



**ARPAV**

**Progetto e realizzazione**

DRST - Servizio Centro Servizi Idrogeologici

*Italo Saccardo*

*Gianluca Boso*

*E' consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.*

*Immagine di copertina: Le paludi e le isole formate dalle alluvioni del Po secondo una carta del 1570 (Wikipedia: [https://it.wikipedia.org/wiki/Valle\\_Padusa](https://it.wikipedia.org/wiki/Valle_Padusa))*

**Febbraio 2020**

## **Indice**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CONSIDERAZIONI IDROMETRICHE</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' DI CAMPO</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Misure di portata</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Campionamento del trasporto solido in sospensione</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI DEI DATI E RISULTATI</b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Portate</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>Trasporto solido in sospensione</b>	<b>10</b>

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento illustra le attività svolte nel corso della campagna di monitoraggio idrometrico realizzata il giorno 30 novembre 2019 durante l'evento di piena del fiume Po, organizzata in sinergia con la struttura del Genio Civile di Rovigo e avente come obiettivo la stima delle portate e del trasporto solido in sospensione nel tratto terminale del delta in località Pila (Porto Tolle - RO).

Durante la mattina del 30 Novembre sono state misurate le portate transitanti nel Po di Pila presso la località Pila e nei tre rami terminali sfocianti nel mare (Busa di Tramontana, Busa Dritta e Busa di Scirocco). In aggiunta, presso la sezione di Pila sono stati eseguiti dei campionamenti per l'analisi del trasporto solido in sospensione (TSS).

Un'analoga campagna di misure era stata realizzata sempre da ARPAV e Genio Civile nel Novembre 2018, anch'essa in concomitanza di un evento di piena<sup>1</sup>.

## 2 CONSIDERAZIONI IDROMETRICHE

L'evento di piena ha interessato il fiume Po nel tratto oggetto di studio nel periodo intercorrente tra la fine di novembre e l'inizio di dicembre 2019. Gli idrogrammi dell'evento sono rappresentati in Figura 1 dove sono riportati i livelli idrometrici delle stazioni di monitoraggio di Pontelagoscuro, Pila e Porto Levante.

I dati della stazione di Pontelagoscuro, ubicata circa 80 km a monte di Pila, descrivono l'evento di piena nella sua evoluzione temporale e, tramite la scala delle portate sviluppata da ARPA Emilia Romagna, permettono la stima delle portate transitanti. Il colmo di piena in questa sezione è transitato durante la giornata del 28 novembre e la portata massima stimata è risultata essere circa 8100 m<sup>3</sup>/s.

Per una migliore interpretazione dei dati, i livelli idrometrici rilevati presso la stazione di Pila, che è situata sul ramo Po di Pila a monte delle diversioni delle tre Bocche, sono rappresentati anche utilizzando una media mobile su intervalli di 24 ore. Analoga rappresentazione dei dati è stata eseguita per la stazione di Porto Levante, situata alla foce del Po di Levante, vecchio ramo deltizio non più collegato al fiume Po. In questo ambito, i dati della stazione di Porto Levante sono stati considerati come rappresentativi dell'andamento mareografico.

Dall'osservazione degli idrogrammi di Figura 1, non è possibile risalire ai tempi di transito del colmo di piena nella sezione di Pila, a causa del significativo effetto delle maree, risultate particolarmente sostenute durante l'evento. Si ipotizza che le attività eseguite il 30 novembre, presumendo un tempo di corruzione di circa due giorni da Pontelagoscuro, siano avvenute in concomitanza con il transito del colmo di piena.

---

<sup>1</sup> *Po di Pila - Stima delle portate e del trasporto solido in sospensione durante l'evento di piena del Novembre 2018; ARPAV-DRST; Nota Tecnica n.0818 (non pubblicata)*

Il ciclo della marea per il periodo 29 novembre-1 dicembre, registrato dalla stazione di Porto Levante, è riportato graficamente in Figura 2, dove è anche osservabile la sua influenza sui livelli del Po rilevati a Pila. Si osserva nel grafico che le attività sono state svolte nel periodo terminale di marea crescente, con termine proprio in corrispondenza della fase di massima altezza.

