 0.01       | 8.566                |
| 0.001      | 10.849               |

Tabella 2.G.1 Esempio di valori delle portate medie giornaliere e indicazione delle rispettive durate.

I risultati della modellazione idraulica hanno permesso di ricavare l’andamento della velocità di attrito in funzione della portata in transito nel tratto di interesse (figura 2.G.13).

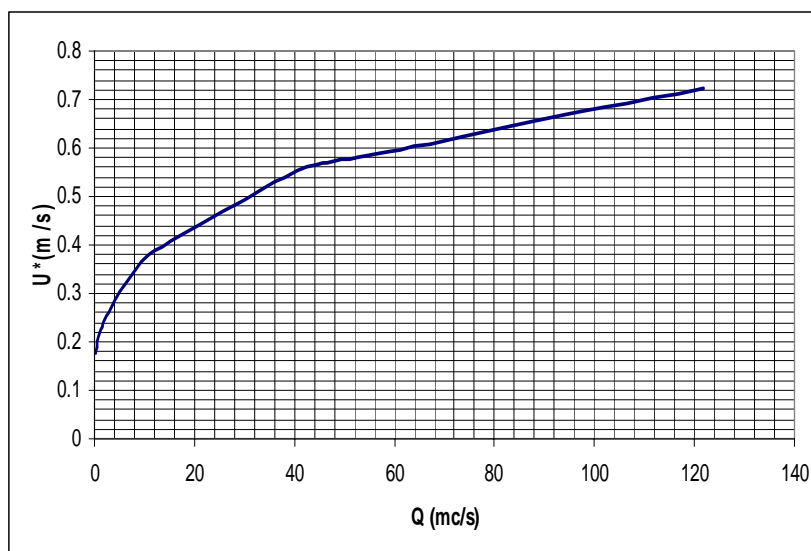


Figura 2.G.13 Relazione tra  $u^*$  e Q nel tratto in cui è stato effettuato il campionamento sedimentologico.

La velocità di sedimentazione  $W_s$ , è stata calcolata utilizzando la formula empirica di Dietrich (1982):

$$W_s = R_f \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) \cdot g \cdot D}$$

dove:  $R_f$  è un parametro che dipende da  $Re_p$  (numero di Reynolds della particella)

$$R_f = \exp\left\{-b_1 + b_2 \cdot \ln(Re_p) - b_3 [\ln(Re_p)]^2 - b_4 [\ln(Re_p)]^3 + b_5 [\ln(Re_p)]^4\right\}$$

con  $b_1= 2.891394$ ;  $b_2= 0.95296$   $b_3= 0.056835$ ;  $b_4= 0.002892$ ;  $b_5= 0.000245$ ; e con:

$$Re_p = \frac{\sqrt{(\frac{\rho_s}{\rho} - 1) \cdot g \cdot D^3}}{\nu}$$

L’applicazione di quest’ultima formula ai diametri caratteristici della distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nel sottostrato ha condotto ai risultati illustrati in Tabella 2.G.2. Nella tabella 2.G.2 è evidenziata la velocità di sedimentazione per il diametro di 2 mm tipicamente assunto come diametro di passaggio tra sabbie e ghiaie.

| D(mm)    | Ws(m/s)     |
|----------|-------------|
| 1.6      | 0.24        |
| <b>2</b> | <b>0.28</b> |
| 5.75     | 0.58        |
| 12.2     | 0.84        |
| 32       | 1.21        |
| 108.37   | 1.80        |
| 136.3    | 1.94        |

Tabella 2.G.2 – Velocità di sedimentazione dei diametri caratteristici della distribuzione granulometrica del sottostrato, in evidenza è la velocità di sedimentazione relativa al diametro di 2 mm discriminante tra le sabbie e le ghiaie.

