

COMUNE DI SERRAVALLE PISTOIESE

Provincia di PISTOIA

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO RELATIVO AL RETICOLO IDROGRAFICO IN SPONDA DESTRA DEL TORRENTE STELLA A SUPPORTO DELLA FORMAZIONE DEL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE DEI COMUNI DI SERRAVALLE PISTOIESE E MARLIANA

Elaborato:

-

Oggetto:

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Scala:

-

Data:

Settembre 2019



A4 INGEGNERIA
Società Tra Professionisti a Responsabilità Limitata

VIA ROMA 26 - 59100 - PRATO
TEL/FAX: 0574442523
P.IVA e C.F.: 01973140971
MAIL: info@a4ingegneria.it
PEC: a4ingegneria@legalmail.it
WEB: www.a4ingegneria.it

Il Responsabile del Progetto:

DOTT. ING. CRISTIANO CAPPELLI

Ord. Ingg. Pistoia n. 693

Modellazione idrologica-idraulica a cura di::

ING. SIMONE BONISTALLI

Ord. Ingg. Pistoia n. 1174

ING. DANIELE BALDI

Ord. Ingg. Pistoia n. 1048

Committenza:



COMUNE DI SERRAVALLE PISTOIESE

Sede: Via Garibaldi, 54

51034 - SERRAVALLE PISTOIESE (PT)

data	oggetto
Settembre 2019	Consegna

Questo disegno e' protetto dalle vigenti leggi di autore e pertanto non puo' essere riprodotto, in tutto od in parte, ne' essere ceduto a terzi senza la nostra autorizzazione scritta.

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	FASI DELLO STUDIO	2
3	ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI	2
3.1	<i>DESCRIZIONE DELLA TECNICA DI RILEVAMENTO LIDAR</i>	<i>2</i>
3.2	<i>DATI LIDAR PER IL TERRITORIO OGGETTO DI STUDIO</i>	<i>4</i>
3.3	<i>GEOREFERENZIAZIONE ALTIMETRICA DEI VOLI LIDAR DISPONIBILI</i>	<i>4</i>
3.4	<i>APPROFONDIMENTI TOPOGRAFICI SPECIFICI PER AGGIORNARE/DETTAGLIARE IL DTM</i>	<i>4</i>
3.5	<i>RILIEVI TOPOGRAFICI DEI CORSI D'ACQUA</i>	<i>4</i>
4	ANALISI IDROLOGICA.....	5
4.1	<i>ANALISI IDROLOGICA CON HEC-HMS</i>	<i>6</i>
4.2	<i>ANALISI IDROLOGICA CON URBIS 2003</i>	<i>9</i>
5	ANALISI IDRAULICA.....	13
5.1	<i>DATI D'INPUT DEL MODELLO IDRAULICO DI CALCOLO.....</i>	<i>15</i>
5.2	<i>RISULTATI.....</i>	<i>16</i>

ALLEGATO 1 - IDROGRAMMI DI PIENA

1 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta nell'ambito dello "Studio idrologico-idraulico relativo al reticolo idrografico in sponda destra del Torrente Stella a supporto della formazione del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Serravalle Pistoiese e Marliana".

Al fine di perimetrare in maniera opportuna le aree potenzialmente allagabili del territorio del Comune di Serravalle Pistoiese in sponda destra del Torrente Stella poste a valle dell'Autostrada A11 Firenze-Mare, il modello geometrico-idraulico di supporto allo studio è stato sviluppato "aggiungendo" al tratto di Torrente Stella ripreso dal modello geometrico-idraulico utilizzato per la stesura del P.G.R.A. dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale, il "sistema" idrologico-idraulico relativo agli affluenti presenti in destra idraulica nella zona di Cantagrillo-Casalguidi.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza alle disposizioni normative regionali (si veda D.P.G.R. del 25/10/2011 n.53/R) e con metodologia conforme all'Allegato 3 delle norme del P.G.R.A. dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale (ex Autorità di Bacino del Fiume Arno). Le perimetrazioni delle aree allagabili sono state ricostruite con riferimento ai parametri (battenti e velocità) stabiliti per le varie classi di magnitudo dalla L.R. 41/2018.

2 FASI DELLO STUDIO

La relazione si articola nei seguenti capitoli che si identificano con le diverse fasi dello studio:

1. **Acquisizione dati topografici:** vengono descritti i dati topografici utilizzati per la costruzione del modello;
2. **Analisi idrologica:** vengono descritte le metodologie utilizzate per stimare gli idrogrammi di piena di riferimento per i bacini oggetto di studio, in relazione agli scenari di pioggia analizzati;
3. **Analisi idraulica mono-dimensionale dei corsi d'acqua oggetto di studio e bi-dimensionale delle aree allagabili:** vengono descritti gli strumenti di calcolo, i dati utilizzati nella costruzione del modello idraulico, le ipotesi assunte e i risultati ottenuti.

3 ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI

Tutti i dati topografici utilizzati nell'ambito dello studio sono stati georiferiti ai dati disponibili tramite i voli LIDAR e in particolare al DTM (*Digital Terrain Model*) costruito sulla base di tali voli.

3.1 DESCRIZIONE DELLA TECNICA DI RILEVAMENTO LIDAR

Il LIDAR (Light Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Si opera con un mezzo aereo, o elicottero, sul quale è posizionato il sistema laser a scansione che integra quattro unità principali: un laserscanner (composto da un sensore laser che emette impulsi elettrici), un'unità di acquisizione, un apparato per il posizionamento satellitare (GPS) e un sistema inerziale di navigazione (INS), per determinare la posizione (x, y) e l'orientamento del mezzo aereo in ogni istante. A terra viene installata una rete GPS per il posizionamento differenziale. La peculiarità del sistema LIDAR è l'altissima velocità di acquisizione dei dati, abbinata a un'elevata risoluzione. La tecnologia è nata alla fine degli anni '70 negli Stati Uniti e viene utilizzata diffusamente con impieghi molteplici, quali per esempio il monitoraggio costiero e l'analisi del rischio di ingressione marina, le valutazioni di

rischio idraulico, le rilevazioni di tipo ambientale (per esempio la ricerca di siti contaminati), la gestione delle foreste (per la misura di parametri critici quali densità, altezza dei fusti, ecc...), il rilievo di infrastrutture lineari (elettrodotti, condotte), il monitoraggio delle attività estrattive.

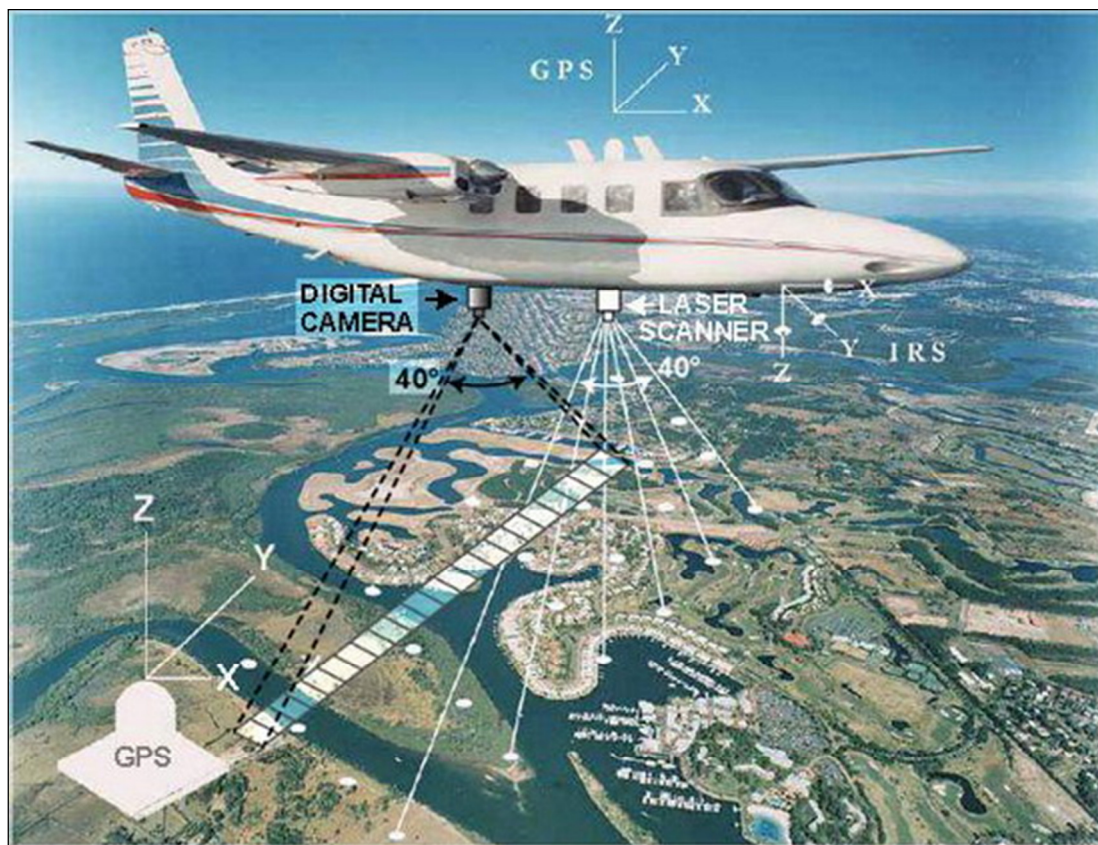


FIGURA 1. CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA LIDAR

Il LIDAR permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser: come per il radar, che al posto della luce utilizza onde radio, la distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retro diffuso.

Il LIDAR è molto più utilizzato rispetto alla rilevazione radar poiché usa lunghezze d'onda (ultraviolette o infrarosse) che permettono di localizzare e ricavare immagini e informazioni su oggetti molto piccoli, di dimensioni pari alla lunghezza d'onda utilizzata.

Affinché un oggetto rifletta un'onda elettromagnetica, deve produrre una discontinuità dielettrica alle frequenze del radar (radio o microonde): di conseguenza un oggetto metallico produce una buona eco, mentre i "non metalli" come la pioggia, gli specchi d'acqua o le rocce producono riflessioni molto più deboli (in alcuni casi non ne producono affatto). Il laser fornisce una soluzione a tali problemi avendo una lunghezza d'onda molto più breve rispetto al sistema radio: questo facilita la riflessione di oggetti molto piccoli e non percepibili mediante radar; ne conseguono maggiore accuratezza e dettaglio dei rilevamenti LIDAR e dei prodotti che da esso derivano, come i DTM a elevata risoluzione.

3.2 DATI LIDAR PER IL TERRITORIO OGGETTO DI STUDIO

Per il territorio oggetto di studio sono disponibili i DTM (Digital Terrain Model) ricostruiti in base ai rilievi Lidar realizzati mediante voli effettuati negli anni 2009 e 2010; in particolare, nel presente studio è stato preso a riferimento per la georeferenziazione altimetrica il volo del 2009.

3.3 GEOREFERENZIAZIONE ALTIMETRICA DEI VOLI LIDAR DISPONIBILI

La procedura per georeferenziare a livello altimetrico i dati dei DTM lidar dei due voli disponibili è stata così articolata:

1. il territorio oggetto di studio è coperto dai voli lidar del 2009 e 2010;
2. è stato assunto come riferimento il volo 2009;
3. sono state riscontrate differenze di quota tra il volo del 2010 e quello del 2009 di circa 14 cm (volo 2009 più basso);
4. sono state traslate rigidamente verso il basso le quote del lidar 2010 di 14 cm;
5. per le aree di sovrapposizione, nell'unione delle *grid* dei due voli è stato considerato il volo 2009 come quello di riferimento altimetrico assoluto e quindi posto sopra al volo del 2010.

Il DTM ottenuto mediante la procedura sopra descritta è stato poi utilizzato quale base topografica di riferimento per tutte le successive elaborazioni.

3.4 APPROFONDIMENTI TOPOGRAFICI SPECIFICI PER AGGIORNARE/DETTAGLIARE IL DTM

Sono stati inoltre eseguiti degli appositi rilievi topografici strumentali finalizzati ad aggiornare il DTM derivante da LIDAR per tener conto degli interventi edilizi, infrastrutturali e idraulici realizzati sul territorio oggetto di studio negli anni successivi al 2009-2010.

Nello specifico, le aree su cui sono state apportate le modifiche al DTM riguardano:

- zona di Via San Giovanni Paolo II e rotatoria adiacente, in località Cantagrillo;
- casse di espansione sul Fosso di Castelnuovo, in località Casalguidi.

3.5 RILIEVI TOPOGRAFICI DEI CORSI D'ACQUA

I dati topografici relativi al Torrente Stella sono stati ripresi dal modello idraulico redatto dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Arno a supporto della stesura del PGRA: tali dati sono stati poi georiferiti e sovrapposti al DTM (Digital Terrain Model) costruito sulla base dei dati LIDAR di cui ai paragrafi precedenti.

I dati topografici utilizzati nella modellazione idraulica del sistema di affluenti di destra del Torrente Stella nell'area Cantagrillo-Casalguidi sono stati ricavati da rilievi appositamente eseguiti dallo scrivente nell'ambito dello studio in oggetto. Tali rilievi hanno riguardato sia corsi d'acqua mai indagati, che già parzialmente analizzati negli studi precedenti, in quanto inseriti all'interno del reticolo idrografico stabilito dalla L.R. 79/2012 e s.m.i.. Nello specifico, i rilievi hanno riguardato:

- Fosso di Vinacciano;
- Fosso del Cassero (affluente di destra del Fosso di Vinacciano);
- Fosso Ramello (affluente di sinistra del Fosso di Vinacciano);

- Fosso di Castelnuovo;
- Fosso del Castello dei Biagini (affluente di destra del Fosso di Castelnuovo);
- Fosso di Baco (affluente di destra del Fosso di Castelnuovo);
- Fosso dei Forti (affluente di destra del Fosso di Castelnuovo);
- Fosso di Casale;
- Fosso delle Cavallacce (affluente di destra del Fosso di Casale);
- Fosso di Morione;
- Affluente del Fosso di Morione (affluente di sinistra del Fosso di Morione).

Per un ulteriore corso d'acqua, il Fosso del Pratone (affluente di destra del Torrente Stella), sono state utilizzate le sezioni topografiche estratte dal DTM LIDAR, "verificate" e opportunamente modificate/corrette, se necessario, sulla base di misurazioni speditive effettuate durante appositi sopralluoghi.

Si fa presente che i corsi d'acqua di cui sopra sono stati rilevati e sottoposti a modellazione idrologica e idraulica unicamente nei tratti compresi all'interno delle aree urbanizzate di fondo valle.

Tutte le geometrie dei corsi d'acqua oggetto di modellazione sono state infine univocamente georiferite altimetricamente alle quote del DTM LIDAR ottenuto come descritto in precedenza.

Nell'ambito della documentazione tecnica fornita è presente il file *tracce_sez.shp* dove è riportata per ogni sezione inserita nel modello la "fonte" del dato topografico e sono sinteticamente descritte le modifiche apportate a seguito degli approfondimenti appositamente eseguiti dagli scriventi sopra descritti.

4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata condotta con riferimento a scenari di pioggia per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni e durate dell'evento di 1, 3, 6 e 9 ore, al fine di determinare idrogrammi di piena che massimizzino sia le portate che i volumi di tracimazione dai vari corsi d'acqua.

Le curve di possibilità pluviometrica sono state stimate a partire dalle LSPP regionalizzate dell'anno 2012.

La curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma generica:

$$h = a t^n$$

dove:

- *h* altezza di pioggia [mm/h];
- *t* durata dell'evento [h];
- *a* coefficiente dipendente dal tempo di ritorno [mm/hⁿ];
- *n* esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Gli studi condotti dall'Università di Firenze per conto della Regione Toscana forniscono i valori di a e n su una maglia di 1 km x 1 km su tutto il territorio regionale per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni.

Approssimando con un legge di potenza la curva di crescita, che dipende dal modello probabilistico utilizzato per la stima delle altezze di pioggia per le varie durate e per i vari tempi di ritorno, la curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma:

$$h = a' t^n T^m$$

dove:

- a' coefficiente [$\text{mm/h}^n \text{y}^m$];
- T tempo di ritorno [y].

Di norma la curva di possibilità pluviometrica presenta due andamenti distinti per le durate inferiori e superiori all'ora con differenti coefficienti. Gli studi condotti dalla Università di Firenze forniscono i dati solo per durate superiori all'ora.

L'analisi idrologica è stata svolta tramite i due software idrologici di seguito riportati:

- HEC-HMS, tramite il metodo "Soil Moisture Accounting" per la stima delle perdite per infiltrazione nel modello afflussi-deflussi, utilizzato per le porzioni dei bacini idrografici dei corsi d'acqua poste a monte della sezione iniziale di ciascuno di essi, corrispondenti ad aree pedecollinari. Tale metodologia è stata utilizzata anche per i bacini idrografici dei corsi d'acqua posti in destra idraulica del Torrente Stella nel tratto compreso fra il ponte dell'Autostrada A11 e il Fosso Ramello;
- URBIS 2003, tramite il metodo del CN-SCS per stimare le perdite per infiltrazione e il metodo del serbatoio lineare con calcolo della costante d'invaso mediante l'equazione di Pedersen per il calcolo dell'idrogramma unitario istantaneo, utilizzato per le porzioni dei bacini idrografici dei corsi d'acqua poste a valle della sezione iniziale di ciascuno di essi, corrispondenti ad aree urbanizzate di fondo valle.

In particolare, è stato utilizzato il software HEC-HMS con il metodo "Soil Moisture Accounting", in quanto è stato indicato dai tecnici dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale, durante le riunioni tenutesi nell'anno 2018, come modello di riferimento per sviluppare le analisi idrologiche dei bacini pedecollinari.

Si fa notare che per l'idrogramma di monte del Torrente Stella e per quello relativo all'immissione del fosso Tazzera nel Torrente Stella sono stati utilizzati i dati idrologici ricavati dal modello idraulico redatto dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Arno a supporto della stesura del PGRA.

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione dettagliata dei metodi utilizzati per la stima degli idrogrammi di piena riportati nell'Allegato 1, relativamente ai bacini idrografici oggetto di analisi, riportati nella Tavola 01.

4.1 ANALISI IDROLOGICA CON HEC-HMS

Il software libero HEC-HMS, Hydrologic Modeling System, è un modello idrologico messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center dell' USACE (US Army Corps of Engineers) per simulare accuratamente i processi idrologici che avvengono all'interno di un bacino idrografico. Al suo

interno sono implementate le principali formulazioni utilizzate nella pratica idrologica per il calcolo delle perdite per infiltrazione (quindi del volume di run-off), la trasformazione afflussi-deflussi con possibilità di considerare anche il contributo del deflusso di base, la propagazione dell'onda di piena nei canali e la descrizione di invasi naturali o artificiali.

Di conseguenza, tale software permette di descrivere quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sulla superficie di un bacino imbrifero e in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i suoi collettori drenanti, nonché di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note.

Vengono di seguito presentate le diverse fasi di implementazione del software attraverso i seguenti passaggi procedurali:

- definizione dei componenti del sistema idrografico;
- individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino;
- impostazione della trasformazione afflussi-deflussi;
- definizione dei parametri di propagazione dei deflussi;
- analisi meteorologica;
- trasformazione afflussi-deflussi;
- taratura dei parametri idrologici.

Attraverso il modulo **BASIN MODEL** viene definita la caratterizzazione fisica del bacino idrografico: ciascuno degli elementi idrologici che compongono il sistema in esame può essere definito compiutamente dal punto di vista fisico-morfologico e idrologico mediante uno specifico editor.

Gli elementi idrologici simulabili sono: SUBBASIN (sottobacino), JUNCTION (confluenza), REACH (tratto di corso d'acqua), RESERVOIR (bacino di invaso o serbatoio), DIVERSION (scolmatore o diversivo), SOURCE (sorgente) e SINK (pozzo); ciascun elemento viene connesso in una rete ad albero. In ogni sottobacino i processi idrologici vengono modellati distinguendo tre fasi: le perdite iniziali, la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali e il processo del deflusso subsuperficiale, o deflussi di base; devono essere specificati i metodi di calcolo per ciascuna delle tre fasi sopra indicate (LOSS METHOD, TRANSFORM METHOD e BASEFLOW METHOD). Per quanto riguarda il Loss Method, ovvero il metodo di calcolo delle perdite per infiltrazione nei modelli afflussi-deflussi, il programma consente di stimare le perdite per infiltrazione attraverso l'applicazione di diverse metodologie; a seguito di riunioni con l'Autorità di Bacino del Fiume Arno, nel presente studio è stato applicato il metodo SMA (*Soil Moisture Accounting*), il quale fa riferimento a parametri fisicamente basati e consente di rappresentare l'umidità del suolo a invaso multiplo. In particolare, a supporto della modellazione afflussi-deflussi è stata presa come base la mappatura pedologica e i relativi parametri idraulici provenienti dal "DB Pedologico Regione Toscana" aggiornato al 2017.

Date le caratteristiche parametriche della modellazione proposta, si fa riferimento ai seguenti parametri:

- Max Infiltration (mm/hr), in funzione del valore di Ksat_150 (cm/h);
- Impervious (%), in funzione dell'uso del suolo (porzione impermeabile);

- Soil storage (mm), pari al valore Grav;
- Tension Storage (mm);
- Soil percolation (mm/hr), assunto pari a Ksat_150, corrispondente a 1/10 di Max Infiltration.

Relativamente ai metodi di calcolo della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali, che, a partire dalla quota parte di precipitazione che effettivamente contribuisce alla formazione del deflusso superficiale, determinano il conseguente idrogramma, il codice di calcolo consente di applicare sette diversi metodi. Quello utilizzato nel presente studio è il metodo del Soil Conservation Service-Unit Hydrograph (SCS-UH), che ha il pregio di essere di applicazione generale e di richiedere solamente un parametro per la sua definizione: il tempo di ritardo (**Lag Time**). Quest'ultimo rappresenta il tempo di risposta medio del bacino definito come lo sfasamento tra il centroide dello ietogramma di pioggia effettiva e quello dell'idrogramma di deflusso diretto (Singh, 1975; 1988): per determinarlo è stata usata la formula

$$t_{lag}=0.6t_c$$

dove t_c è il tempo di corrivazione del sottobacino in esame.

Per ciascun bacino idrografico, il valore del tempo di corrivazione necessario per determinare il tempo di ritardo immesso nel modello oggetto del presente studio è stato preso pari alla media dei valori ottenuti secondo le formule di cui sotto:

– Formula di Pasini

$$T_c = \frac{0.108(AL)^{1/3}}{\sqrt{i_m}} = 1.49 \quad [ore]$$

– Formula di Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{z_m}} = 1.39 \quad [ore]$$

– Formula di Kirpich

$$T_c = 0.000325L^{0.77}S^{-0.385} = 0.42 \quad [ore]$$

– Formula di Ventura

$$T_c = 0.1272\sqrt{A/i_m} = 1.31 \quad [ore]$$

Una volta impostato il basin model, occorre inserire i dati di pioggia mediante il modulo **TIME SERIES DATA**: a tal proposito si ricostruisce lo ietogramma di pioggia di progetto, per i due tempi di ritorno di interesse (TR 30 e TR 200), utilizzando i valori di altezza di pioggia mediati sul sottobacino in esame; nel calcolo sono stati scelti i tempi t in modo tale da esaminare le durate di pioggia che riescono a mettere maggiormente in crisi il bacino dal punto di vista idrologico (1, 3, 6 e 9 ore).

L'analisi pluviometrica viene quindi eseguita tramite il componente **METEOROLOGIC MODEL**, che consente di definire i dati di pioggia di riferimento: in particolare sono stati applicati ietogrammi direttamente definiti dall'utente (User-Specified Hyetograph), in questo caso uniformi su tutto il bacino.

L'analisi meteorologica permette anche di stimare gli eventuali processi di evapotraspirazione e scioglimento del manto nevoso. Nel modello possono anche essere inseriti dati di portata o livelli noti, serie di temperature, velocità del vento, ecc...

La simulazione idrologica vera e propria viene effettuata combinando il modello morfologico del bacino definito nel componente BASIN MODEL sia con i dati pluviometrici introdotti nel METEOROLOGICAL MODEL che con un'ulteriore variabile, che consiste nella definizione, tramite la componente **CONTROL SPECIFICATION**, dell'intervallo di tempo per il quale è stata effettuata la simulazione, nonché della discretizzazione temporale di calcolo.

I risultati delle simulazioni effettuate possono essere visualizzati sia tramite tabelle riassuntive che tramite grafici e serie numeriche complete dell'intero processo di formazione e trasferimento dei deflussi superficiali.

4.2 ANALISI IDROLOGICA CON URBIS 2003

Per ricostruire gli idrogrammi relativi ai bacini di fondovalle dei corsi d'acqua oggetto di modellazione, è stato fatto riferimento al metodo del serbatoio lineare, in quanto metodologia più adatta per definirne la risposta idrologica. In particolare è stato utilizzato il software URBIS 2003, programma di idrologia urbana che consente di stimare gli idrogrammi di piena conseguenti a piogge reali o di progetto.

Gli step fondamentali del modello di calcolo sono:

- *inserimento manuale dello ietogramma di pioggia non depurato $p(t)$* : determinando l'intensità di pioggia, ipotizzata costante nel tempo, in base ai valori di altezza di pioggia per ogni sottobacino (ricavati in ambiente GIS) ed all'intervallo temporale di discretizzazione con cui è stato stabilito di inserire i dati (5 minuti per la durata di pioggia pari a 1 ora e 15 minuti per le durate 3, 6 e 9 ore);
- *selezione del metodo di calcolo delle perdite per infiltrazione*: in questo caso è stato scelto il metodo SCS-CN, inserendo il valore del CNIII medio per ogni sottobacino, ricavato dal "DB Pedologico Regione Toscana" aggiornato al 2017;
- *calcolo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) $H(t)$* , corrispondente alla risposta del sistema all'impulso unitario $\delta(t)$ (delta di Dirac). L'IUH serve per esprimere una serie di caratteristiche del bacino che si assumono indipendenti dall'evento di pioggia, ipotizzando che il bacino stesso si comporti come un unico invaso lineare. L'IUH è stato così calcolato con il metodo del serbatoio lineare mediante la Formula di Pedersen, che fa dipendere il valore della costante di invaso k dalle caratteristiche della precipitazione e del sottobacino, quali superficie, pendenza e scabrezza, ricavate in ambiente GIS;
- *stima dell'idrogramma di piena*: mediante convoluzione di uno ietogramma netto con un idrogramma unitario discretizzati con medesimo passo temporale dT , insistenti su una determinata superficie.

Nella seguente tabella sono riportate, per ogni sottobacino oggetto di studio, la superficie, le portate di picco per tempi di ritorno 30 e 200 anni e i relativi coefficienti udometrici. Si fa notare che i bacini Casale A, Cavallacce A e Cavallacce B non sono stati poi inseriti nella modellazione idraulica (vedi motivazioni riportate al paragrafo 5.1).

River	Reach	Nome	Area [kmq]	Q _{max} 30 [mc/s]	Q _{max} 200 [mc/s]	U30 [mc/s*kmq]	U200 [mc/s*kmq]
AFFLUENTE MORIONE	AFFLUENTE MORIONE	FH 23	0.49	6	9.2	12.26	18.81
AFFLUENTE MORIONE	AFFLUENTE MORIONE	ULIH 22-7	0.12	1.28	2.11	11.06	18.24
AFFLUENTE MORIONE	AFFLUENTE MORIONE	ULIH 22-7	0.04	0.44	0.74	10.6	17.83
AFFLUENTE MORIONE	AFFLUENTE MORIONE	LIH 2	0.01	0.14	0.24	9.86	16.9
BACO	BACO	FH 24	1.14	9.8	17.1	8.6	15.01
BACO	BACO	ULIH 23-1.428	0.07	0.8	1.29	11.28	18.19
BACO	BACO	ULIH 18-2	0.12	1.1	1.97	9.26	16.58
CASALE	CASALE	FH 42	1	9.6	16.1	9.58	16.07
CASALE A	-	-	0.17	2.09	3.28	12.42	19.49
CASALE	VALLE CAVALLACCE	ULIH 35.8-14	0.14	1.54	2.54	11.25	18.55
CASALE	VALLE CAVALLACCE	ULIH 35.8-14	0.18	1.92	3.24	10.54	17.78
CASALE	VALLE CAVALLACCE	ULIH 11-5.5	0.05	0.52	0.92	9.61	17.01
CASSERO	CASSERO	FH 18	0.42	5.2	9.1	12.49	21.86
CASSERO	CASSERO	ULIH 15.9-2	0.12	1.1	1.99	9.14	16.53
CASSERO	CASSERO	ULIH 15.9-2	50.05	0.5	0.86	9.98	17.17
CASSERO	CASSERO	ULIH 3-1	0.01	0.06	0.1	10.91	18.18
CASTEL BIAGINI	CASTEL BIAGINI	FH 20	0.7	7.6	12.2	10.79	17.32
CASTEL BIAGINI	CASTEL BIAGINI	LIH 16	0.09	0.96	1.59	10.95	18.13
CASTEL BIAGINI	CASTEL BIAGINI	ULIH 19-2	0.12	1.36	2.24	10.99	18.11
CASTEL BIAGINI	CASTEL BIAGINI	ULIH 13-6	0.07	0.81	1.31	11.6	18.77

River	Reach	Nome	Area [kmq]	Q _{max30} [mc/s]	Q _{max200} [mc/s]	U30 [mc/s*kmq]	U200 [mc/s*kmq]
CASTELNUOVO	CASTELNUOVO	FH 56	3.32	25.2	45	7.6	13.56
CASTELNUOVO	CASTELNUOVO	LIH 46	0.16	1.65	2.82	10.19	17.42
CASTELNUOVO	CASTELNUOVO	ULIH 55-51	0.04	0.48	0.76	12.28	19.44
CASTELNUOVO	CASTELNUOVO	LIH 38	0.17	1.66	2.91	9.69	16.99
CASTELNUOVO	VALLE FORTI	LIH 11	0.05	0.41	0.74	9.03	16.3
CASTELNUOVO	VALLE FORTI	LIH 11	0.23	2.06	3.75	8.81	16.03
CASTELNUOVO	VALLE FORTI	LIH 9	0.17	1.43	2.66	8.45	15.71
CAVALLACCE	CAVALLACCE	FH 12	2.3	19.7	34.3	8.57	14.91
CAVALLACCE	CAVALLACCE	ULIH 11-3	0.03	0.34	0.54	12.27	19.49
CAVALLACCE	CAVALLACCE	ULIH 11-3	0.02	0.2	0.31	12.66	19.62
CAVALLACCE A	-	-	0.08	1	1.58	12.14	19.17
CAVALLACCE B	-	-	0.01	0.09	0.14	12.33	19.18
FORTI	FORTI	FH 35	0.33	4.1	6.3	12.29	18.89
FORTI	FORTI	ULIH 34-4	0.07	2.07	3.43	29.2	48.38
FORTI	FORTI	ULIH 34-12	0.12	2.67	4.54	22.47	38.22
MORIONE	MORIONE	FH 33	2.52	22.9	38.8	9.09	15.41
MORIONE	MORIONE	ULIH 30-17	0.11	1.11	1.89	10.23	17.42
MORIONE	MORIONE	ULIH 12-6	0.3	0.6	1.11	8.62	15.83
MORIONE	VALLE AFFLUENTE	ULIH 4-1	0.07	2.56	4.7	8.7	16.09
PRATONE	PRATONE	FH 6	0.22	1.92	3.51	8.85	16.18
RAMELLO	RAMELLO	FH 19	0.46	5.6	8.6	12.09	18.57
RAMELLO	RAMELLO	LIH 12	0.04	0.4	0.72	9.28	16.71
RAMELLO	RAMELLO	LIH 8.1	0.06	0.54	0.98	9.06	16.44
RAMELLO	RAMELLO	ULIH 18-1	0.11	0.93	1.71	8.85	16.27
RAMELLO	RAMELLO	ULIH 6-1	0.1	0.87	1.58	8.94	16.24

River	Reach	Nome	Area [kmq]	Q _{max} 30 [mc/s]	Q _{max} 200 [mc/s]	U30 [mc/s*kmq]	U200 [mc/s*kmq]
VINACCIANO	VINACCIANO	FH 27	3.71	34.2	56.8	9.22	15.31
VINACCIANO	VINACCIANO	ULIH 26-18	0.05	0.56	0.92	11.18	18.36
VINACCIANO	VINACCIANO	ULIH 26-23	0.01	0.04	0.07	9.76	17.07
STELLA	STELLA	FH 1000	-	64.33	97.34	-	-
STELLA	STELLA	ULIH 972.5-969	0.37	4.4	6.9	11.81	18.52
STELLA	STELLA	LIH 972.61	0.19	2.2	3.5	11.6	18.46
STELLA	STELLA	ULIH 969-955	0.6	6.9	10.7	11.6	17.98
STELLA	STELLA	LIH 980	1.92	20.8	32.5	10.84	16.93
STELLA	STELLA	LIH 953	0.87	9.4	14.9	10.86	17.21
STELLA	STELLA	LIH 933	-	17.31	22.15	-	-
STELLA	VALLE VINACCIANO	LIH 912.1	0.75	6.29	11.55	8.4	15.42
STELLA	VALLE PRATONE	LIH 906.01	0.05	0.47	0.81	9.89	17.05

5 ANALISI IDRAULICA

La modellazione idraulica è stata effettuata con il software Hec-Ras 5.0.4 che unisce alla classica modellazione mono-dimensionale dei corsi d'acqua la modellazione bi-dimensionale delle esondazioni a campagna.

Al fine di effettuare una simulazione di tipo bidimensionale, occorre implementare il modello monodimensionale di partenza con elementi geometrici di tipo bidimensionale tramite una serie di passaggi:

- creazione di un Modello del Terreno rappresentativo della superficie topografica nell'area esaminata;
- creazione di uno strato informativo relativo all'uso del suolo e ai relativi coefficienti di scabrezza nell'area esaminata;
- aggiunta alla geometria monodimensionale del modello di una serie di aree allagabili di tipo bidimensionale (2D Flow Areas);
- creazione di una griglia di calcolo all'interno delle suddette aree allagabili;
- connessione degli elementi 2D Flow Areas con elementi di altre tipologie;
- attribuzione di opportune condizioni al contorno per la corretta riuscita delle simulazioni.

Con il software Hec-Ras 5.0.4 è possibile modellare le aree di potenziale esondazione sulla base del DTM LIDAR, suddividendo il territorio in celle di forma poligonale con un numero massimo di lati pari a otto. A differenza di altri software bi-dimensionali, la singola cella creata in Hec-Ras 5.0.4

non presenta una superficie planare caratterizzata da un'unica quota di fondo costante, ottenuta mediando le quote all'interno del suo perimetro, ma presenta la stessa superficie del DTM di base, che nel caso in esame ha una maglia di punti di 1 m x 1 m. I calcoli idraulici del passaggio dell'acqua da una cella a quella adiacente sono effettuati sulla base della geometria delle sezioni relative alle facce delle celle e delle curve d'invaso proprie delle singole celle.

Poiché la campitura finale delle aree allagate viene eseguita sulla base dei volumi d'invaso e di un unico valore del livello idrometrico per ogni cella, si può verificare che nella restituzione finale le celle caratterizzate da una pendenza significativa, che vengono interessate per la totalità della superficie dal transito dell'acqua, possono presentare la campitura della sola porzione più depressa. Per quanto sopra, ne consegue che su alcune aree di transito la restituzione grafica dei battenti può presentare discontinuità della campitura; di tale aspetto dovrà essere tenuto di conto nella redazione delle carte di pericolosità idraulica.

Di seguito si riporta la schematizzazione del reticolo oggetto di studio e delle aree di potenziale esondazione, restituita sulla base DTM LIDAR.

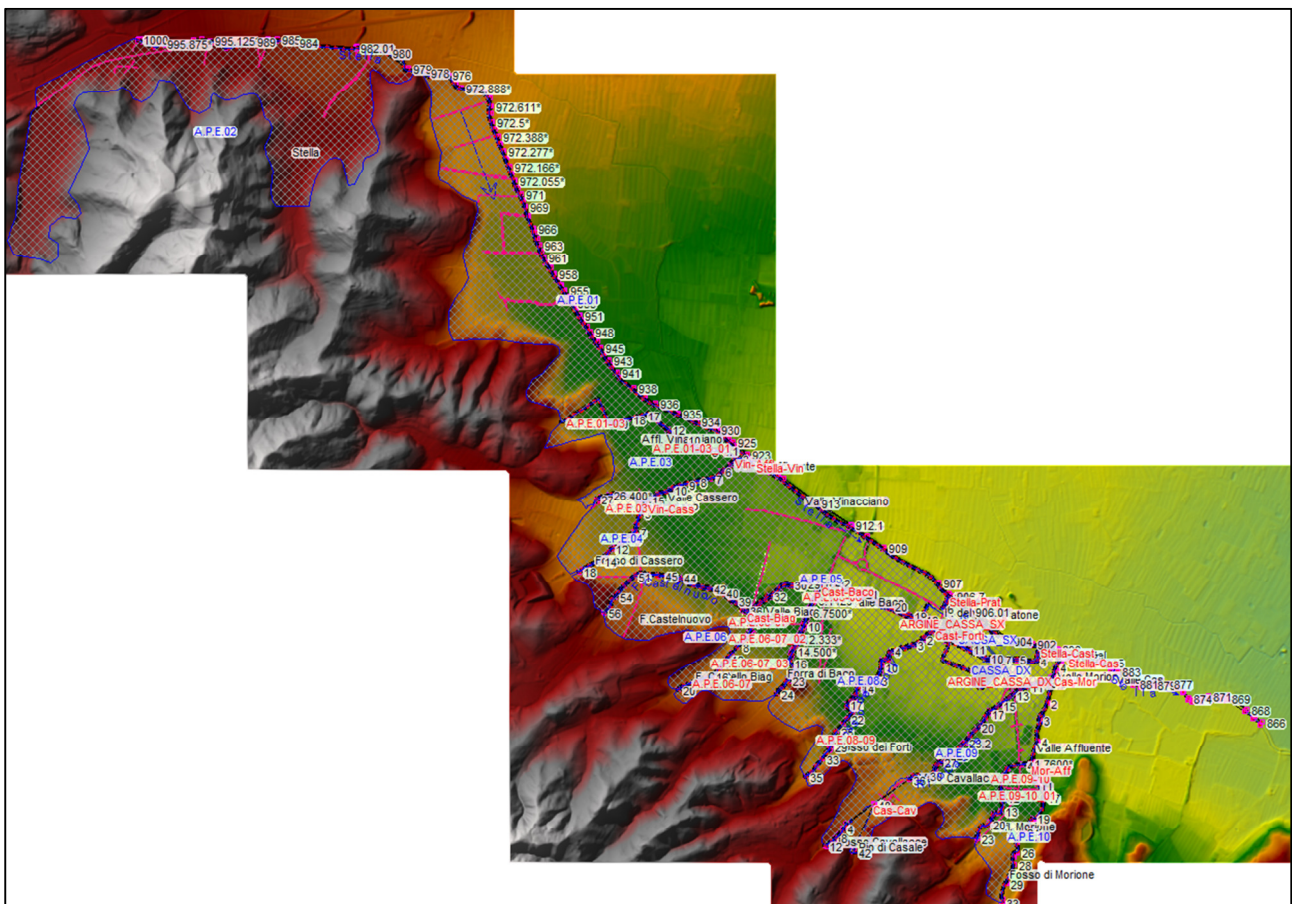


FIGURA 2. SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO SU BASE DTM LIDAR

I corsi d'acqua analizzati sono stati modellati posizionando gli sfioratori laterali sul ciglio di sponda o sulla sommità arginale, collegando poi tali elementi alle celle dell'area di potenziale esondazione adiacente alla sponda del corso d'acqua stesso. Le aree di potenziale esondazione sono state

suddivise in maglie di celle aventi ampiezza pari a 10 m: la maggior parte di tali celle hanno forma quadrata, a esclusione di quelle di bordo o di quelle poste in corrispondenza di strade o rilevati in genere, che hanno forma poligonale con numero di lati inferiore a otto.

Si fa notare che il Torrente Stella è stato modellato anche oltre il confine comunale (in particolare fino alla sezione immediatamente a monte della confluenza del Fosso del Santonuovo posta circa 1.3 km a valle del limite comunale), cosicché la condizione al contorno di valle imposta non avesse una significativa influenza sui risultati della modellazione idraulica per i tratti posti all'interno del territorio comunale.

Gli sfioratori laterali dei corsi d'acqua le cui tracimazioni non interessano il territorio oggetto di analisi sono stati considerati "out of system", ovvero non sono stati connessi a nessuna area di potenziale esondazione: in particolare si fa riferimento alla destra idraulica del Fosso di Morione e alla sinistra del Torrente Stella.

