

LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DEL SOTTOPASSO DI CONCA FALLATA
IN COMUNE DI MILANO [MI-E-788]

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione:

R04

Descrizione:

RELAZIONE IDRAULICA
(Revisione Febbraio 2014)

Progettista:

prof. ing. Luigi Natale

Responsabile del procedimento

dott. ing. Gaetano La Montagna

FEBBRAIO 2014

INDICE

1. L'INTERRIMENTO DELLE BOTTI A SIFONE	2
2. SCOPO DELLO STUDIO	3
2.1 LA RETE IDROMETRICA	3
2.2 IL NODO IDRAULICO DI CONCA FALLATA	4
3. ANALISI STATISTICA DEI LIVELLI IDROMETRICI	6
3.1 LO STUDIO PRECEDENTE	6
3.2 I DATI IDROMETRICI	9
3.3 COSTRUZIONE DEI CROSS-CORRELOGRAMMI	9
3.4 STIMA DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO	12
4. I TIRANTI IDRICI A CONCA FALLATA	13
5. FREQUENZA DI INONDAZIONE DEL CANTIERE	14
5.1 FREQUENZA DI INONDAZIONE CON CANALE DEVIATORE CHIUSO	15
5.1 FREQUENZA DI INONDAZIONE CON CANALE DEVIATORE E OLONA 2 CHIUSI	16
6. CONCLUSIONI	17
7. ELENCO DELLE FIGURE	18

1. L'INTERRIMENTO DELLE BOTTI A SIFONE

Il grado di intasamento delle botti a sifone di Conca Fallata può essere correttamente quantificato solo con l'intervento di messa in asciutto delle canne.

I rilievi topografici eseguiti dall'esterno e illustrati nell'elaborato di progetto R06 – Piano di Manutenzione, inducono a ritenere che i condotti siano ostruiti da circa 6000 m³ di materiale: inerte lapideo e detrito di varia natura e pezzatura.

Le testimonianze oculari fanno ritenere che il deposito si sia accumulato nel tempo senza avere ancora raggiunto la finale configurazione di equilibrio che potrebbe portare a una riduzione della capacità dell'opera idraulica tale da comprometterne il corretto funzionamento e da annullare il beneficio prodotto dal raddoppio della botte a sifone.

L'analisi statistica delle misure idrometriche consente di stimare la crescita dell'interrimento a monte delle botti a sifone.

La statistica è riferita alle quote, di specchio liquido ovvero di deposito di sedimento, misurate sotto l'idrometro della Provincia di Milano in quanto, è preferibile non stimare il tasso medio annuo di incremento della ostruzione, direttamente dallo spessore dell'accumulo in ragione della casualità della sua forma e del suo movimento nel tempo.

Il risultato statistico illustrato in figura 1 che mostra la chiara tendenza del deposito ad aumentare nel tempo probabilmente a partire dal 2004, con il significativo coefficiente di correlazione:

$$r = 0.748.$$

2. SCOPO DELLO STUDIO

La panconatura di chiusura delle singole botti a sifone è alta $h = 2.0\text{m}$ sul fondo del canale ed è dimensionata in modo da essere tracimata senza subire danni.

La panconatura è stata progettata con panconi di peso e dimensioni ridotte per agevolare la movimentazione degli elementi in quanto il progettista ha ritenuto opportuno non proporre la più pesante e scarsamente maneggevole panconatura completa alta $h = 3.0\text{m}$ precedentemente progettata, in ragione della prevedibile ridotta durata e della saltuarietà delle operazioni di spurgo delle canne.

Lo studio idraulico di questo progetto esecutivo aggiorna lo studio del progetto definitivo e si propone di stimare:

- la frequenza di tracimazione della panconatura nel corso di una futura operazione di spurgo delle canne della botte a sifone e la conseguente probabilità di allagamento del cantiere posto nello spazio isolato dai panconi,
- la durata degli intervalli tra una eventuale tracimazione e la successiva,

per fornire le indicazioni necessarie alla predisposizione e alla gestione in sicurezza delle future operazioni di spurgo.

Il cantiere del primo intervento per il ripristino della funzionalità delle botti a sifone, consistente in:

- formazione delle soglie di appoggio dei panconi,
- realizzazione dei gargami sulla botte di destra,
- sopralzo del muro di sponda destra del Canale Deviatore a monte e a valle del sifone,
- ripristino del rivestimento ammalorato delle canne della botte di destra,

sarà difeso da una tura in gabbioni e materiale sciolto della altezza $h = 3.0\text{m}$.

2.1 LA RETE IDROMETRICA

Le condizioni idrauliche del reticolo idrografico milanese, rappresentato in Tav. G03, sono controllate dalla rete di strumenti idrometrici posti nei nodi idraulici individuati sulla tavola e contrassegnati con differenti colori in ragione del bacino idrografico monitorato.

Il sistema di controllo e misura, gestito dall'Area Qualità dell'Ambiente ed Energie - Ufficio Informatico - Provincia di Milano, si è sviluppato nel tempo giungendo all'attuale grado di copertura areale; esso consente di gestire in modo accurato e tempestivo la regolazione delle portate nei vari rami della rete idrografica.

Le misure sono trasmesse, in automatico e con scansione temporale di 10 minuti, alla sala operativa dell' Ufficio Informatico. I dati sono registrati nell'archivio informatico del sistema di telemisura e sono resi disponibili per analisi ed elaborazioni statistiche, a richiesta degli utenti autorizzati.

La visualizzazione delle misure è accessibile a una larga schiera di utenti; una procedura di accesso privilegiato consente la lettura diretta in tempo reale delle misure ai soggetti che certificano la necessità di collegarsi direttamente al sistema informatico.

2.2 IL NODO IDRAULICO DI CONCA FALLATA

La rete idraulica afferente al nodo idraulico di Conca Fallata sul Canale Deviatore dell'Olona è individuata in Tav. G04: la tavola evidenzia anche i collegamenti esistenti tra i corsi d'acqua che drenano l'area a nord di Milano e CSNO e riporta i valori delle portate convogliate durante le piene dai diversi tronchi della rete idrografica.

Alla botte a sifone sotto il Naviglio Pavese giungono i deflussi convogliati da due corsi d'acqua: il Canale deviatore e il fiume Lambro meridionale.

1. Il Canale Deviatore dell'Olona è un manufatto artificiale realizzato in calcestruzzo che scolma la portata eccedente la capacità del Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO) a monte del suo recapito nel fiume Ticino. Il deviatore deriva dal CSNO a Vighignolo con un incile controllato da due paratoie.

La chiusura delle paratoie non basta per mettere in asciutta il canale in quanto esso riceve lo scarico continuo del depuratore di Pero e, nel corso dei temporali, gli scarichi di piena delle fognature di Pero, di Corsico e del collettore esterno occidentale che convoglia le acque della zona a sud ovest di Milano.

Le portate di progetto di tutti i tributari del Canale Deviatore sono presentate in tabella 1 di R03 - Relazione idrologica; la tabella 2 della medesima relazione mostra che l'Autorità di bacino del fiume Po stima in $58\text{m}^3/\text{s}$ la portata di progetto convogliabile dal canale fino alla sezione di confluenza con il Lambro meridionale.

2. Il fiume Lambro meridionale, ancora nella prima metà del secolo scorso, scaricava la portata in eccesso del Naviglio Grande per regolarne il livello di pelo libero; nel Lambro recapitavano le acque delle risorgive alimentate dalla falda di Milano e le acque di pioggia raccolte dall'area cittadina, allora periferica, attraversata dal corso d'acqua. Il fiume Olona, che entrava in città da nord, scaricava le sue acque nella darsena di Porta Ticinese.

Nel corso degli anni, col progredire dell'urbanizzazione delle aree ad ovest della città, l'alveo del fiume, che incide il deposito alluvionale per qualche metro sotto il piano di campagna, è stato modificato.

Il ramo cittadino dell'Olona, che precedentemente si scaricava nella darsena di Porta Ticinese, ora è direttamente collegato al Lambro meridionale così che il Lambro costituisce di fatto la prosecuzione dell'altro fiume, del quale acquisisce talvolta il toponimo.

Per laminare l'onda di piena dell'Olona è stata realizzata una cassa di invaso nel territorio di S. Vittore Olona. Procedendo verso valle il fiume riceve la portata scolmata dal torrente Bozzente attraverso un apposito canale.

A monte dell'incrocio con il CSNO, si stacca dal fiume Olona un ramo di nuova inalveazione (nodo idraulico Olona 1) che, piegando verso ovest, conduce le acque del fiume a confluire nel CSNO nel nodo idraulico di Vighignolo dal quale origina il Canale Deviatore.

Procedendo verso Milano, l'alveo originario incrocia il CSNO, sorpassato su ponte canale. In corrispondenza dell'incrocio, realizzato con un manufatto in c.a. e denominato Olona 2, il fiume può scaricare nel sottostante CSNO quanto rimane della portata in arrivo, aprendo completamente le paratoie delle luci laterali di scarico e sbarrando con una difesa provvisoria l'alveo del fiume. A valle del nodo idraulico Olona 2 il fiume riceve gli apporti dei torrenti Guisa, Nirone e Pudiga. Anche questi corsi d'acqua superano il CSNO su ponte canale e sono dotati di opere di scarico regolabili per versare la portata in eccesso nel sottostante canale scolmatore.