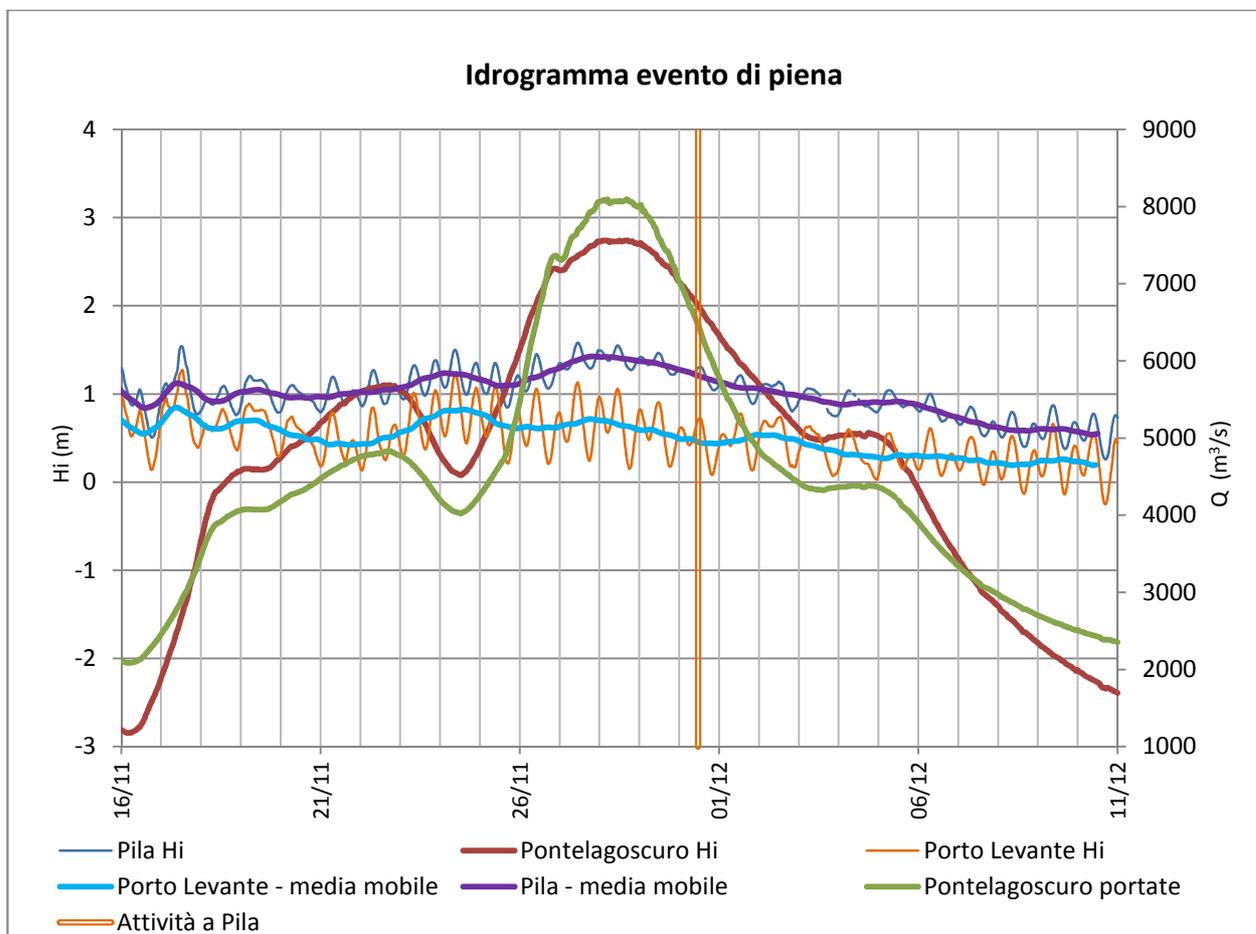


Figura 1 - Andamento dei livelli idrometrici e delle portate stimate alla sezione di Pontelagoscuro (dati ARPA Emilia Romagna) e Pila per il periodo dal 16 novembre al 15 dicembre; le medie mobili per i livelli a Pila e Porto Levante sono state calcolate per intervalli di 24 ore. Il segmento arancione rappresenta il periodo di svolgimento delle attività di misura e campionamento a Pila