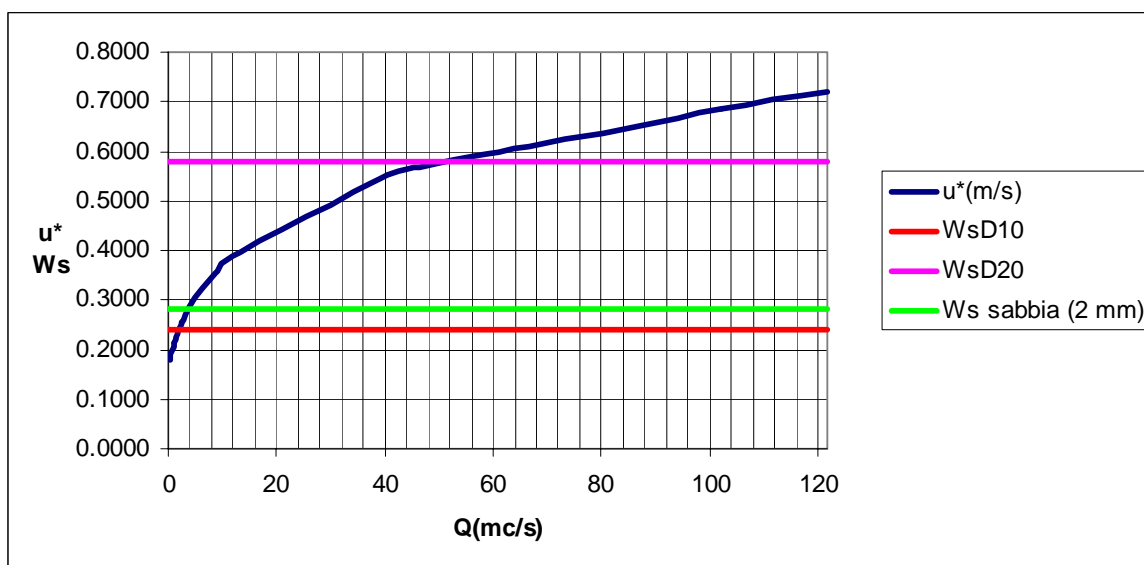


Figura 2.G.14 Relazione tra  $u^*$ ,  $W_s$  e  $Q$  per la sezione del rilievo granulometrico

Dal grafico in Figura 2.G.14 si osserva che le sabbie vengono interamente trasportate dalla corrente come trasporto in sospensione quando la portata risulta maggiore di 2.4 m<sup>3</sup>/s (corrispondente alla portata con durata pari a 5 giorni).

Una volta note le condizioni di incipiente trasporto, il trasporto solido in sospensione, composto dal solo materiale sabbioso, è stato stimato sulla base del calcolo del trasporto solido totale e delle frequenze dei diametri osservati nel campione del sottostrato; in



particolare si è ipotizzato che la frazione dei sedimenti trasportati in sospensione sia pari alla frequenza dei diametri presenti nel sottostrato del fondo. Pertanto, poiché le sabbie rappresentano circa un 10% del materiale d’alveo, il trasporto in sospensione risulterà al più pari a circa il 10% del trasporto solido totale.

Il trasporto solido totale è stato stimato la formula di Ackers & White (1973). Quest’ultima formula prevede che, nel caso di materiale grossolano, il trasporto avvenga prevalentemente al fondo; mentre, per materiale fine, occorre tenere in conto anche della componente in sospensione. La formula prevede la valutazione del parametro di mobilità generale,  $F_{gr}$ , espresso dall’equazione sotto riportata:

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{\sqrt{(S_g - 1)gD_{35}}} \left( \frac{U}{5.65 \log \left( 10.6 \frac{h}{D_{35}} \right)} \right)^{1-n}$$

dove l’esponente  $n$  è funzione di  $D_{gr}$  (essendo  $D_{gr}=R_p^{2/3}$ ) secondo le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} n &= 1.0 - 0.56 \log D_{gr} & 1 \leq D_{gr} \leq 60 \\ n &= 0.0 & D_{gr} > 60 \end{aligned}$$