In definitiva, operando ai due nodi idraulici di Olona 1 e Olona 2 si esclude l'ingresso nella rete idraulica di Milano di una consistente parte della portata dell'Olona proveniente da monte e la si versa nel CSNO.

A valle dei due nodi idraulici sono posti due punti di misura idrometrica. Nelle sezioni di:

- Pero, sull'Olona prima del collegamento al Lambro Meridionale,
- Settimo Milanese, poco a valle dell'incile del Canale Deviatore.

L'analisi statistica delle misure registrate ai suddetti strumenti idrometrici consente di valutare l'effetto che le operazioni eseguite ai due nodi idraulici producono sui livelli misurati allo idrometro di Conca Fallata.

Gli stessi strumenti idrometrici saranno utilizzati per il controllo dei livelli di piena a Conca Fallata durante i periodi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

3. ANALISI STATISTICA DEI LIVELLI IDROMETRICI

Per tutta la durata dei lavori di manutenzione straordinaria delle botti a sifone debbono essere chiusi:

1. l'ingresso del canale Deviatore a Vighignolo,
2. l'Olona al nodo idraulico Olona 2.

In queste condizioni, giungeranno alla sezione di Conca Fallata unicamente le acque di pioggia eventualmente scaricate dalle fognature sopra individuate, lo scarico del depuratore di Pero, le acque di raffreddamento dell'impianto di cogenerazione A2A di via Moncucco, le acque di supero dei torrenti Guisa, Nirone e Pudiga e qualche altro apporto di minore importanza.

La parzializzazione della botte a sifone con la chiusura di una delle canne causa un innalzamento del tirante idrico a monte nell'ordine di una decina di centimetri per cui rimane da calcolare la probabilità con la quale il livello sul fondo del canale deviatore a Conca Fallata raggiunge o supera l'altezza di sicurezza idraulica della chiusura provvisoria.

Il risultato è raggiunto analizzando statisticamente i dati registrati dagli idrometri di Settimo Milanese e di Pero. I passi dello studio statistico sono i seguenti:

1. raccolta dei dati e analisi delle serie storiche,
2. confronto tra le serie idrometriche a Settimo Milanese, Pero e Conca Fallata per la individuazione delle interruzioni nella registrazione dei dati,
3. costruzione dei correlogrammi incrociati tra Settimo Milanese e Conca Fallata e tra Pero e Conca Fallata,
4. riconoscimento ed esclusione dal calcolo delle registrazioni che l'analisi statistica fa ritenere inaffidabili,
5. stima della funzione di trasferimento dell'onda nel Canale Deviatore, da Settimo Milanese a Conca Fallata, e nel fiume Olona-Lambro Meridionale, da Pero a Conca Fallata,
6. ricostruzione dell'idrogramma dei livelli a Conca Fallata nella ipotesi di: (A) chiusura delle paratoie a Vighignolo; (B) interclusione completa della portata proveniente dai bacini idrografici di monte mediante lo sbarramento del fiume al nodo idraulico di Olona 2 e del deviatore a Vighignolo,
7. analisi statistica degli idrogrammi risultanti.

3.1 LO STUDIO PRECEDENTE

Il calcolo idraulico del Progetto Definitivo ha fatto riferimento alle portate stimate nel marzo 2001 dall'Autorità di Bacino del fiume Po con lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona". Come mostra l'analisi dei dati idrometrici esposta nei paragrafi seguenti, lo studio citato valuta a largo favore di sicurezza l'apporto degli scarichi di piena delle fognature di Milano che versano nel Canale Deviatore.

Il preliminare dimensionamento idraulico delle opere di provvisoria chiusura alla botte a sifone aveva considerato che l'incile del Canale Deviatore dell'Olon a Vighignolo rimanesse chiuso per tutta la durata dei lavori e che la portata in arrivo alle botti a sifone fosse di $Q = 47 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel caso di chiusura dell'Olon con scarico della sua portata direttamente nel CSNO lo schema delle manovre a Vighignolo dovrà essere modificato in quanto in quel nodo idraulico aggiungerà una portata incrementata dallo scarico provvisorio delle acque dell'Olon.

Ogni manovra a Vighignolo deve considerare che il tempo di traslazione della piena tra l'incile del canale e la sezione di Conca Fallata è compreso tra i 40 e i 60 minuti.

Lo studio preliminare ha considerato 3 diversi scenari di calcolo per definire la ripartizione della portata in arrivo tra le due botti a sifone:

1. ambedue le botti operative;
2. botte in sinistra idrografica chiusa per lavori e botte vecchia operativa;
3. botte in destra idrografica chiusa per lavori e botte nuova operativa.

Il calcolo idraulico del deflusso sotto la botte a sifone è stato svolto secondo la procedura messa a punto col Progetto Esecutivo “Lavori di ripristino e adeguamento delle sezioni di deflusso del Deviatore Olona per il miglioramento della sicurezza idraulica dell'area metropolitana di Milano - AIPo - Aprile 2003”.

La condizione idraulica a valle delle due botti a sifone è stata ricavata ricostruendo il profilo idraulico nel Lambro Meridionale a partire da S. Angelo Lodigiano.

Il calcolo di simulazione idraulica è stato condotto con il codice di calcolo Frescare[®] le cui caratteristiche sono illustrate nella R05 – Relazione Idraulica del Progetto Definitivo.

I risultati del calcolo idraulico sono illustrati nelle tabelle della pagina seguente.

Le sezioni indicate con il simbolo:

M , V	sono rispettivamente 10.0 m a monte e a valle delle botti a sifone,
MS , VS	sono rispettivamente all'imbocco e allo sbocco della botte di sinistra,
MD , VD	sono rispettivamente all'imbocco e allo sbocco della botte di destra.

Parametro	simbolo		Botte sinistra (nuova)		Botte destra (vecchia)		
Sezione	-	M	MS	VS	MD	VD	V
Portata	Q (m ³ /s)	47.00	35.00	35.00	12.00	12.00	47.00
Carico totale	H (m s.l.m.)	105.93	105.91	105.90	105.90	105.89	105.88
Quota p. l.	Y (m s.l.m.)	105.85	105.88	105.87	105.89	105.88	105.81
Tirante idrico	H (m)	2.73	2.79	2.87	2.79	2.98	2.93

tab. 1 – Scenario di progetto con le due botti operative

Parametro	simbolo		Botte sinistra (nuova)		Botte destra (vecchia)		
Sezione	-	M	MS	VS	MD	VD	V
Portata	Q (m ³ /s)	47.00	*	*	47.00	47.00	47.00
Carico totale	H (m s.l.m.)	106.09	*	*	106.05	105.88	105.88
Quota p. l.	Y (m s.l.m.)	106.03	*	*	105.94	105.81	105.81
Tirante idrico	H (m)	2.90	*	*	2.84	2.93	2.93

tab. 2 – Scenario di progetto con botte di sinistra (nuova) in manutenzione

Parametro	simbolo		Botte sinistra (nuova)		Botte destra (vecchia)		
Sezione	-	M	MS	VS	MD	VD	V
Portata	Q (m ³ /s)	47.00	47.00	47.00	*	*	47.00
Carico totale	H (m s.l.m.)	105.95	105.93	105.90	*	*	105.88
Quota p. l.	Y (m s.l.m.)	105.88	105.89	105.85	*	*	105.81
Tirante idrico	H (m)	2.75	2.79	2.85	*	*	2.93

tab. 3 – Scenario di progetto con botte di destra (vecchia) in manutenzione

Con riferimento allo studio sviluppato qui di seguito, che è più attendibile dei precedenti in quanto si basa sulle serie storiche delle altezze idrometriche misurate in loco, importa puntualizzare che i risultati esposti nelle tabelle mostrano che, rispetto alla situazione corrente di ambedue le botti aperte:

- la chiusura della botte nuova provoca un innalzamento del pelo libero a monte della botte inferiore ai 20cm;

- la chiusura della botte vecchia provoca un innalzamento del pelo libero di qualche centimetro che può ritenersi trascurabile ai fini del progetto.

Pertanto, l'intervento dovrà interessare:

- dapprima la botte vecchia in destra idrografica in quanto la sua chiusura ostacola il deflusso e innalza il tirante idrico in maniera trascurabile,
- successivamente la botte nuova in sinistra idrografica in quanto il ripristino della efficienza della botte a sifone di destra migliorerà le condizioni di deflusso abbassando il tirante idrico rispetto al valore calcolato.

3.2 I DATI IDROMETRICI

L'Ufficio Opere di difesa Idraulica della Provincia di Milano ha attivato un sistema di misurazione dei livelli nei corsi d'acqua che solcano il territorio provinciale. Le misure sono riportate in tempo reale sul sito del Sistema Informatico Ambientale (SIA) dell'Ufficio informatico dell'Area Qualità dell'Ambiente ed Energia della Provincia di Milano.

Il sistema informatico registra i valori misurati salvandoli in una banca dati. Per la cortesia del responsabile del servizio, Arch. Oliviero Tizzoni, abbiamo ricevuto le serie storiche delle misurazioni di altezza idrometrica rilevate fra gli anni 2007 e 2012 nelle stazioni idrometriche:

1. RTU06: posta all'incile del Canale Deviatore a Settimo Milanese,
2. RTU23: posta a Pero sul fiume Olona,
3. RTU18: posta all'imbocco della vecchia botte a sifone di Conca Fallata.