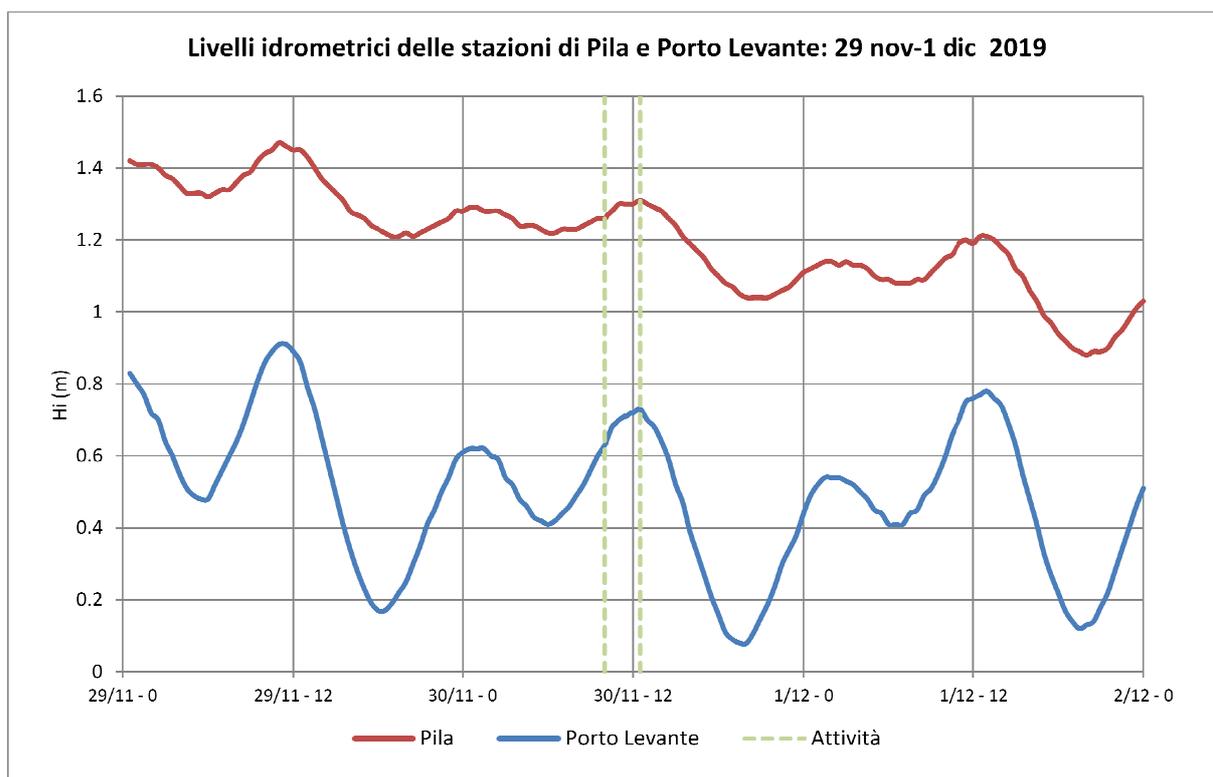


Figura 2 - Livelli idrometrici registrati alle stazioni di Pila e Porto Levante tra il 29 novembre e l'1 dicembre; in verde è delimitato il periodo durante il quale sono occorse le attività di misura e campionamento

### 3 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' DI CAMPO

Tutte le attività di misura delle portate e di campionamento del trasporto solido in sospensione sono state svolte operando da imbarcazione. I siti di esecuzione delle misure e dei campionamenti sono riportati in Figura 3.

Le operazioni sono state eseguite senza interruzione dalle ore 10 alle ore 12.40 secondo quest'ordine temporale:

#### Misure di portata

- a. Busa di Tramontana
- b. Busa Dritta
- c. Busa di Scirocco
- d. Po di Pila

#### Campionamento TSS

- e. Po di Pila



Figura 3 - Posizione delle sezioni di misura e campionamento (immagine satellitare da Google - 2020)

### **3.1 Misure di portata**

Le portate sono state misurate utilizzando un correntometro acustico ad effetto Doppler (ADCP). Nella fattispecie si è impiegato lo strumento Sontek-M9 in dotazione ad ARPAV, con sistema integrato di posizionamento GPS che permette una maggiore accuratezza nella stima delle portate in condizioni di “fondo mobile”, che si riscontrano di frequente durante gli eventi di piena.

La metodologia di misura ha seguito la procedura standardizzata in uso presso ARPAV<sup>2</sup>, che prevede per ogni sezione l’esecuzione di almeno quattro transetti.

### **3.2 Campionamento del trasporto solido in sospensione**

Successivamente all’esecuzione dell’ultima misura di portata, eseguita sul Po di Pila, presso la stessa sezione è stato effettuato il campionamento di trasporto solido in sospensione. Sono stati eseguiti otto campionamenti in quattro punti lungo la sezione trasversale, all’incirca equidistanti tra loro (Figura 4). L’attività di campionamento è stata realizzata in un quarto d’ora di tempo.