Il trasporto totale adimensionale,  $G_{gr}$ , risulta definito dalla espressione:

$$G_{gr} = \left( \frac{u_*}{U} \right)^n \frac{\gamma C_p h}{\gamma_s D_{35}}$$

dove  $C_p$  è la concentrazione in peso. La relazione per il trasporto solido risulta riconducibile ad una forma del tipo:

$$G_{gr} = k_t \left( \frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

dove  $A$  è il parametro critico espresso dalla seguente:

$$\begin{aligned} A &= \frac{0.23}{D_{gr}} + 0.14 & \text{per } 1 < D_{gr} \leq 60 \\ A &= 0.17 & \text{per } D_{gr} > 60 \end{aligned}$$

mentre  $k_t$  e  $m$  sono funzioni di  $D_{gr}$ :

$$\begin{aligned} m &= 9.66 / D_{gr} + 1.34 & \text{per } 1 < D_{gr} \leq 60 \\ \log k_t &= 2.86 \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3.53 & \text{per } 1 < D_{gr} \leq 60 \\ m &= 1.50 & \text{per } D_{gr} > 60 \\ k_t &= 0.025 & \text{per } D_{gr} > 60 \end{aligned}$$

Il trasporto solido totale per unità di larghezza risulta infine

$$q_t = C_p \gamma q$$

dove  $q$  è la portata liquida in metri cubi al secondo per unità di larghezza ( $m^2/s$ ).

E’ stata scelta questa formula in quanto fornisce buoni risultati per le tipologie fluviali e sedimentologiche in esame. In figura 2.G.15 si mostra la relazione tra la portata liquida e la portata solida totale calcolata con la formula di Ackers & White (1973).

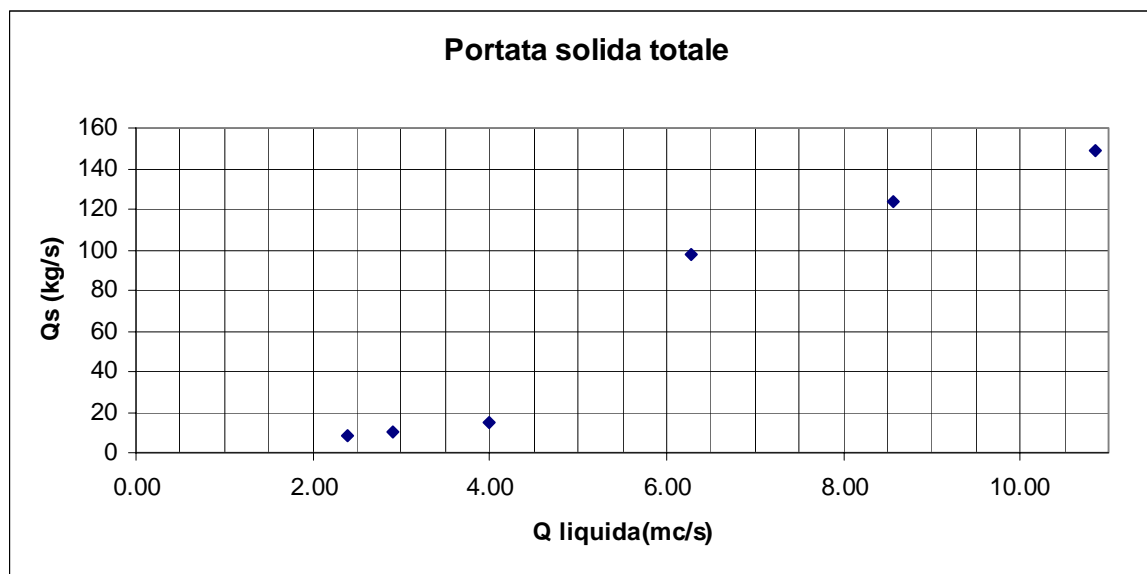


Figura 2.G.15 Relazione tra la portata liquida e portata solida totale per il tratto in esame.

Noto il trasporto totale, sulla base delle condizioni di incipiente trasporto solido in sospensione e dei risultati del campionamento granulometrico, è stato calcolato il trasporto solido in sospensione, i risultati sono illustrati in figura 2.G.16.