La posizione degli strumenti è individuata sulle tavole G03 e G04 che riportano le nuove sigle di identificazione degli strumenti di:

- Settimo Milanese: GP006M002
- Pero: GP023M001
- Conca Fallata: GP018M001

assegnate dall'Ufficio AIPo per il monitoraggio idrologico ed il coordinamento del servizio di piena, competente per l'aggiornamento dei dati della rete di monitoraggio AIPo.

I valori di altezza d'acqua sono registrati ad intervalli temporali di 10'. Le serie storiche dei tiranti idrici sono estremamente dettagliate ma presentano diverse interruzioni avvenute casualmente nel corso degli anni. Le interruzioni sono dovute principalmente a fuori servizio degli strumenti o del sistema informatico di gestione dell'informazione.

I livelli idrometrici minimi presentano oscillazioni e valori non nulli a Settimo Milanese anche quando, presumibilmente, il canale è asciutto: come noto, questi errori sono dovuti anche alle interferenze dei campi magnetici sulle misure degli strumenti elettronici a ultrasuoni.

Lo strumento misuratore a Conca Fallata segna un livello idrico di base che attualmente si attesta, con oscillazioni, su valori di poco inferiori al metro: questo non trascurabile tirante idrico non è completamente giustificato dagli scarsi afflussi durante i periodi di magra e quindi deve

essere imputato, almeno in parte, alla formazione di pozze d'acqua causate dai materiali depositati sul fondo del canale come si è detto in § 1.

3.3 COSTRUZIONE DEI CROSS-CORRELOGRAMMI

L'analisi della correlazione incrociata tra più serie temporali di misure – la prima caratterizzante l'effetto e le altre la causa - consente di stabilire quanto e come i fenomeni misurati a monte influenzano il fenomeno di valle: nel nostro caso il coefficiente di correlazione incrociata indica quanta parte del livello misurato a Conca Fallata è addebitabile alla portata proveniente dalla presa dal C.S.N.O. a Vighignolo e quanta parte è invece dovuta alla portata dell'Olonza transigente da Pero.

La parte di segnale rilevato dall'idrometro di Conca Fallata non spiegata dal dato di monte è addebitabile ai contributi degli affluenti che si immettono a valle delle sezioni di Pero e di Settimo Milanese ovvero agli ineliminabili errori di misura.

La funzione di correlazione incrociata $r(k)$, che misura la forza del legame tra le grandezze X misurate in una delle sezioni di monte (Settimo Milanese o Pero) e Y misurate a tempi diversi nella sezione di valle (Conca Fallata), è espressa come:

$$r(k) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)(Y_{i+k-1} - Y_m)}{S_X S_Y} \quad (1)$$

se X_i e Y_i sono due funzioni discrete del tempo. Gli altri simboli indicano:

k il ritardo espresso in intervalli di tempo unitario $\Delta t = 10$ minuti; $k \geq 0$ nel nostro caso,

i il tempo corrente della serie di valori lunga $T = n \Delta t$,

X_m il valore medio della altezza idrometrica a Settimo Milanese / Pero,

Y_m il valore medio della altezza idrometrica a Conca Fallata,

S_X lo s. q. m. della altezza idrometrica a Settimo Milanese / Pero,

S_Y lo s. q. m. della altezza idrometrica a Conca Fallata.

Poiché la correlazione tra le serie continue di misure alle sezioni monte - valle del canale non è significativa in quanto è dominata dalla correlazione spuria tra i livelli registrati durante i lunghi periodi di magra e di mal funzionamento, le serie storiche sono state ridotte selezionando per il calcolo soltanto i tiranti registrati durante i periodi di piena, poiché il loro legame funzionale definisce la modalità di trasferimento della portata dalla stazione di monte verso quella di valle.

La soglia di taglio utilizzata per escludere le misure non significative, è stata fissata al valore $H=1,0m$ a Conca Fallata. I periodi in cui le misure a Conca Fallata sono risultate inferiori alla soglia di taglio, insieme con i corrispondenti periodi di misura a Settimo Milanese / Pero sono stati esclusi dal calcolo.

La tabella 4 riporta:

1. nella prima colonna gli anni considerati nel calcolo;
2. nella seconda colonna i valori del coefficiente di determinazione R^2 della regressione multipla dei livelli idrometrici di Conca Fallata su Settimo Milanese;
3. nella terza colonna i valori R^2 della regressione multipla dei livelli idrometrici di Conca Fallata su Pero;
4. nella quarta colonna i valori di R^2 della regressione multipla dei livelli di valle su entrambe le stazioni di monte.

Anno	Settimo Milanese	Pero	V & P
2007	0.51	0.47	0.76
2008	0.46	0.27	0.50
2009	0.54	0.33	0.62
2010	0.53	0.32	0.74
2011	0.80	0.13	0.55

tab. 4 – Coefficienti di determinazione R^2

La tabella mostra che:

- in alcuni anni le misure di Settimo Milanese preannunciano in modo soddisfacente quanto accadrà a valle,
- talvolta le misure di Settimo Milanese sono insufficienti a prevedere i livelli di valle,
- le misure all'idrometro di Pero hanno minor valore predittivo,
- la previsione basata sulla lettura di entrambi gli idrometri di monte è quasi sempre significativa,
- quando la misura di Settimo Milanese è molto significativa conviene non considerare la misura a Pero.

I correlogrammi calcolati per ciascuno degli anni disponibili sono riportati in figura 2. La forma della funzione di correlazione incrociata è relativamente spianata se si assumono come statisticamente significative correlazioni non inferiori a $\rho = 0,5$.

I grafici di figura 2a, b riportano il valore del coefficiente di correlazione incrociata sulle ordinate e il tempo di ritardo espresso in minuti sulle ascisse.

Il legame tra le grandezze ha significato statistico e non deve essere interpretato in maniera deterministica. Infatti è statisticamente accettabile la correlazione non nulla tra le misure contemporanee di Settimo Milanese / Pero e Conca Fallata anche se ciò contrasta con l'osservazione che l'onda impiega un tempo non trascurabile per traslare da monte verso valle.

L'ascissa del picco del correlogramma indica il tempo di ritardo impiegato da una determinata portata per passare dalla sezione iniziale alla sezione finale del canale. Il tempo impiegato dalle onde di piena del Deviatore e dell'Olonza per giungere a Conca Fallata sono valutabili in:

- a) Deviatore Olona: poco meno di 60 minuti provenendo da Vighignolo,
- b) Fiume Olona: circa 120 minuti provenendo da Pero.

La forma arrotondata della funzione di correlazione intorno al picco traduce in termini statistici anche l'effetto idraulico della laminazione subita dall'onda di piena durante la sua discesa verso valle e il fatto che parte del flusso attribuito a condizioni di moto vario si svolga invece in condizione di moto permanente.

Sulla scorta dei risultati di questa preliminare analisi statistica è stata decisa la struttura della funzione di trasferimento della altezza idrometrica da Settimo Milanese e Pero a Conca Fallata.

Il tempo di traslazione delle onde provenienti dai bacini distribuiti lungo il percorso di valle, che sono prossimi a Conca Fallata, è trascurabile ai fini pratici.

3.4 STIMA DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

Per trasferire il livello idrico da Vighignolo a Conca Fallata è utilizzata una funzione di trasferimento lineare del tipo:

$$Y_i = c_0 + \sum_{k=3}^8 a_k X_{i-k} + \sum_{k=6}^{12} b_k Z_{i-k} \quad (2)$$

Nella equazione (2) il valore dell'altezza idrometrica a Conca Fallata Y_i al generico tempo i -esimo è dato dalla combinazione dei valori misurati a Settimo Milanese - X_{i-k} - e a Pero - Z_{i-k} - nei k precedenti intervalli di tempo con scansione di 10'.

I 14 coefficienti di regressione $[c_0, a_1, \dots, a_M, b_1, \dots, b_N]$ sono stimati con il metodo dei minimi quadrati. La costante a_0 nella equazione (2) individua il tirante idrico permanentemente presente a Conca Fallata a causa dei depositi di fondo. Poiché esso non dipende da quanto accade a Vighignolo e a Pero nelle successive elaborazioni è posto: $c_0 = 0$.

Per ogni anno di registrazione è stata determinata una diversa funzione di trasferimento.

Coefficiente	Anno				
a_k	2007	2008	2009	2010	2011
8	0.53632	0.58232	0.44394	1.12726	0.481914
7	-0.20824	-0.11691	0.13221	-0.44044	0.095115
6	0.02097	0.40587	0.08004	-0.10194	0.149859
5	0.03698	-0.22562	0.14312	-0.03234	0.161685
4	-0.32245	0.11061	0.02823	-0.17599	0.20982
3	0.63467	-0.34974	-0.34159	0.48377	0.010204

tab. 5a – Coefficienti a_k della funzione di trasferimento definita dalla equazione (2)

Coefficiente	Anno				
b_k	2007	2008	2009	2010	2011
12	-0.10062	-0.52083	-1.08500	-0.13492	-1.8798
11	0.04135	-1.14114	-0.02861	-0.71786	0.471196
10	0.24463	0.18005	-0.25755	-0.41601	0.787797
9	-0.02186	0.99610	-0.14200	-0.29527	-0.05016
8	-0.20106	2.04965	-0.04233	-0.21414	-1.02101
7	0.08001	1.40835	-0.73320	-0.08183	-0.16426
6	0.57817	0.30949	2.72683	2.44586	2.351372

tab. 5b – Coefficienti b_k della funzione di trasferimento definita dalla equazione (2)

4. I TIRANTI IDRICI A CONCA FALLATA

Applicando la funzione di trasferimento ai livelli di piena registrati a Settimo Milanese e a Pero, sono stati ricostruiti i contributi ai tiranti idrici nella sezione di Conca Fallata dovuti alla portata immessa da monte.