5.1 DATI D'INPUT DEL MODELLO IDRAULICO DI CALCOLO

I valori dei coefficienti di scabrezza (n di Manning) sono stati così assegnati:

- $0.032 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per l'alveo di magra;
- $0.040 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per le sponde;
- $0.020 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per i tratti di corsi d'acqua dove sono presenti rivestimenti in cls o per le tubazioni.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno di monte e gli ingressi laterali relativi ai sottobacini individuati, sono stati assegnati gli idrogrammi riportati nell'elaborato Allegato 01, ottenuti come descritto nel paragrafo "Analisi Idrologica". Si fa notare che i bacini idrografici che occupano l'abitato di Casalguidi, afferenti al Rio di Casale e al Fosso delle Cavallacce, non sono stati inseriti nella modellazione idraulica in quanto:

- corrispondono al reticolo fognario del centro abitato, le cui acque vengono convogliate nei corsi d'acqua di cui sopra in corrispondenza dei tratti tombati presenti e pertanto non è possibile modellare il comportamento idraulico tramite software Hec-Ras;
- in condizioni di piena del reticolo principale, il reticolo fognario che compone tali bacini non risulta comunque in grado di conferire le portate piovute all'interno del reticolo principale.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle da assegnare al Torrente Stella, si è deciso di utilizzare la condizione "Normal Depth", assunta cautelativamente pari a 0.002 m/m .

Nel modello idraulico è stato differenziato il coefficiente di scabrezza secondo Manning delle celle in cui sono state suddivise le aree a campagna in base alle tipologie di "uso del suolo" riscontrate dalle ortofoto più recenti disponibili sul sito della Regione Toscana. Nello specifico sono state definite tre zone a diversa scabrezza:

- $n = 0.06 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per le aree agricole a seminativo con presenza di edifici sparsi e/o piccoli agglomerati e quindi scarsamente urbanizzate (vedi aree a bassa intensità nella tabella riepilogativa dei valori del coefficiente di Manning presente nel manuale del software Hec Ras 5.0);

- $n = 0.08 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ per le aree agricole con serre utilizzate per il vivaismo, edifici sparsi e/o piccoli agglomerati e quindi scarsamente urbanizzate (vedi aree a media intensità nella tabella riepilogativa dei valori del coefficiente di Manning presente nel manuale del software Hec Ras 5.0);
- $n = 0.15 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ per le aree più densamente urbanizzate (vedi aree ad alta intensità nella tabella riepilogativa dei valori del coefficiente di Manning presente nel manuale del software Hec Ras 5.0).

5.2 RISULTATI

Per i risultati in termini di battenti idrici attesi per gli eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni, si rimanda rispettivamente agli elaborati grafici Tav.02 e Tav.03, nonché al modello idraulico contenuto nel supporto informatico allegato alla presente relazione. Per quanto riguarda il dettaglio delle sezioni trasversali, dei profili longitudinali e delle tabelle di output dei calcoli si rimanda direttamente ai file del modello idraulico con software HEC-RAS 5.0.4 che sono inseriti nel supporto informatico allegato allo studio.

Si segnala che le velocità di propagazione degli allagamenti a campagna per Tr 200 anni risulta sempre inferiore a 1 m/s e pertanto non è stato ritenuto necessario produrre apposita carta relativa alle velocità. Le classi di magnitudo, in base a quanto riportato all'art.2 della L.R. 41/18, dipendono esclusivamente dal battente e nello specifico: magnitudo moderata M1 per battente inferiore o uguale a 50 cm, magnitudo severa M2 per battente superiore a 50 cm e inferiore o uguale a 1 m, magnitudo molto severa M3 per battente superiore a 1 m.

Lo studio redatto ha mostrato una generale insufficienza di drenaggio delle acque da parte di tutti i ricettori finali e nello specifico:

- Fosso Ramello: presenza di tombamenti con luce insufficiente al passaggio delle portate di piena che causano esondazioni diffuse sia in destra che in sinistra idrauliche. Tali esondazioni, che si verificano anche con tempo di ritorno 30 anni, vanno a interessare aree occupate da vivai, con presenza di case sparse;
- Fosso di Vinacciano: presenza di esondazioni in destra e sinistra idrauliche a monte dell'attraversamento di Via del Redolone, dovute al fatto che tale tombamento risulta insufficiente per lo smaltimento delle portate anche trentennali. Queste esondazioni vanno a interessare un gruppo di case posto in sinistra idraulica e aree occupate da vivai in destra. Per TR200 si registrano inoltre esondazioni in destra idraulica a monte e a valle della confluenza con il Fosso Ramello: tali fenomeni vanno a interessare la quasi totalità dell'area industriale di Via del Redolone;
- Fosso del Cassero: per entrambi i tempi di ritorno analizzati risultano esondazioni in destra idraulica a monte dell'attraversamento di Via Casa Bianca, dovute a insufficienza sia delle sezioni idrauliche che del tombamento. Nel caso di TR200, tali esondazioni comportano un sormonto del tratto meridionale di Via Casa Bianca, con conseguente allagamento delle aree a vivaio comprese fra la strada stessa, Via del Redolone e l'argine sinistro del Fosso di Castelnuovo;
- Fosso di Castelnuovo: per entrambi i tempi di ritorno analizzati risultano esondazioni sia in destra che in sinistra idrauliche a monte dell'attraversamento di Via Casa Bianca, dovute

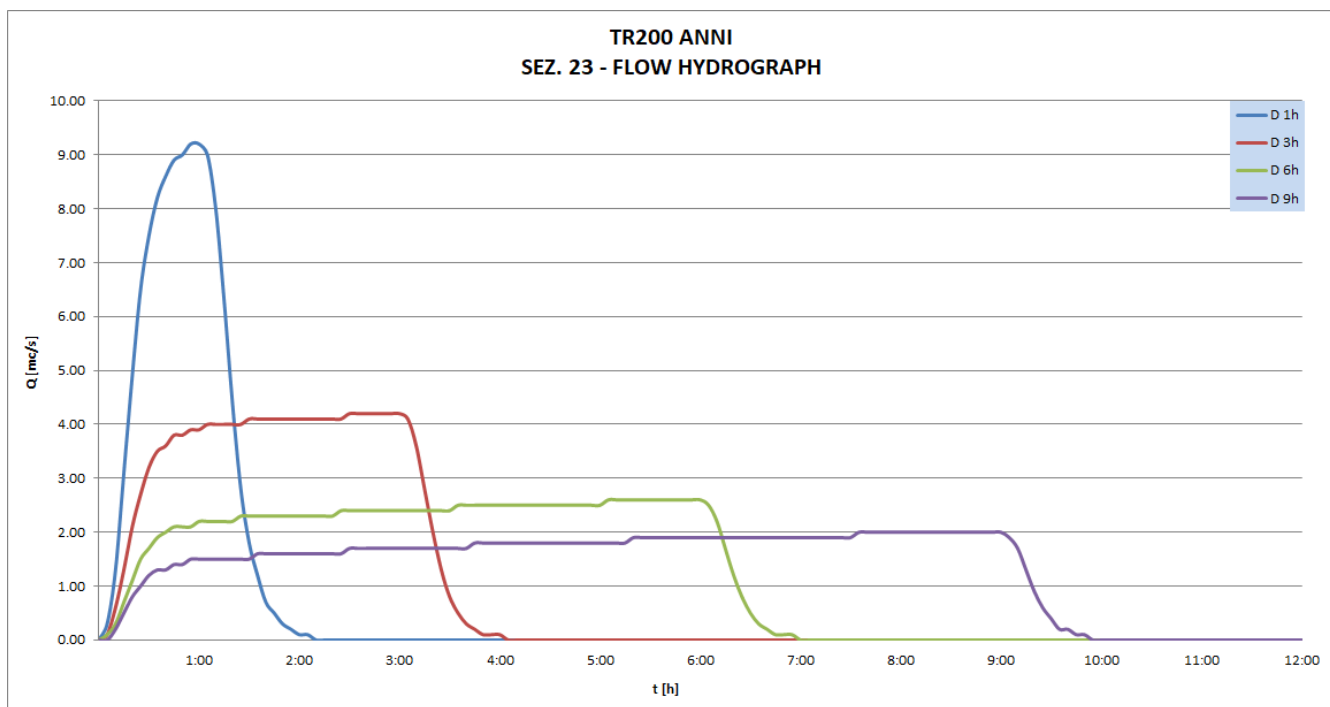
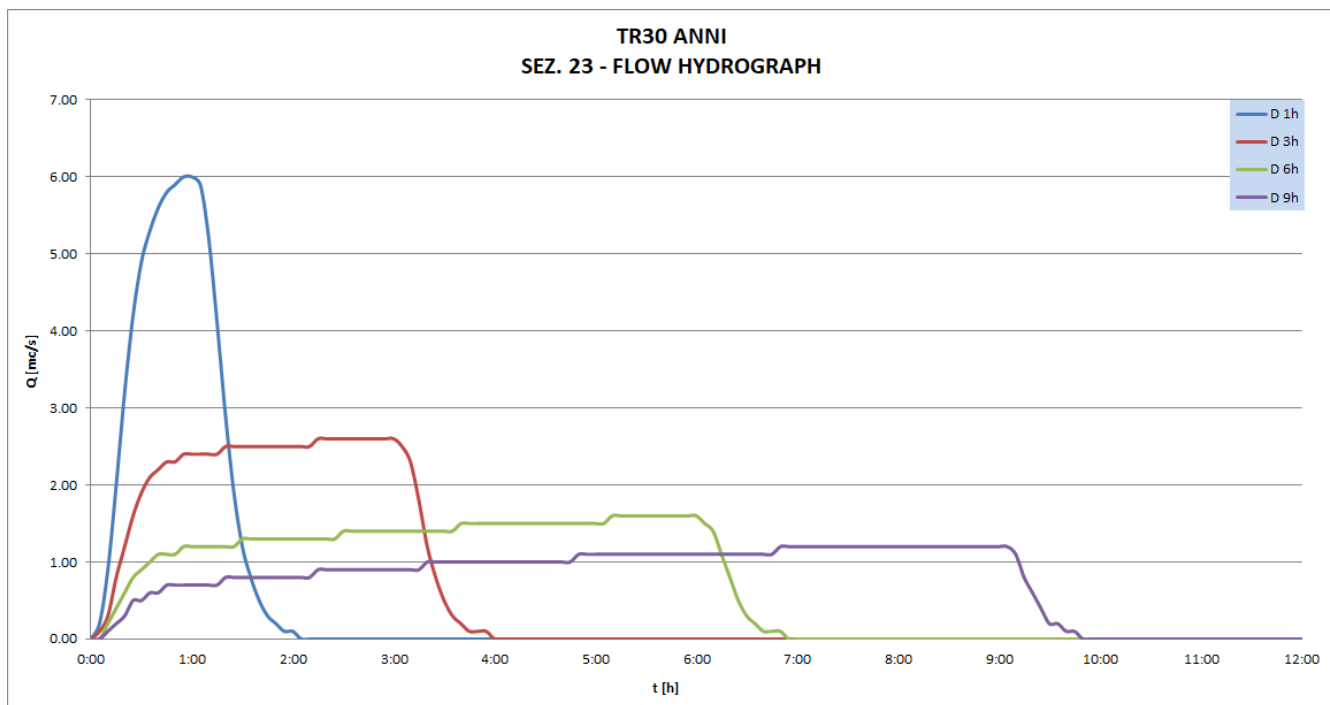
essenzialmente all'insufficienza della luce del tombamento stesso. Per TR200 risultano piccoli fenomeni di esondazione in sinistra idraulica circa 300 m a monte della rotatoria di Via San Giovanni Paolo II;

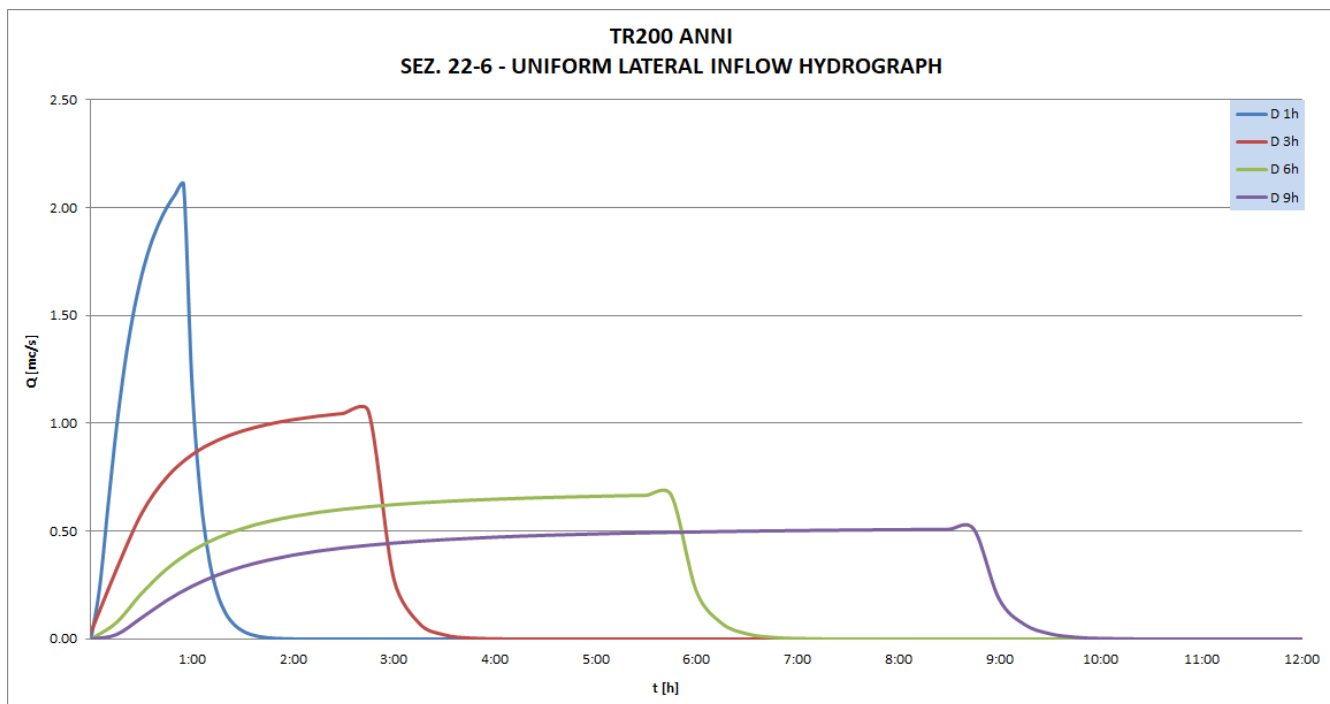
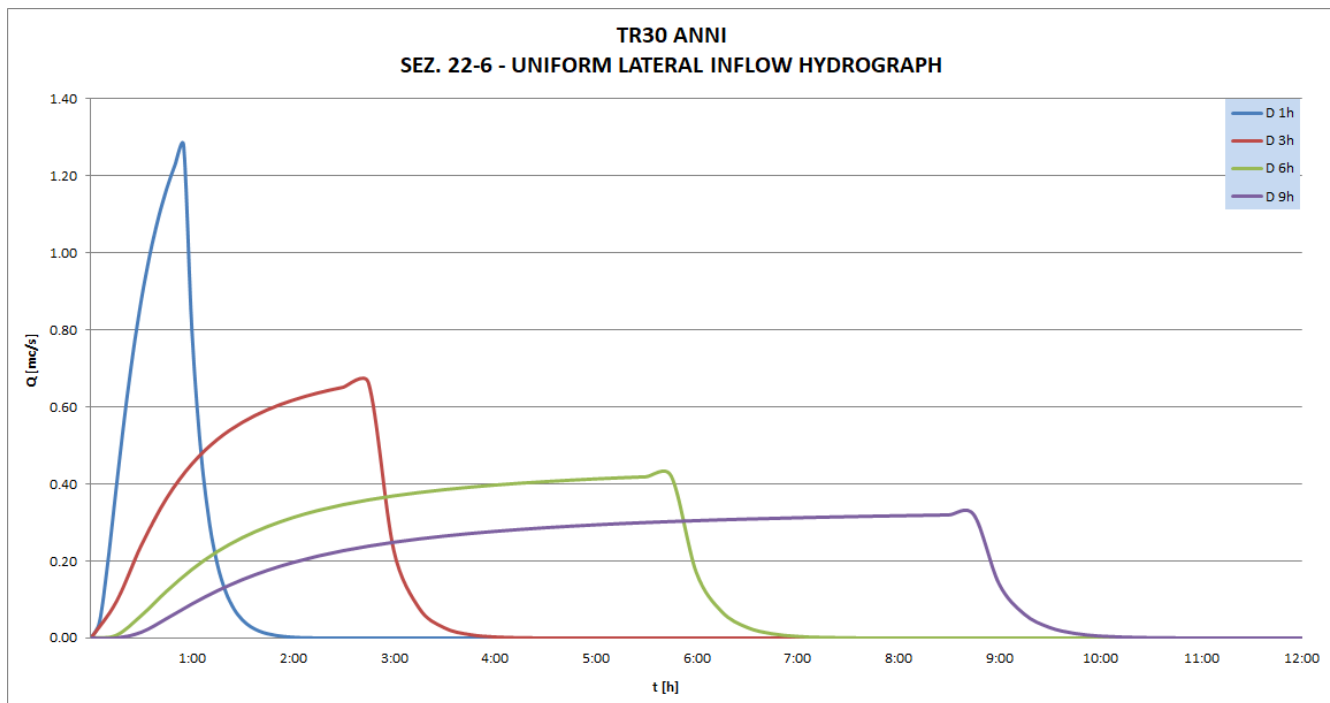
- Fosso del Castello dei Biagini: sia per TR30 che per TR200 risultano esondazioni in destra idraulica nel tratto a monte degli attraversamenti della zona industriale di Via IV Novembre, legati alla ridotta luce dei tombamenti stessi. Gli allagamenti vanno a interessare sia l'area industriale che le abitazioni limitrofe in località La Costa;
- Fosso di Baco: per il tempo di ritorno 30 anni risultano esondazioni in sinistra idraulica nel tratto immediatamente a monte della confluenza nel Fosso di Castelnuovo. Per il tempo di ritorno 200 anni, tali fenomeni sono invece diffusi lungo tutto il tratto di corso d'acqua modellato, andando a interessare il centro abitato di Cantagrillo e comportando anche il sormonto di Via Montalbano in corrispondenza dell'attraversamento del Fosso di Castelnuovo. Tali problematiche sono essenzialmente dovute alle insufficienti dimensioni sia delle sezioni idrauliche che di parte degli attraversamenti presenti;
- Fosso dei Forti: per il tempo di ritorno 30 anni si verificano fenomeni di esondazione sia in destra che in sinistra idrauliche a monte degli attraversamenti di Via Madre Teresa di Calcutta e Via Montalbano, a causa dell'insufficienza dei tombamenti stessi. Gli allagamenti vanno a interessare l'abitato di Cantagrillo e le aree comprese fra il Fosso dei Forti e le casse di espansione sul Fosso di Castelnuovo. Nel caso delle simulazioni con TR200 anni, alle esondazioni di cui sopra se ne aggiungono altre in destra e sinistra idrauliche nel tratto a valle dell'attraversamento di Via del Chiassetto, dovute a fenomeni di rigurgito legati alla confluenza nel Fosso di Castelnuovo;
- Fosso delle Cavallacce: risultano esondazioni in destra e sinistra idrauliche per entrambi i tempi di ritorno analizzati. Tali fenomeni, legati all'insufficienza della luce del tombamento di Via Februari, vanno a interessare l'abitato di Casalguidi;
- Fosso di Casale: sia per il tempo di ritorno 30 anni che per quello 200 anni risultano esondazioni nel tratto a monte del tombamento di Via San Biagio, dovute alla ridotta luce di quest'ultimo. Altri fenomeni, di minore entità, si verificano sia in destra che in sinistra idrauliche, nel tratto a valle dell'uscita del tombamento di cui sopra: gli allagamenti del Fosso di Casale vanno quindi a interessare tutto l'abitato di Casalguidi. Si riscontrano infine delle esondazioni in sinistra idraulica a valle dell'attraversamento della SP9 che comportano allagamenti nelle aree a vivaio intercluse fra il Fosso di Castelnuovo, il Torrente Stella e il Fosso di Casale;
- Affluente del Fosso di Morione: per entrambi i tempi di ritorno analizzati, risultano esondazioni, sia in destra che in sinistra idrauliche, lungo tutto il tratto a monte dell'attraversamento della SP9, comportando allagamenti diffusi nella zona industriale di Via Europa. A valle dell'attraversamento della SP9 si verificano invece esondazioni in sinistra con conseguente allagamento dell'area occupata da vivai interclusa fra l'affluente stesso, la SP9, il Fosso di Morione e il Fosso di Casale;

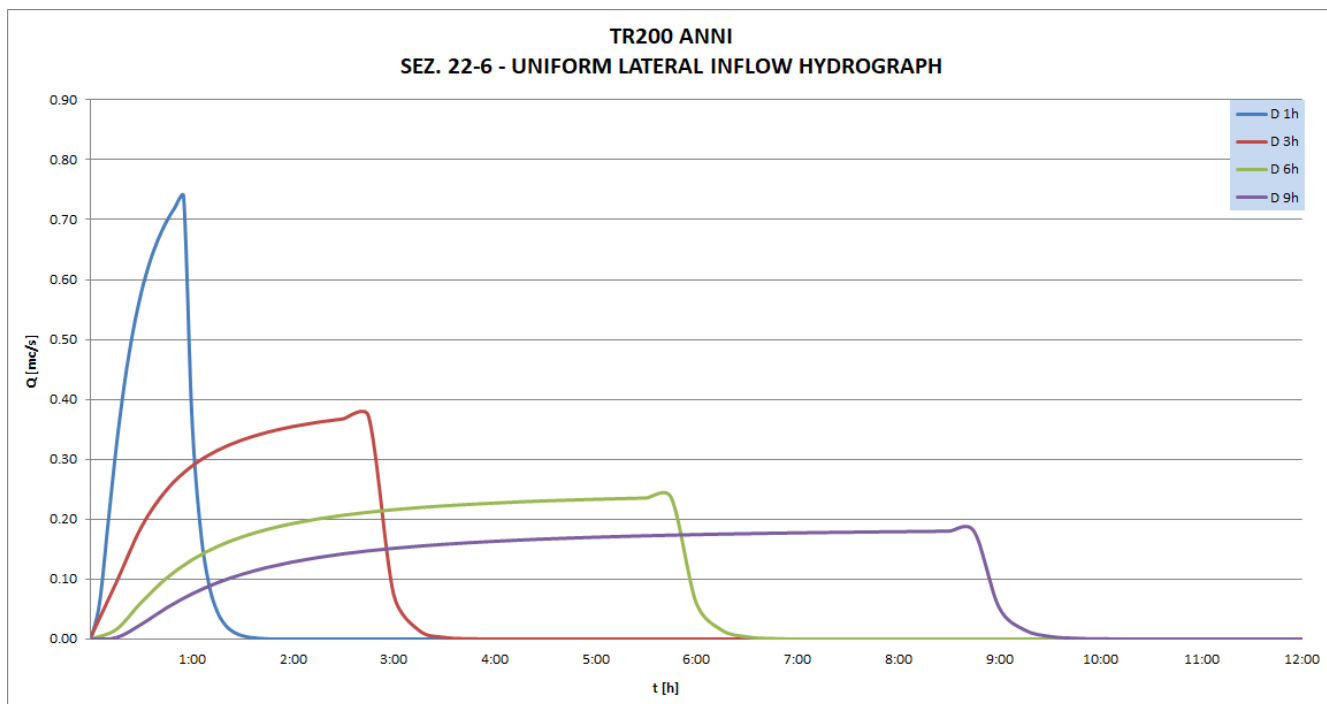
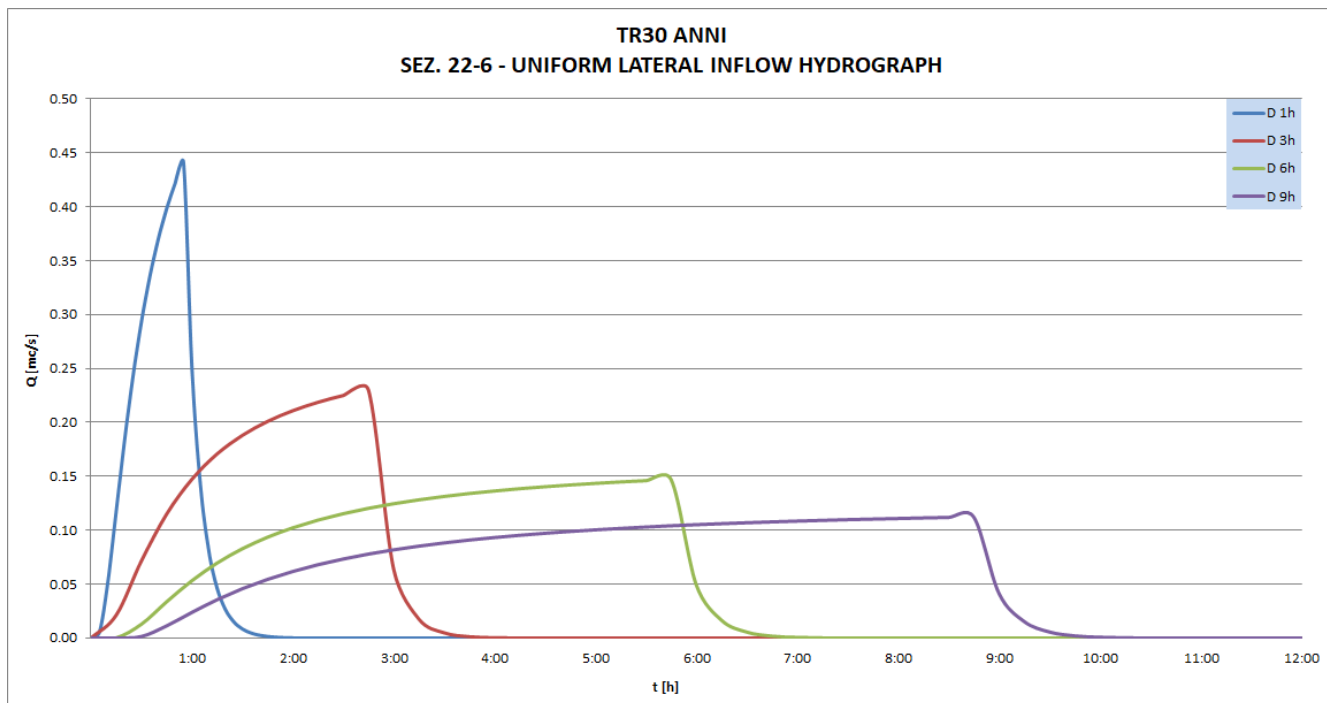
Fosso di Morione: si riscontrano esondazioni nel tratto a monte dell'attraversamento di Via Europa sia per TR30 che per TR200 anni, comportando allagamenti delle aree limitrofe occupate da vivai e case sparse.

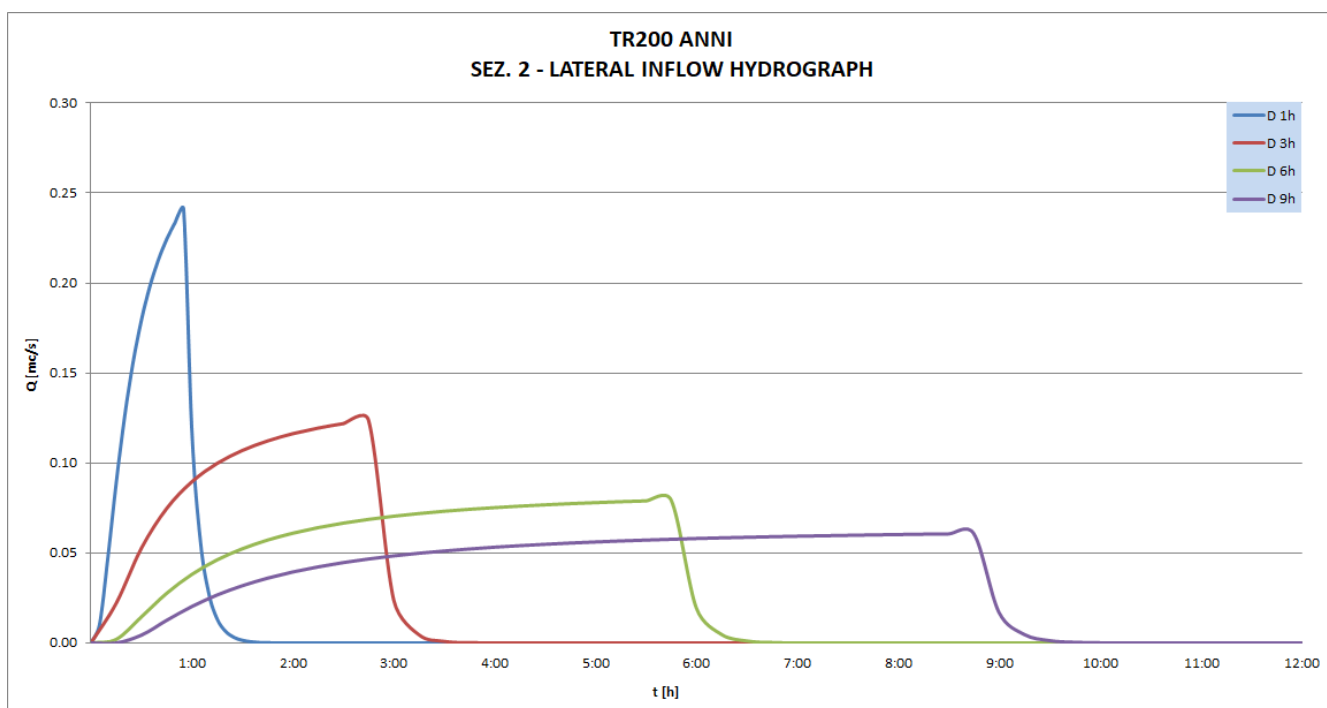
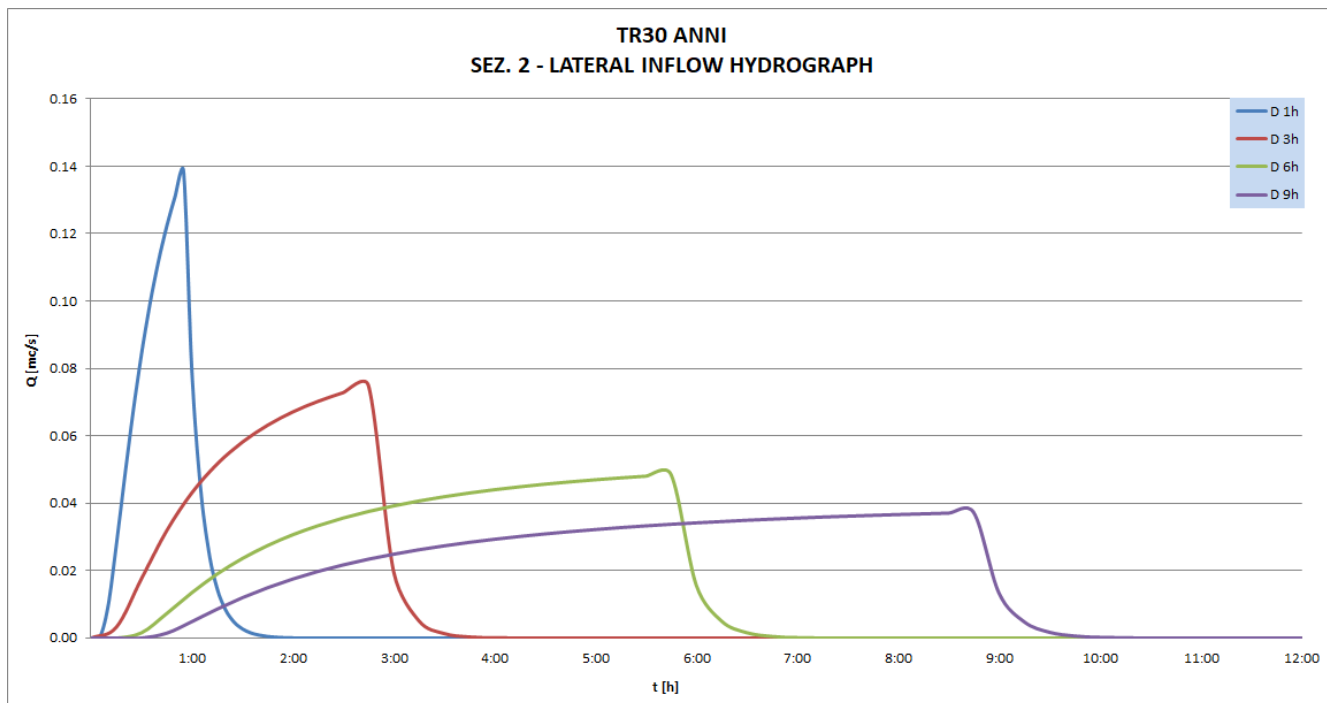
ALLEGATO 1 – IDROGRAMMI DI PIENA

AFFLUENTE FOSSO DI MORIONE

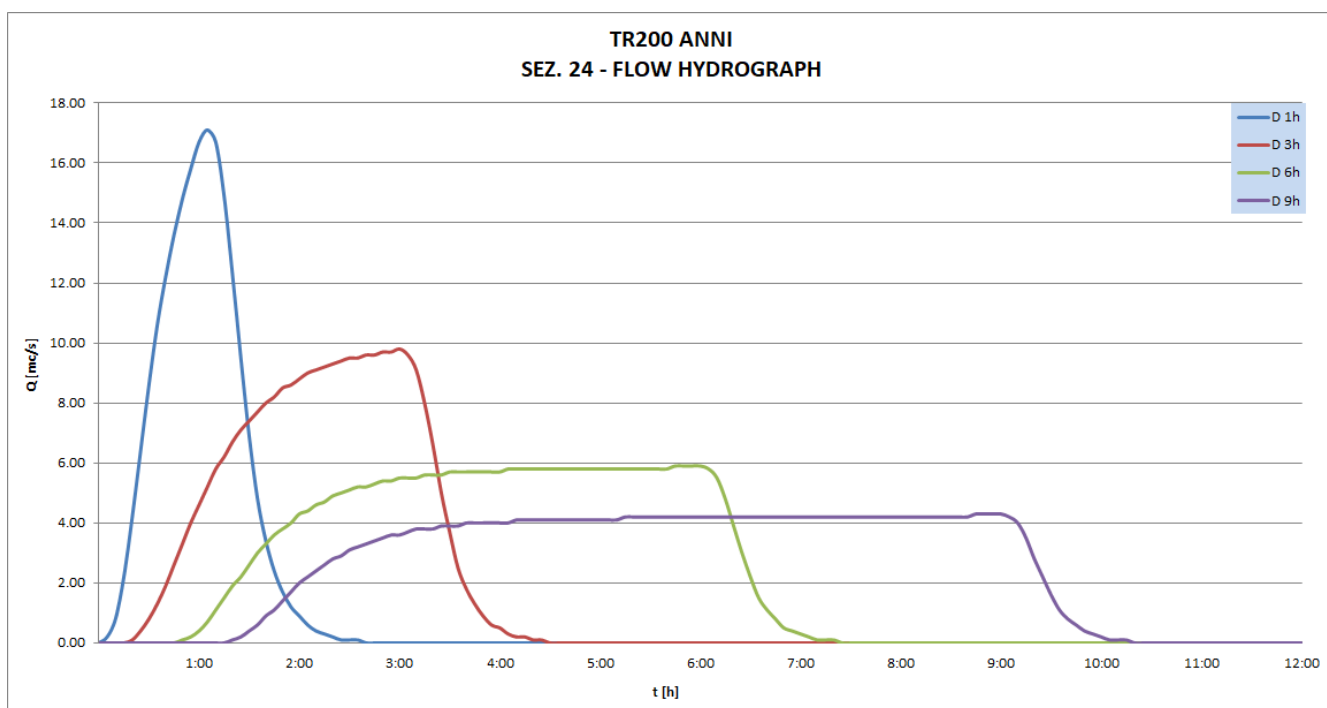
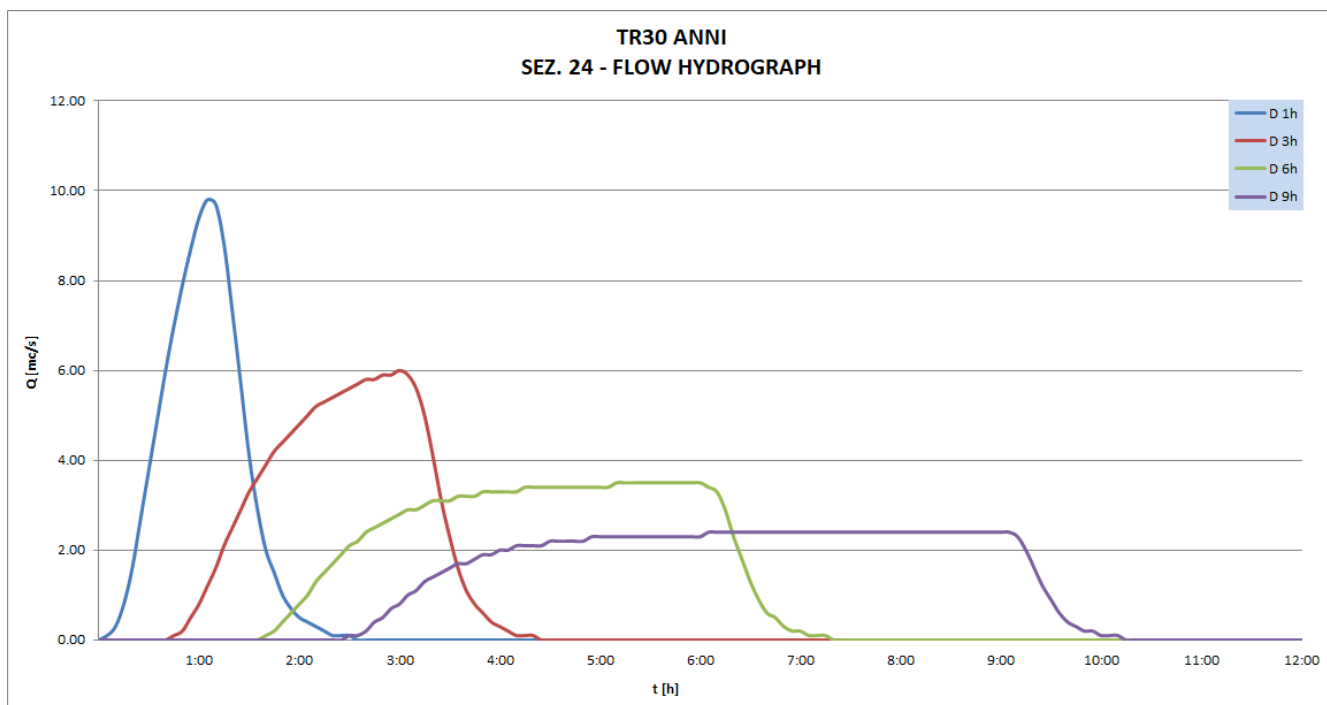