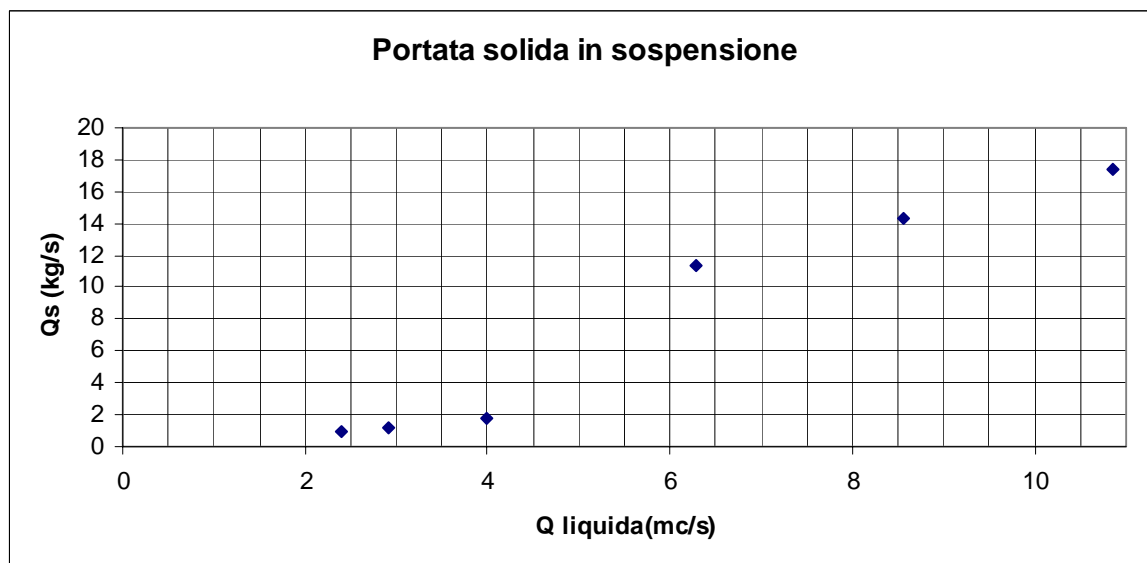


Figura 2.G.16 Relazione tra portata liquida e portata solida in sospensione nel tratto in esame.

Dato il legame tra la portata liquida e la portata solida in sospensione, il trasporto solido medio annuo in sospensione  $V_T$  è stato individuato utilizzando la curva di durata delle portate medie giornaliere attraverso la seguente relazione:

$$V_T = \int_0^T Q_s \cdot dt$$

In particolare la procedura di calcolo di  $V_T$  è stata la seguente:

- calcolo delle portate solide in sospensione  $Q_s$  (kg/s) associate alle portate della curva di durata per le quali avviene il trasporto solido in sospensione;
- calcolo del volume trasportato per ogni portata solida in sospensione mediante un'integrazione nel tempo sull'anno idrologico medio.

| Durata (gg) | Q(m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>s</sub> (kg/s) | Volume(m <sup>3</sup> ) |
|-------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 5           | 2.4                  | 0.946                 | 65.371                  |
| 3           | 2.91                 | 1.158                 | 80.011                  |
| 1           | 4                    | 1.762                 | 54.819                  |
| 0.1         | 6.283                | 11.379                | 35.393                  |
| 0.01        | 8.566                | 14.350                | 4.464                   |
| 0.001       | 10.849               | 17.360                | 0.600                   |

Tabella 2.G.3 I volumi solidi in sospensione utilizzati per il calcolo del trasporto solido medio annuo.

I calcoli del trasporto solido medio annuo sono riportati in tabella 2.G.3; si noti che la portata liquida alla quale risulta associato il massimo volume di sedimenti in sospensione è la portata con durata pari a 3 giorni, quindi 3 m<sup>3</sup>/s è la così detta portata dominante.

Complessivamente si ottiene quindi un volume totale annuo pari a 241 m<sup>3</sup> che corrisponde a circa 602 tonnellate di sedimenti.

Considerate le caratteristiche dell'opera di presa il materiale solido che potenzialmente può affluire all'invaso è attribuibile al solo trasporto in sospensione e tenuto conto che il volume liquido medio annuo immesso nell'invaso è pari a circa il 60% (6 milioni m<sup>3</sup> su 9.7) del totale defluito, si assume come stima degli apporti solidi annui:

$$0.6 \times 241 = 145 \text{ m}^3$$

Non va trascurato che tale valore risulta largamente sovrastimato in quanto, il trasporto solido avviene soprattutto durante gli eventi di piena, quando il rapporto di derivazione diminuisce di molto. Il volume stimato è pertanto da ritenersi puramente cautelativo, infatti, la struttura dell'opera di presa e di derivazione fa sì che gran parte del materiale solido si possa depositare prima di raggiungere l'invaso della Giudea.