Sottraendo i livelli così ricostruiti ai livelli misurati si ottiene la stima del tirante idrico che si sarebbe realizzato a Conca Fallata se le paratoie di Vighignolo fossero rimaste chiuse e la portata in arrivo ad Olona 2 fosse stata deviata nel CSNO.

A titolo di esempio, le figure 3a, b confrontano tra loro gli idrogrammi a Conca Fallata:

1. storico,
2. ricostruito per simulare la condizione di paratoie chiuse a Vighignolo.

negli anni 2009 e 2011 durante i quali è particolarmente significativo il contributo di portata proveniente dal Canale Deviatore come mostrano i coefficienti di determinazione di tabella 4.

Sempre a titolo di esempio, le figure 4a, b confrontano tra loro gli idrogrammi a Conca Fallata:

1. storico,
2. ricostruito per simulare la condizione di paratoie chiuse a Vighignolo e di ponte canale sbarato a Olona 2.

negli anni 2007 e 2010 per i quali le misure di entrambe le stazioni idrometriche di monte sono significativamente correlate con quelle alla stazione di valle.

Nei grafici mostrano la evidente riduzione del tirante idrico: ciò dimostra che il controllo della portata di piena nei canali affluenti a Conca Fallata garantisce:

- a. un significativo aumento della sicurezza del cantiere nei riguardi del pericolo di inondazione,
- b. una consistente riduzione dei periodi di sospensione dei lavori; questo argomento sarà approfondito nel capitolo seguente.

5. FREQUENZA DI INONDAZIONE DEL CANTIERE

L'analisi statistica sviluppata nei paragrafi precedenti consente di definire la frequenza di inondazione del cantiere dei lavori di manutenzione delle botti a sifone a Conca Fallata nei due diversi scenari:

1. chiuso l'incile del Canale Deviatore a Vighignolo,
2. chiusi sia il Canale deviatore sia il fiume Olona al nodo idraulico denominato Olona 2.

Nelle tabelle 6 e 7 sono riassunti i risultati dell'analisi statistica.

Le tabelle evidenziano per ogni singolo anno della serie storica esaminata: il numero di volte e la durata di superamento - media e massima - dei tiranti idrici di riferimento per garantire le condizioni di sicurezza nelle diverse fasi di cantiere. I livelli considerati sono:

- a) $h = 150\text{cm}$: livello di allerta al cantiere dei lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria,
- b) $h = 175\text{cm}$: livello di allarme al cantiere dei lavori di manutenzione ordinaria,
- c) $h = 200\text{cm}$: livello di allarme con sgombero dell'area maggiormente a rischio del cantiere dei lavori di manutenzione straordinaria, costituita dall'interno delle canne dei sifoni .

L'allerta richiede:

- la sospensione dei lavori,
- la predisposizione delle vie di fuga,
- la rimozione dall'area a rischio dei mezzi d'opera più ingombranti.

L'allarme richiede.

- lo sgombero totale di uomini e mezzi fino a conclusione dell'evento di piena.

Nelle tabelle 6a, b sono indicati con i simboli:

- N il numero di eventi all'anno,
- T_{medio} la durata media di superamento,
- T_{massimo} la durata massima di superamento per l'evento più gravoso dell'anno.

Le durate sono espresse in ore e frazione decimale di ora.

Il numero frazionario di episodi di superamento di soglia riportato in tabella deve intendersi come valore compreso tra l'intero inferiore e quello superiore al dato tabellare.

Le figure 5a, b danno gli istogrammi di frequenza mensile degli episodi di superamento di soglia durante il periodo 2007 – 2012..

Si noti che i risultati statistici presentati nei successivi paragrafi considerano le attuali condizioni di deflusso nella botte a sifone con ambedue le due canne aperte mentre durante le future operazioni di pulizia le canne rimangono chiuse, una per volta, in successione.

Il sopralzo dovuto alla chiusura di una delle due canne comunque si mantiene all'interno del franco di sicurezza adottato per l'emanazione dell'allarme che è pari a:

$$f = \text{altezza sbarramento} - \text{soglia di allarme}$$

Durante i lavori di pulizia straordinaria, quando una delle due canne sarà chiusa, dovrà essere applicato ai valori tabulati il sopralzo idraulico indicato in paragrafo 3.1 che non supera i 20cm mentre il franco adottato è $f = 3.00 - 2.00 = 1.00\text{m}$.

Durante i lavori di pulizia ordinaria le canne saranno solo parzialmente ostruite e quindi il sopralzo del pelo libero sarà di qualche centimetro e quindi ben inferiore al franco che in questo caso è: $f = 2.00 - 1.75\text{m}$.

Da ultimo osserviamo che gli errori di misura idrometrica allo strumento di Conca Fallata non consentono di stimare in modo statisticamente consistente la distribuzione di probabilità del gradiente di crescita del livello idrico in fase di piena crescente.

In ogni caso, la elaborazione dei dati consente di stimare che non è improbabile il caso di aumento di livello idrico a Conca Fallata compreso tra i 15 (quindici) e i 20 (venti) centimetri in 10 (dieci) minuti. In casi eccezionali la velocità di innalzamento del pelo libero potrebbe raggiungere anche i tre centimetri al minuto.

5.1 FREQUENZA DI INONDAZIONE CON CANALE DEVIATORE CHIUSO

Lo specchio riassuntivo di tabella 6a mostra che, nel periodo considerato, il superamento è in media di:

- 12 (dodici) volte per anno con una durata media di circa 3 ore e 15 minuti per valore di soglia $h = 1.50\text{m}$,
- poco meno di 6 (sei) volte/anno con una durata media di circa 2ore per soglia $h = 1.75\text{m}$,
- 2 (due) volte per anno con una durata media di 1ora e 35 minuti per soglia $h = 2.00\text{m}$.

	h>150cm			h>175cm			h>200cm		
Anno	N	T medio	T massimo	N	T medio	T massimo	N	T medio	T massimo
2007	17	1.88	0.00	7	0.40	1.00	2	0.33	0.50
2008	22	2.85	8.83	11	0.94	3.00	2	1.67	2.33
2009	1	2.33	2.33	1	1.50	1.50	1	0.50	0.50
2010	17	4.87	9.83	9	3.87	4.67	4	3.96	2.67
2011	2	0.75	1.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2012	11	6.91	19.67	7	4.79	9.33	3	2.89	3.83
<i>media</i>	<i>12</i>	<i>3.27</i>	<i>6.94</i>	<i>5.83</i>	<i>1.92</i>	<i>3.25</i>	<i>2.00</i>	<i>1.56</i>	<i>1.64</i>
<i>s. q. m.</i>	<i>9</i>	<i>2.24</i>	<i>7.46</i>	<i>4.40</i>	<i>1.96</i>	<i>3.40</i>	<i>1.41</i>	<i>1.59</i>	<i>1.53</i>

tab. 6a – Numero e durata dei superamenti delle soglie di allarme nel periodo 2007-2012 ⁽¹⁾

La protezione garantita dalla chiusura delle paratoie a Vighignolo controlla in modo significativo il pericolo di inondazione del cantiere negli anni più magri mentre il rischio i mantiene ancora abbastanza elevato negli anni più piovosi come lo furono gli anni 2010 e 2012.

L'istogramma di figura 5a mostra come si sarebbero ripartiti nel corso del periodo analizzato gli avvisi di allerta e di allarme: la stagione più adatta alla esecuzione dei lavori risulta quella invernale.

⁽¹⁾ si richiama che i tempi sono espressi: in ore e centesimi di ora nelle tabelle; in ore e minuti nel testo.

5.2 FREQUENZA DI INONDAZIONE CON CANALE DEVIATORE E OLONA 2 CHIUSI

La deviazione del deflusso del fiume Olona verso il C.S.N.O. da attuarsi con la chiusura di Olona 2 riduce sensibilmente il numero dei superamenti di soglia come mostra la sottostante tabella.

In particolare il numero dei superamenti della soglia $h = 2.00\text{m}$ si riduce a 1 ogni 3 anni e la durata dei superamenti e, di conseguenza della sospensione dei lavori o della condizione di pericolo non supera mai l'ora.

	h>150cm			h>175cm			h>200cm		
Anno	N	Tmedio	Tmassimo	N	Tmedio	Tmassimo	N	Tmedio	Tmassimo
2007	4	0.71	1.83	2	0.75	1.33	1	1.00	1.00
2008	1	0.50	0.50	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2009	13	3.31	6.50	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2010	2	5.08	2.83	2	2.67	2.67	1	2.17	2.17
2011	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2012	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
<i>media</i>	<i>3</i>	<i>1.60</i>	<i>1.94</i>	<i>0.67</i>	<i>0.57</i>	<i>0.67</i>	<i>0.33</i>	<i>0.53</i>	<i>0.53</i>
<i>s.q.m.</i>	<i>5</i>	<i>2.11</i>	<i>2.50</i>	<i>1.03</i>	<i>1.07</i>	<i>1.12</i>	<i>0.52</i>	<i>0.90</i>	<i>0.90</i>

tab. 6a – Numero e durata dei superamenti delle soglie di allarme nel periodo 2007-2012

La ripartizione tra i mesi dell'anno degli avvisi di allerta e di allarme è indicato dall'istogramma di figura 5b che riporta il numero totale di eventi occorsi nel periodo di sei anni.