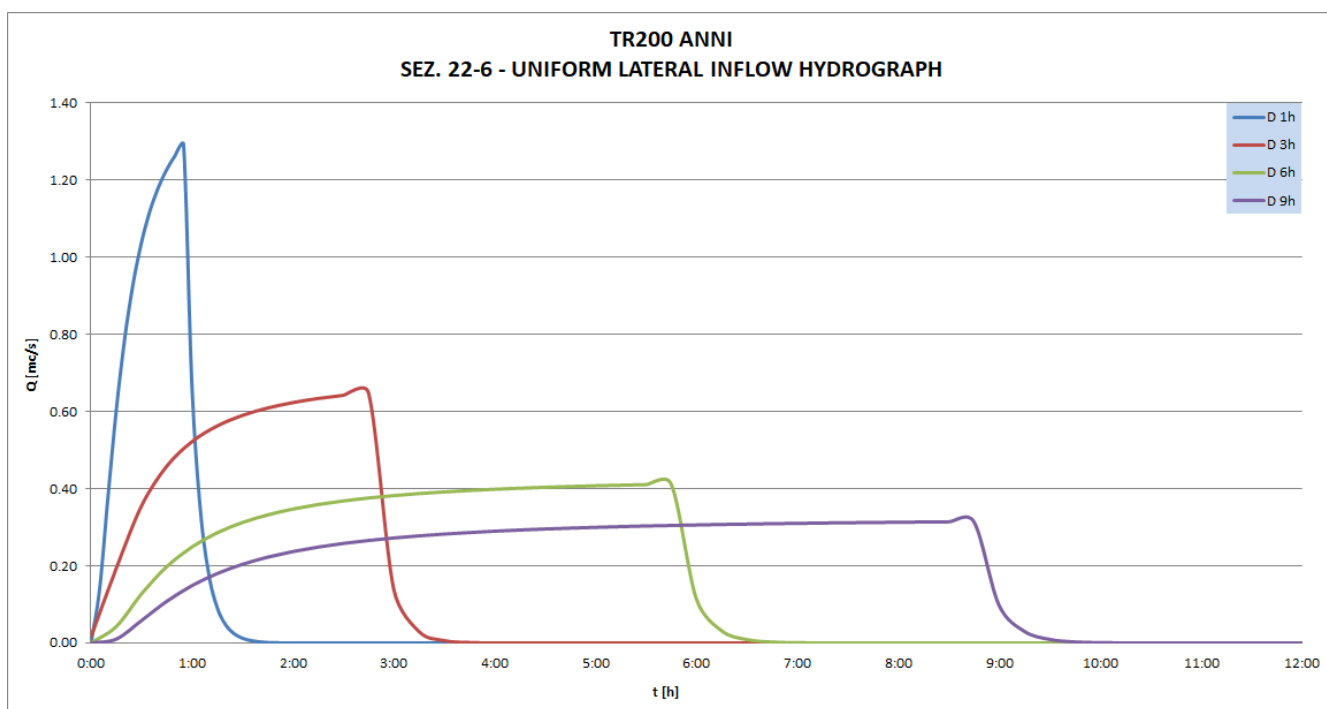
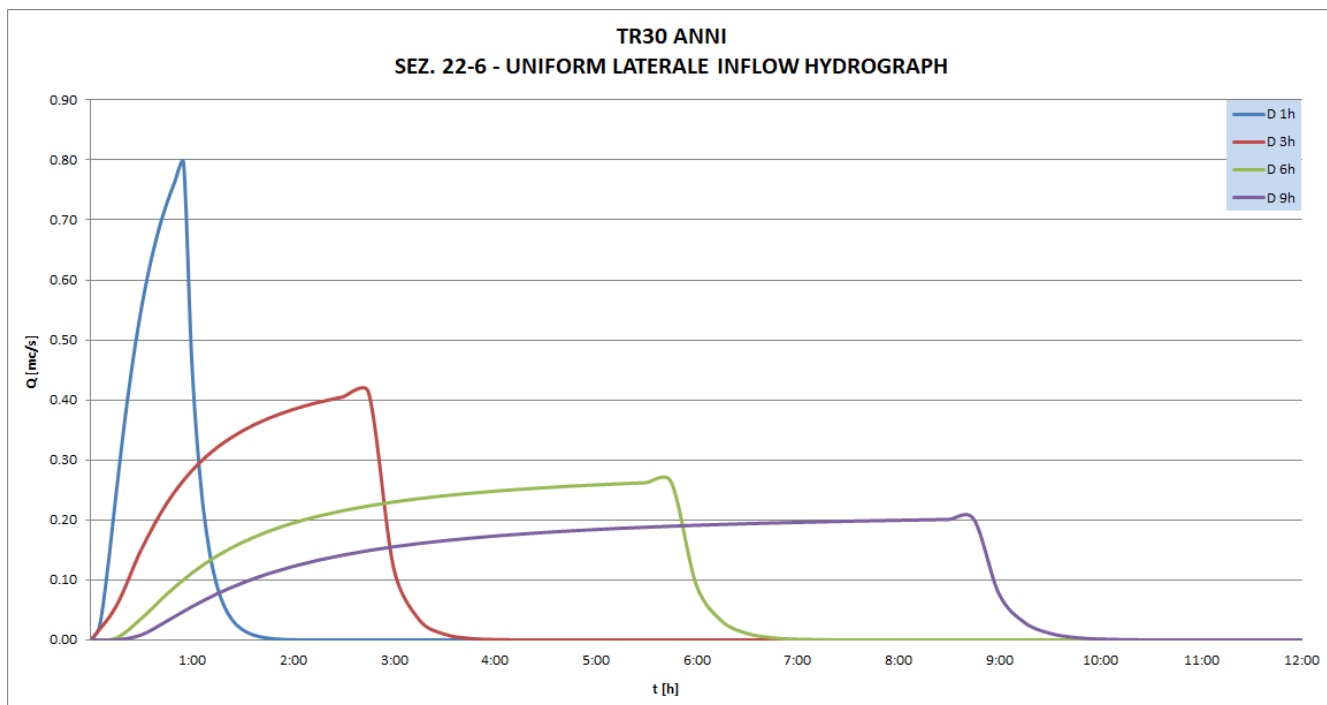


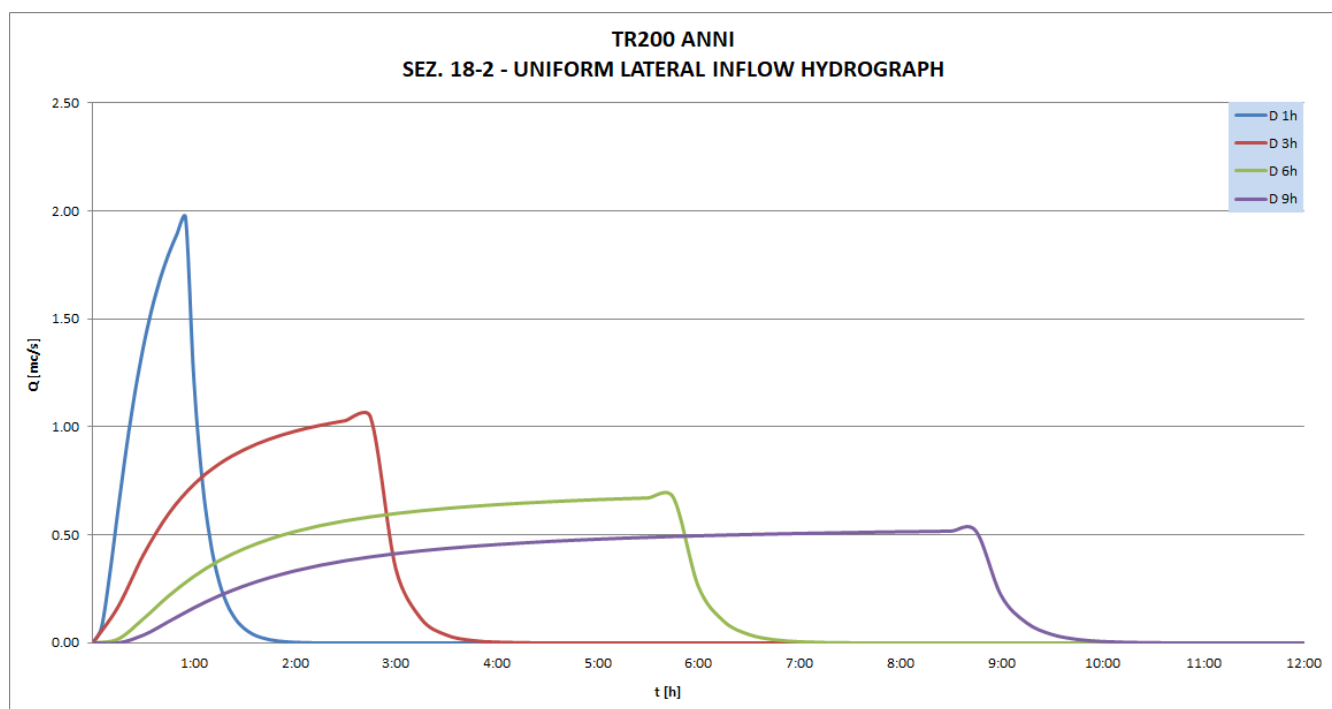
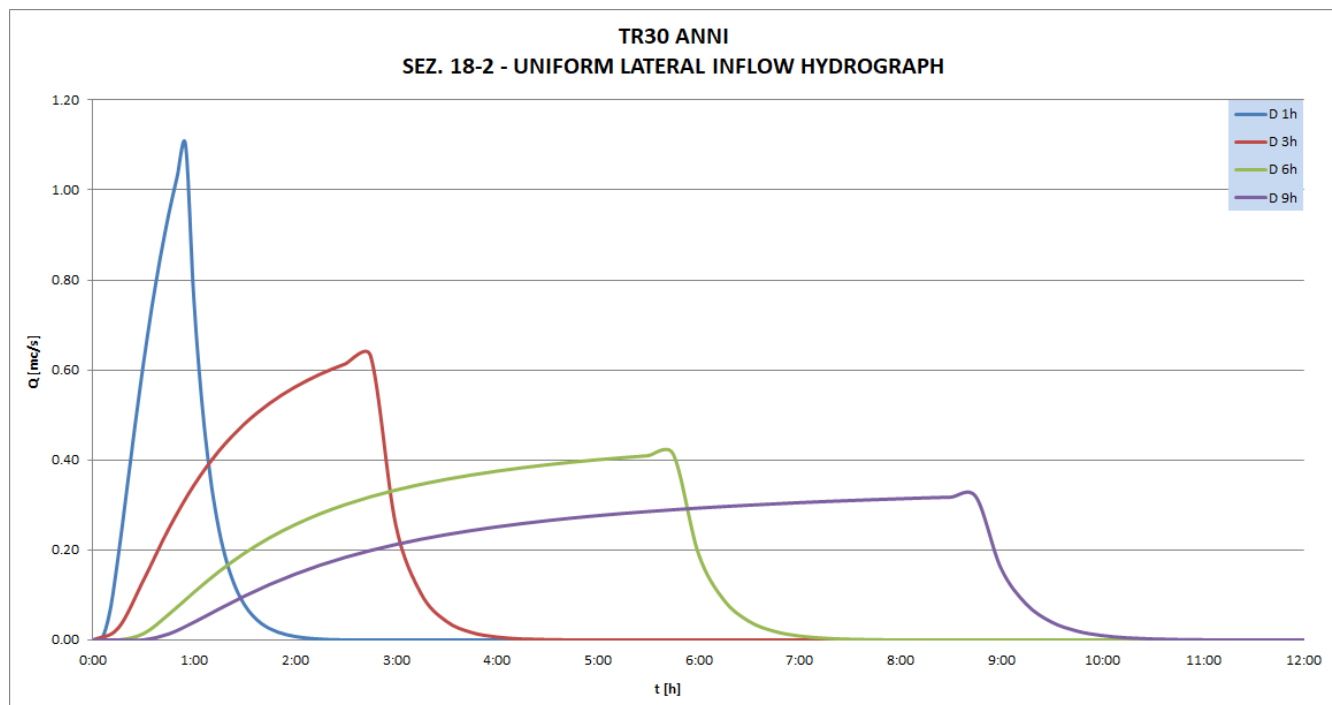




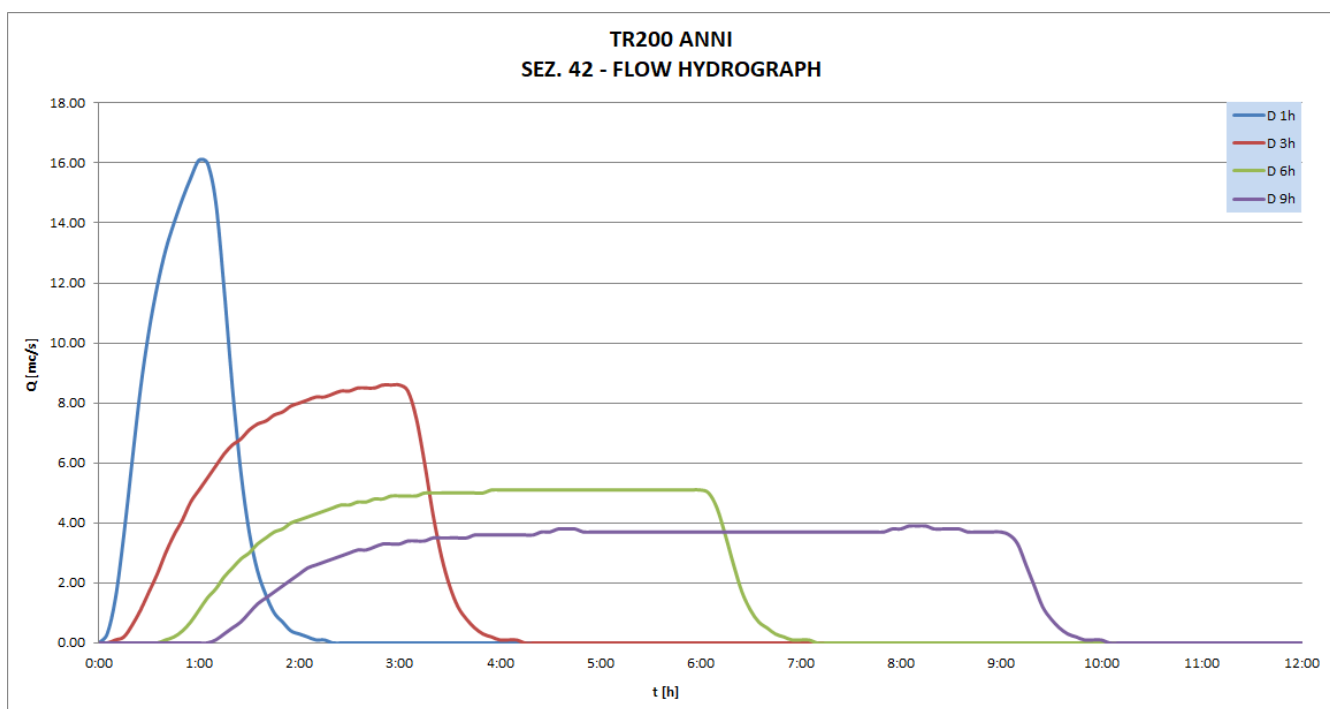
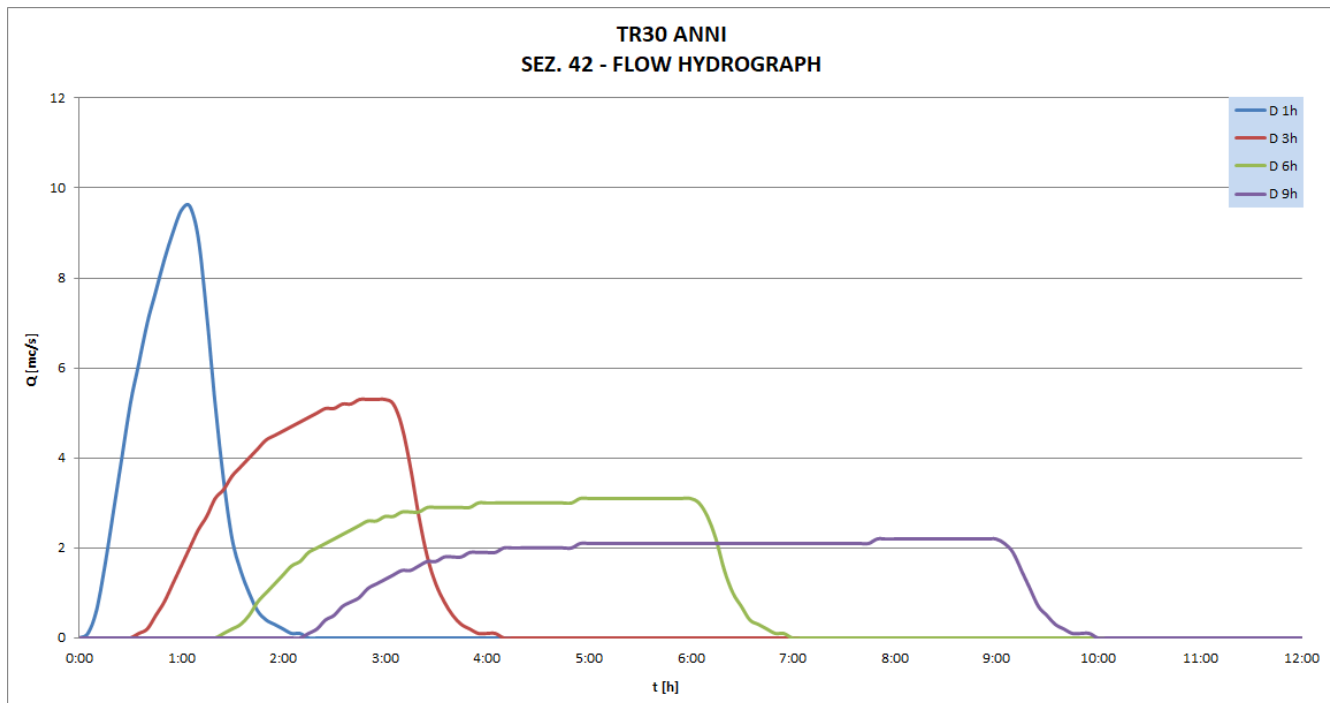
FOSSO DI BACO

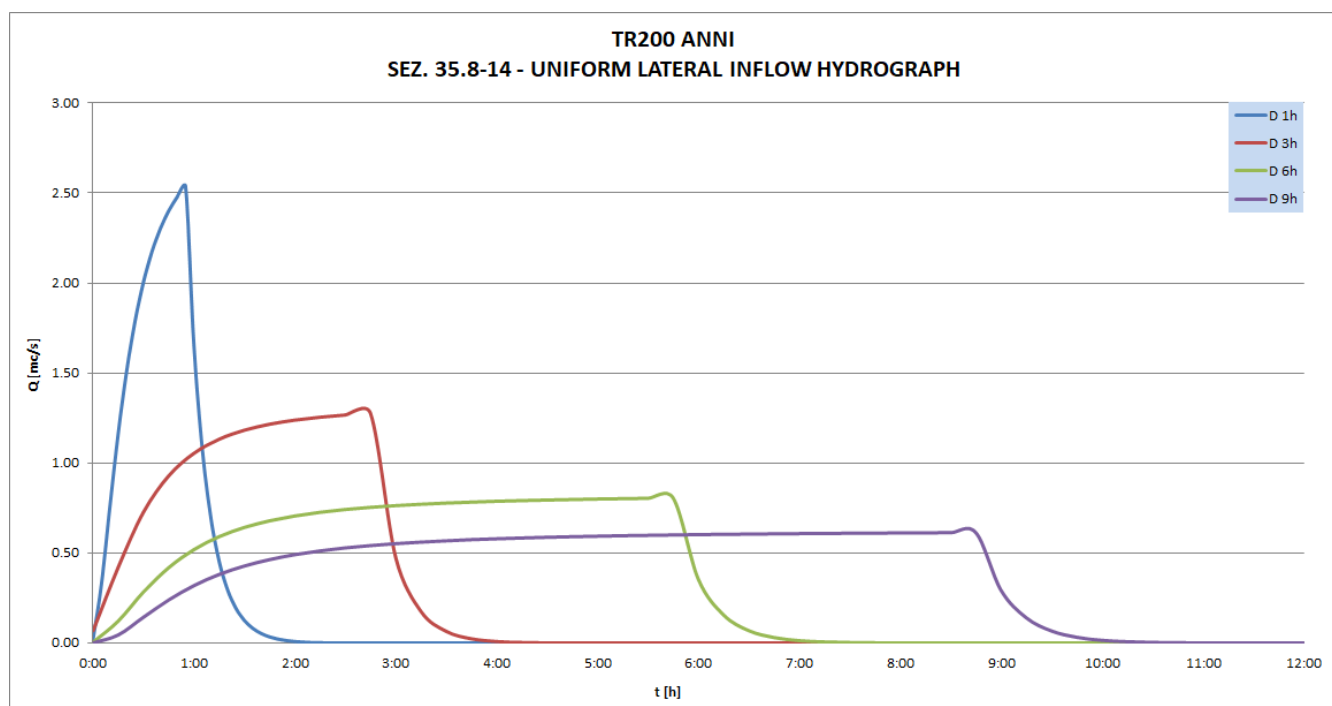
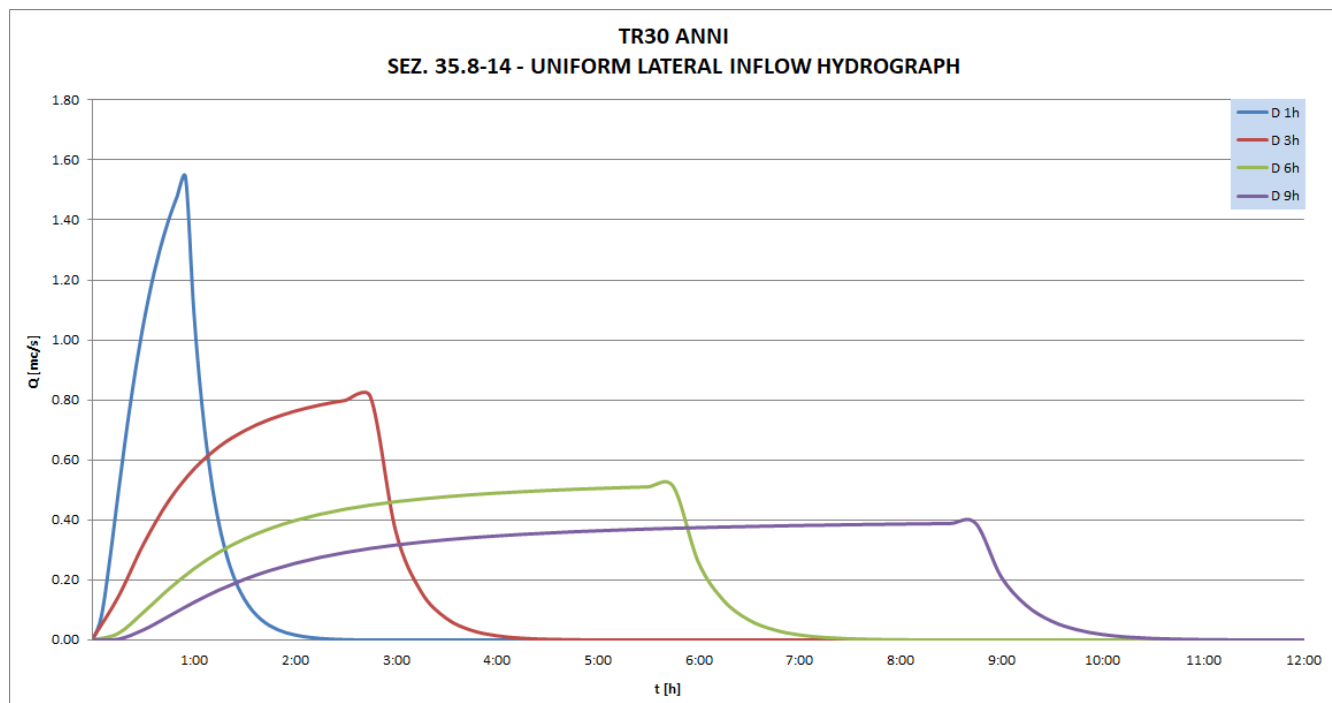


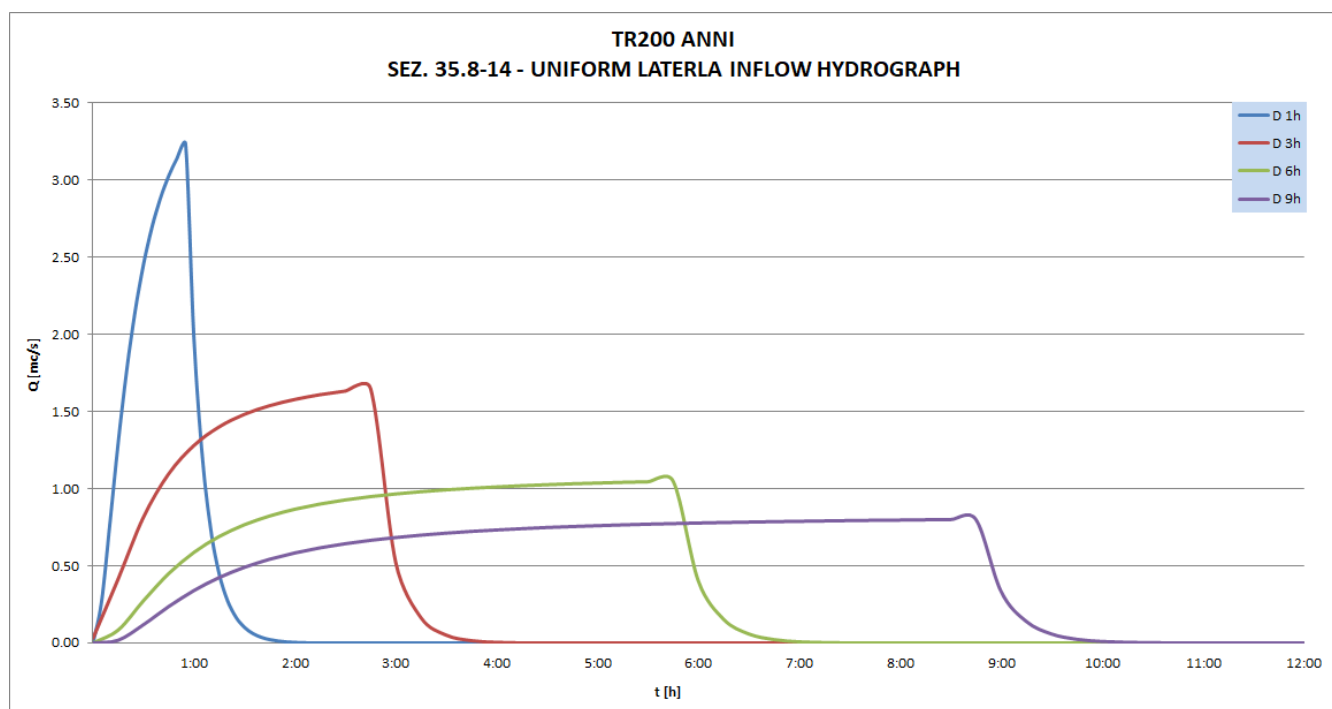
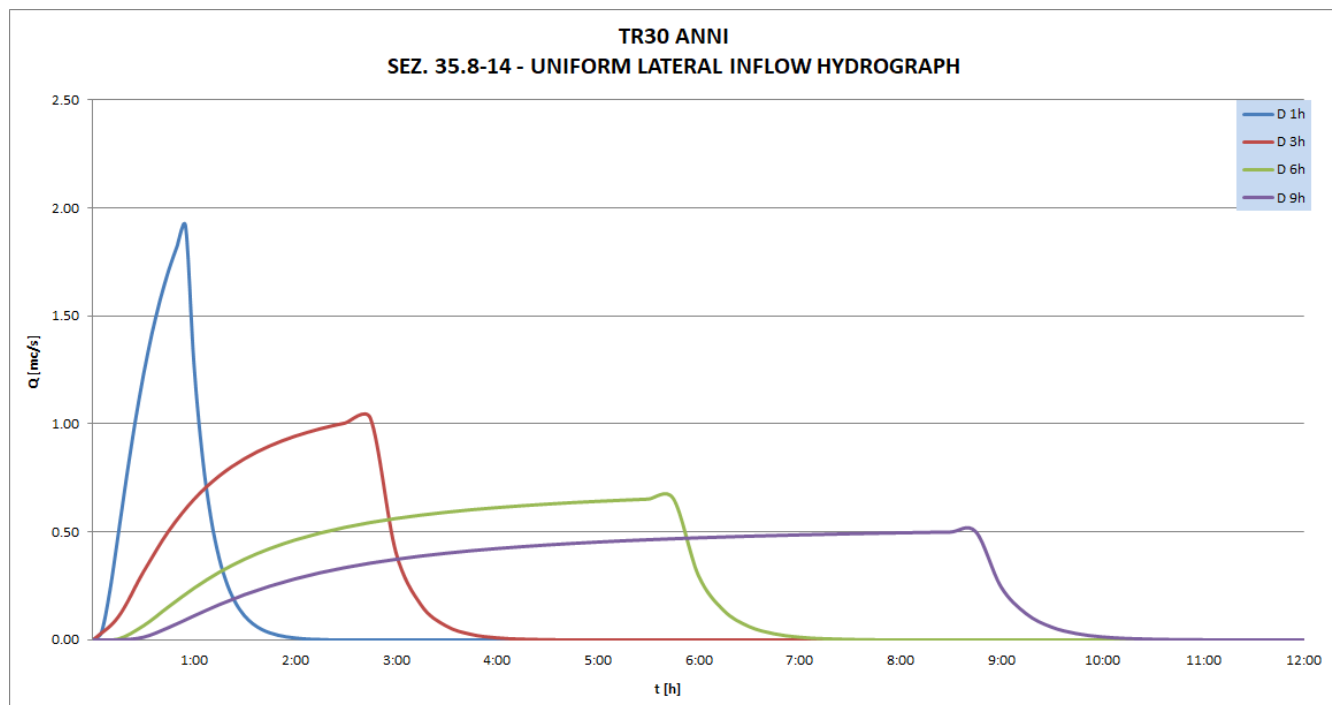


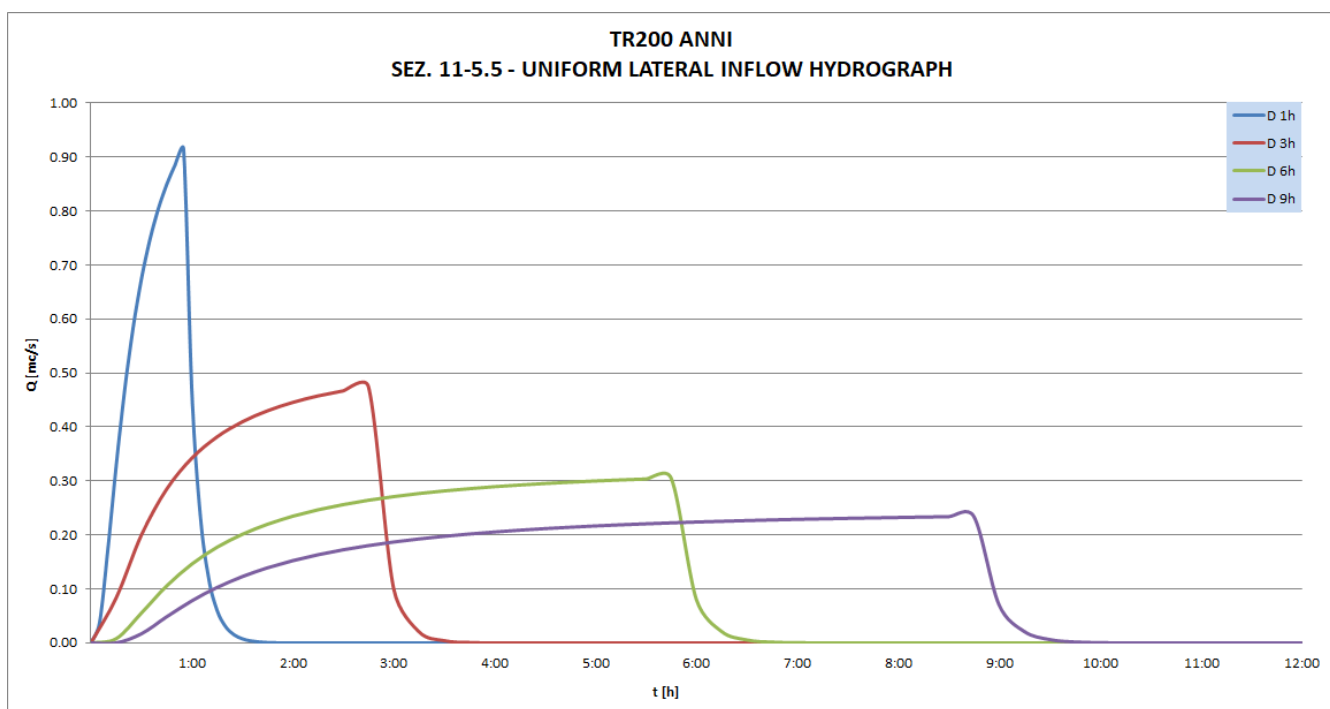
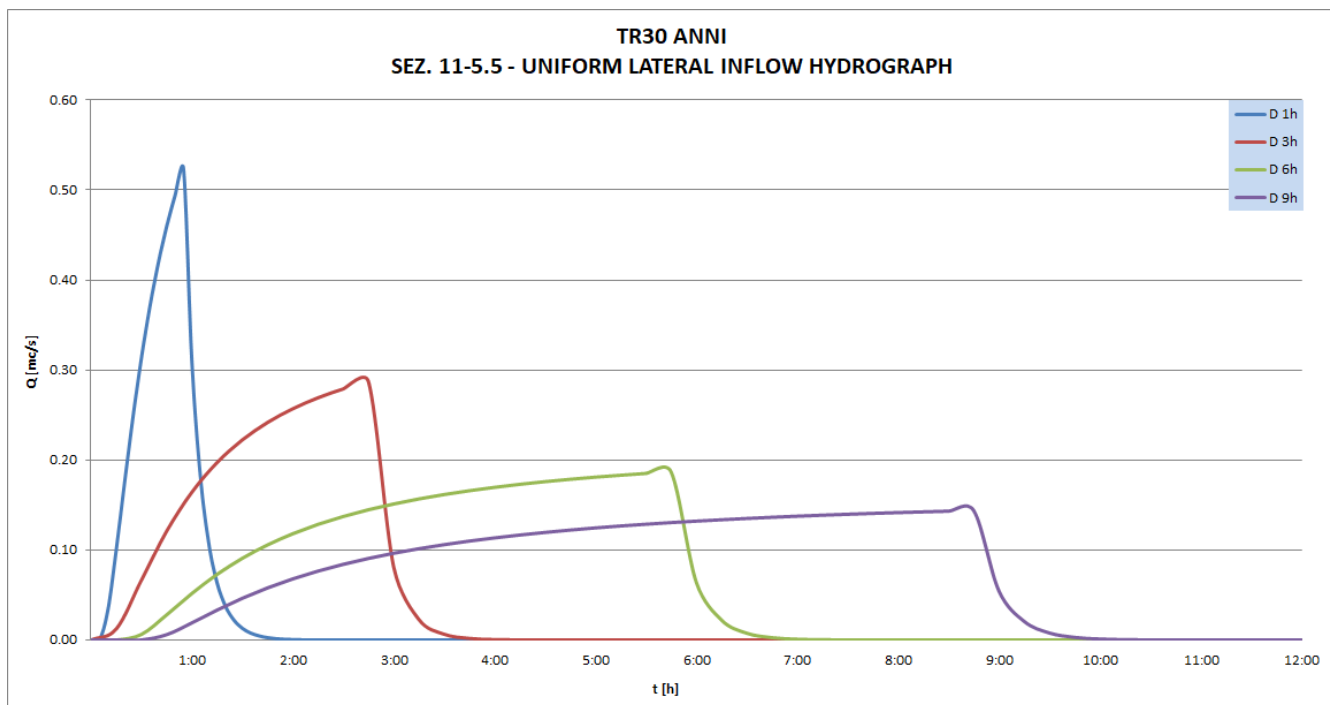


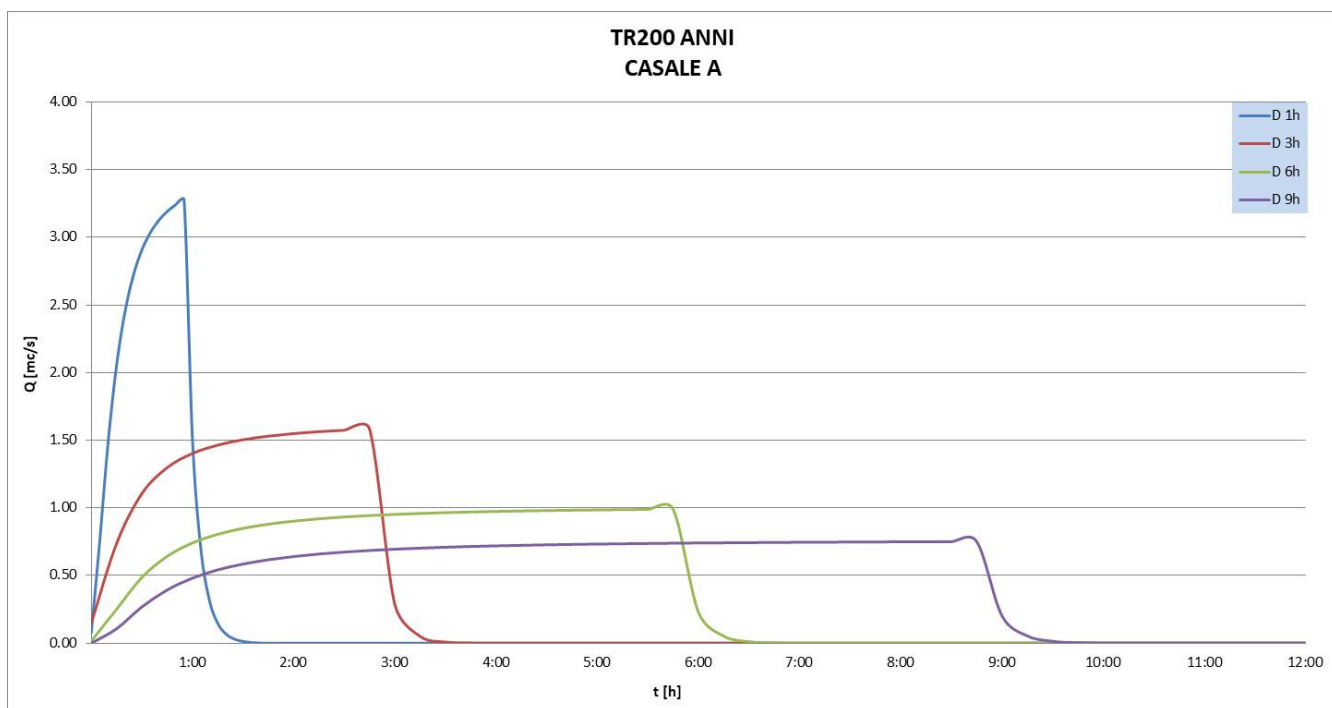
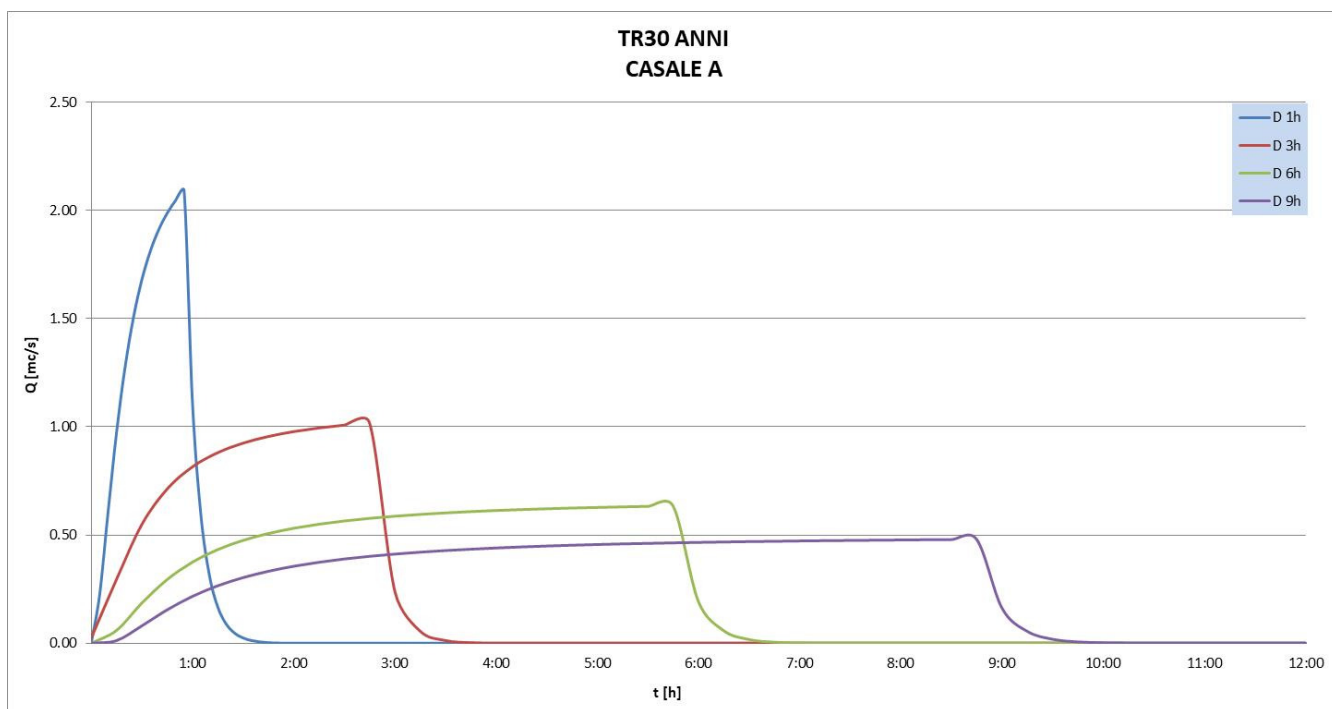
FOSSO DI CASALE