### **Valutazione del deflusso a valle della presa**

Il deflusso a valle dell'opera di presa è stato stimato per uno scopo differente, ossia per la definizione degli habitat relativi alla fauna ittica del Vincio di Brandeglio; al fine di valutare il deflusso minimo vitale del torrente su base biologica. Dalla simulazione idraulica in Hec-Ras sono stati ricavati i valori di velocità, altezza d'acqua ed area delle celle verticali in cui ciascuna sezione è stata schematicamente suddivisa (Figura 2.G.17). Tale analisi è stata

effettuata soltanto per nove sezioni ritenute significative dal punto di vista biologico di tutto il tratto.

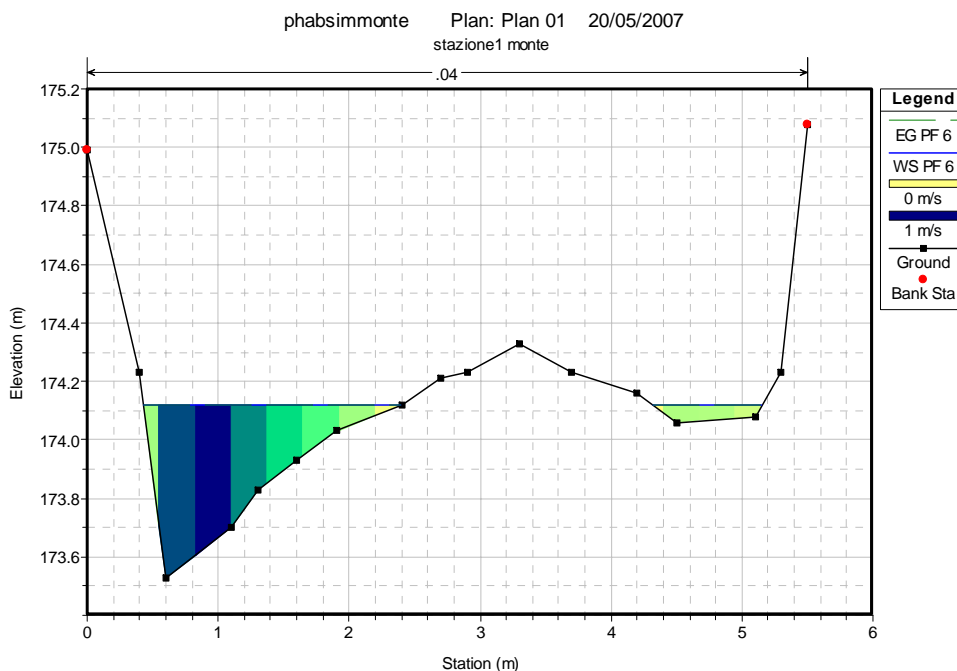


Figura 2.G.17 Suddivisione di una sezione in celle verticali.

Ogni sezione è stata suddivisa in 20 sottosezioni. Le variabili del microhabitat legate alla sopravvivenza degli organismi acquatici appartenenti al sistema fluviale, così ricavate, sono state successivamente utilizzati come input nella stima del DMV con il software PHABSIM.



## Bibliografia

- AA. VV. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, *River Analysis System Hec-RAS User’s Manual*, v. 3.1, 2003.
- Ackers, P. & W.R. White, (1973). A sediment transport: new approach and analyses. *ASCE Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 99, No. HY11, 2041-2060.
- Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. *USGS Prof. Pap. No. 422-I*.
- Bunte, K., and Abt, S.R., (2001), Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and stream-bed monitoring: *U.S. Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-74*, 428 p.
- Church, M. A., McLean, D. G., and Wolcott, J. F. (1987) River bed gravels: Sampling and analysis. In C. R. Thorne, J. C. Bathurst, and R. D. Hey, eds., *Sediment Transport in Gravel Bed Rivers*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 43–79.
- Dietrich, W.E., (1982), Settling velocity of natural particles: *Water Resources Research*, v. 18, p. 1615–1626.
- Kellerhals, R., and D. I. Bray. (1971). Sampling procedures for coarse fluvial sediments. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE 97:1165-1180.