Risulta che la chiusura dei due affluenti allunga significativamente il periodo dell'anno senza allarmi; solo la stagione autunnale presenta situazioni di possibile rischio di interruzione dei lavori.

6. CONCLUSIONI

Dalla analisi statistica dei livelli idrometrici nelle sezioni di interesse del Canale Deviatore e del fiume Olona e dal calcolo idraulico risultano le seguenti considerazioni.

- A. Il cantiere dei lavori di manutenzione straordinaria delle botti a sifone di Conca Fallata deve essere protetto con la chiusura dell'incile del Canale Deviatore e con lo sversamento in C.S.N.O. delle acque del fiume Olona mediante la chiusura provvisoria della sezione del fiume nel nodo Olona 2. Questa disposizione mantiene molto bassa la probabilità di inondazione e la limita alla stagione autunnale.
- B. Poiché non può essere escluso l'arrivo di una piena eccezionale alimentata essenzialmente da piogge sul bacino metropolitano di Milano, il Piano di Sicurezza e di Coordinamento dei lavori deve includere la procedura di allerta e allarme basata sulla previsione dei livelli idrici a monte delle botti a sifone che utilizza le informazioni fornite dal sistema di tele-misura della rete idrografica milanese attualmente reperibili sul sito del Sistema Informatico Ambientale (SIA) dell'Ufficio informatico dell'Area Qualità dell'Ambiente ed Energia della Provincia di Milano.
- C. Il cantiere dei lavori di manutenzione ordinaria delle botti a sifone di Conca Fallata sarà protetto con la sola chiusura dell'incile del Canale Deviatore, onde contenere il costo dell'intervento in ragione: (1) della sua frequenza di messa in atto, (2) della limitata durata dei lavori di manutenzione ordinaria, (3) della maggiore capacità idraulica che le canne dei sifoni ben mantenute avranno rispetto alla condizione attuale.
- D. Lo studio idraulico consiglia di eseguire i lavori di manutenzione ordinaria nel periodo di magra dell'Olona: mesi da gennaio a marzo. Nonostante la bassa probabilità di tracimazione delle panconature è opportuno che l'arrivo di eventuali piene sia controllato con la consultazione dei dati forniti in tempo reale dal sistema di tele-misura idrometrica.

7. ELENCO DELLE FIGURE

1. Stima dell'interrimento all'idrometro di conca Fallata
2. Correlazione incrociata tra le altezze idrometriche di:
 - a) Settimo Milanese e Conca Fallata
 - b) Pero e Conca Fallata
3. Confronto tra gli idrogrammi a Conca Fallata con incile del Canale Deviatore chiuso:
 - a) anno 2009
 - b) anno 2011
4. Confronto tra gli idrogrammi a Conca Fallata con Canale Deviatore e Olona 2 chiusi:
 - a) anno 2007
 - b) anno 2010
5. Numero mensile di episodi di superamento di soglia nel periodo 2007 – 2012:
 - a) Canale Deviatore chiuso a Vighignolo
 - b) Canale Deviatore e Olona chiusi