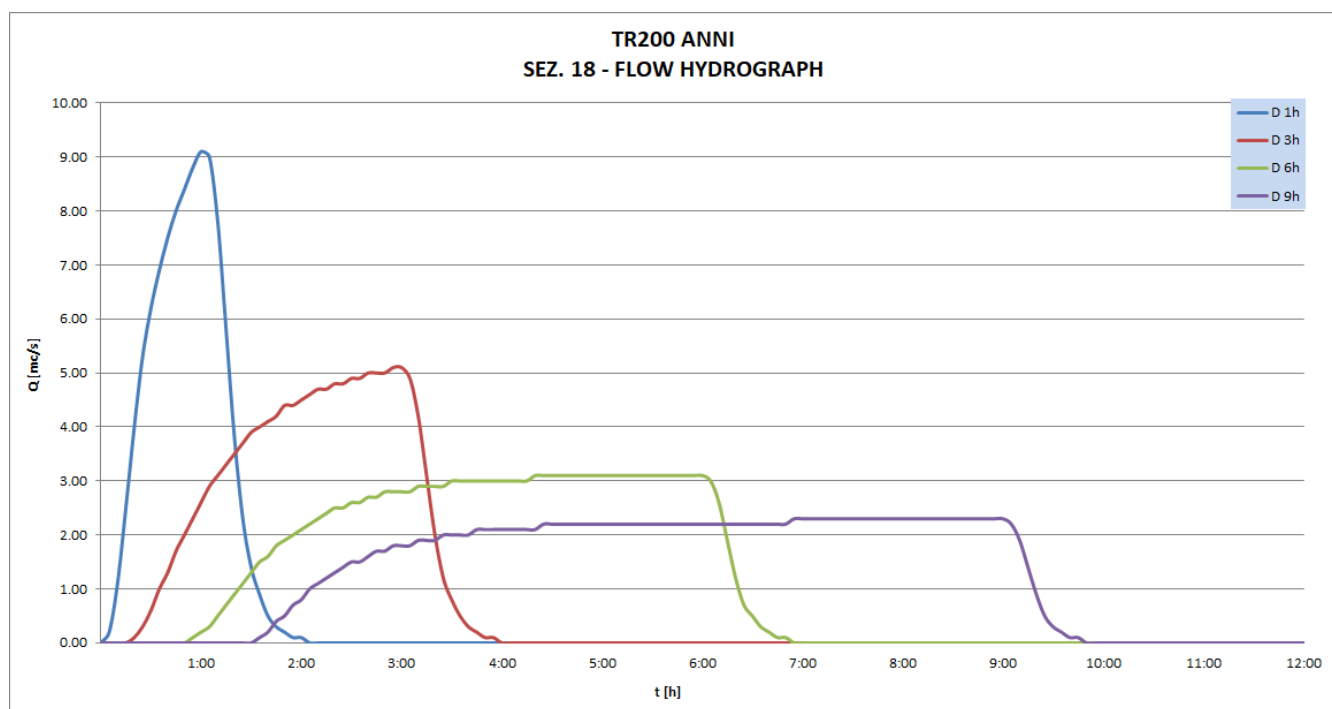
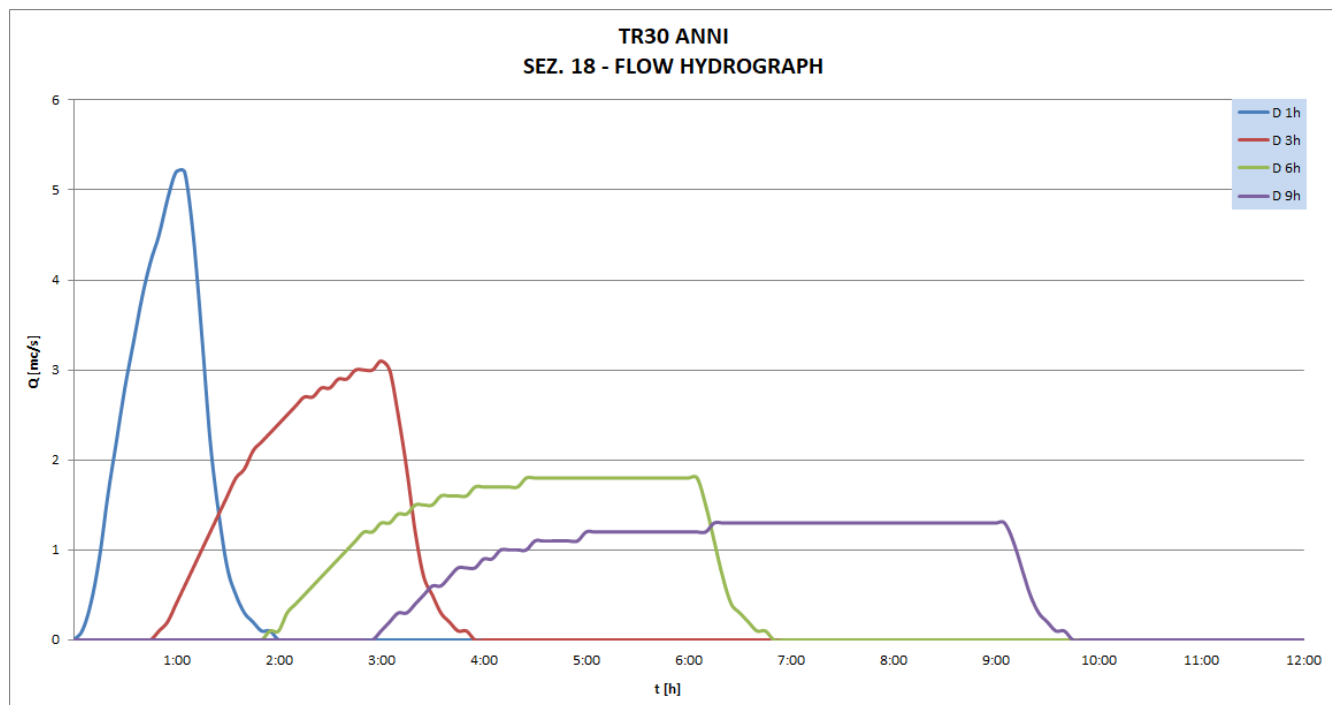


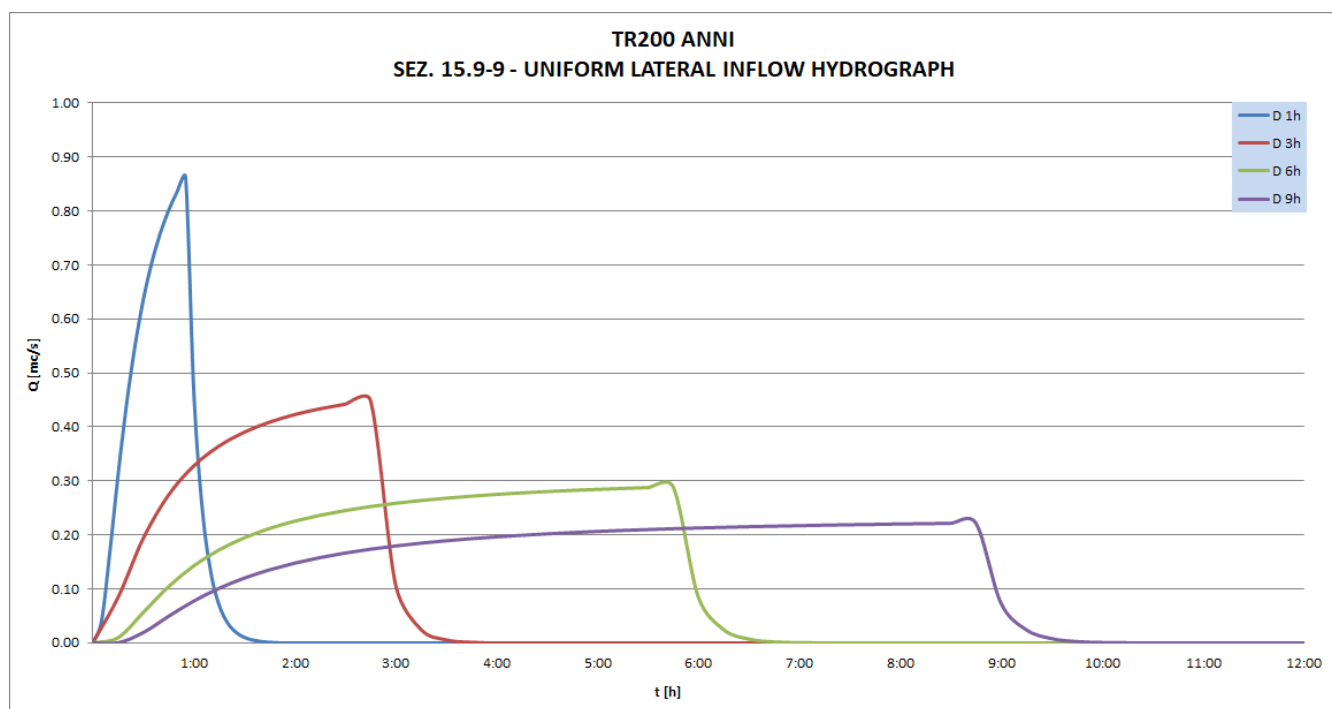
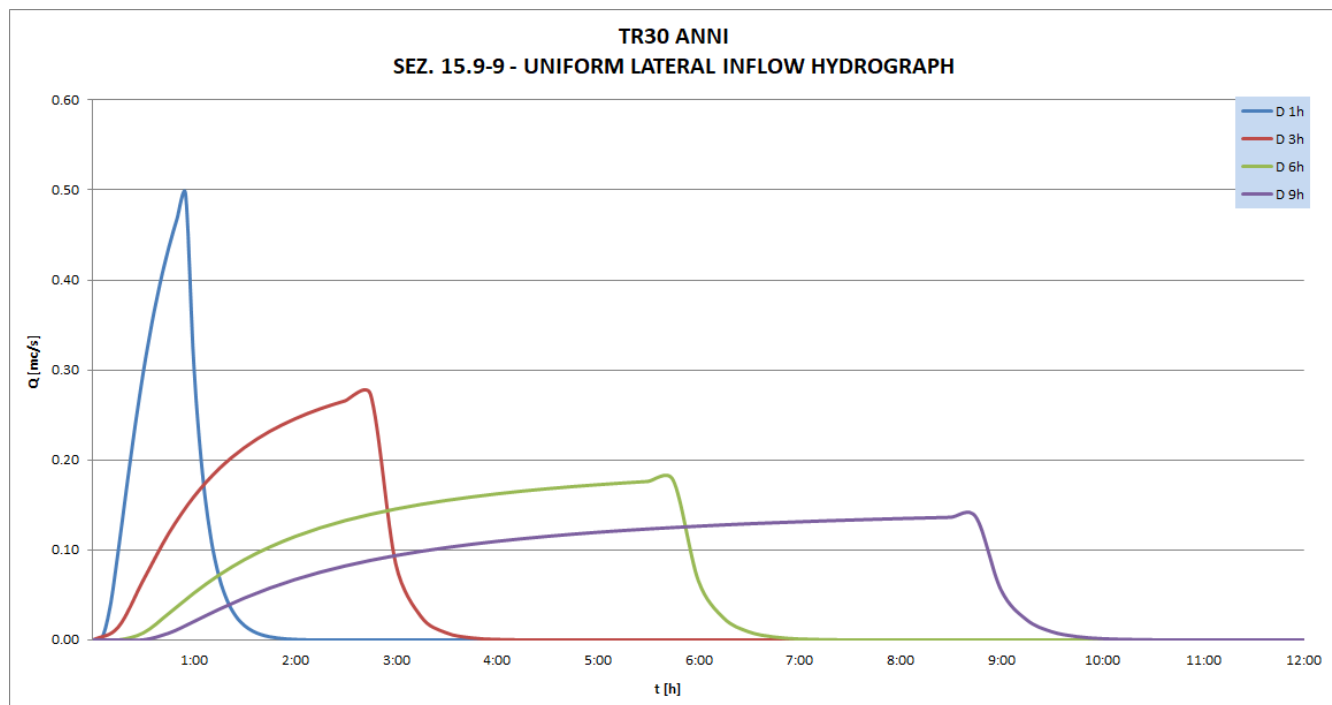


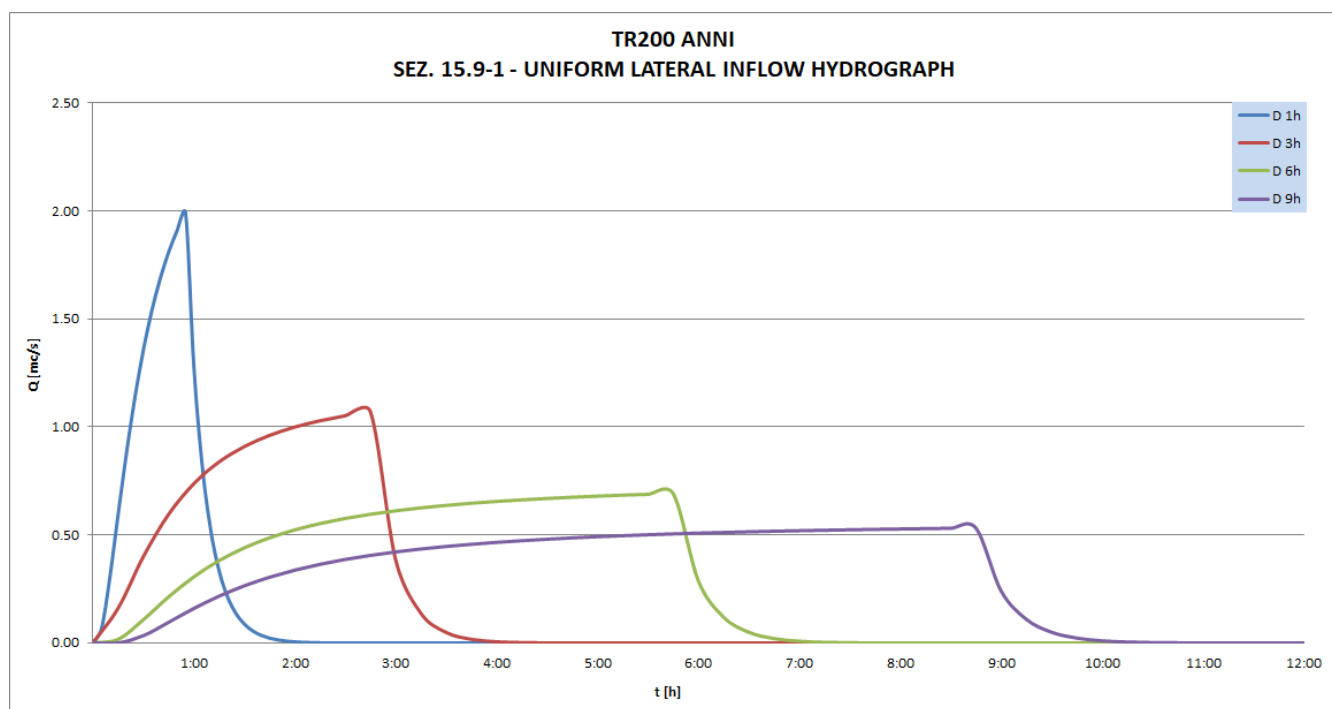
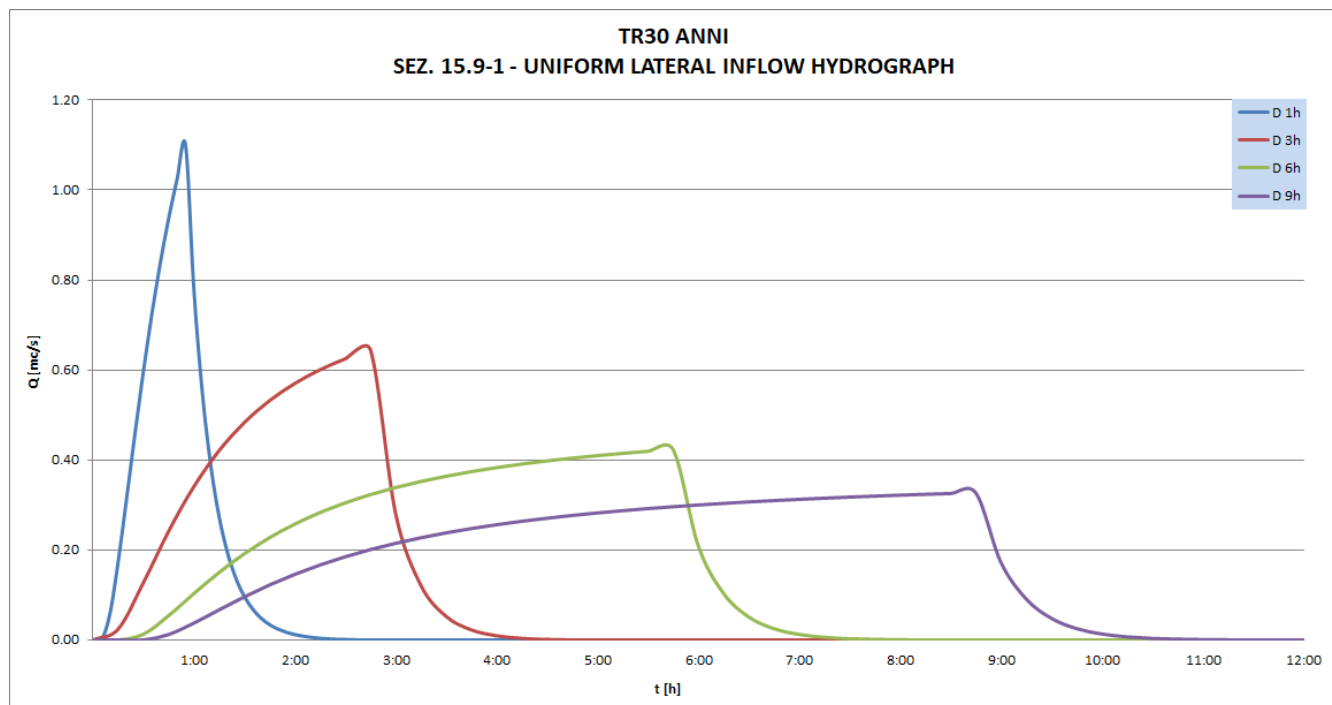


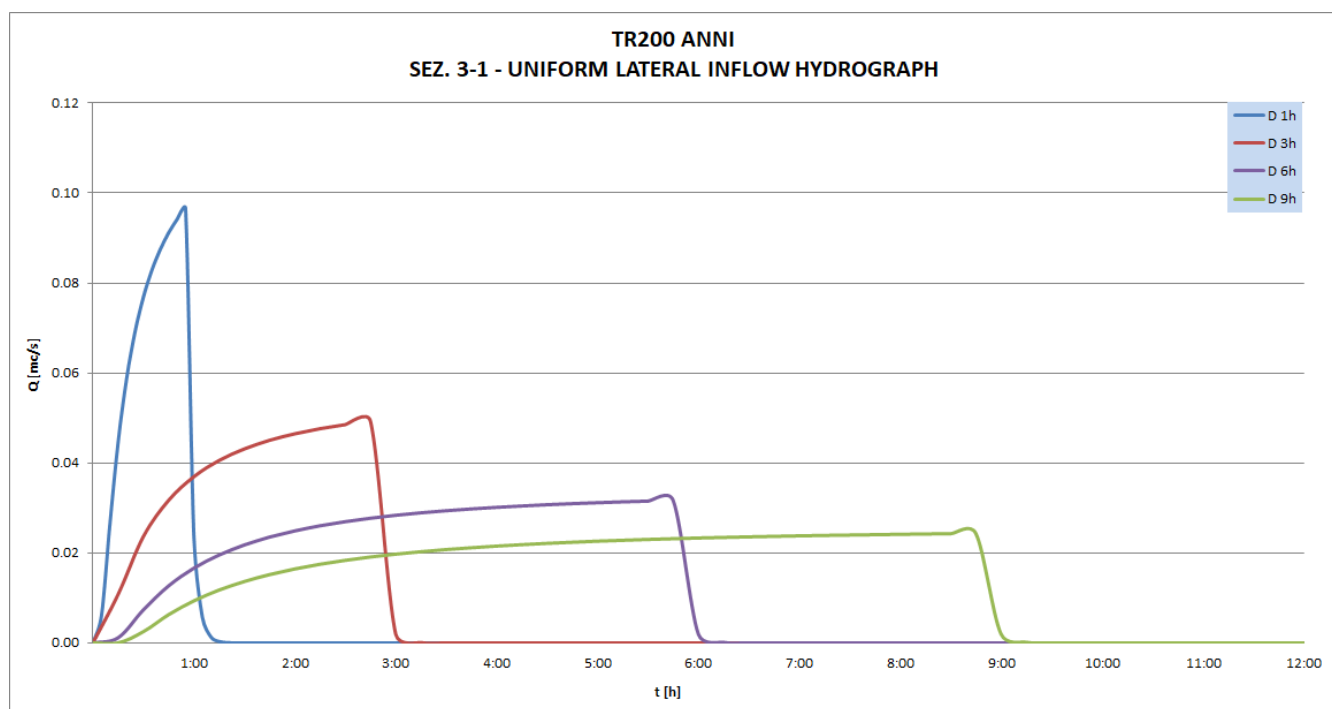
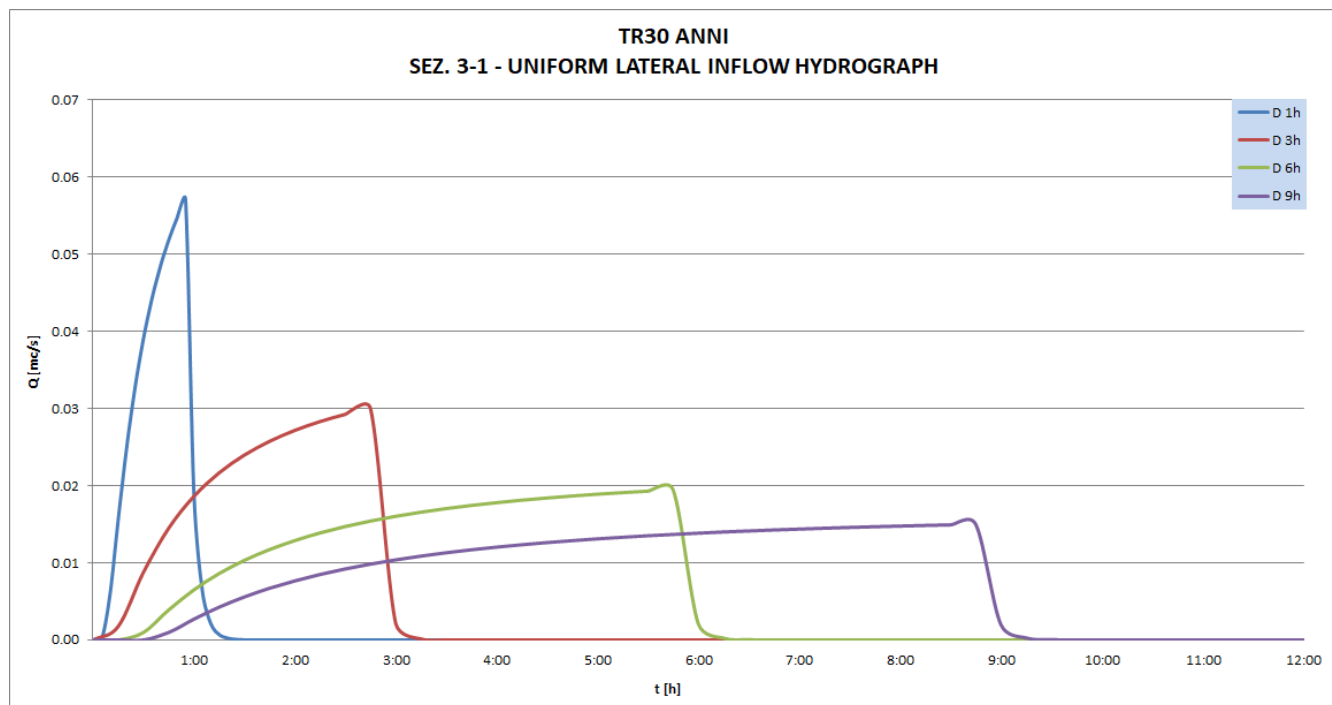


FOSSO DEL CASSERO

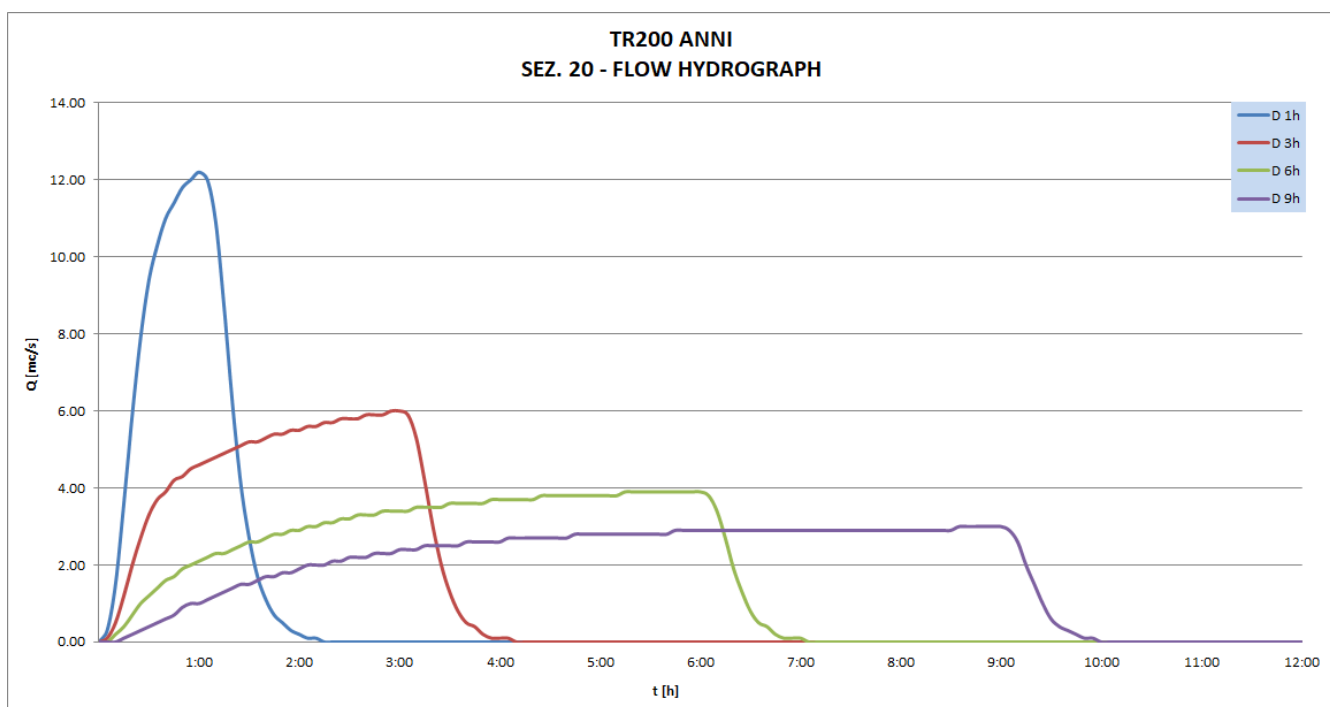
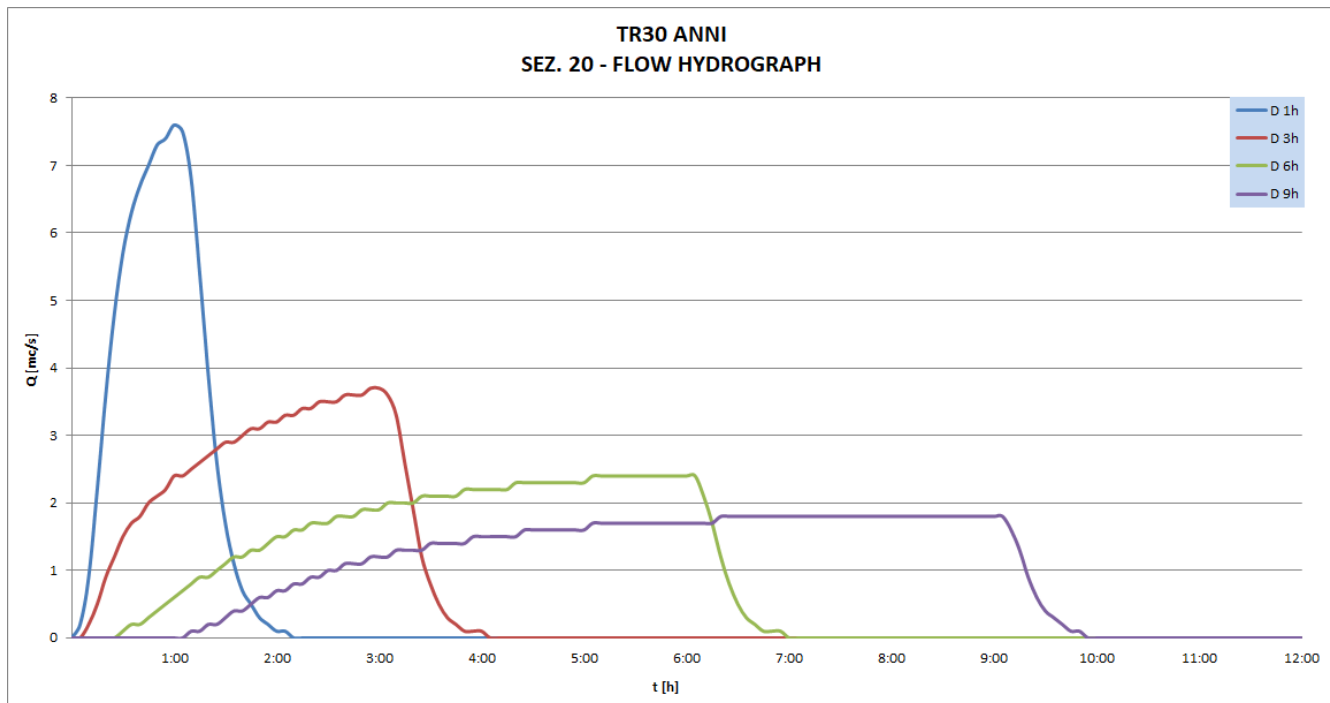


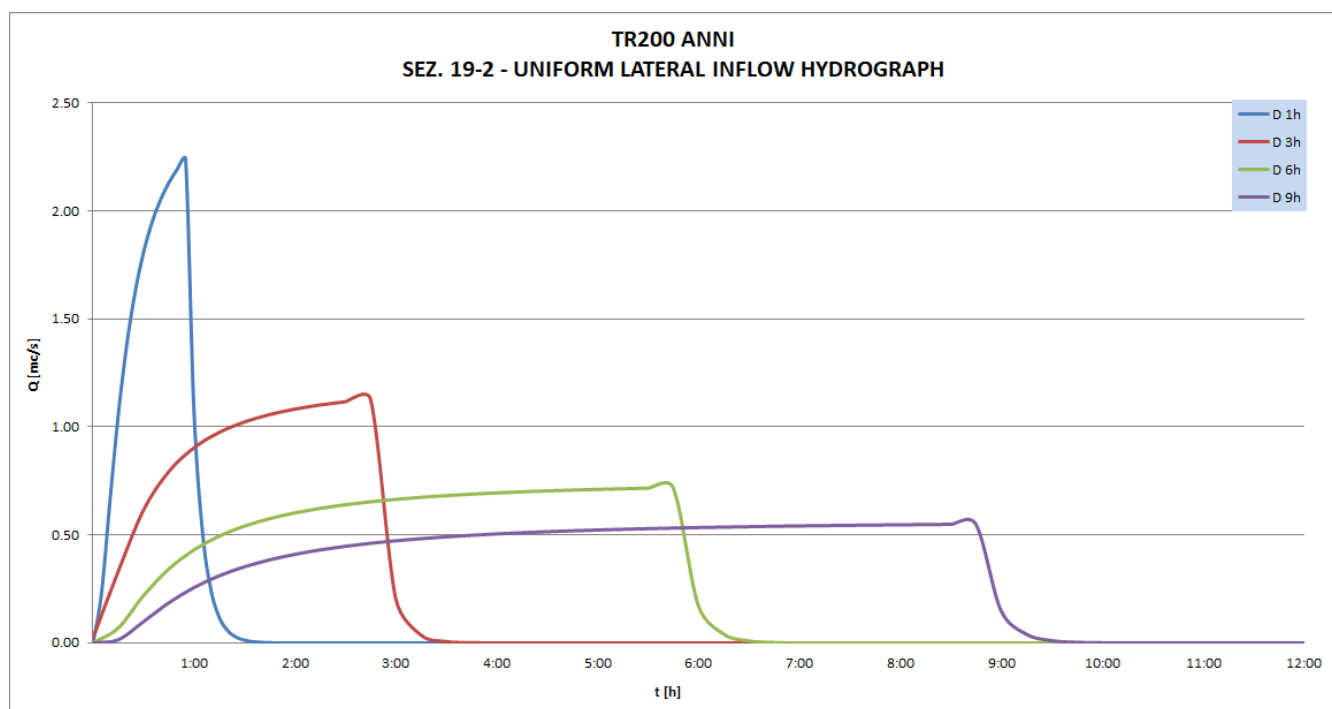
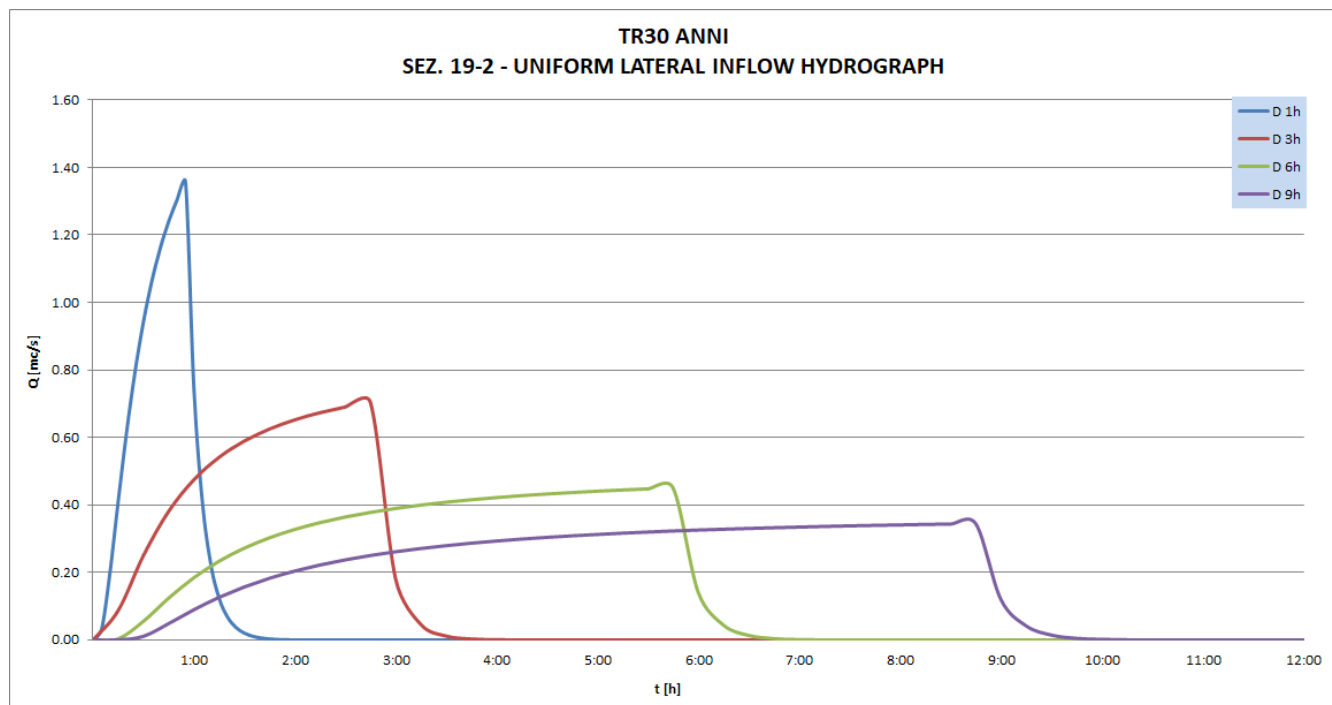


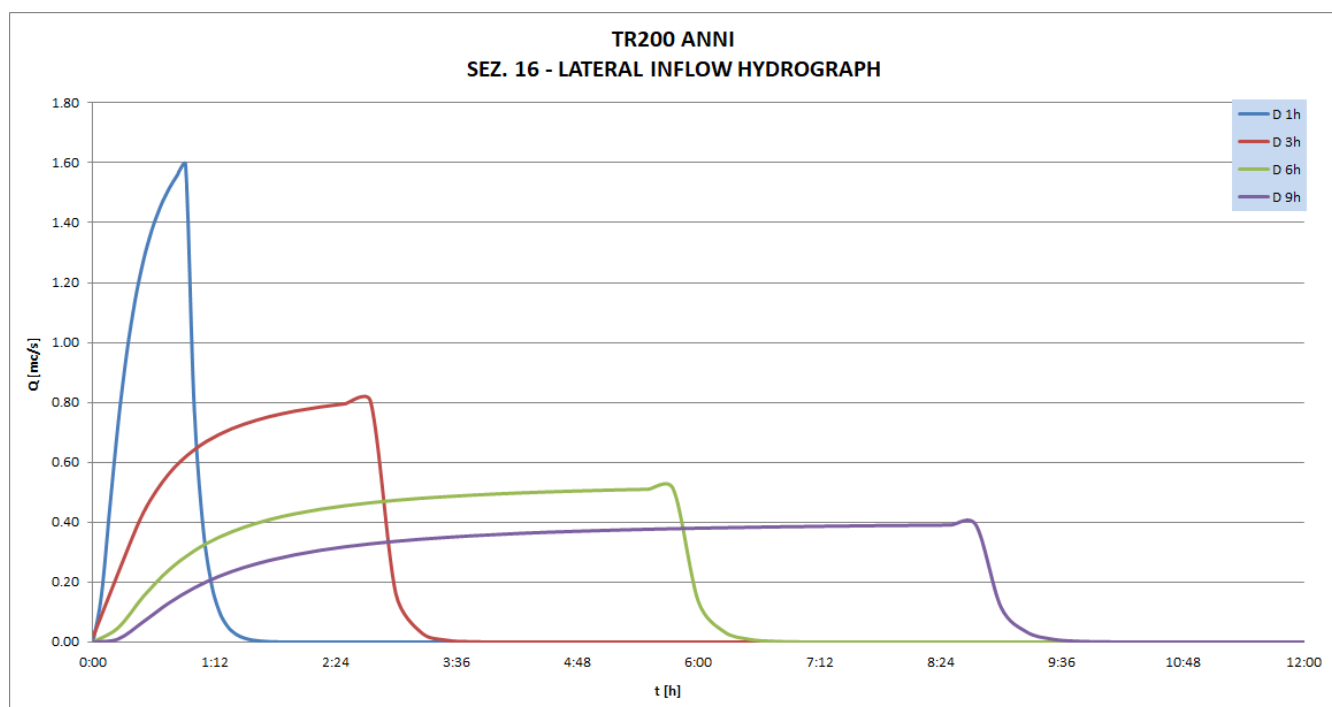
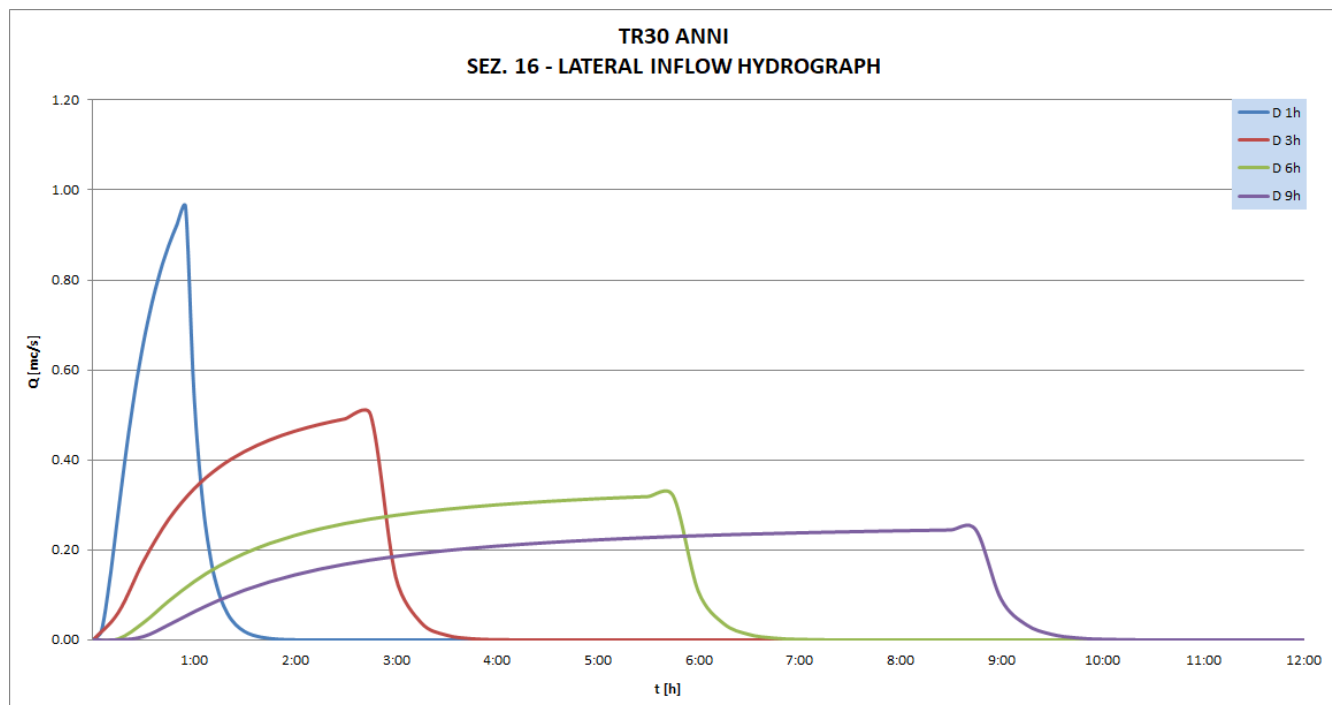