Per ogni punto di indagine sono stati raccolti due campioni. Per il primo campione si è utilizzato il metodo detto ad “integrazione”, che prevede il prelievo dell’acqua in modo continuo in andata e ritorno lungo la verticale indagata, utilizzando il campionatore “OMA DH-76” in dotazione ad ARPAV, modello analogo al noto campionatore “US DH-76”. Per il secondo campione si è eseguito un prelievo al livello della superficie dell’acqua.

---

<sup>2</sup> Istruzione operativa IO07 (ARPAV-DRST): *Esecuzione delle misure di portata con profilatori acustici ad effetto Doppler*

Il campionamento al punto superficiale è stato eseguito per potere effettuare valutazioni riguardanti la fattibilità della stima del TSS mediante tecniche di telerilevamento. I dati ottenuti dal campionamento al punto superficiale non sono rientrati nel procedimento di stima della portata solida in sospensione descritto nel paragrafo 4.2.

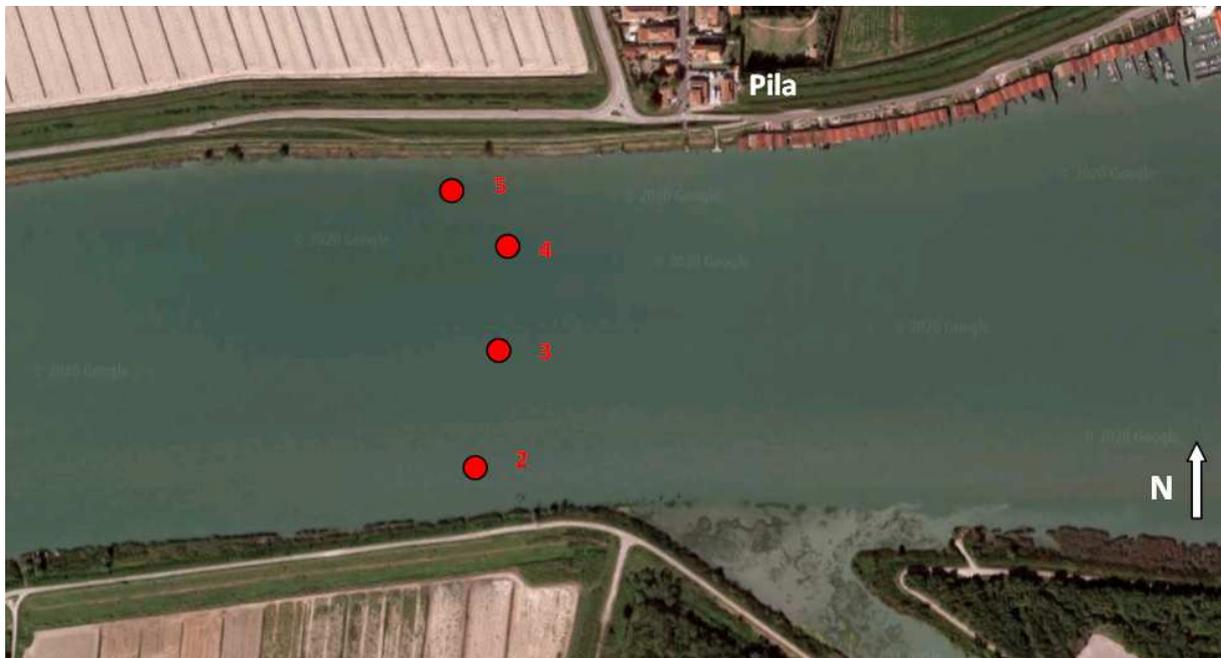


Figura 4 - Campionamento TSS presso il Po di Pila; in rosso i punti di campionamento (immagine satellitare da Google - 2020)

## 4 ANALISI DEI DATI E RISULTATI

### 4.1 Portate

I valori delle portate misurate sono elencati in Tabella 1. Per ogni misura è indicato il Coefficiente di Variazione (CV), espresso in percentuale, ottenuto dal rapporto tra la deviazione standard e la media delle portate misurate dei singoli transetti. Inoltre, è riportato il valore dell'incertezza delle misure stimato mediante l'applicativo "QRew"<sup>3</sup> sviluppato da USGS (United States Geological Survey).