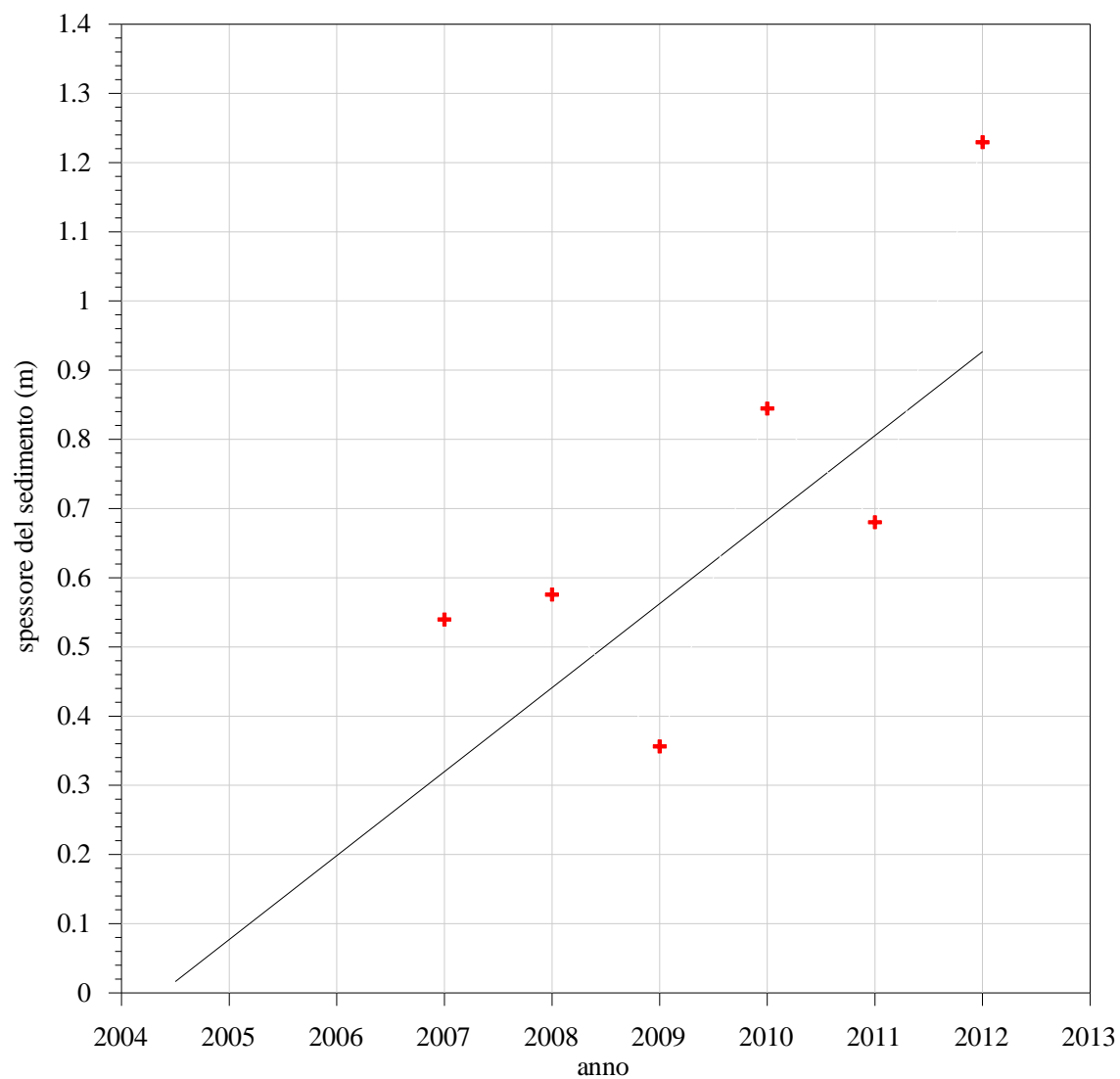


FIG. 1 - STIMA DELL'INTERRIMENTO ALL'IDROMETRO DI CONCA FALLATA

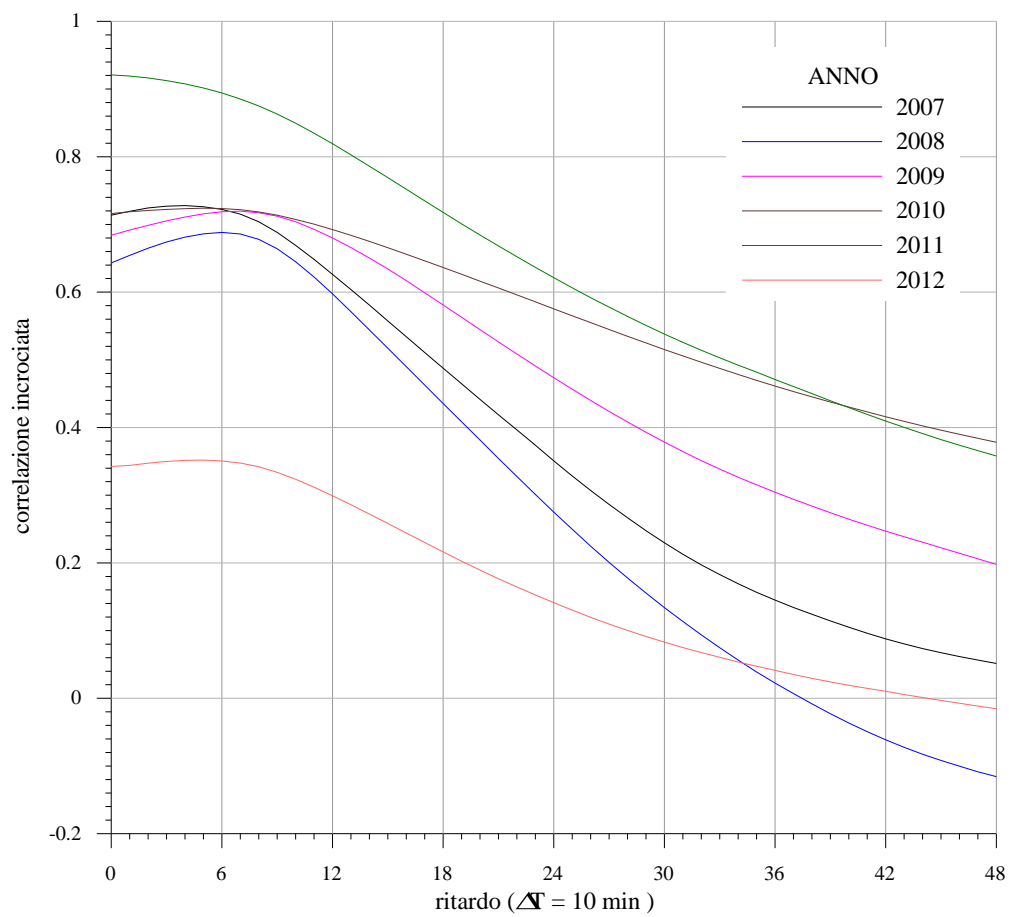


FIG. 2a - CORRELAZIONE INCROCIATA TRA LE ALTEZZE IDROMETRICHE DI SETTIMO MILANESE E CONCA FALLATA

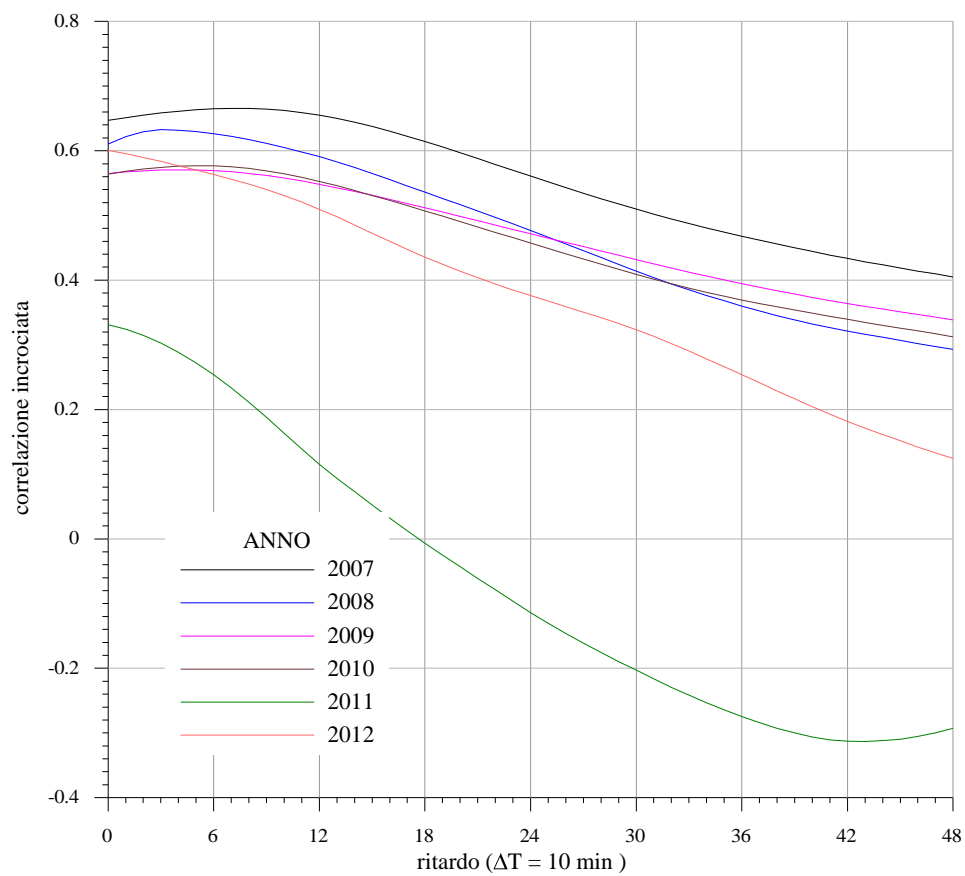


FIG. 2b - CORRELAZIONE INCROCIATA TRA LE ALTEZZE IDROMETRICHE DI PERO E CONCA FALLATA

Progetto esecutivo dei lavori di manutenzione straordinaria del sottopasso di Conca Fallata
prof. ing. Luigi Natale – Relazione idraulica (Revisione Febbraio 2014)