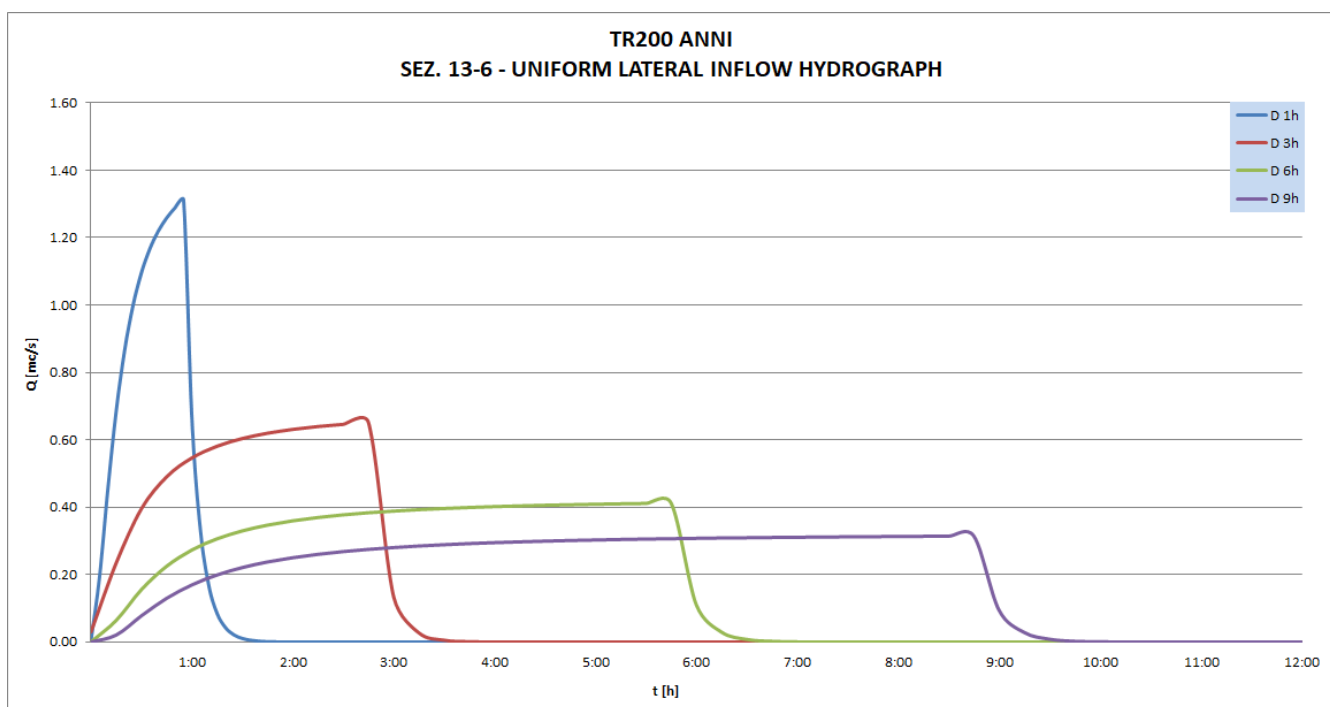
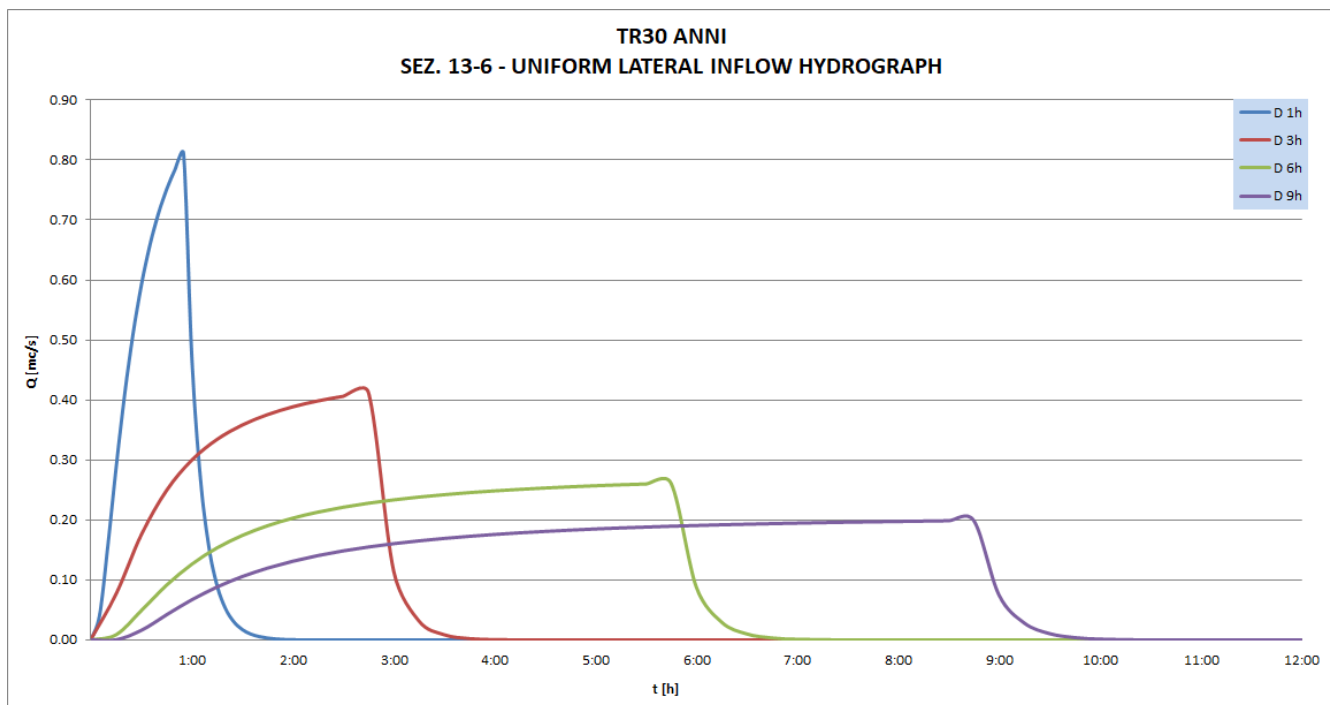


FOSSO DEL CASTELLO DEI BAGINI

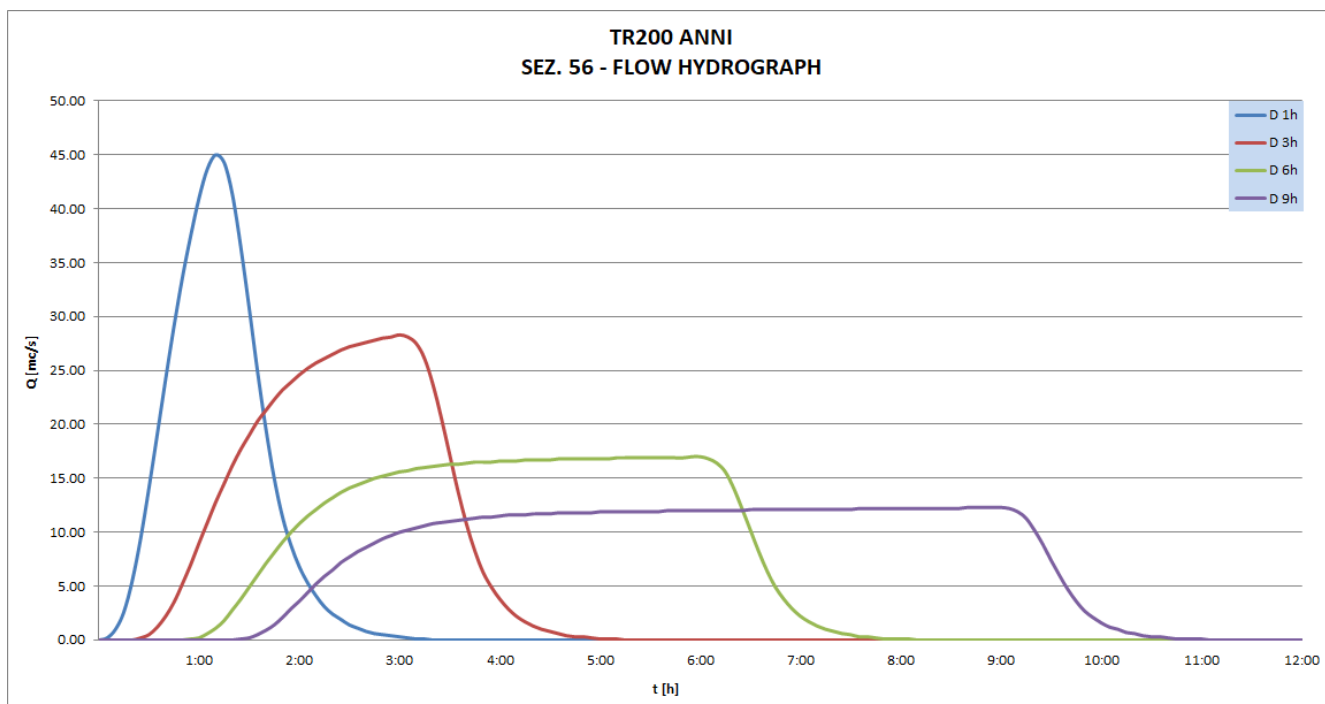
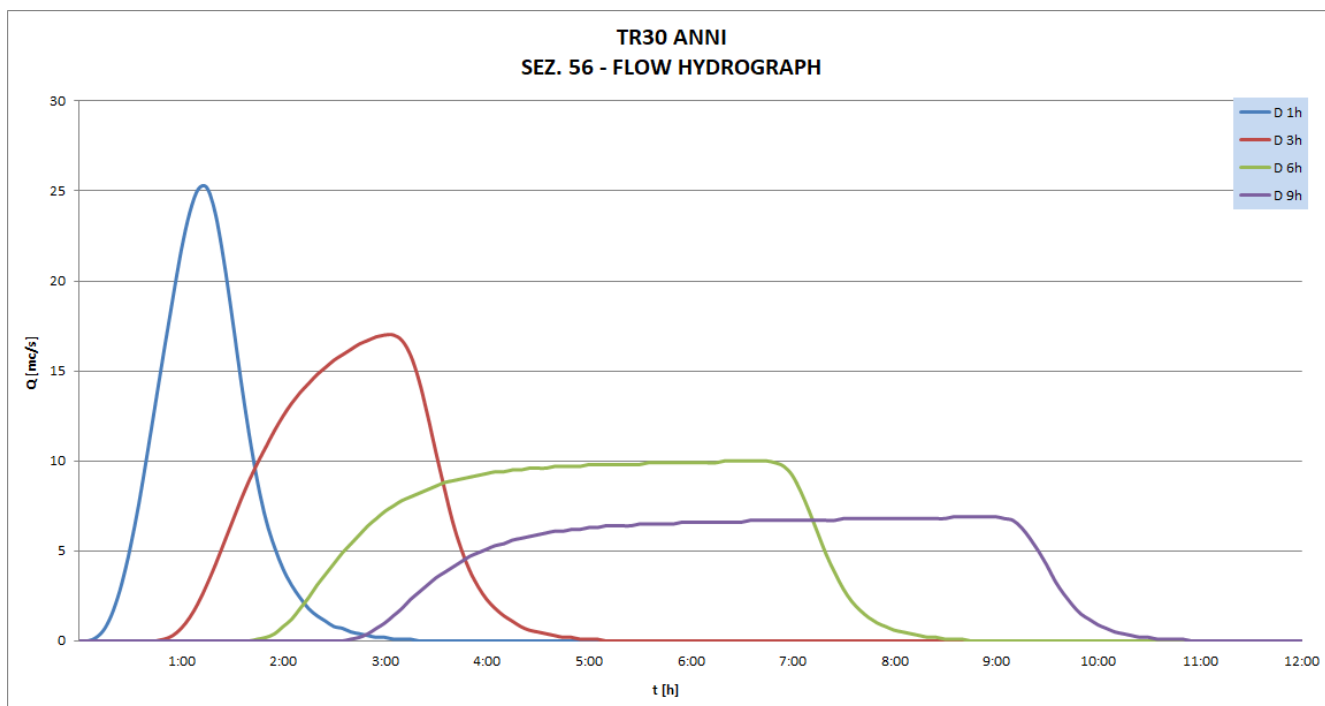


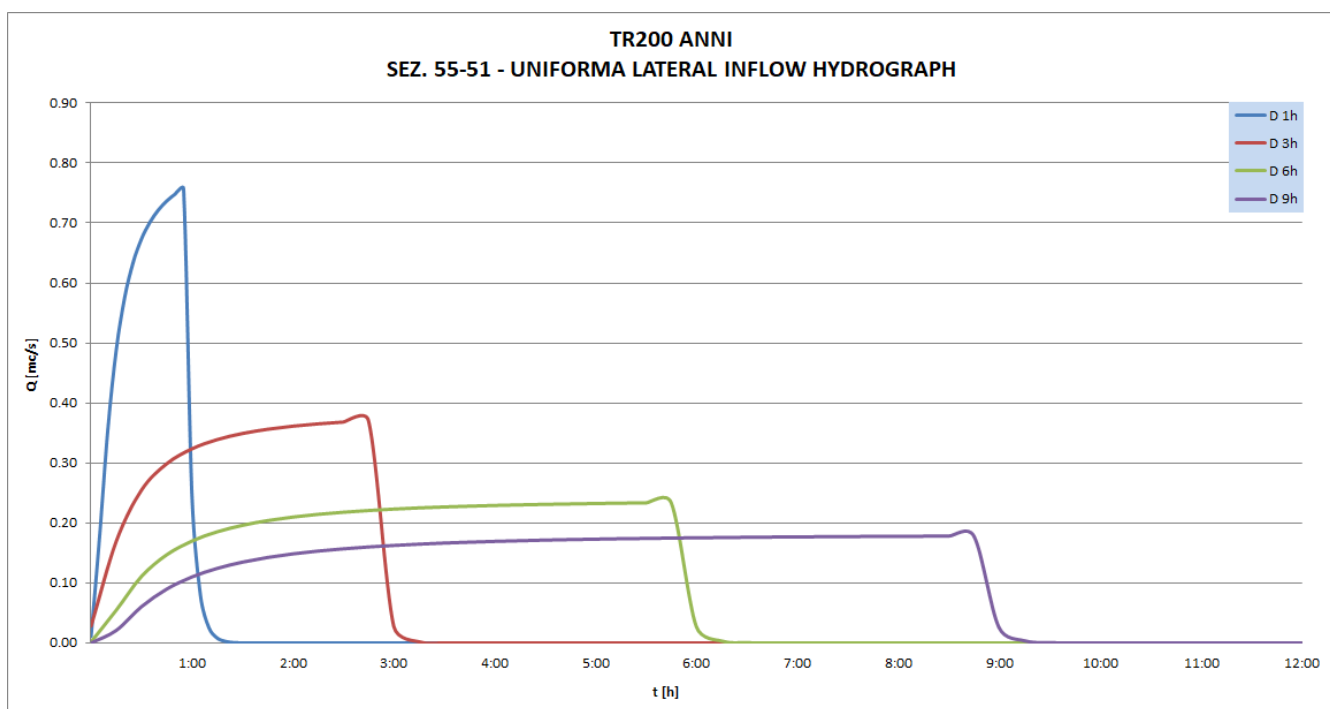
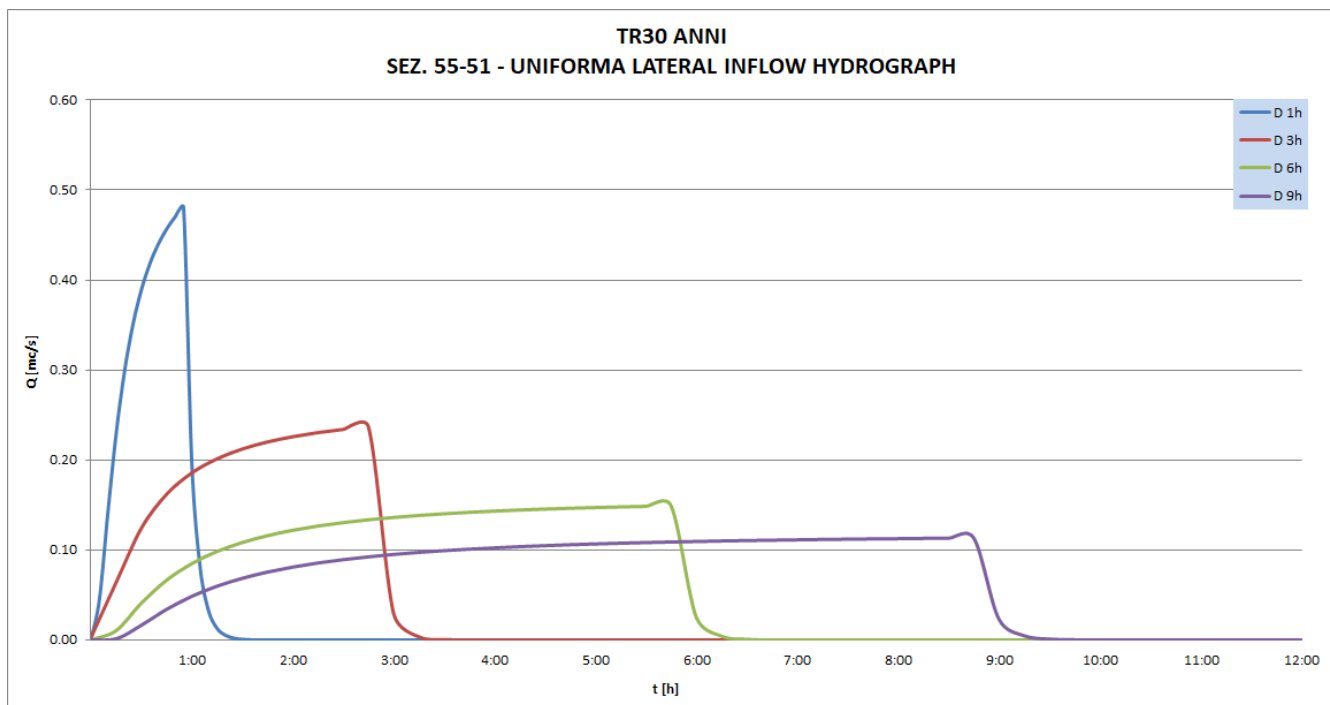


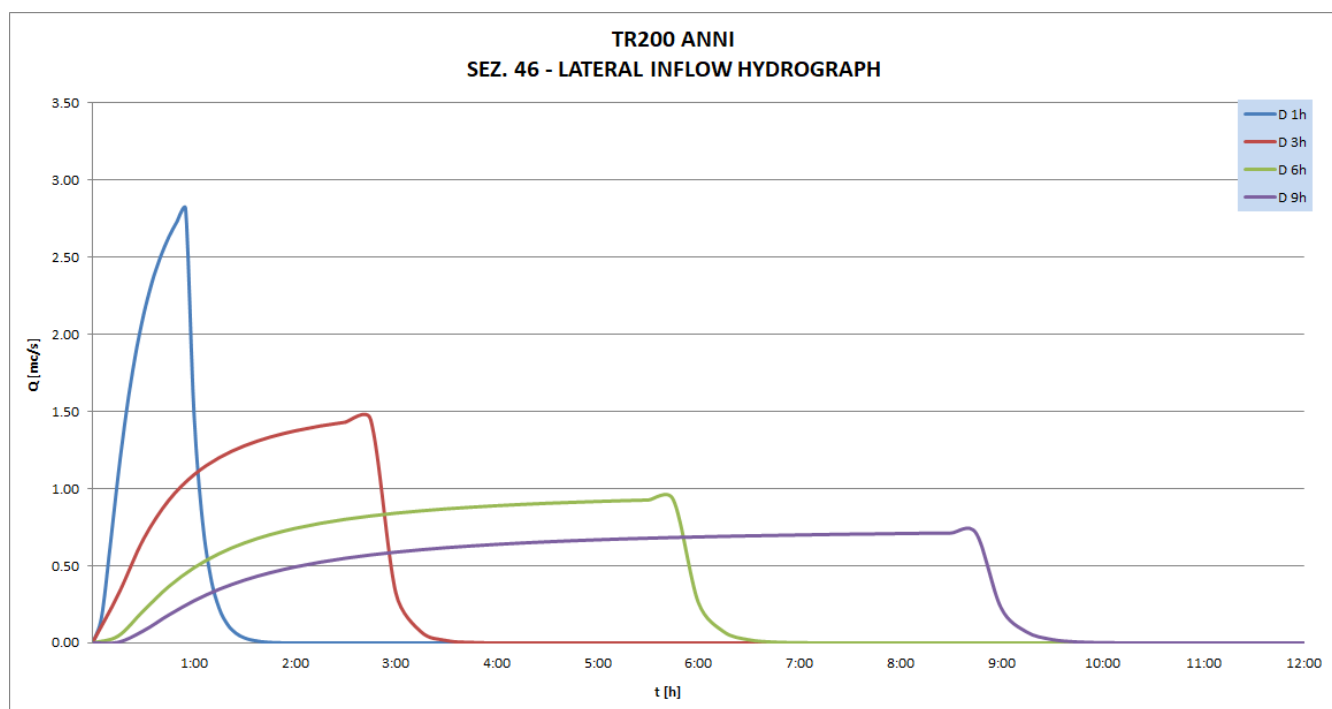
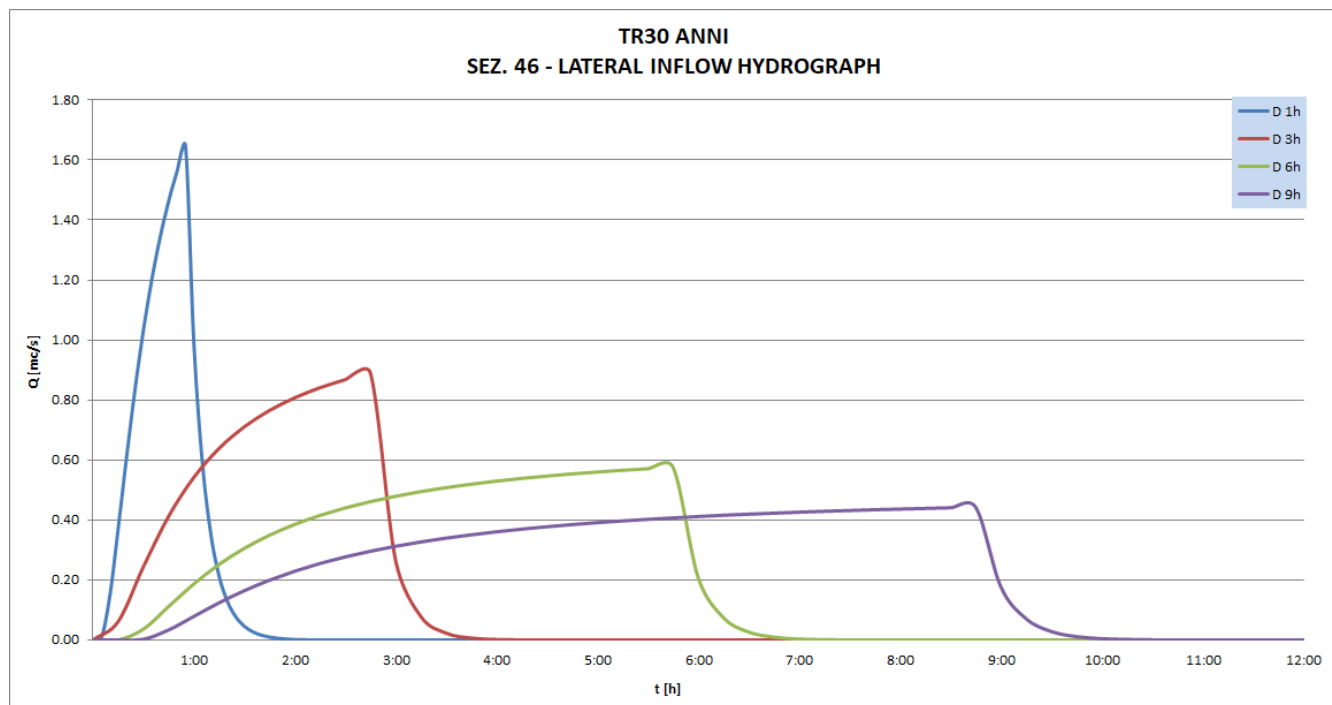


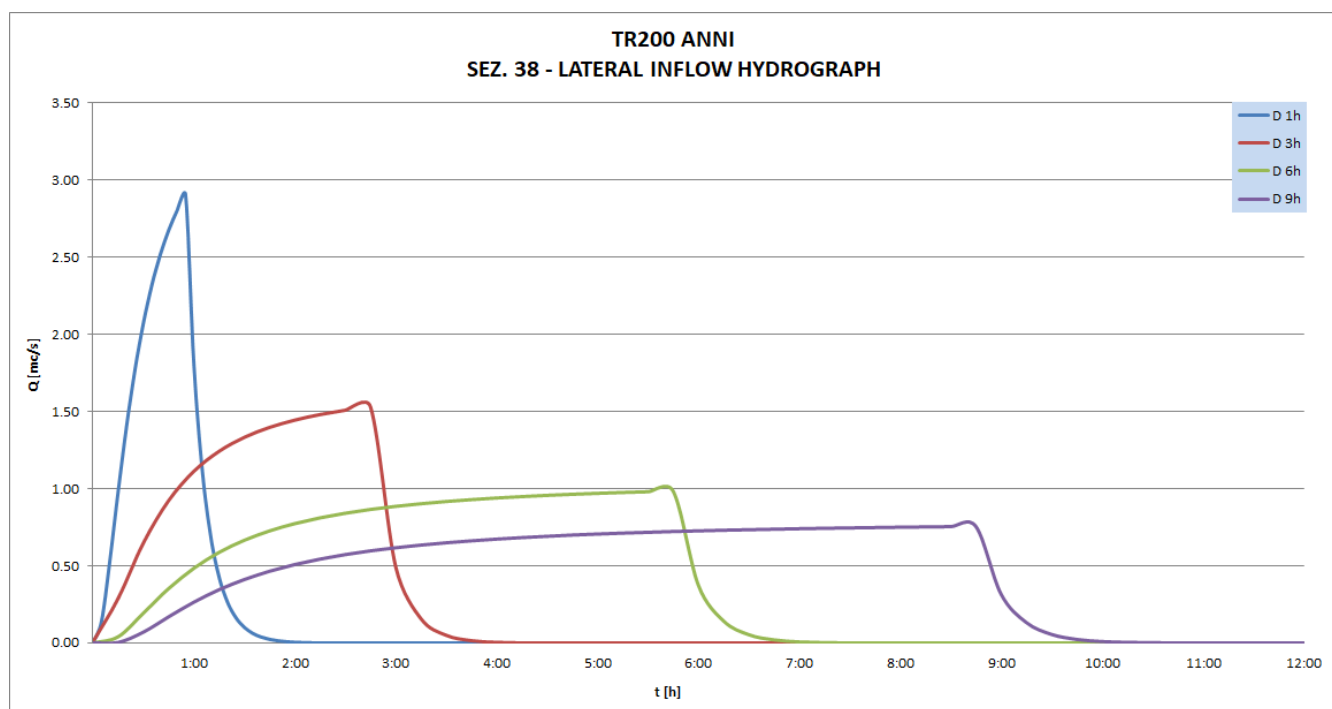
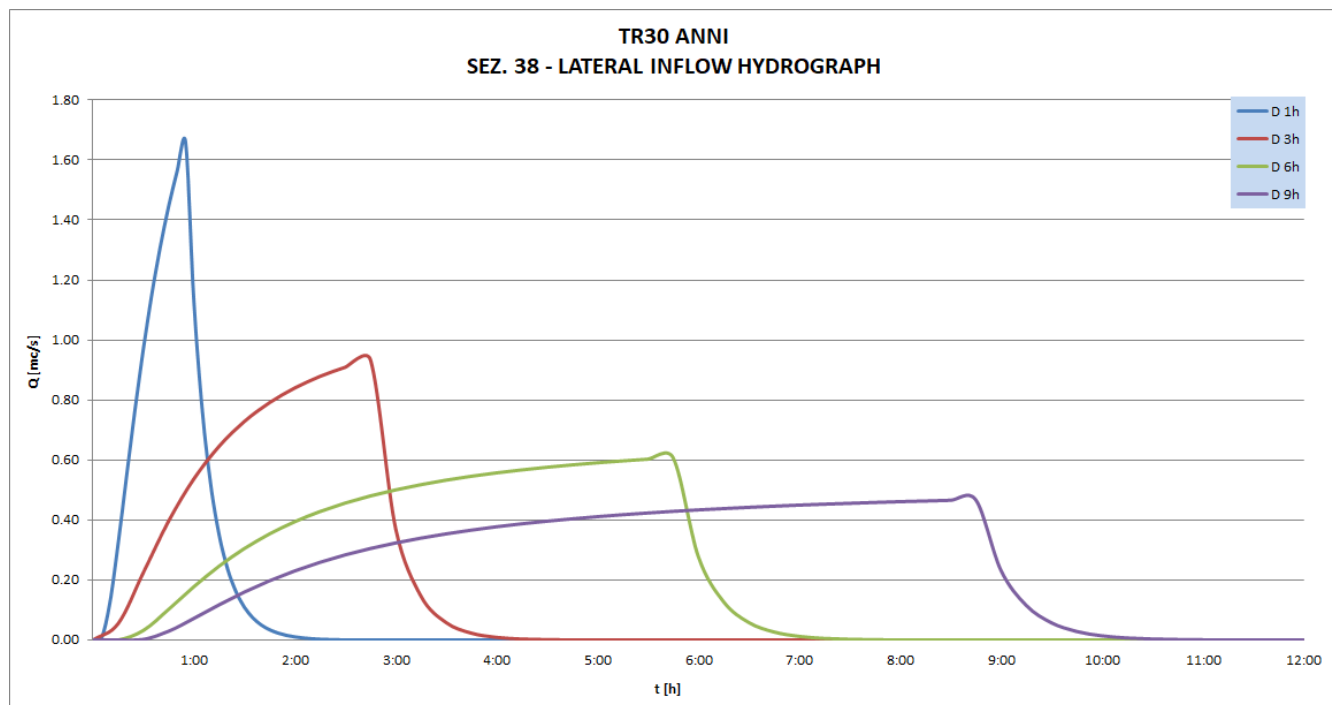


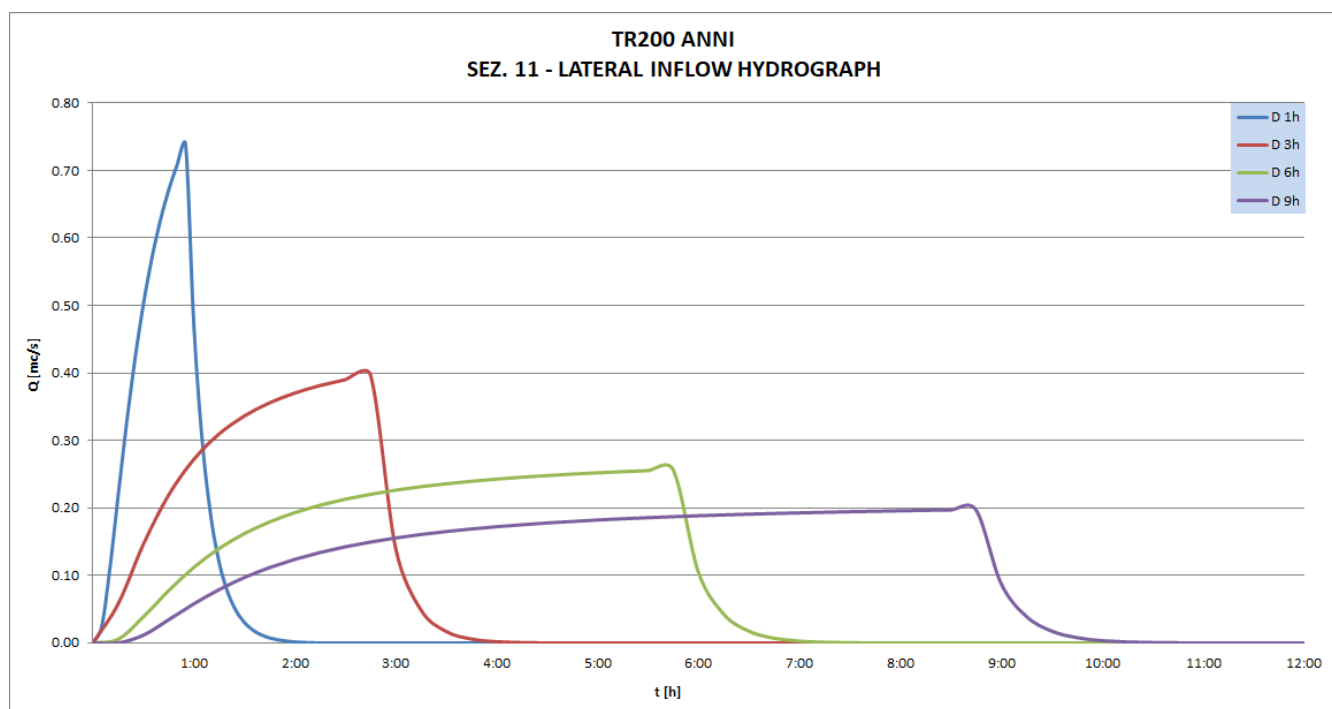
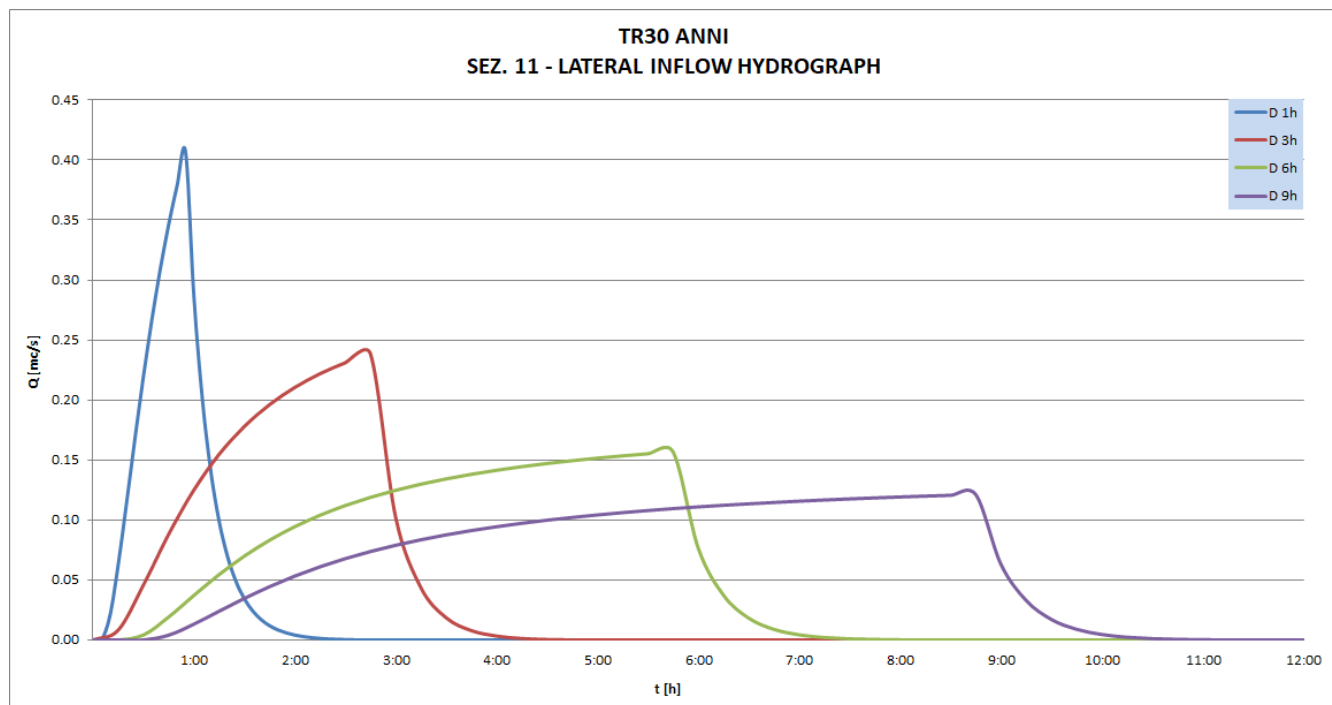
FOSSO DI CASTELNUOVO