I CV delle portate misurate nelle quattro sezioni rientrano nei limiti previsti dalle procedure ARPAV2. Per quanto riguarda l'incertezza si osserva che per le sezioni del Po di Pila e della Busa Dritta (ramo naturale di proseguimento del Po di Pila), i valori calcolati dal programma risultano significativamente più elevati di quelli ottenuti per i due rami laterali (Busa di Tramontana e Busa di Scirocco). La causa si può imputare al

---

<sup>3</sup> Mueller D.S., 2016, "QRew - Software for computation and quality assurance of Acoustic Doppler Current Profiler moving-boat streamflow measurements - Technical Manual for version 2.8", USGS

fatto che per le misure eseguite nel Po di Pila e nella Busa Dritta è stato riscontrato un più elevato numero di dati anomali di velocità misurata.

Analizzando le portate ottenute, si rileva che la portata misurata alla sezione del Po di Pila differisce dalla somma delle portate delle tre Buse. Nonostante tutte le misure siano state realizzate in un intervallo temporale di poco superiore all'ora, la differenza tra la portata del Po di Pila e la somma delle portate dei tre rami risulta elevata, pur considerando il peso dell'incertezza delle misure. Tale differenza probabilmente è da attribuire prevalentemente all'effetto della marea, risultata in fase crescente durante tutto il periodo di attività, come riscontrabile in Figura 5.

Sezione di misura	Ora media	Area sezione (m <sup>2</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> /s)	COV (%)	Incertezza portata (%) *	Incertezza portata (m <sup>3</sup> /s) *
Pila	11:50	1663.38	2380.94	1.5	18.3	435.71
Busa di Tramontana	10:12	427.375	743.94	1	6.8	50.59
Busa Dritta	10:45	1174.83	1974.68	3.8	14.9	294.23
Busa di Scirocco	11:23	423.02	566.74	3.8	8.6	48.74
Totale portata "Buse"			3285.36			

Tabella 1 - Portate ottenute alle diverse sezioni misurate durante la campagna del 30 novembre. Con "CV" si indica il "coefficiente di variazione" riferito alle portate misurate nei singoli transetti. L'incertezza è stata stimata utilizzando l'applicativo QRew (USGS).

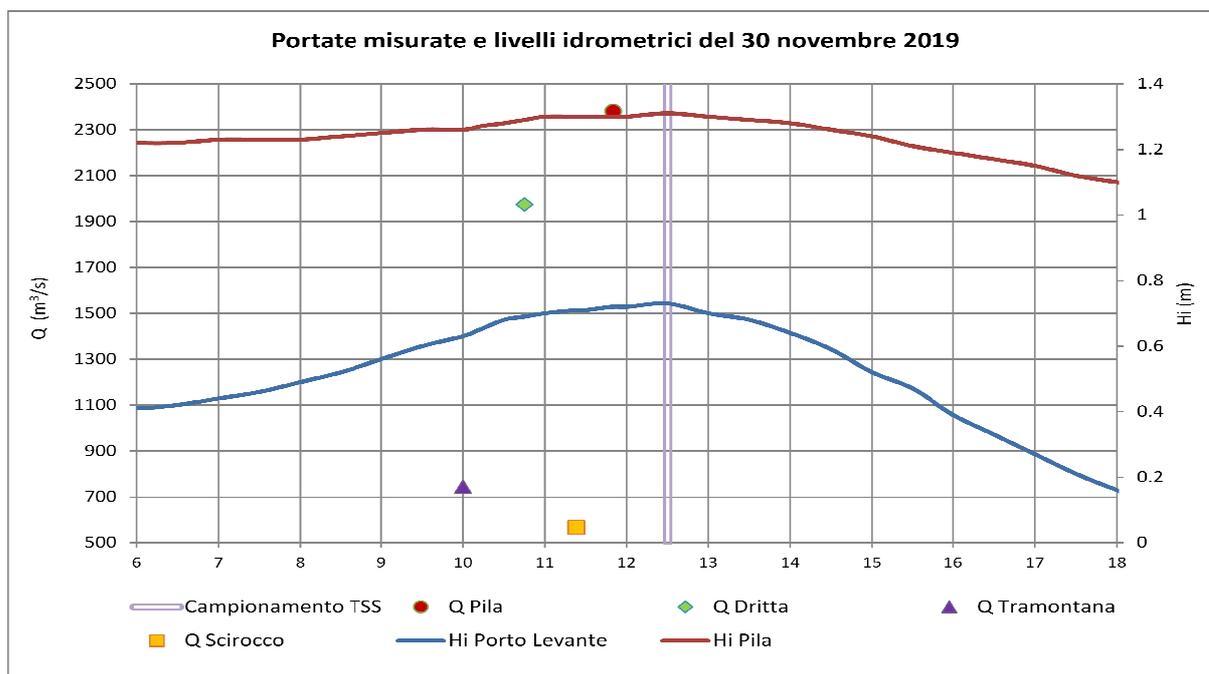


Figura 5 - Portate misurate e livelli idrometrici registrati il 30 novembre; i livelli della stazione di Porto Levante in questo contesto possono essere considerati come dati mareografici