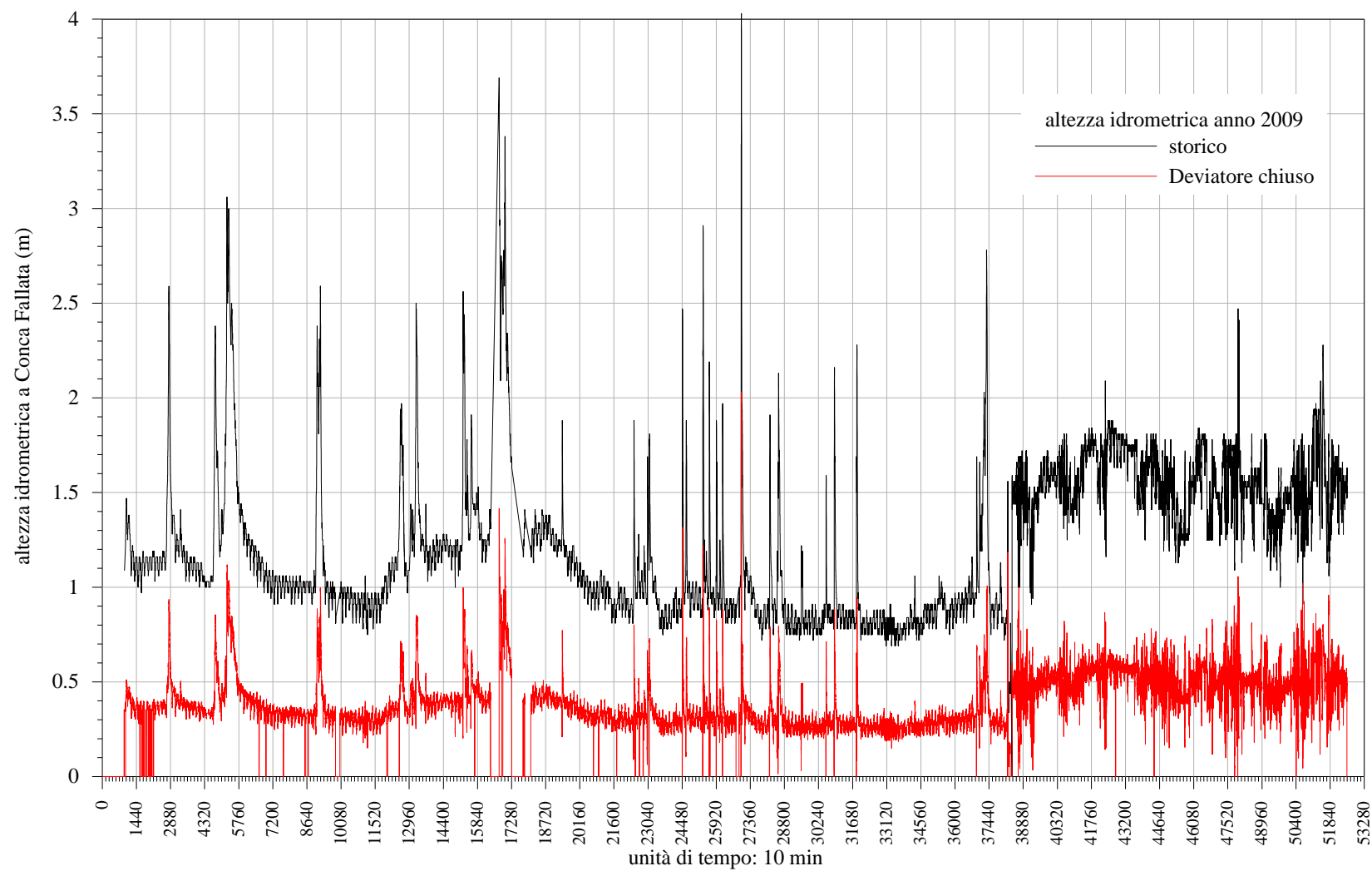


FIG. 3a - IDROGRAMMI A CONCA FALLATA CON CANALE DEVIATORE CHIUSO

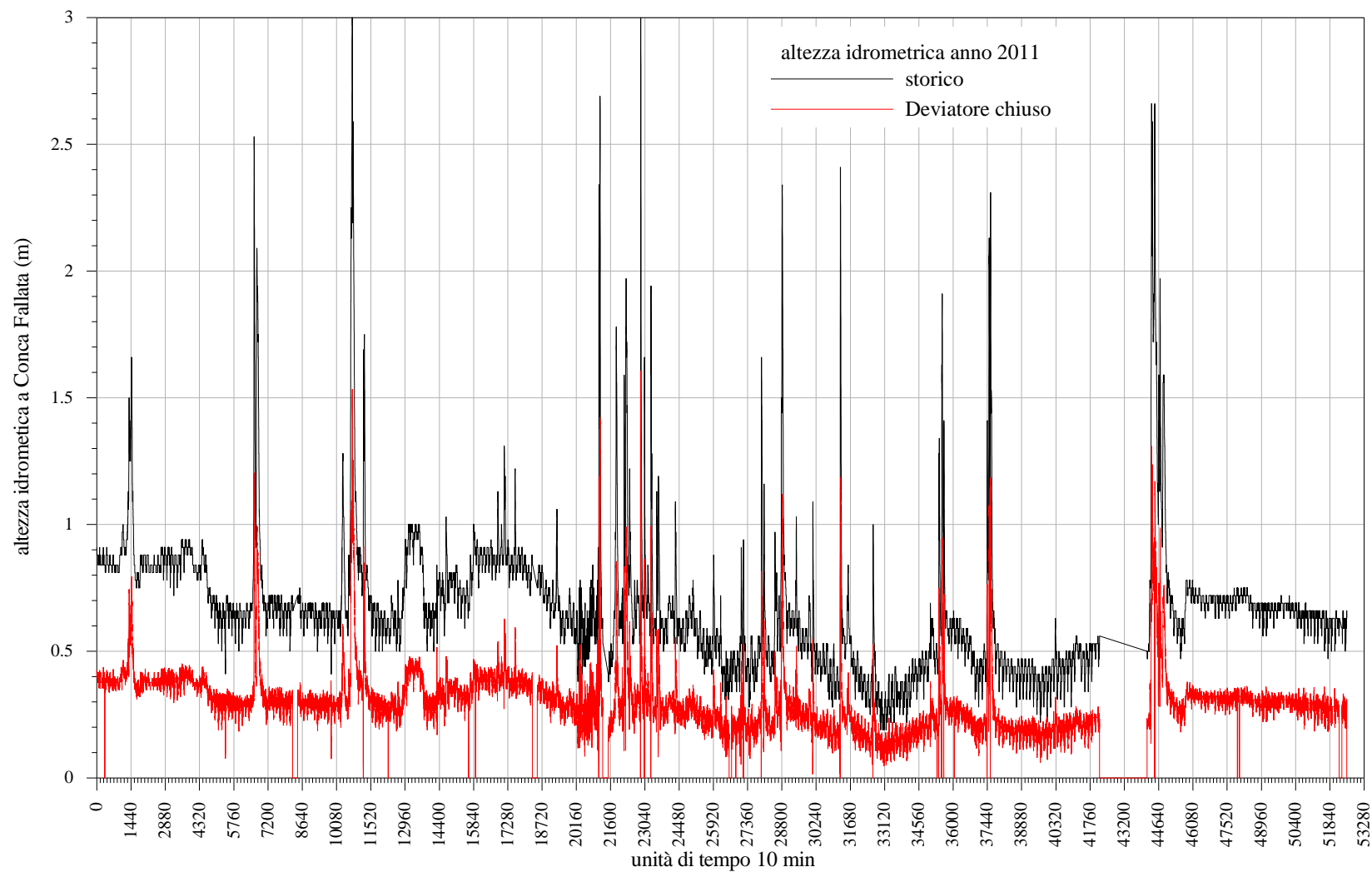


FIG. 3b - IDROGRAMMI A CONCA FALLATA CON CANALE DEVIATORE CHIUSO

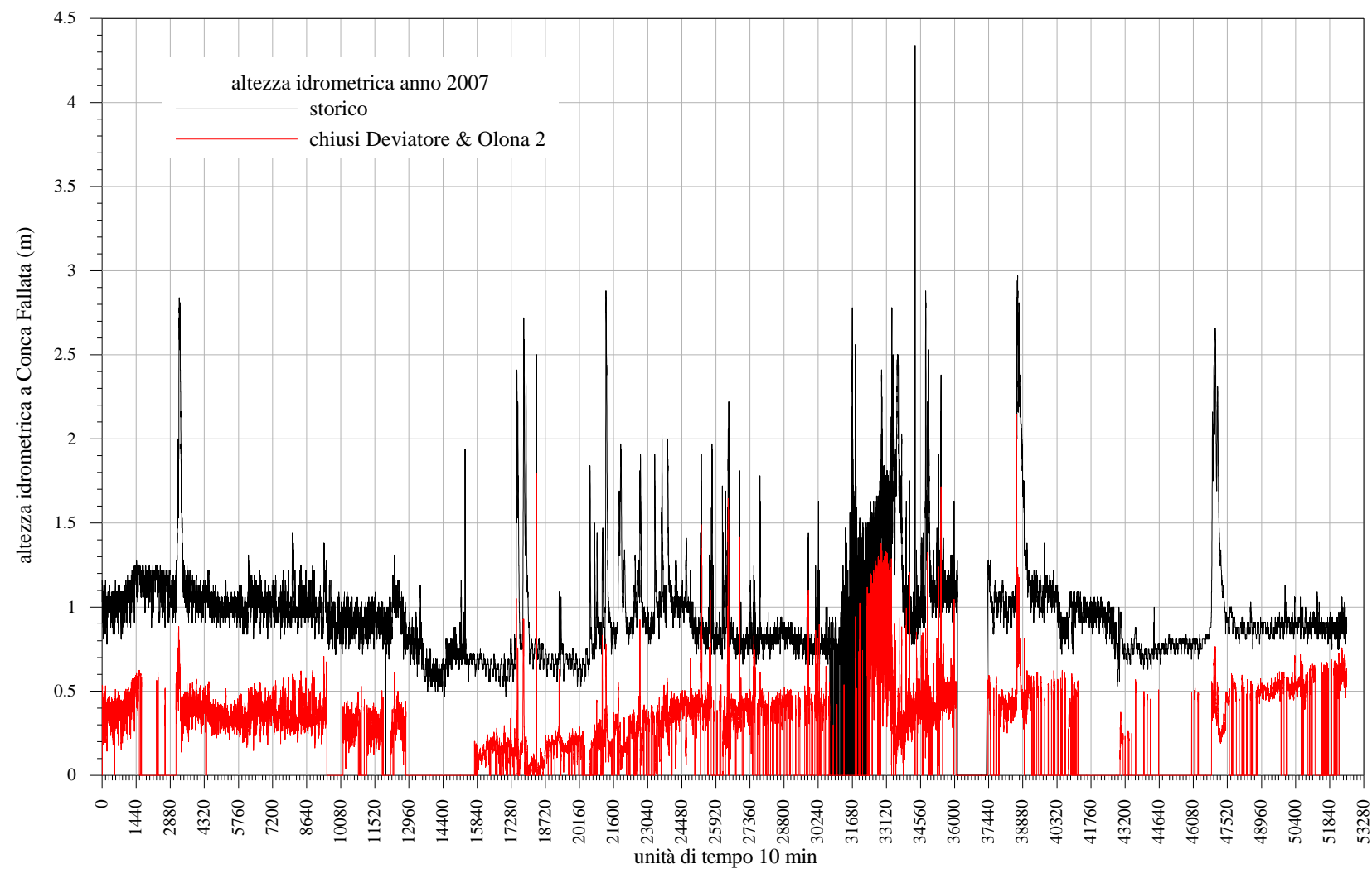


FIG. 4a - IDROGRAMMI A CONCA FALLATA CON DEVIATORE & OLONA 2 CHIUSI

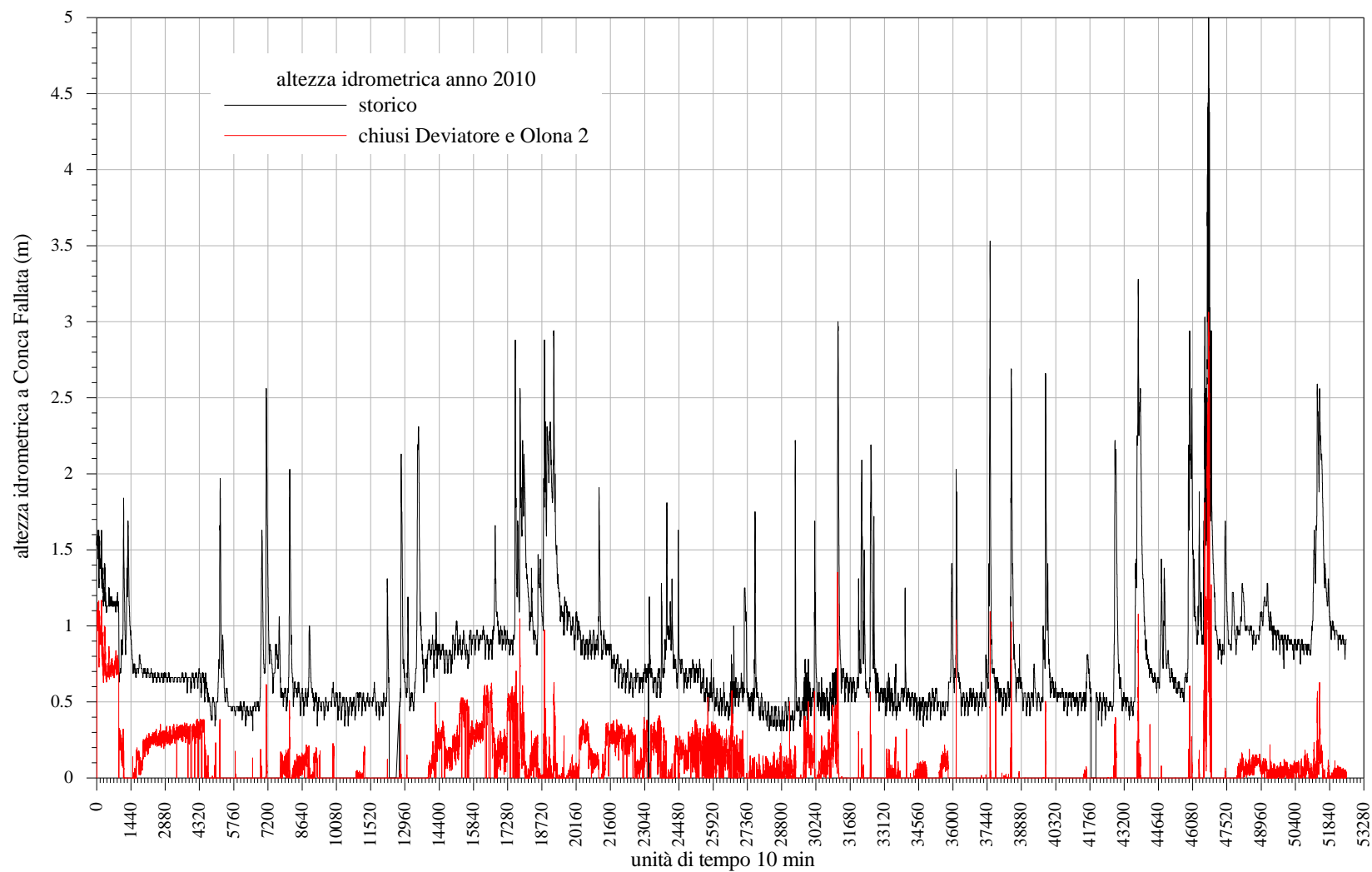