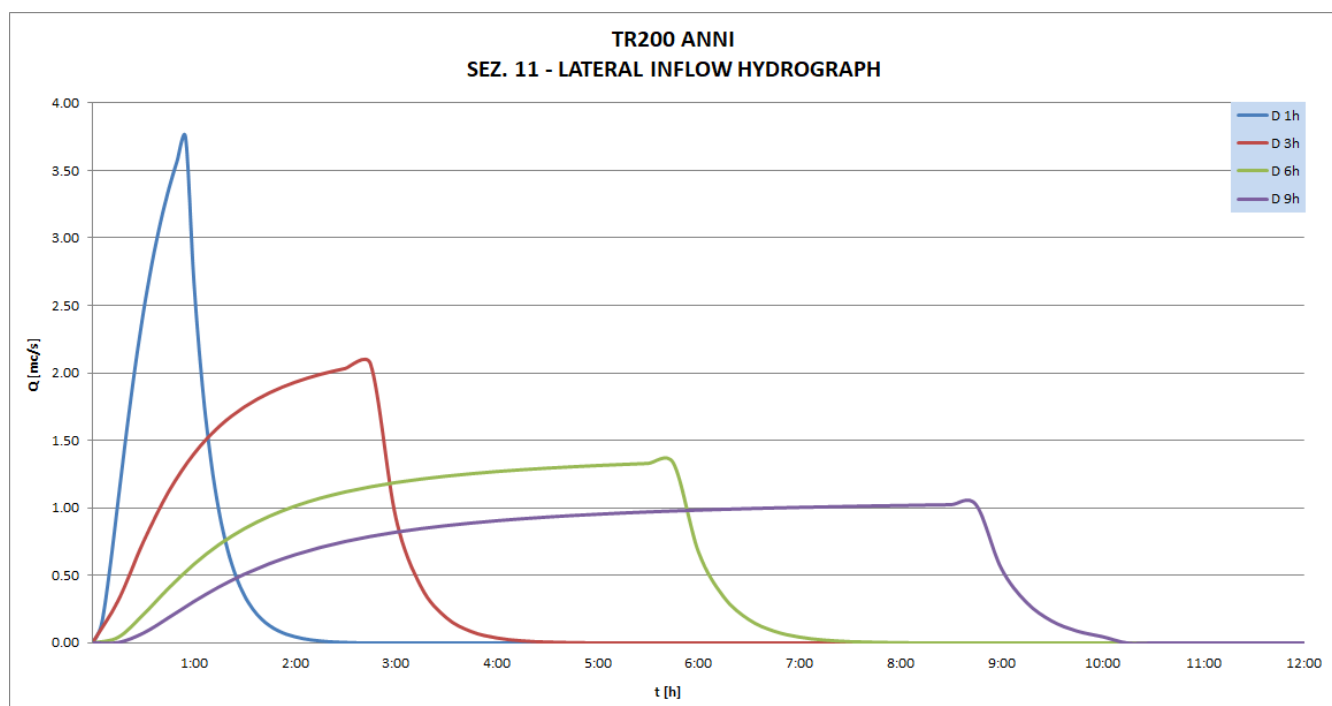
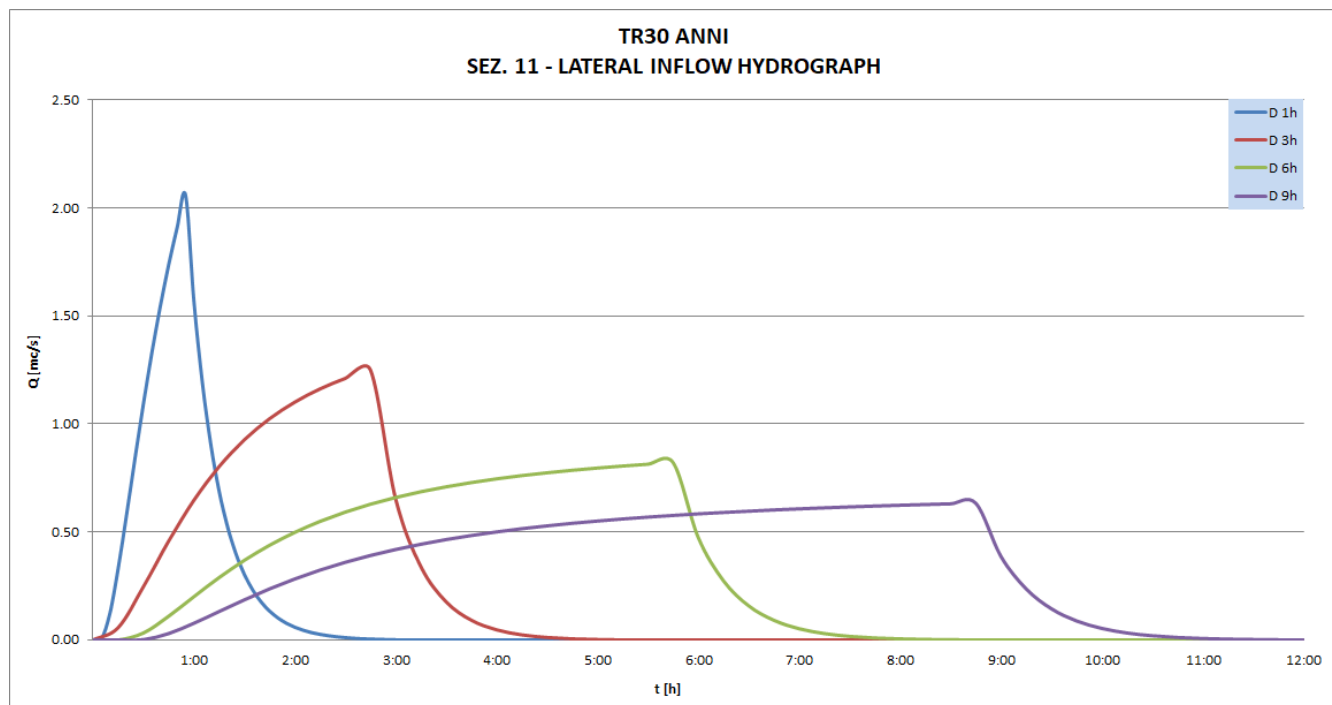


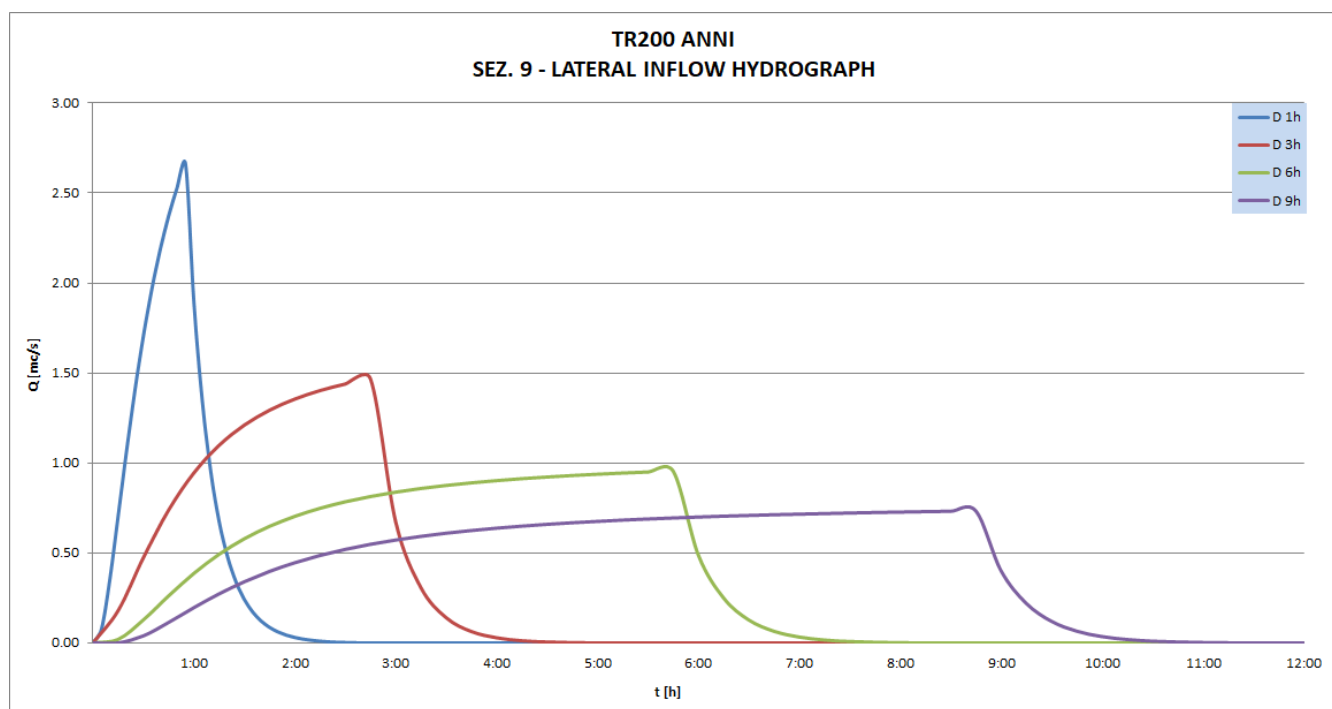
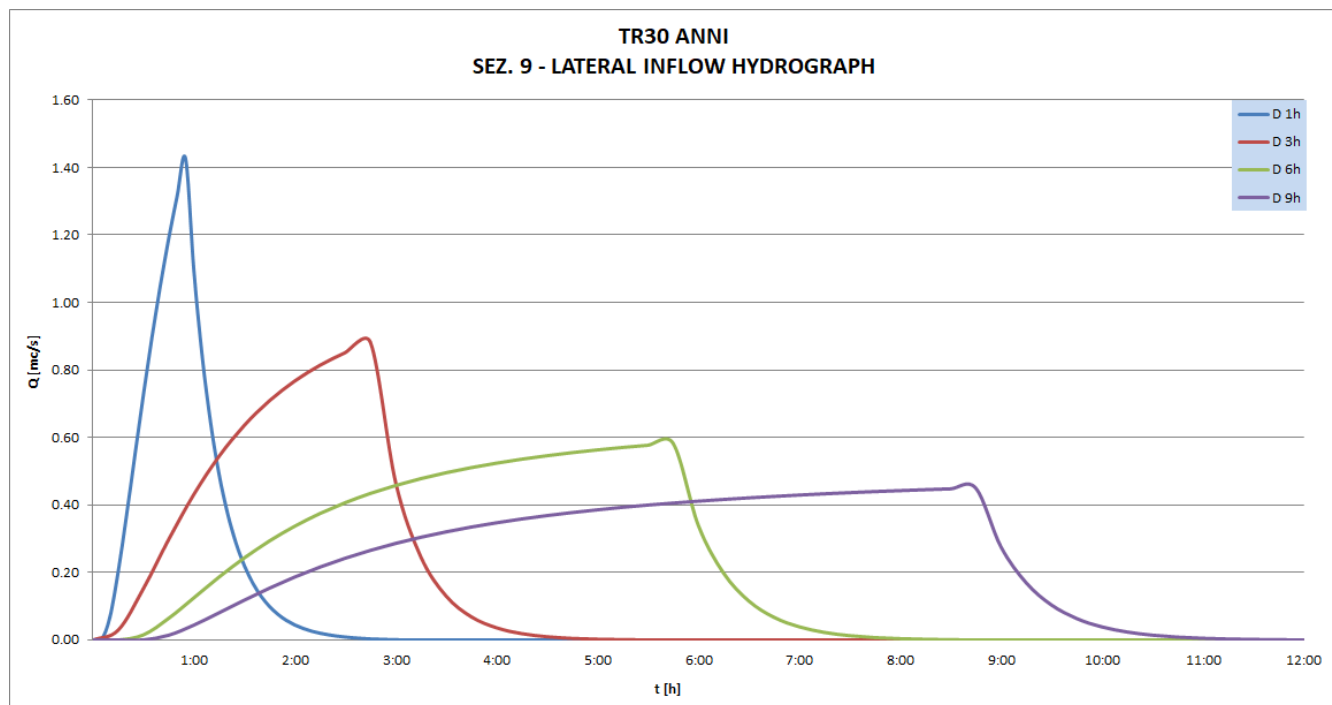




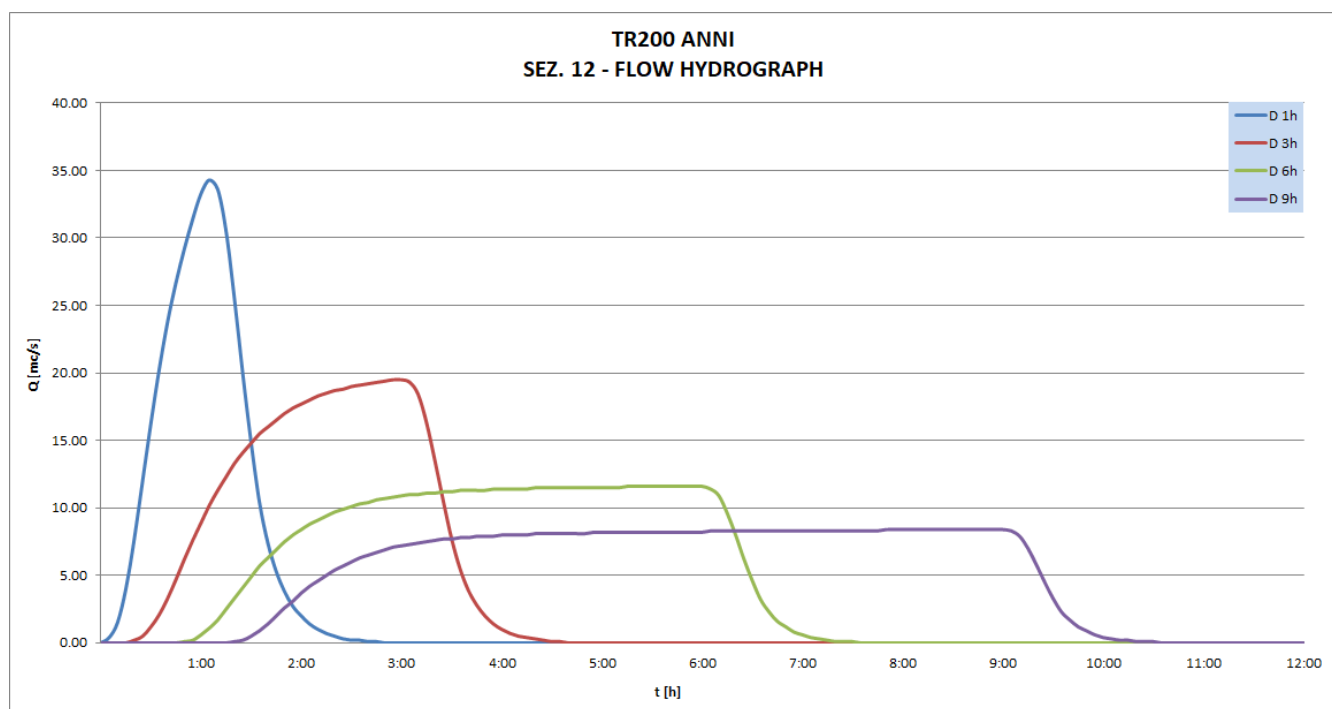
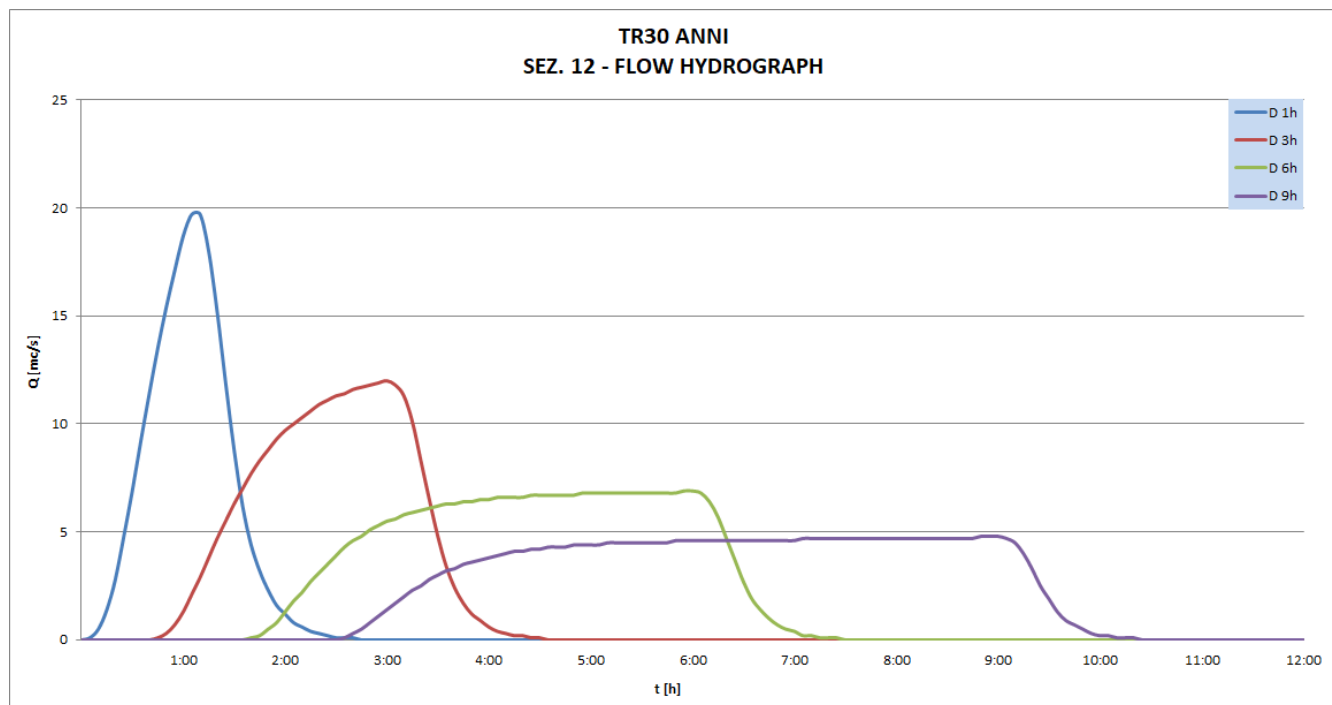


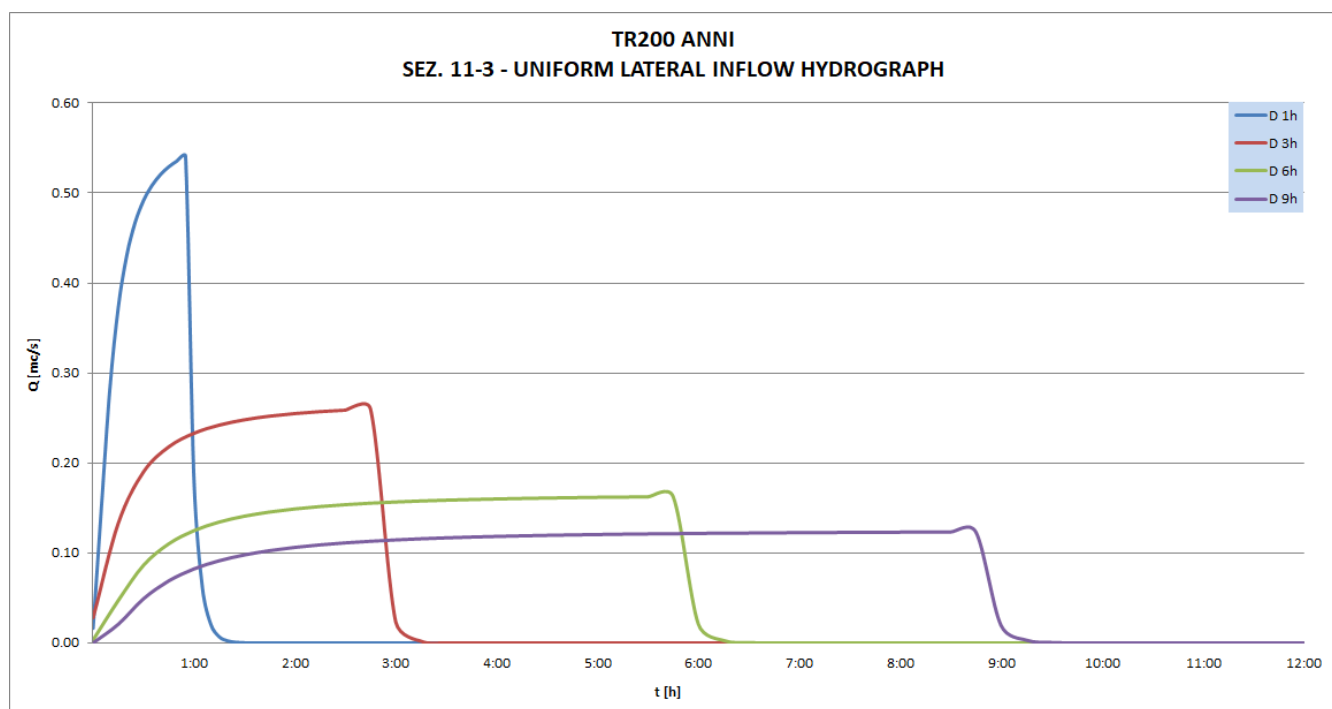
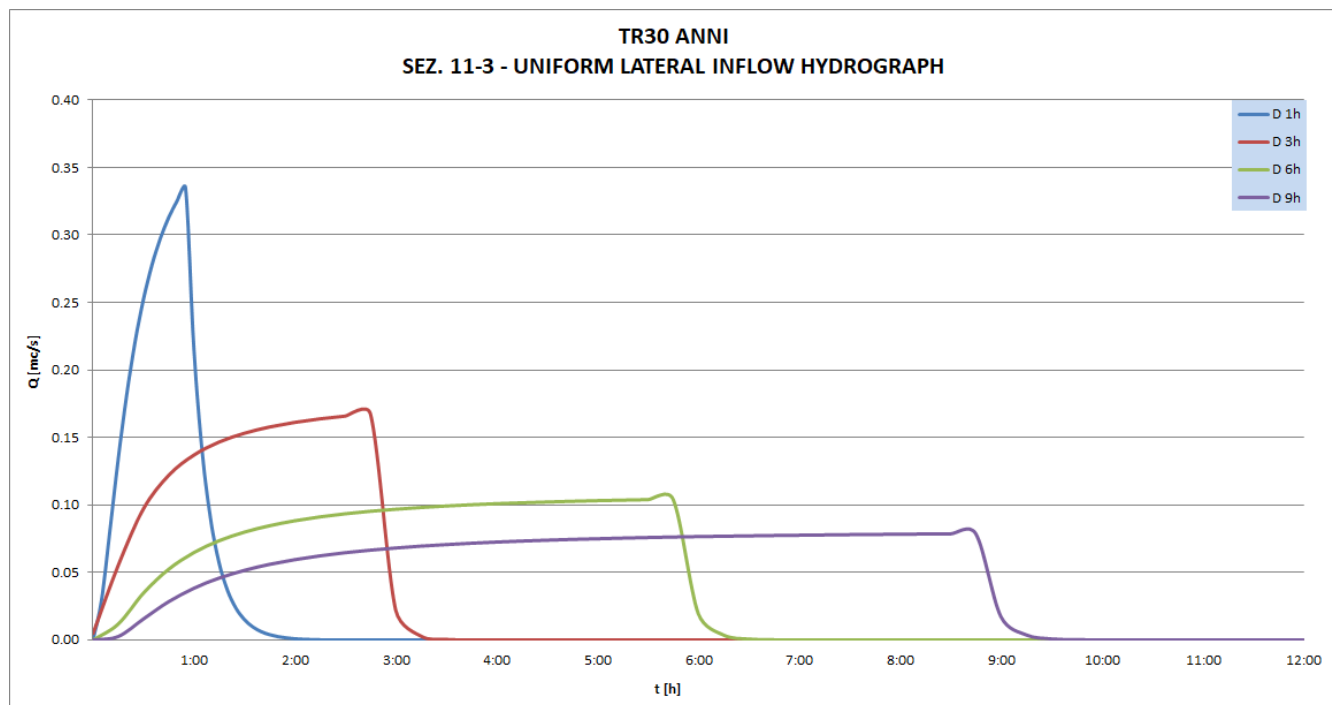


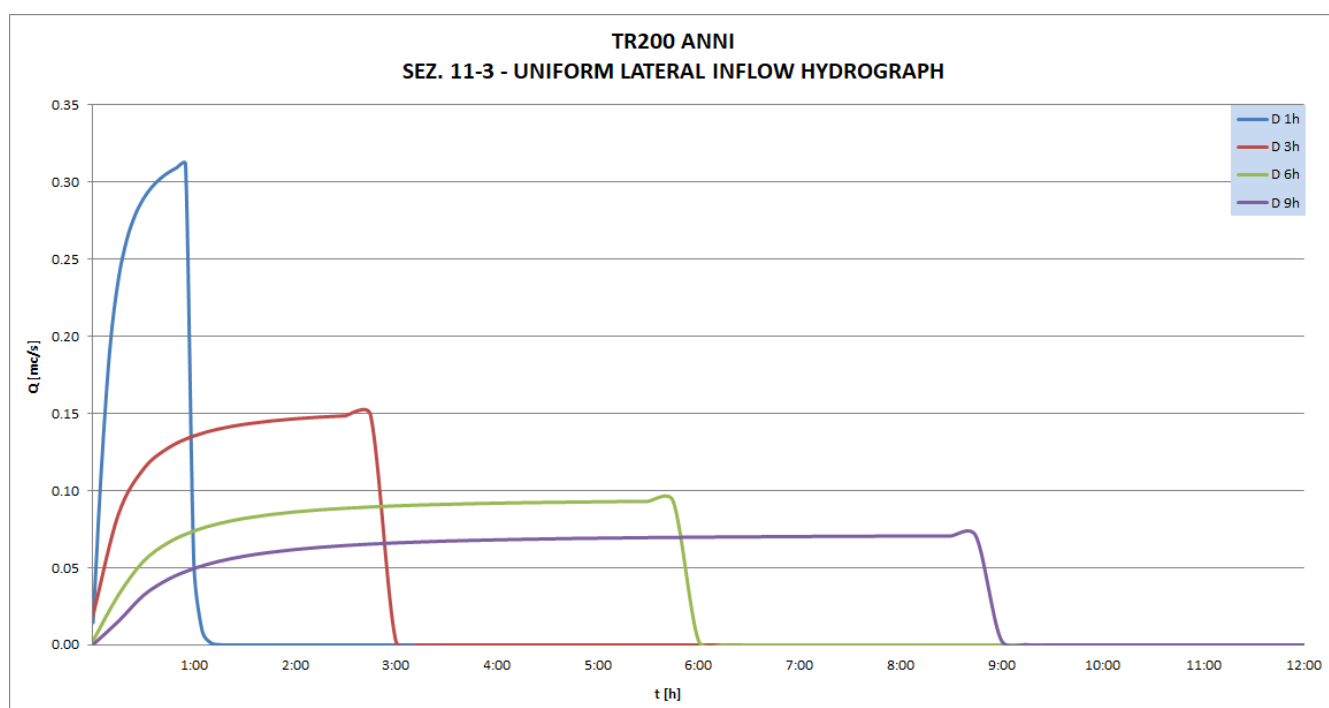
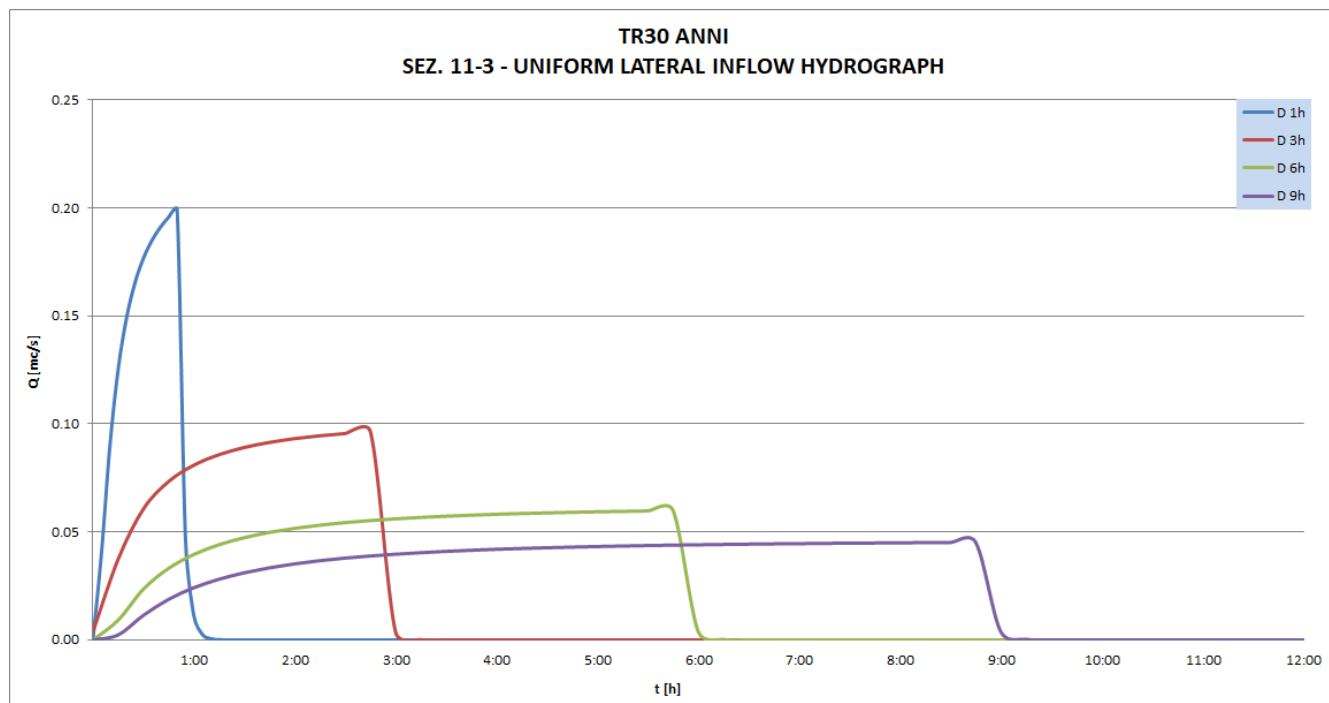


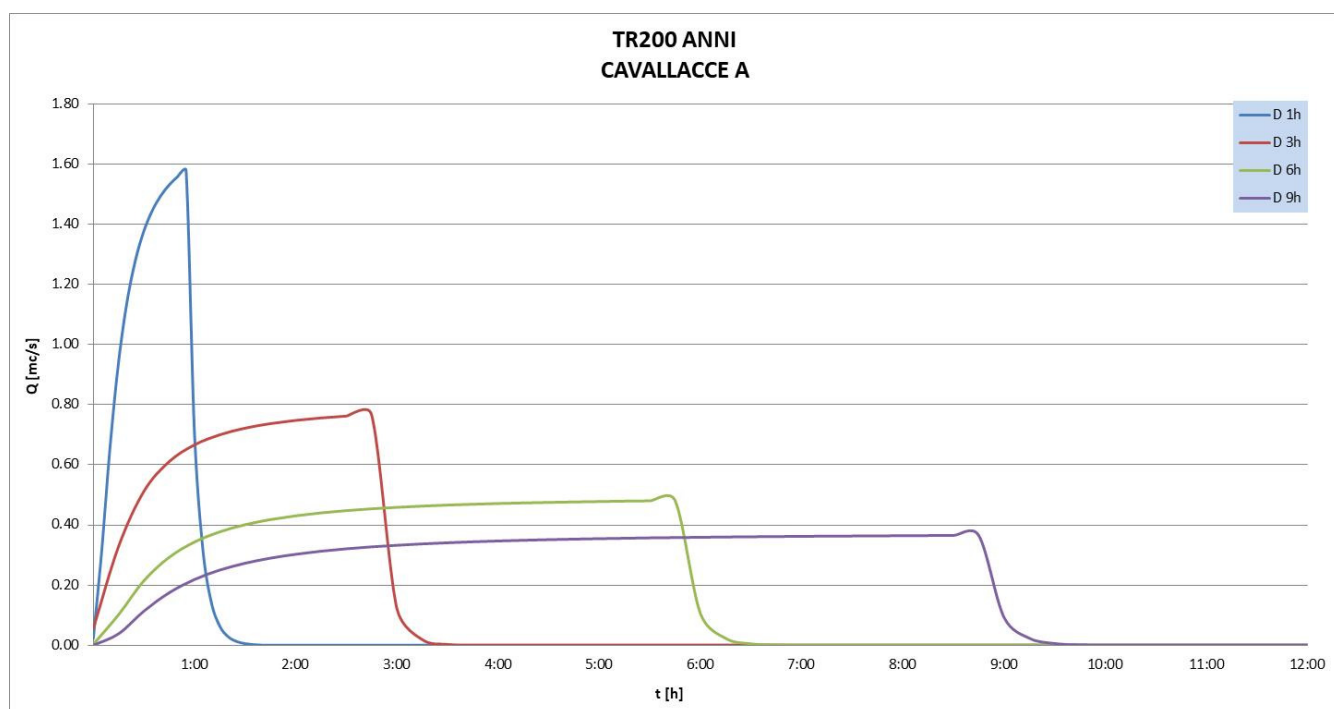
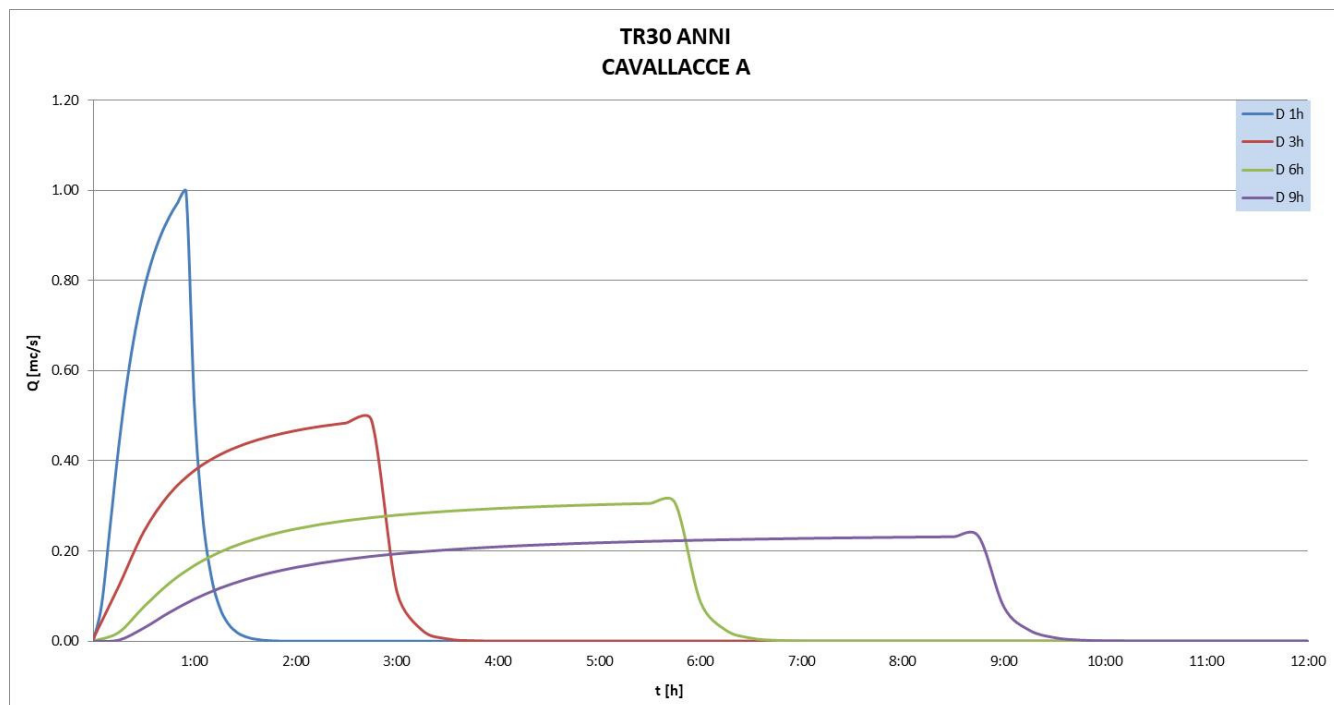


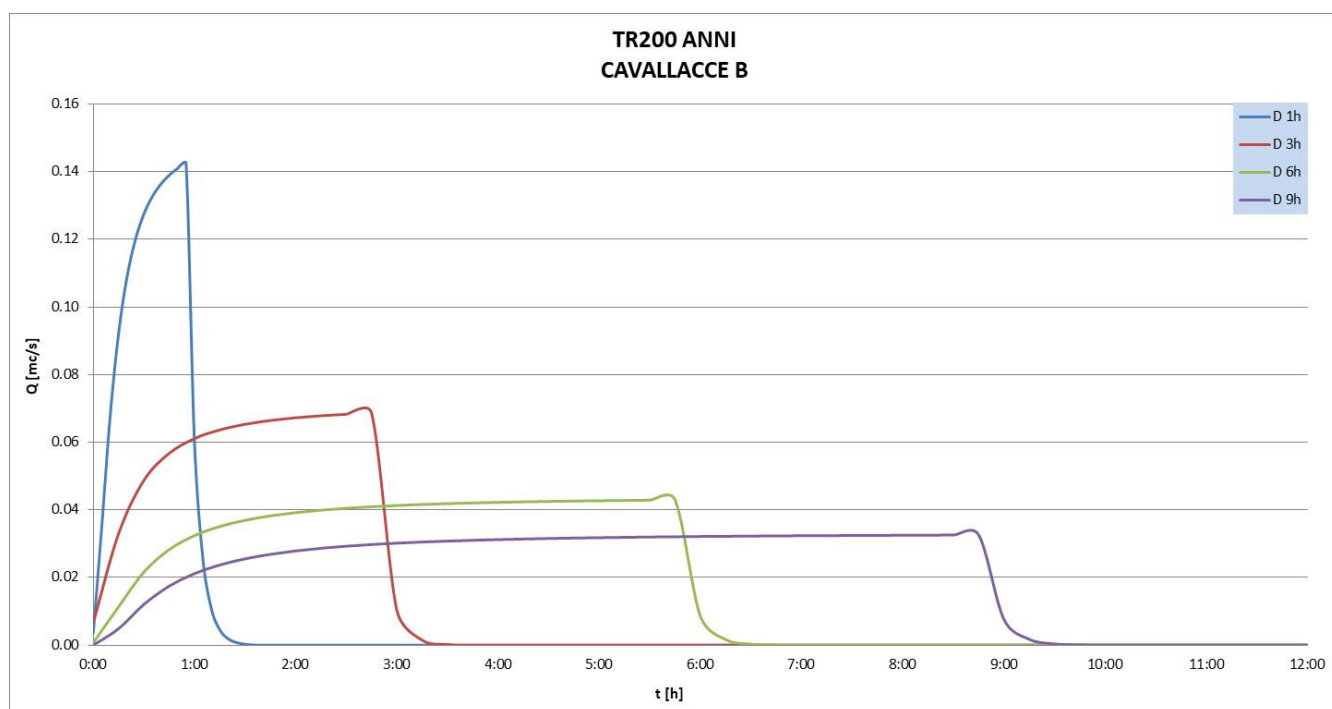
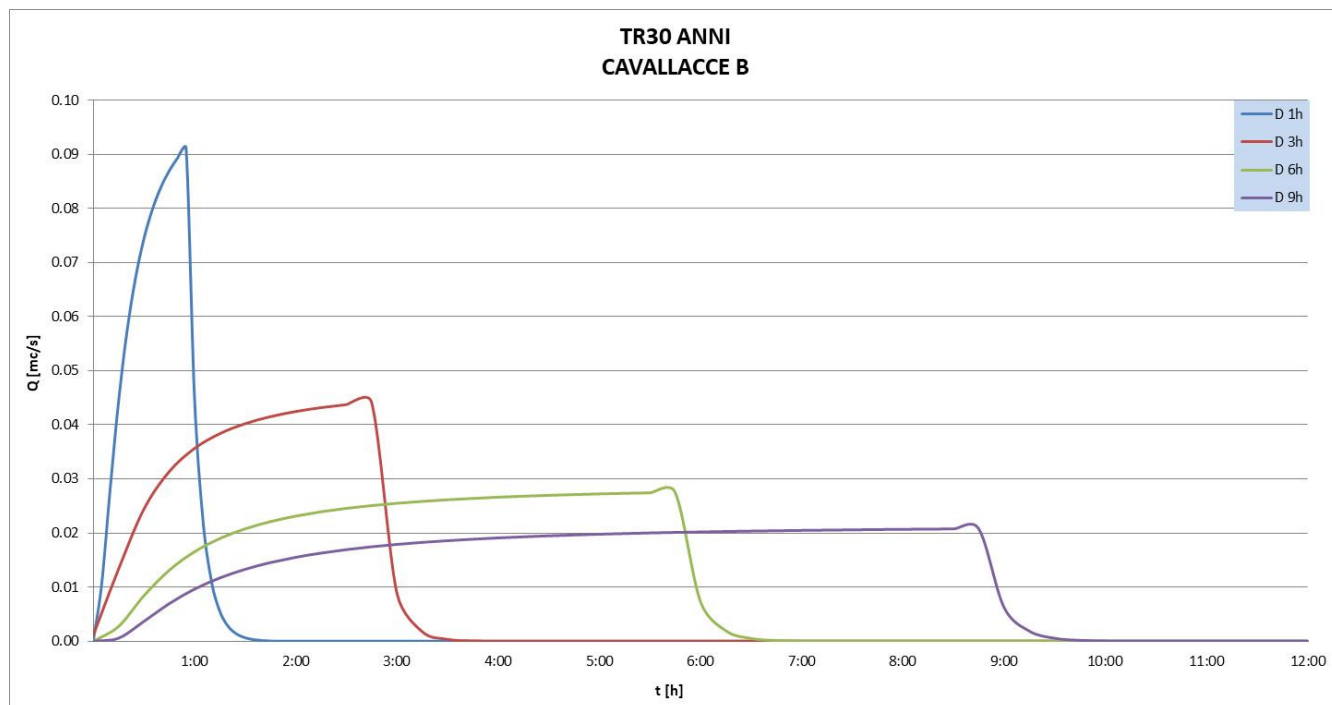
FOSSO DELLE CAVALLACCE