#### 4.2 Trasporto solido in sospensione

L'analisi dei campioni prelevati, eseguita dal Dipartimento Regionale Laboratori di ARPAV, ha portato alla determinazione della concentrazione in peso dei solidi presenti. I risultati sono elencati in Tabella 2a,b dove vengono riportati sia i dati del campionamento per "integrazione" (Tabella 2a), sia i dati del campionamento puntuale superficiale (Tabella 2b).

<b>Metodo: integrazione</b>			
<i>N° campione</i>	<i>Ora campionamento</i>	<i>Solidi sospesi (mg/l)</i>	<i>Solidi sospesi (kg/m<sup>3</sup>)</i>
2	12.25	437	0.437
3	12.30	379	0.379
4	12.34	360	0.360
5	12.38	366	0.366
<b>Valore medio</b>		<b>386</b>	<b>0.386</b>

a)

<b>Metodo: punto in superficie</b>			
<i>N° campione</i>	<i>Ora campionamento</i>	<i>Solidi sospesi (mg/l)</i>	<i>Solidi sospesi (kg/m<sup>3</sup>)</i>
2s	12.25	270	0.270
3s	12.30	284	0.284
4s	12.34	303	0.303
5s	12.38	324	0.324
<b>Valore medio</b>		<b>295</b>	<b>0.295</b>

b)

Tabella 2a,b - Risultati dell'analisi di laboratorio per la determinazione della concentrazione dei solidi presenti nei campioni: a) metodo ad "integrazione", b) metodo punto superficiale

La stima del trasporto solido in sospensione, così come operato per la campagna del 2018, è stata effettuata seguendo due metodologie.

La prima metodologia utilizza la concentrazione media ottenuta dalla media delle concentrazioni dei singoli campioni. Moltiplicando questo valore per la portata misurata alla sezione del Po di Pila, si ottiene la portata torbida. I valori sono riportati in Tabella 3.

<i>Portata liquida (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Concentrazione media solidi sospesi (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Portata solida in sospensione (kg/s)</i>
2380.9	0.386	<b>917.9</b>

Tabella 3 - Portata solida in sospensione riferita alla portata misurata nella sezione del Po di Pila

Il secondo metodo definisce la portata solida transitante come la somma delle portate solide parziali relative alle porzioni di sezione di competenza dei singoli campioni. Queste porzioni di sezione sono delimitate dalle semi distanze tra i punti di prelievo adiacenti e, per i punti estremi, dalle sponde.

In questo secondo caso la portata solida è stata stimata in **916.1 kg/s (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.)**, valore equivalente al risultato ottenuto con il primo metodo. La stessa corrispondenza di valori della portata solida si ebbe per la campagna del 2018, dove risultarono 428.4 kg/s con il primo metodo e 423 kg/s con il secondo.

<i>Tratto di competenza per ogni campione</i>	<i>Portata liquida per tratto (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Solidi sospesi per tratto (mg/l)</i>	<i>Solidi sospesi per tratto (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Portata solida per tratto (kg/s)</i>	<i>Portata solida totale (kg/s)</i>
2	560	437	0.437	245	<b>916.1</b>
3	506	379	0.379	192	
4	587	360	0.36	211	
5	733	366	0.366	268	

Tabella 4 - Portata solida in sospensione riferita alla portata misurata nella sezione del Po di Pila, calcolata con il metodo delle sezioni parziali

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio  
Servizio Centro Servizi Idrogeologici  
Via Tomea, 7  
32100 Belluno  
Italy  
Tel. +39 0437 935600  
Fax +39 0437 935601  
e-mail: [dst@arpa.veneto.it](mailto:dst@arpa.veneto.it)



## **ARPAV**

Agenzia Regionale  
per la Prevenzione e  
Protezione Ambientale  
del Veneto

Direzione Generale  
Via Ospedale Civile, 24  
35121 Padova

Italy

tel. +39 049 82 39 301

fax. +39 049 66 09 66

e-mail: [urp@arpa.veneto.it](mailto:urp@arpa.veneto.it)

e-mail certificata: [protocollo@pec.arpav.it](mailto:protocollo@pec.arpav.it)

[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)