FIG. 4b - IDROGRAMMI A CONCA FALLATA CON DEVIATORE & OLONA 2 CHIUSI

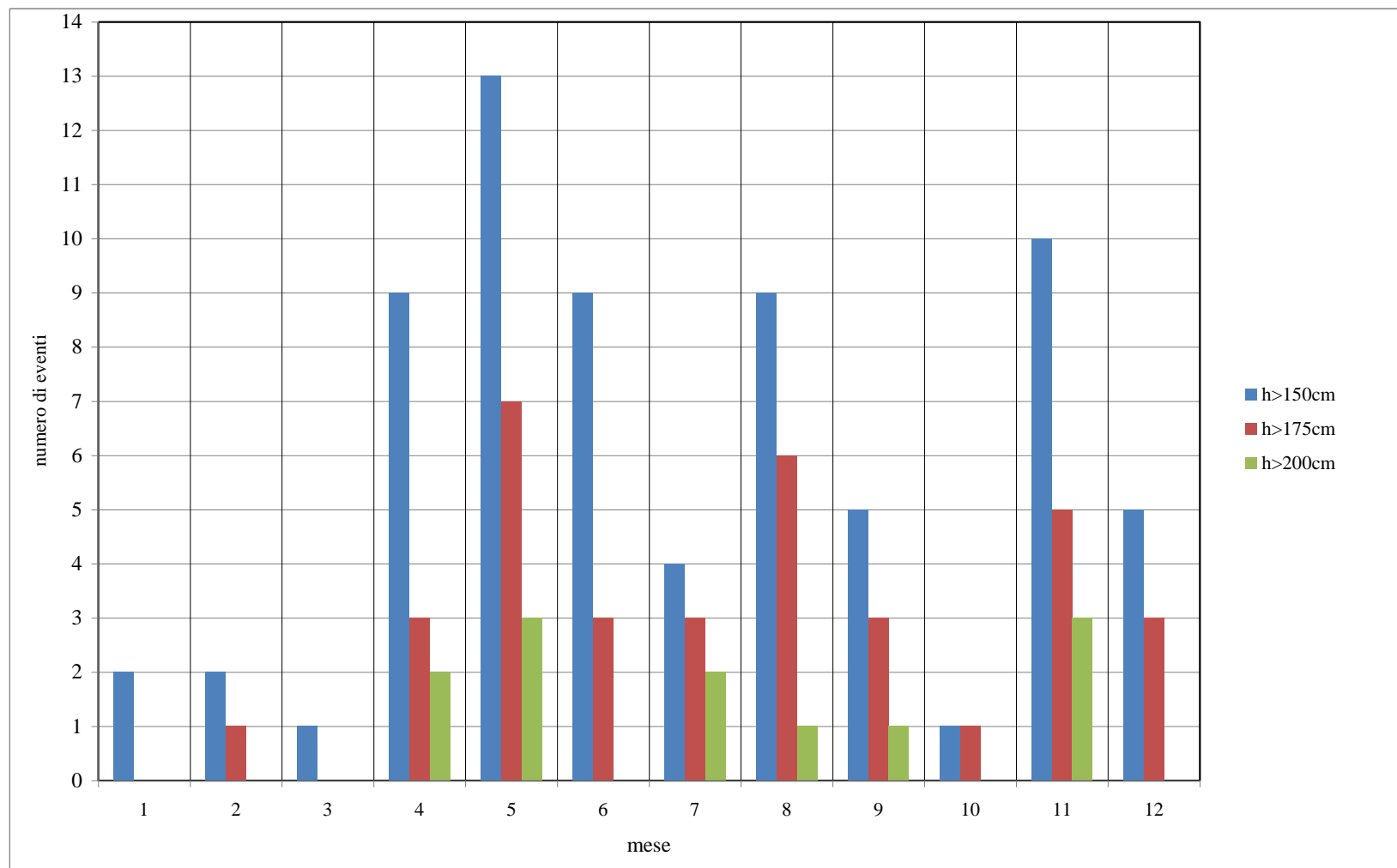


FIG. 5a -NUMERO MENSILE DI EPISODI DI SUPERAMENTO DI SOGLIA NEL PERIODO 2007 – 2012: CANALE DEVIATORE CHIUSO

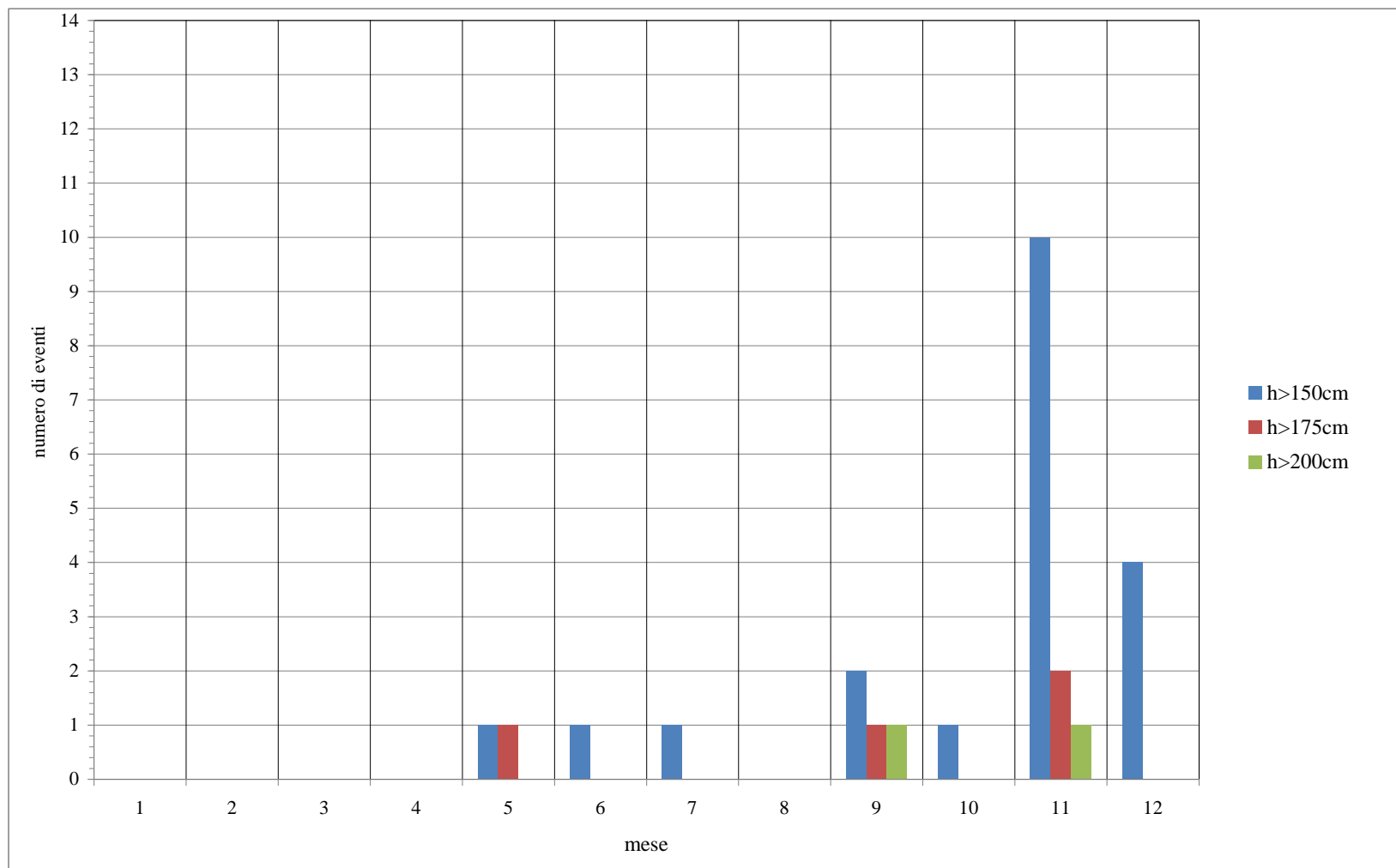


FIG. 5b -NUMERO MENSILE DI EPISODI DI SUPERAMENTO DI SOGLIA NEL PERIODO 2007 – 2012: DEVIATORE E OLONA CHIUSI