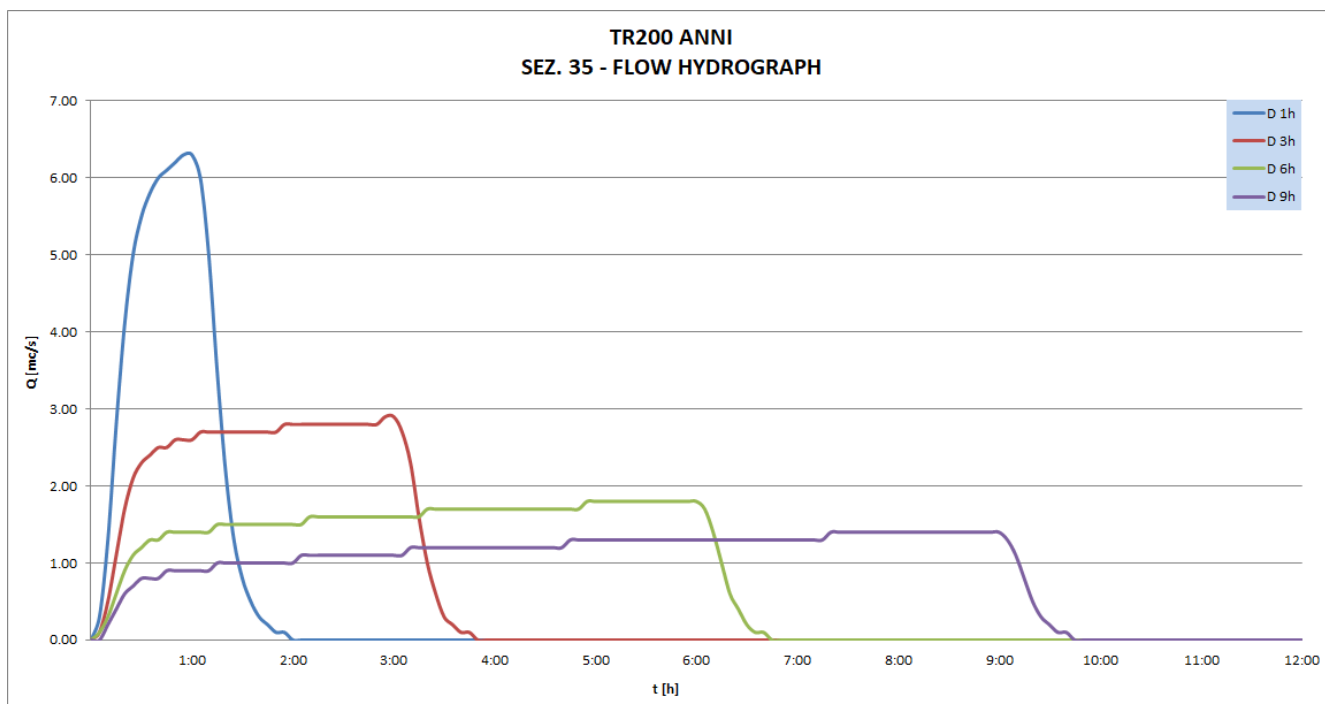
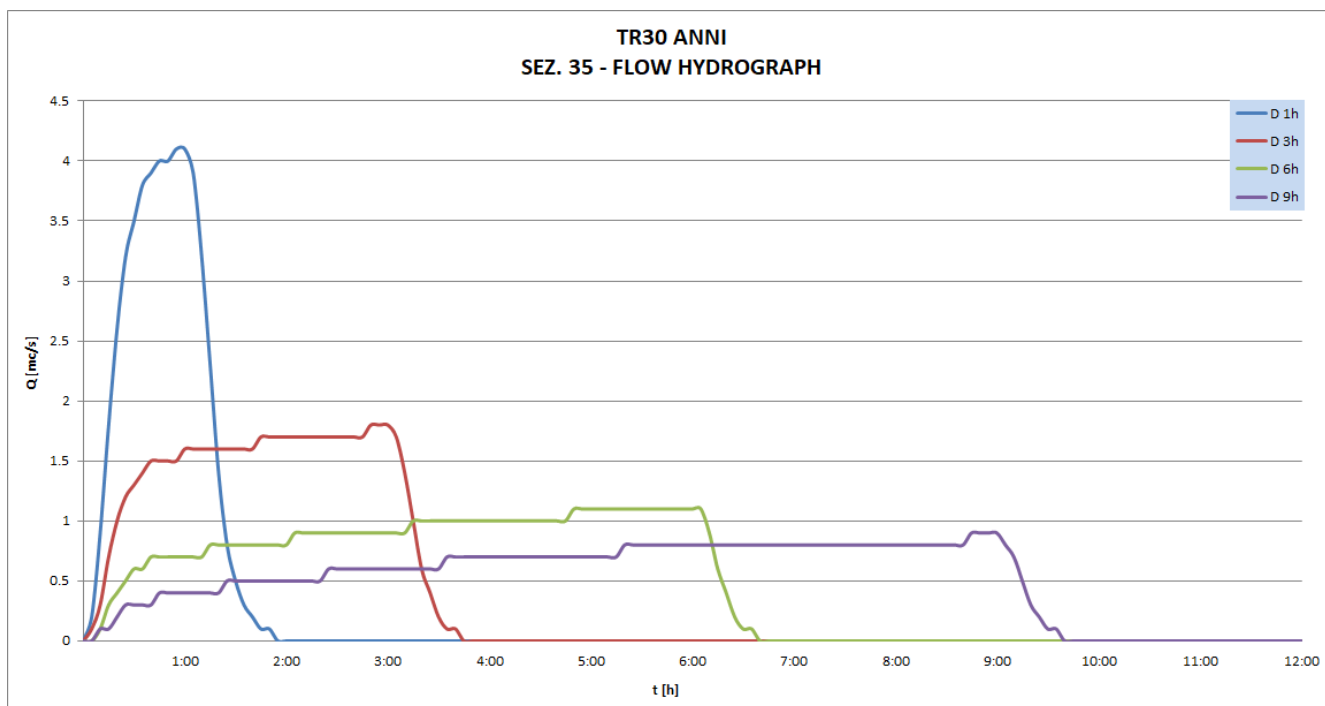


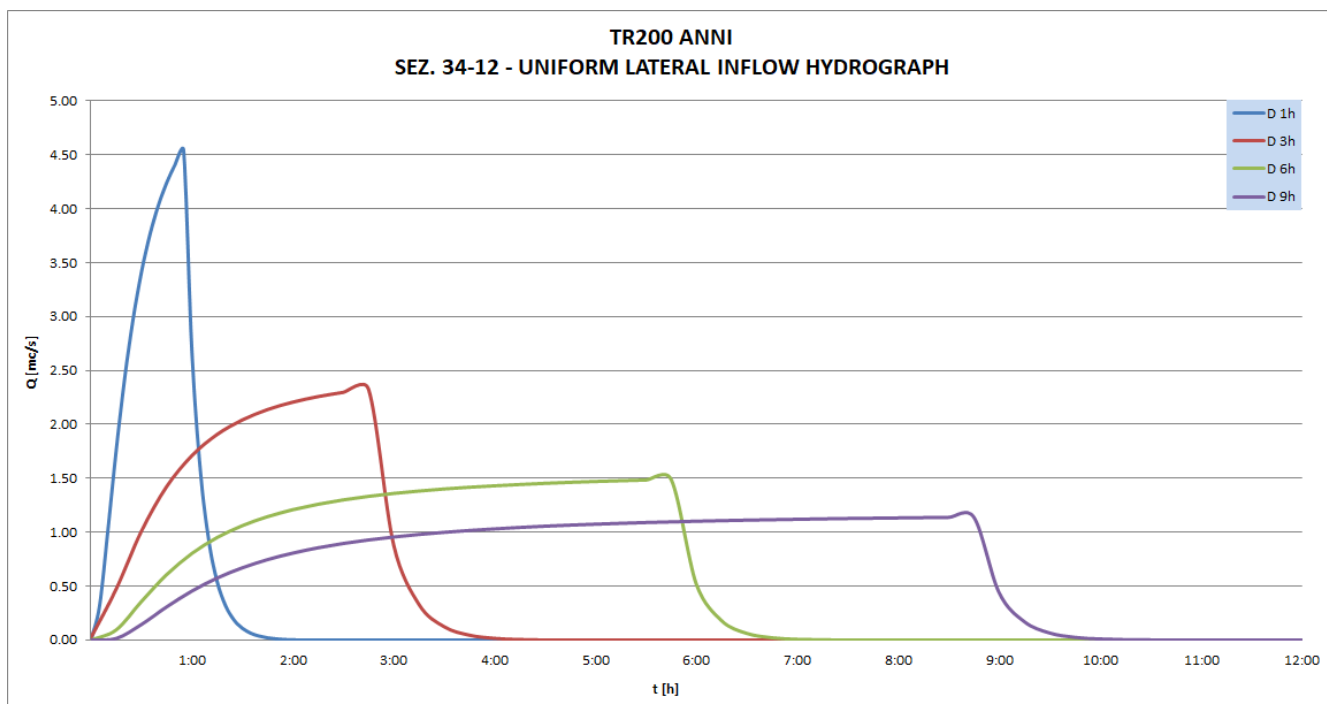
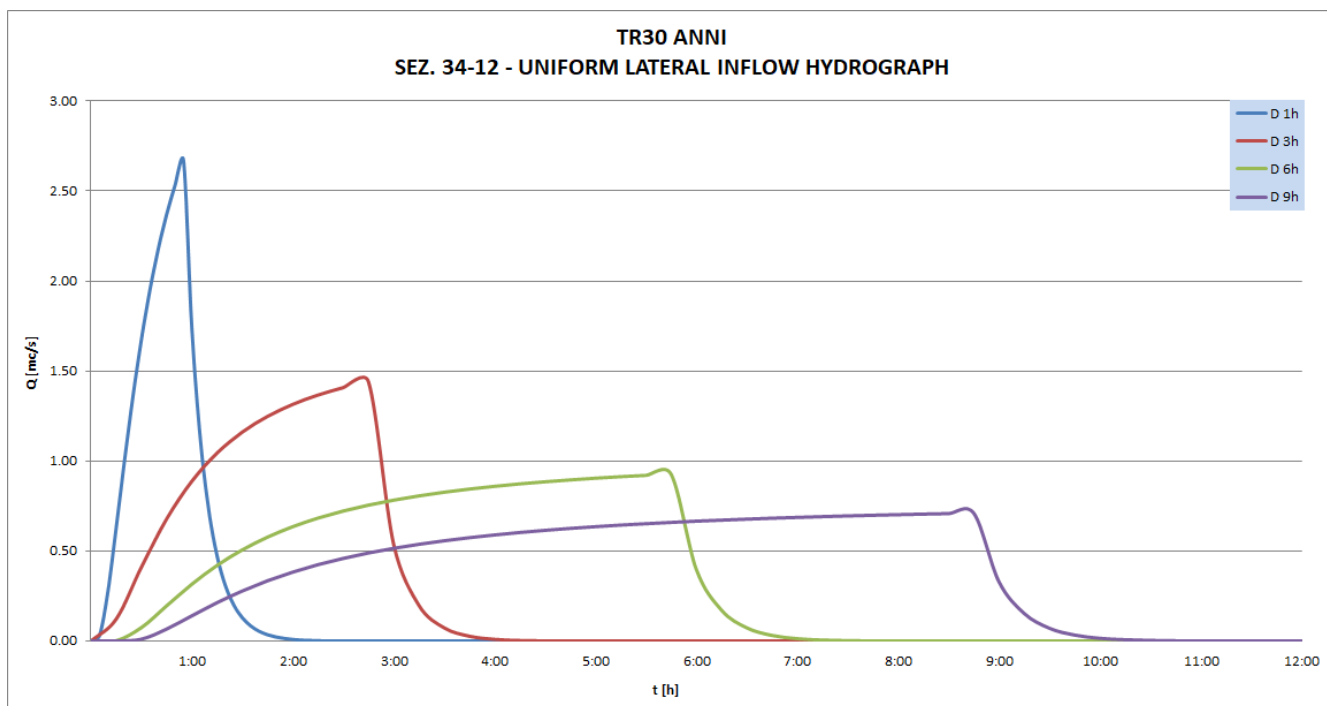


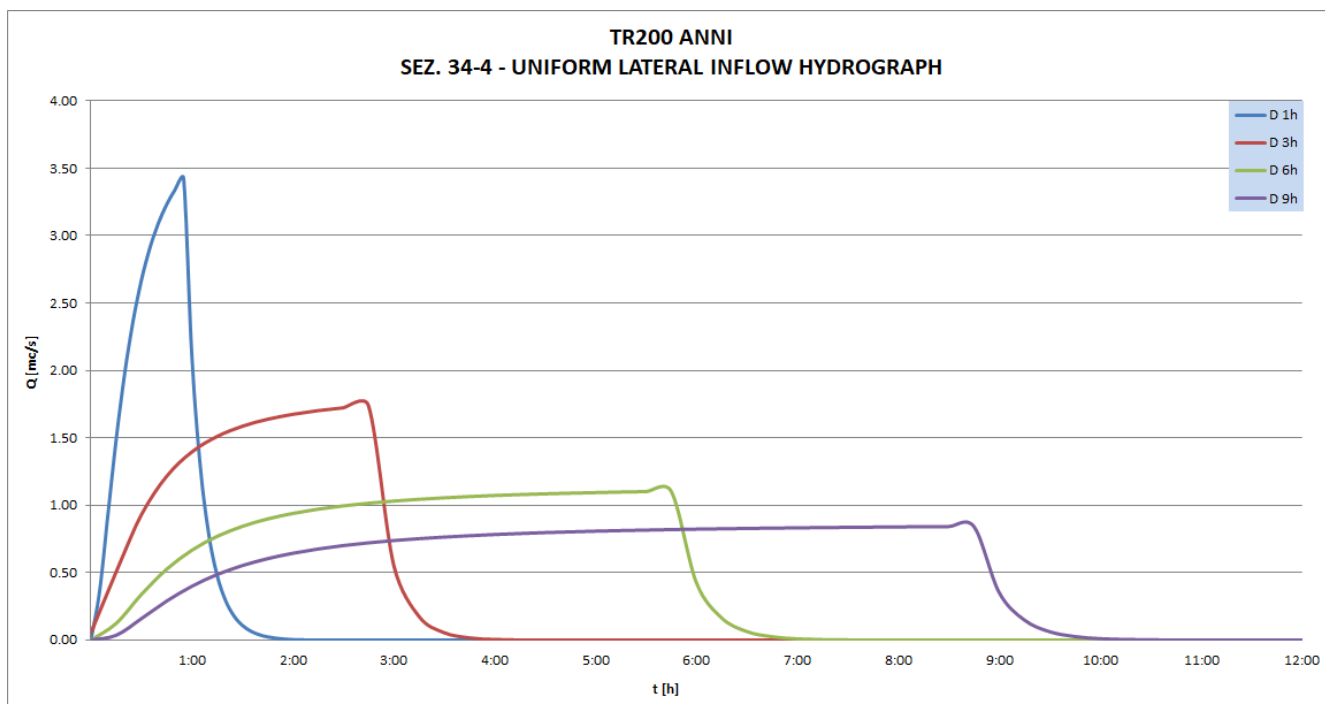
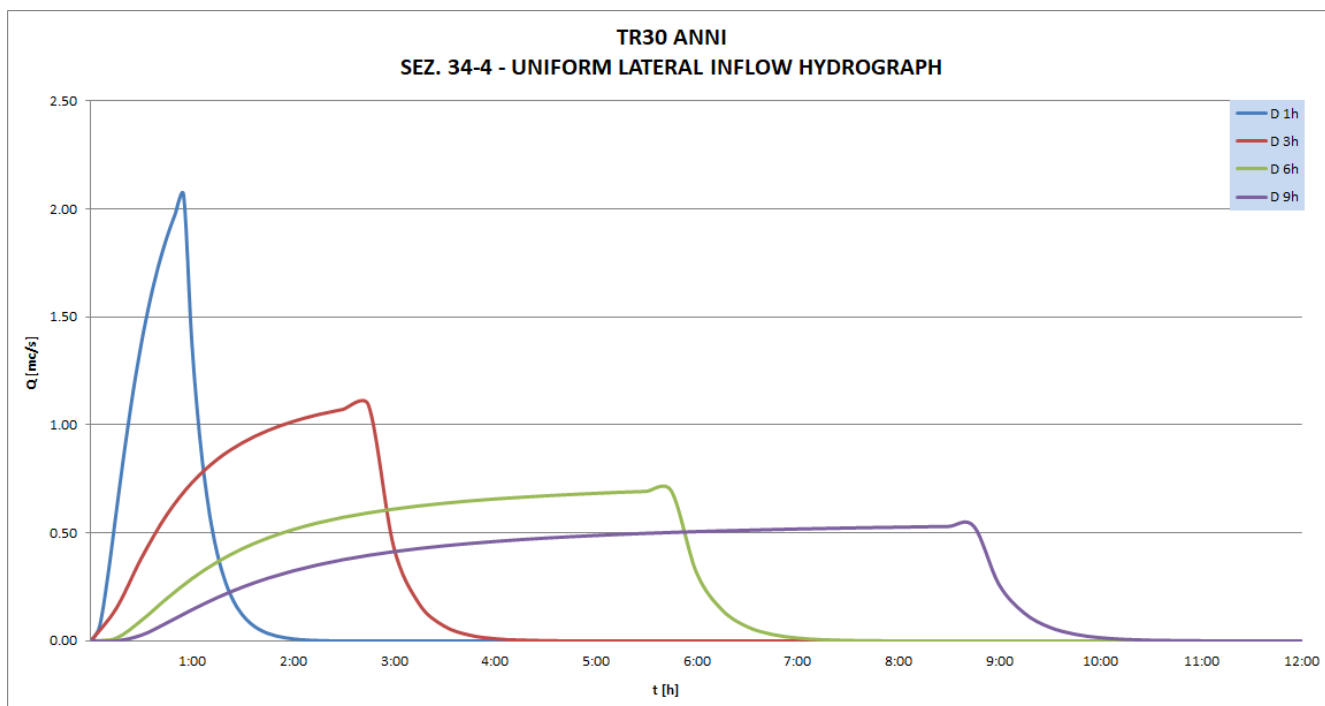




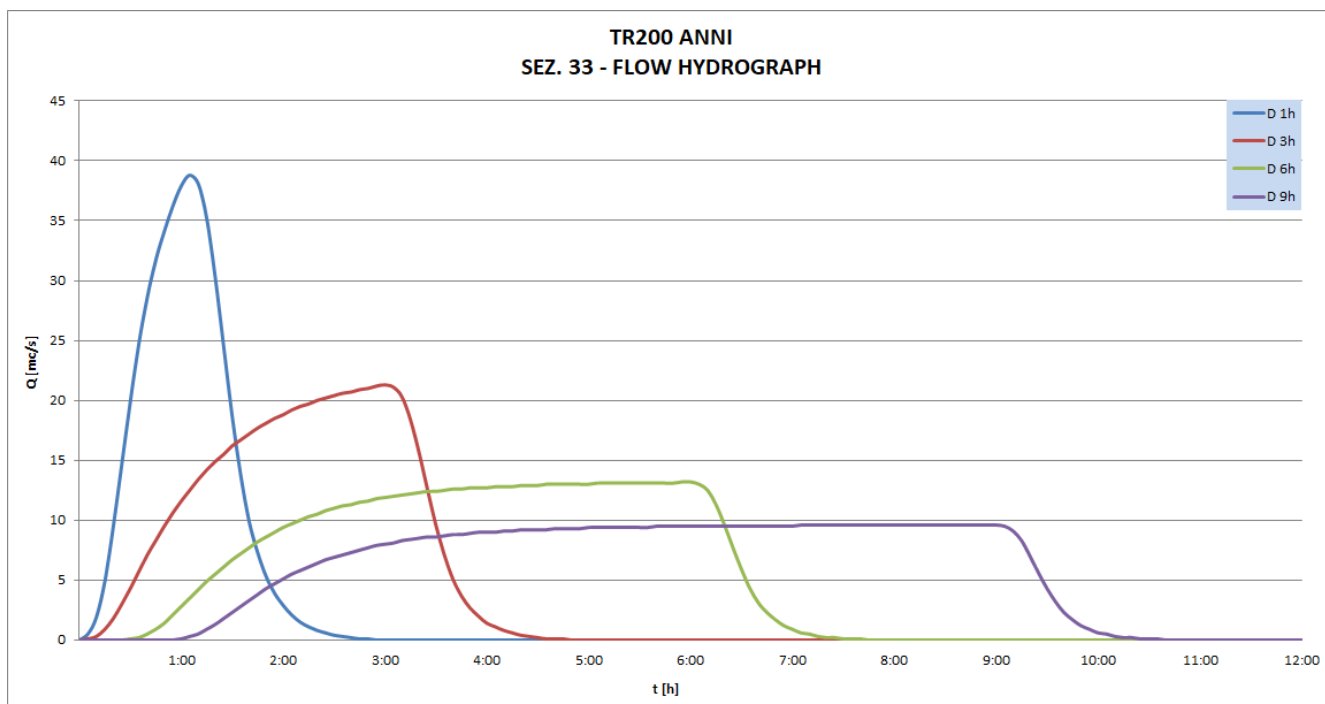
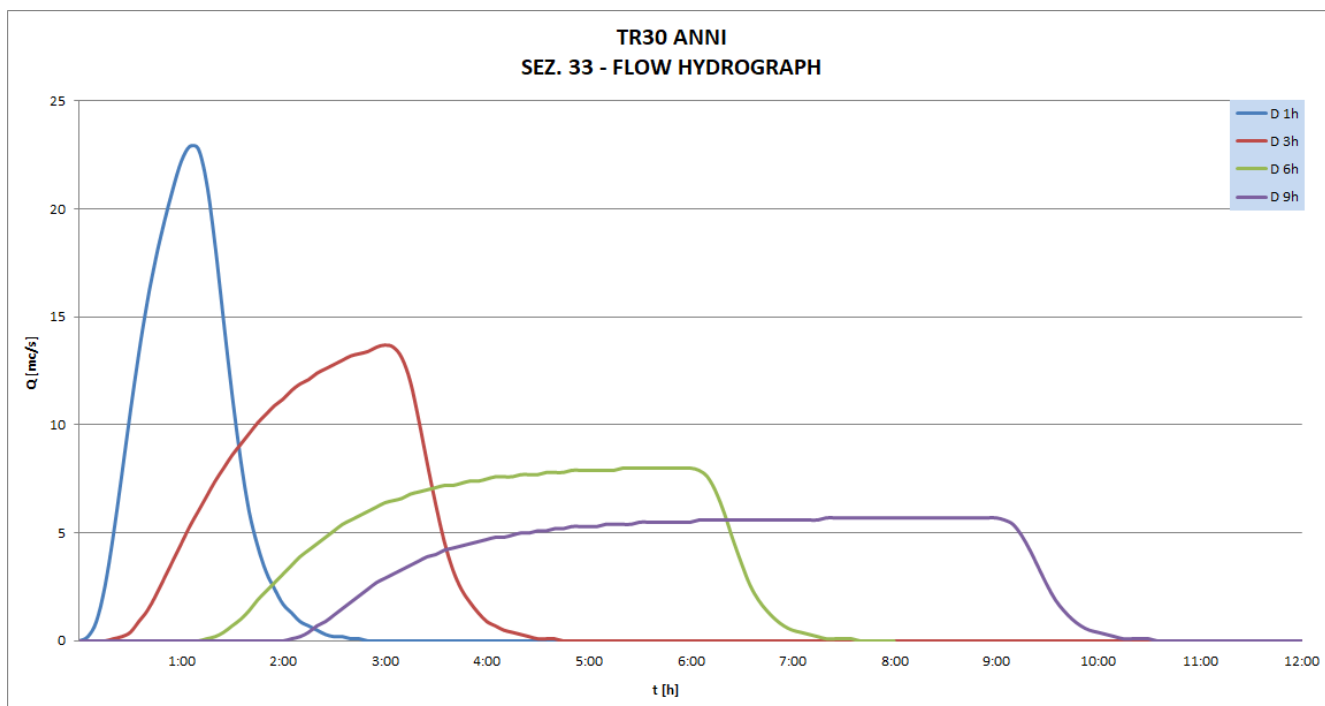
FOSSO DEI FORTI

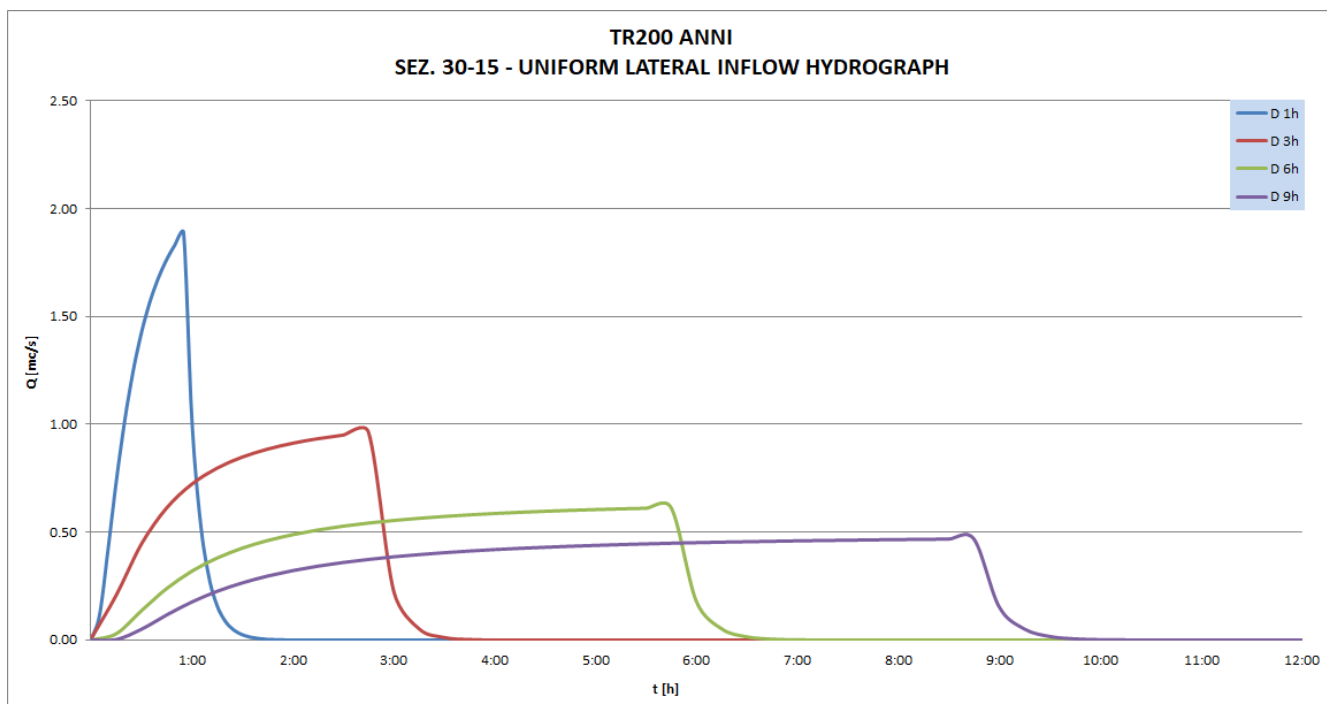
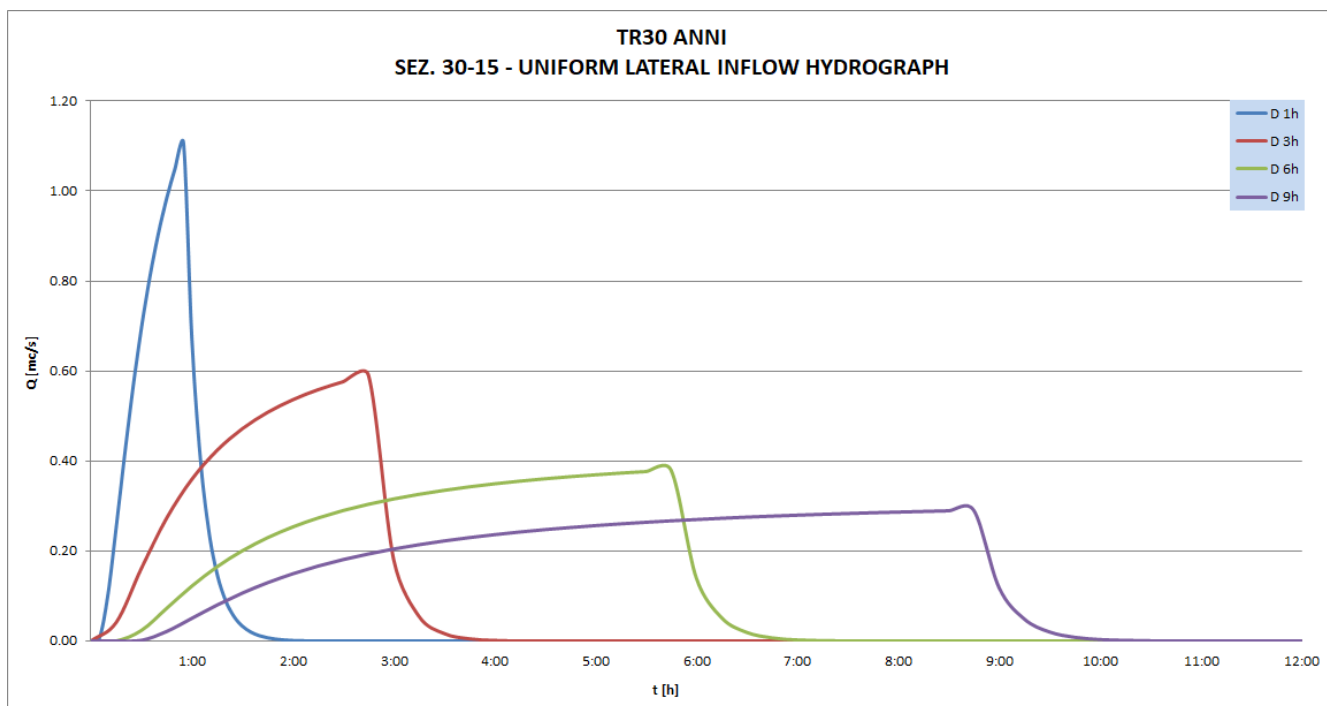


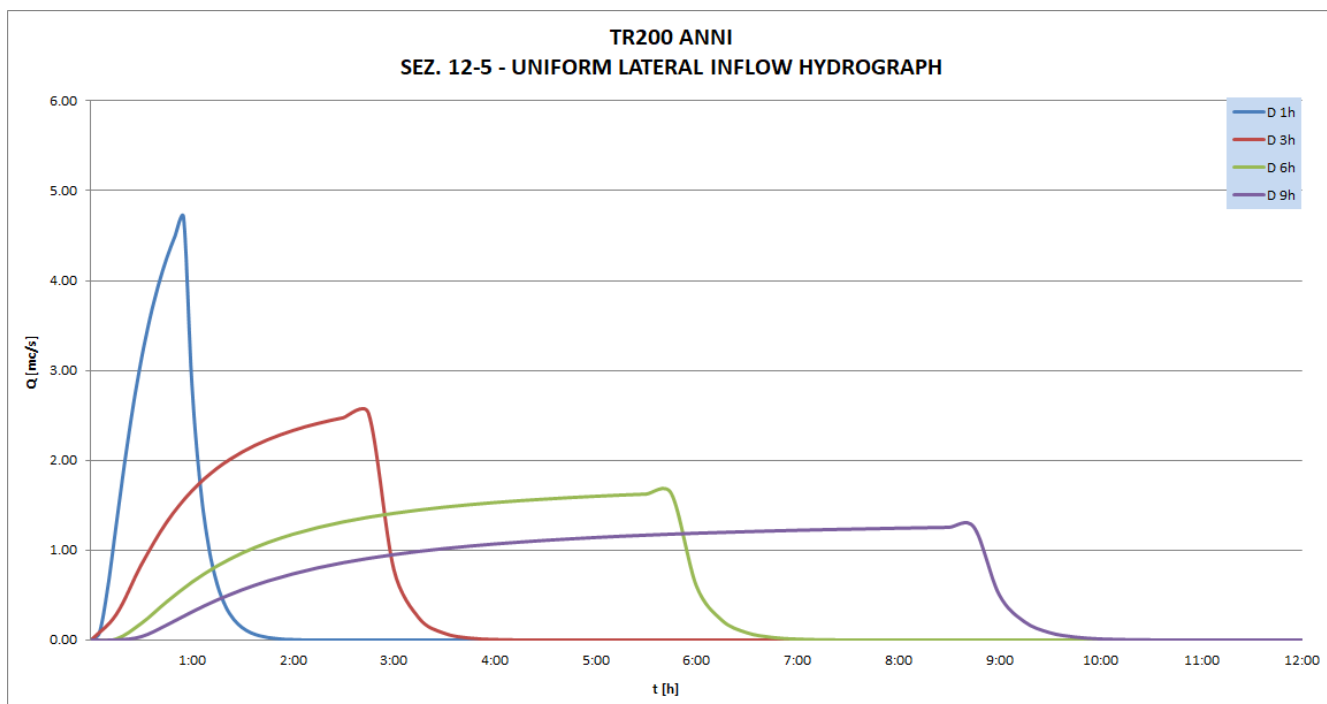
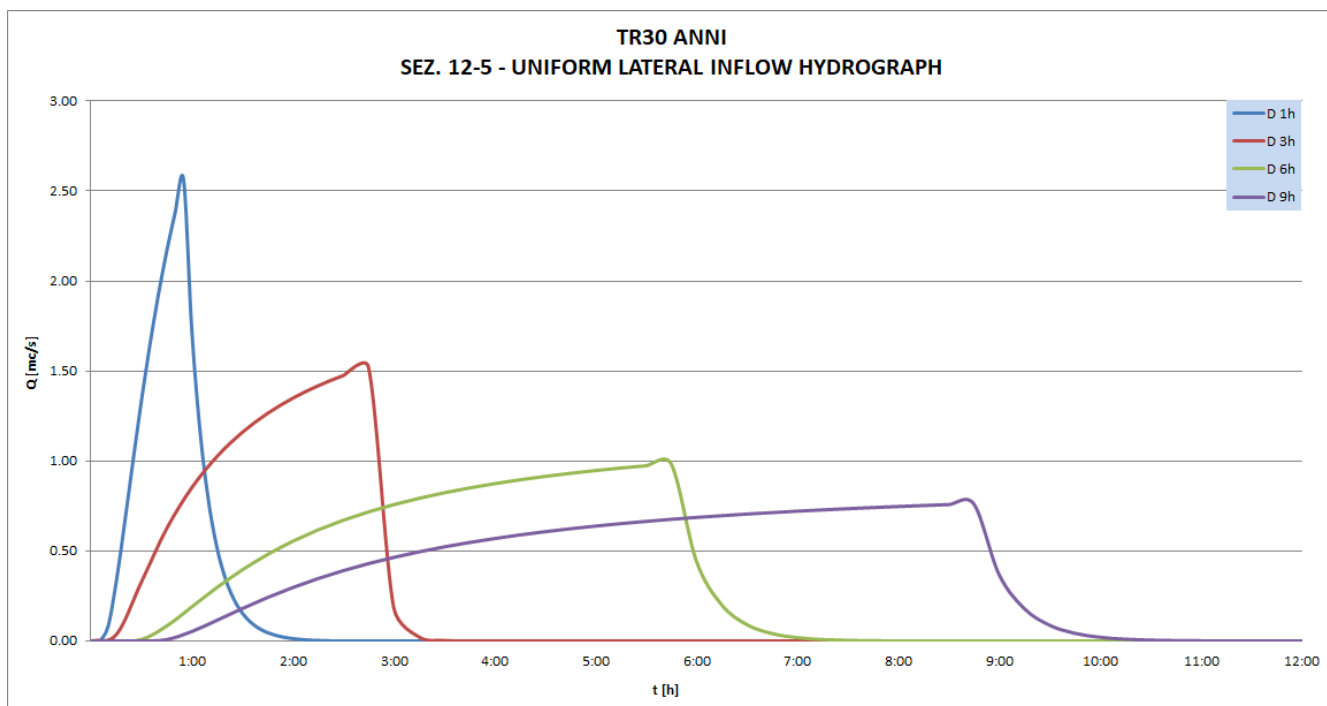


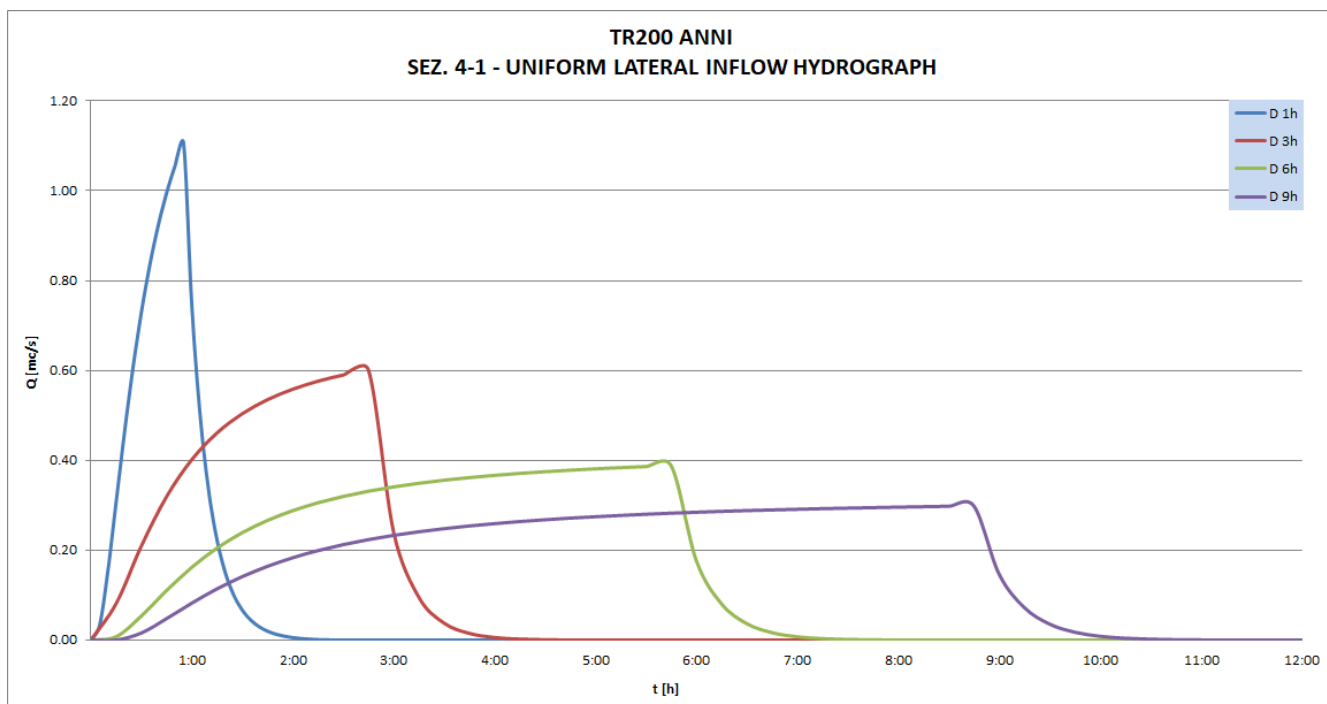
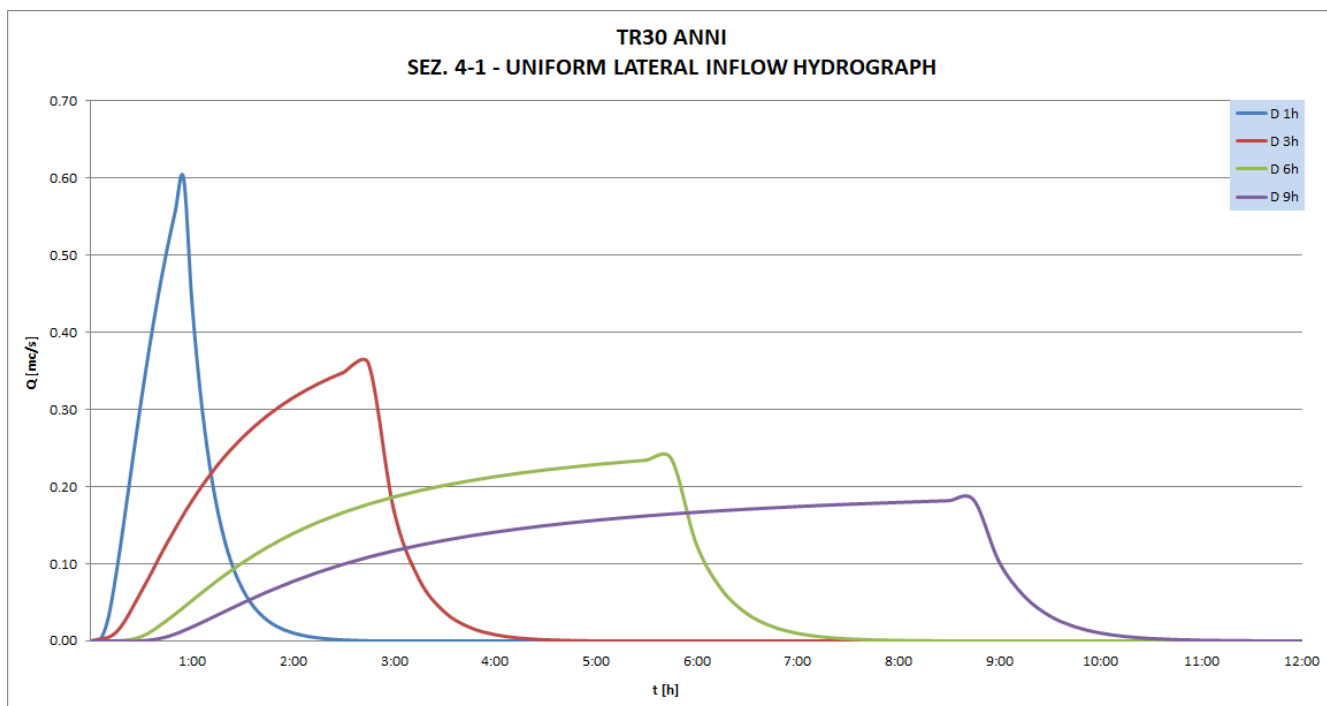


FOSSO DI MORIONE

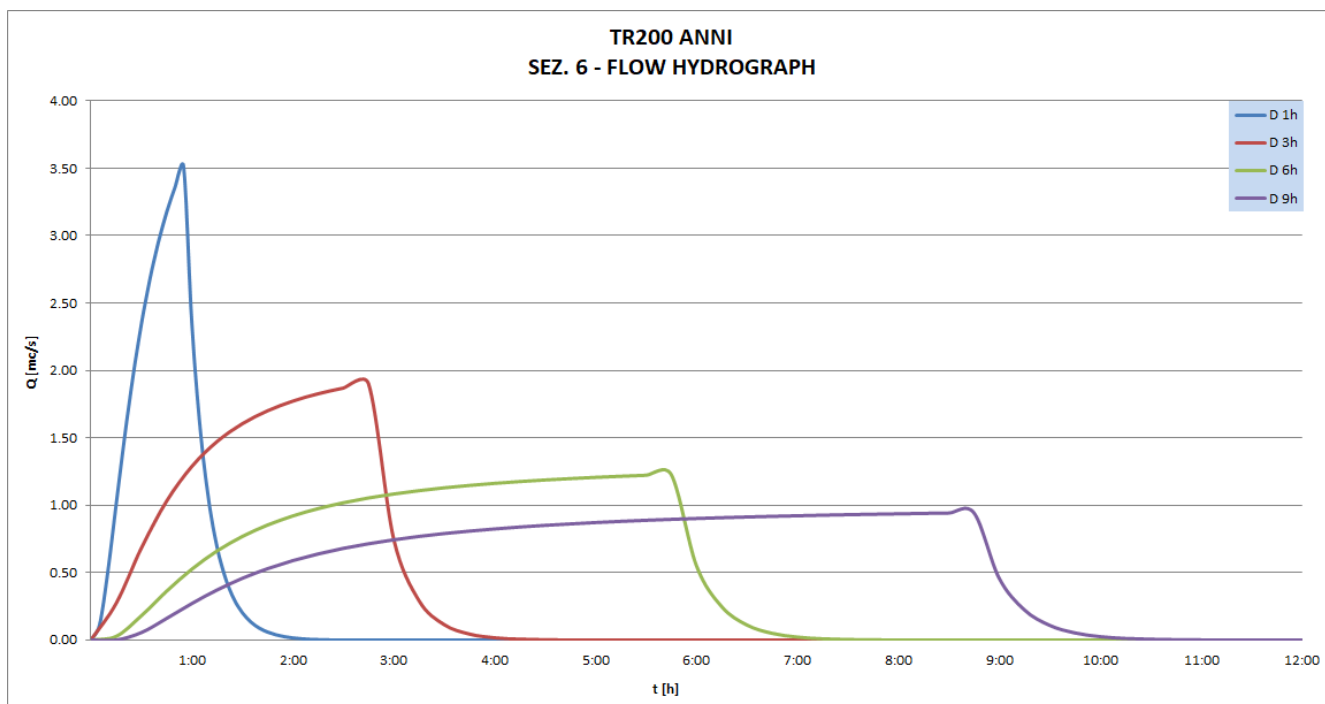
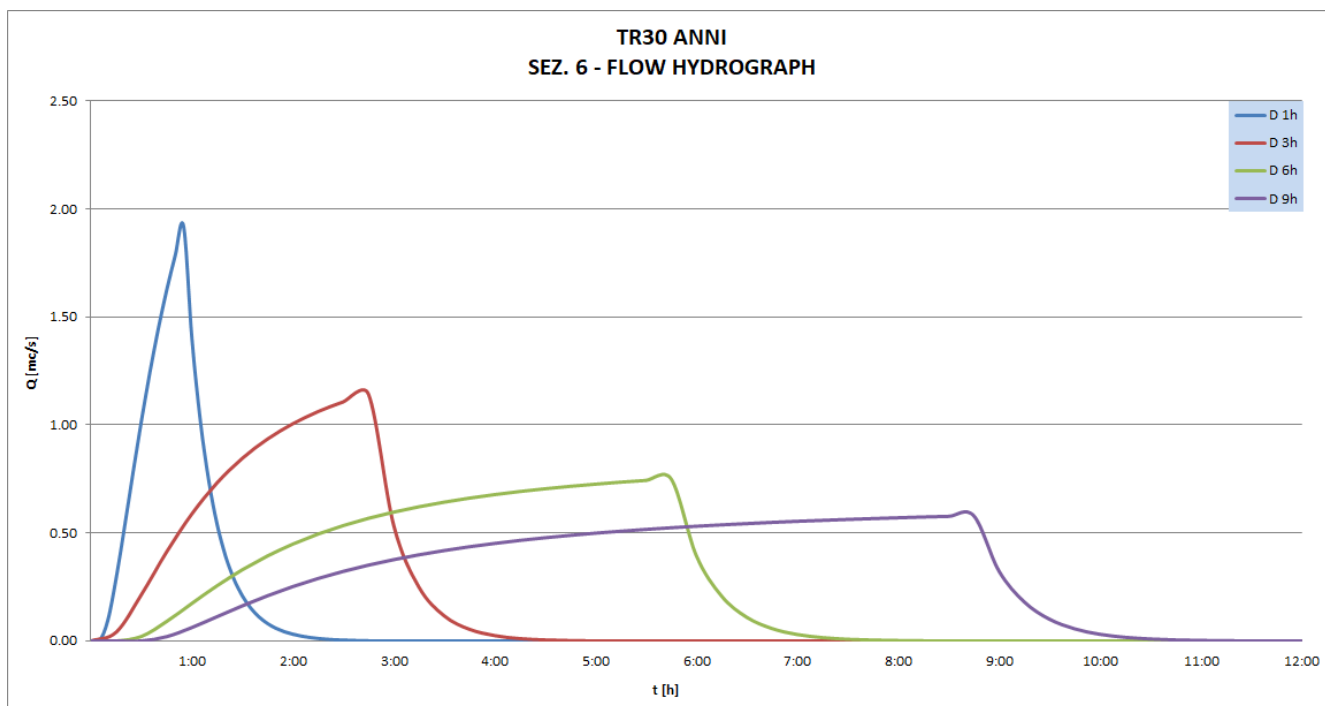




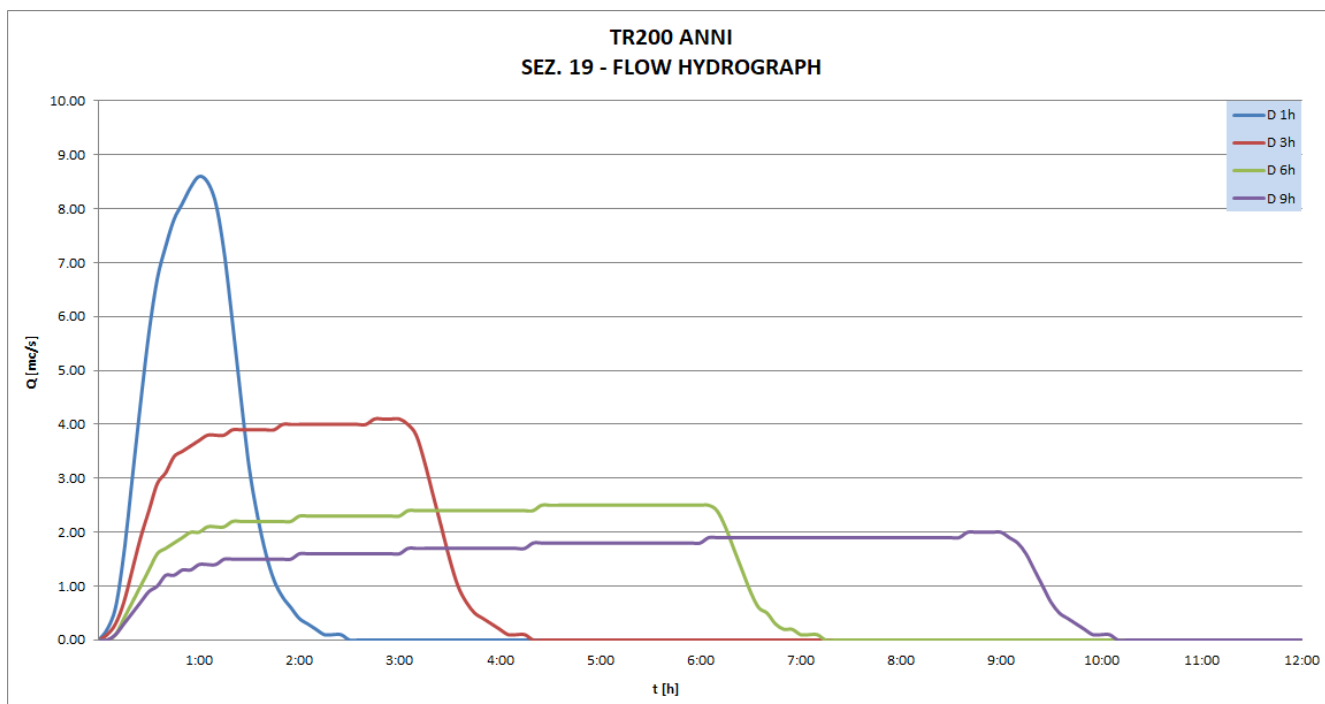
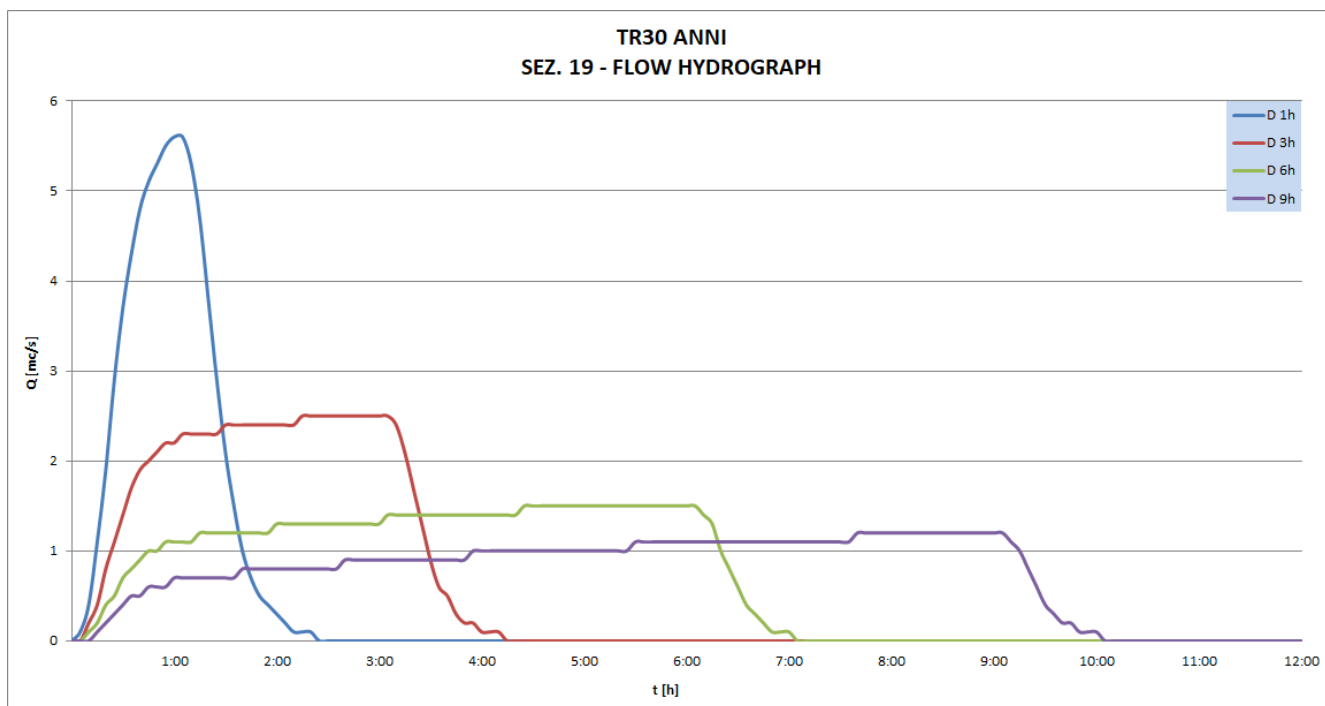


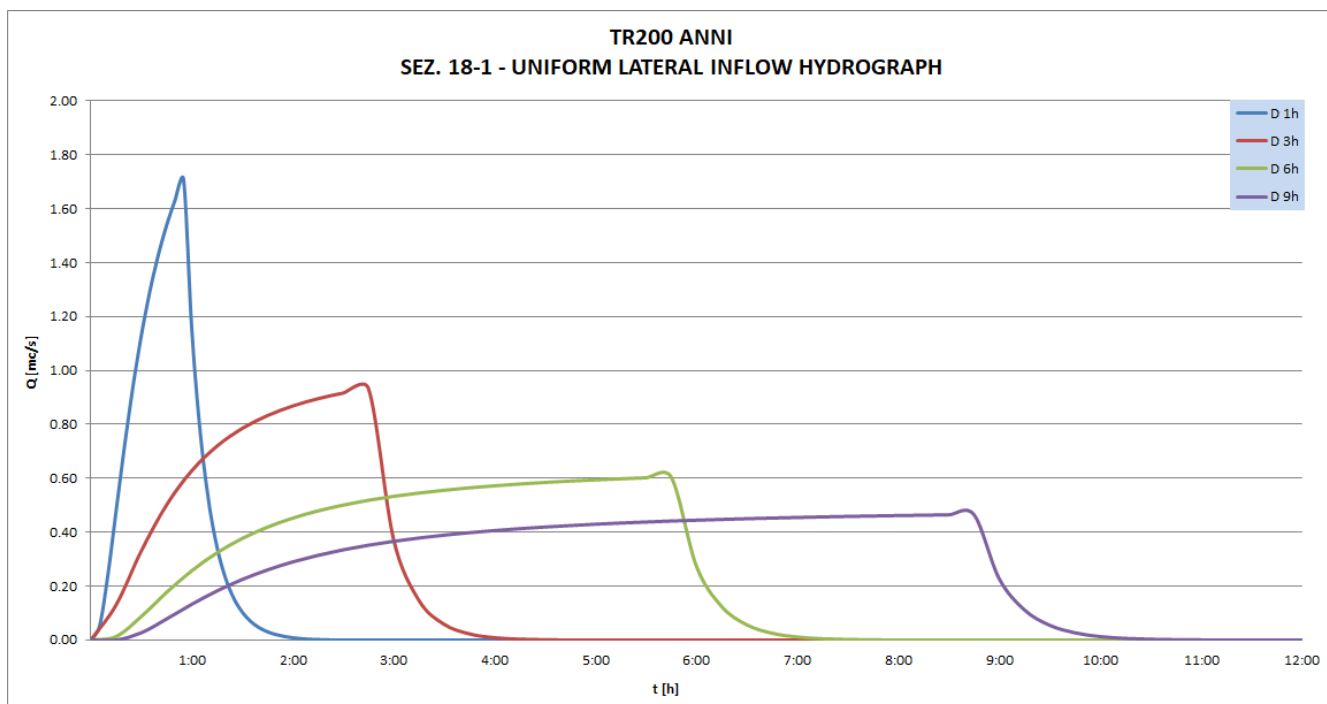
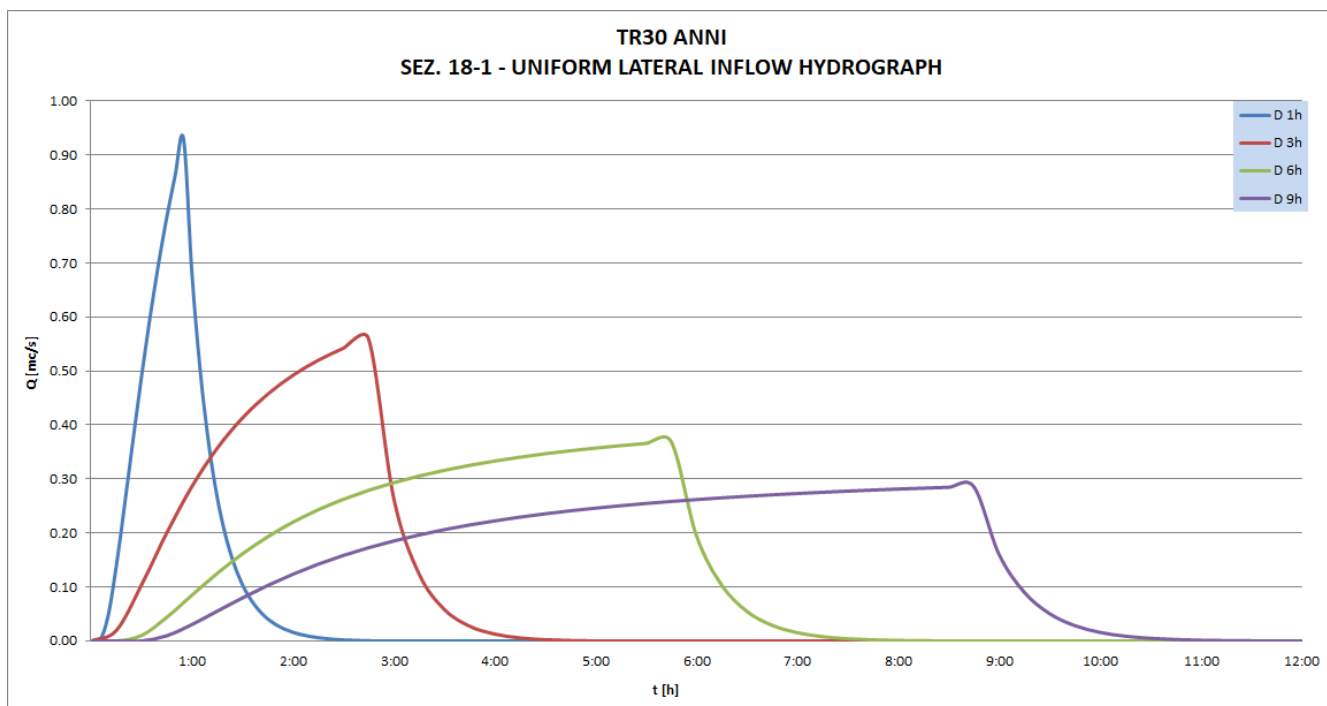


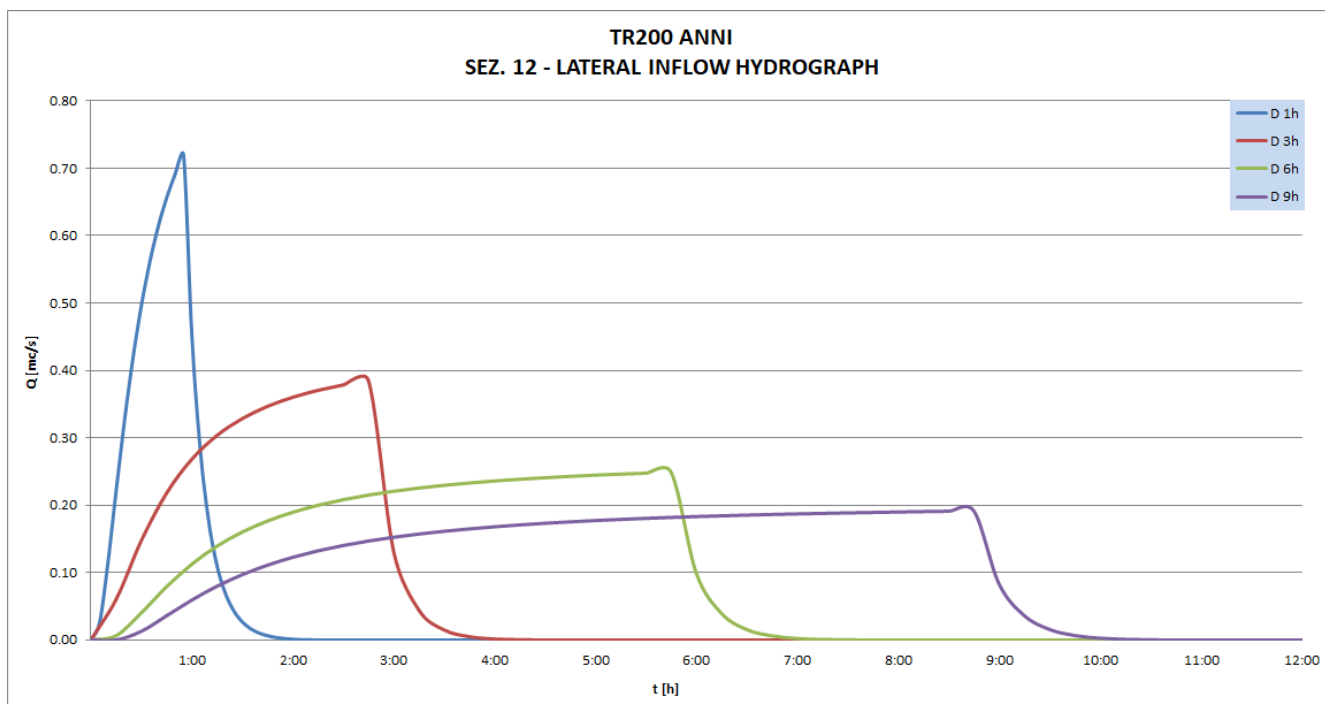
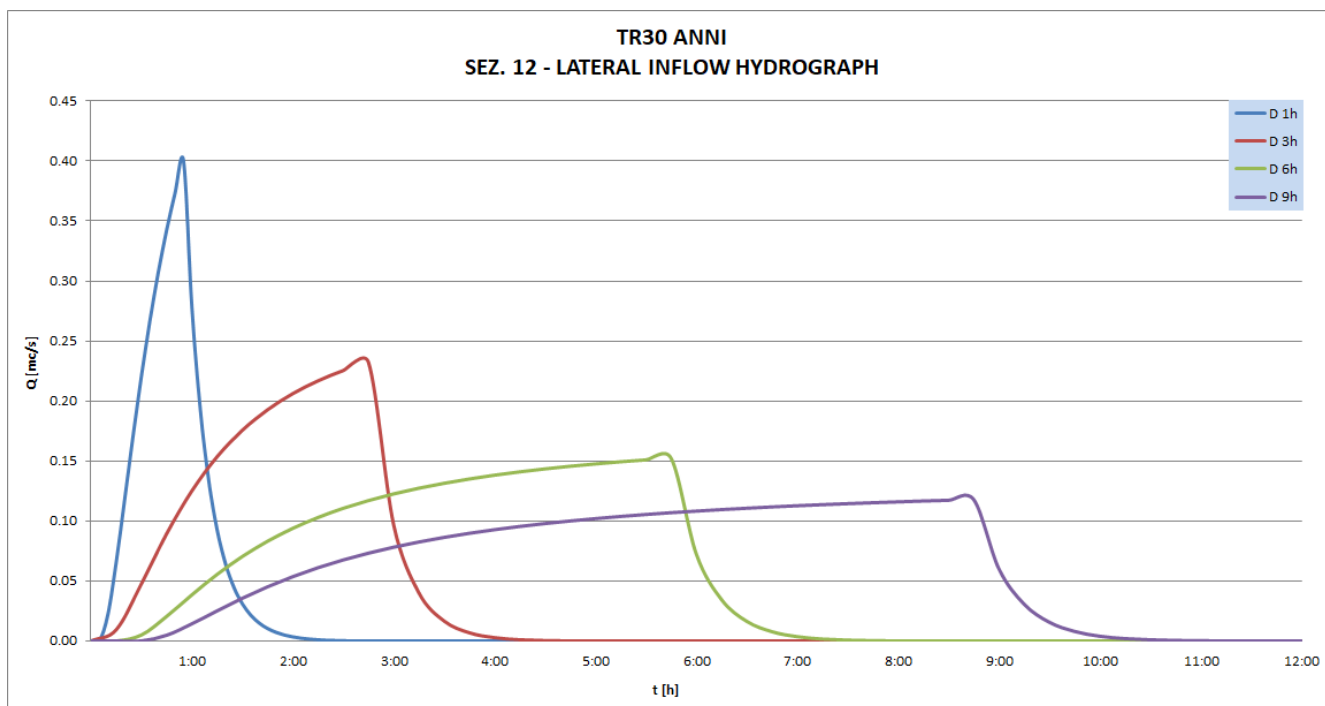
FOSSO DEL PRATONE

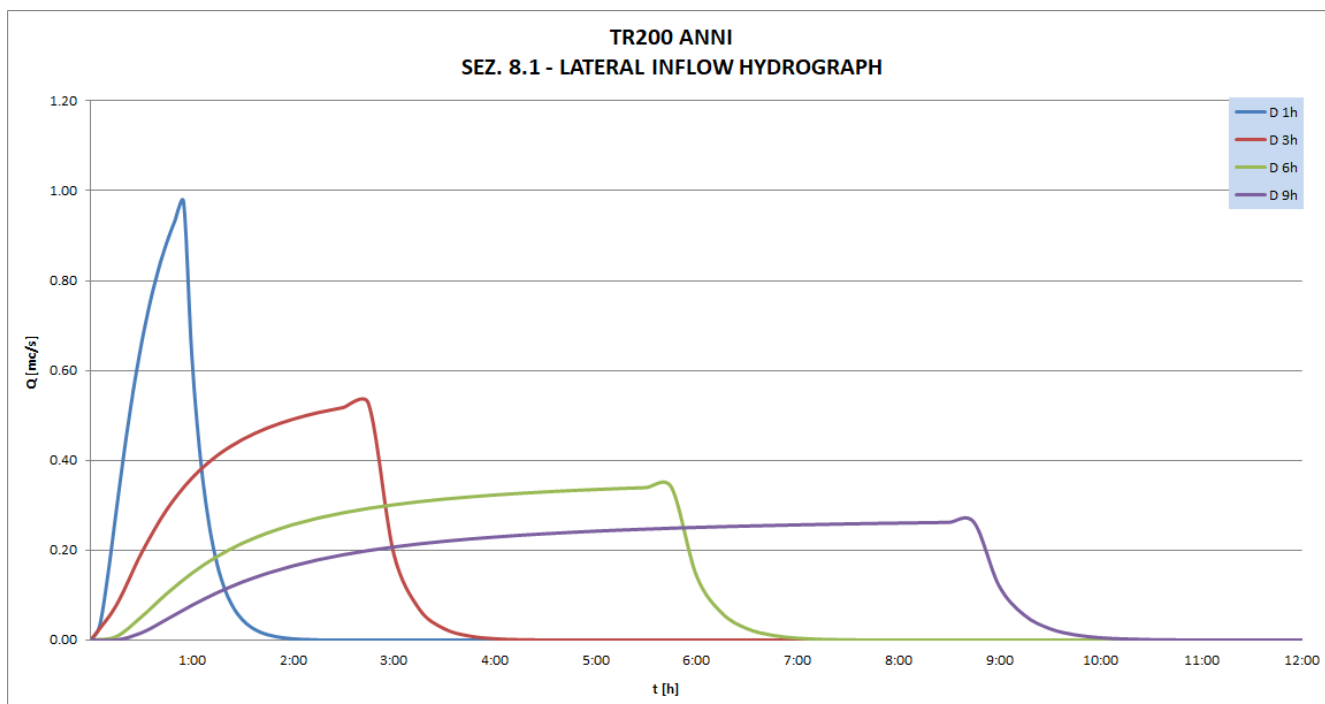
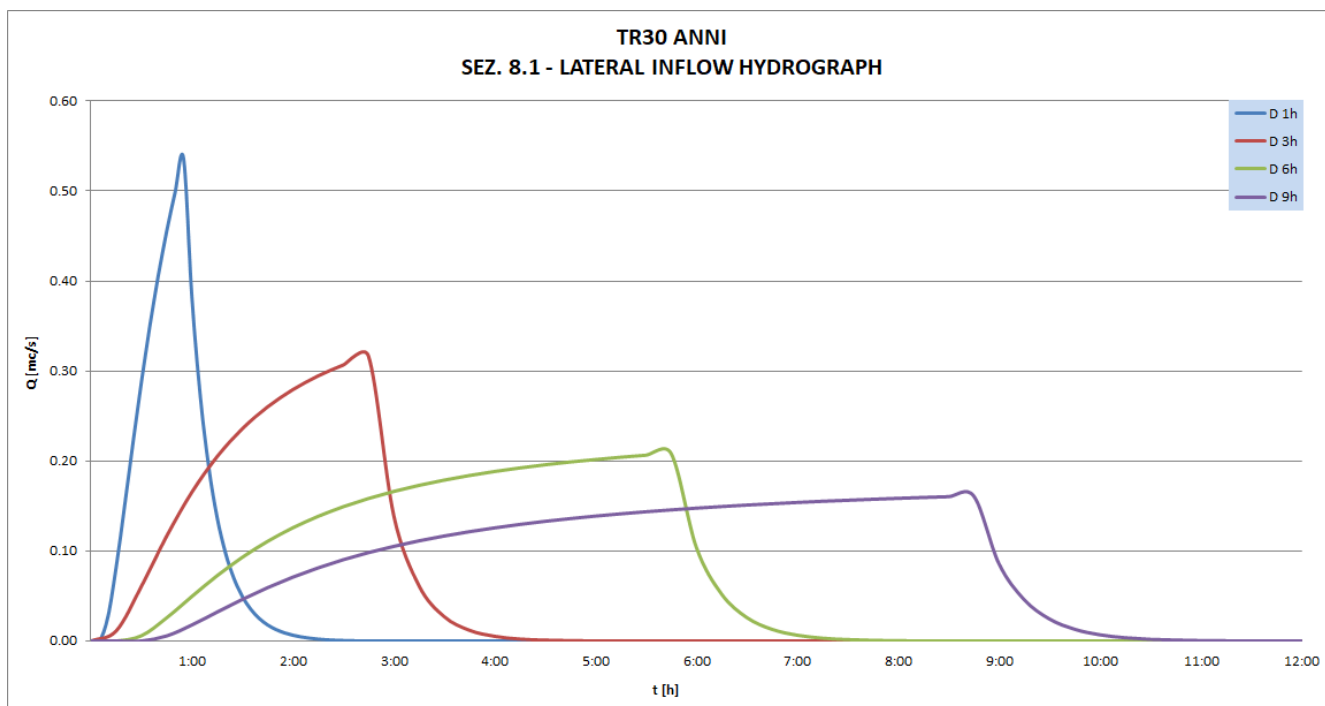


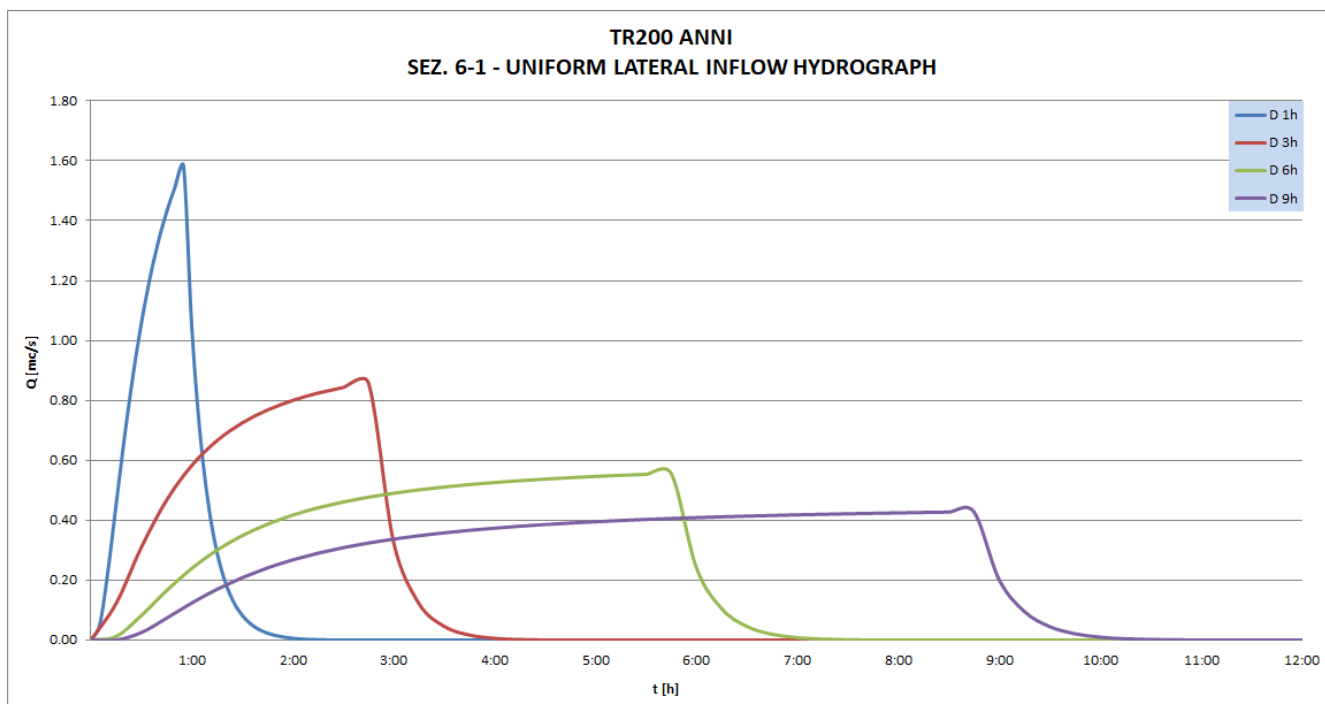
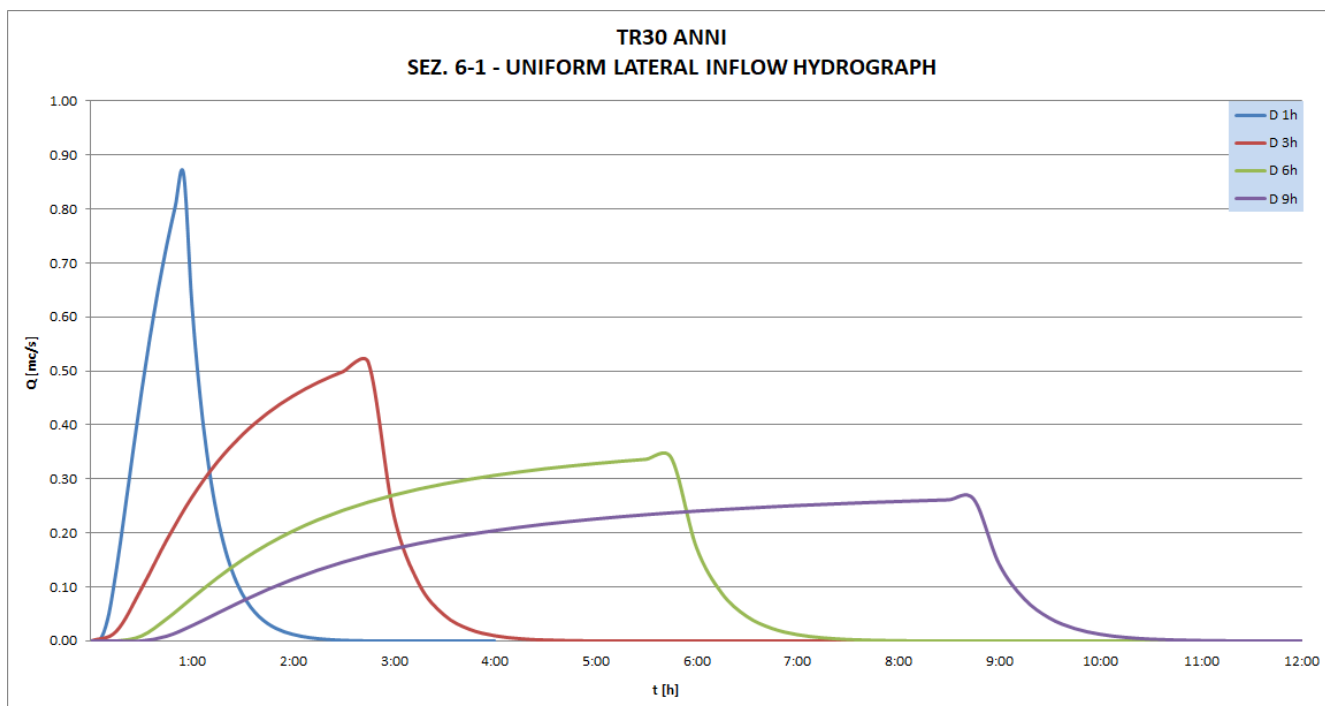
FOSSO RAMELLO



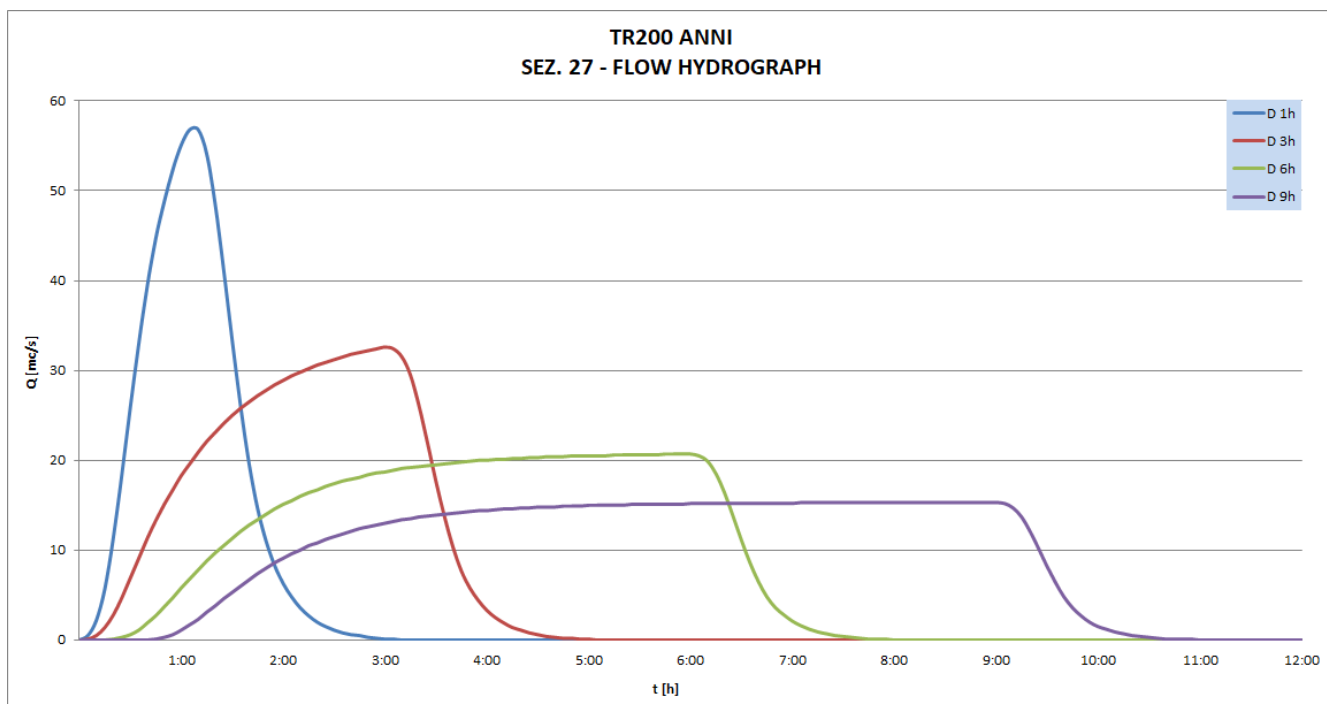
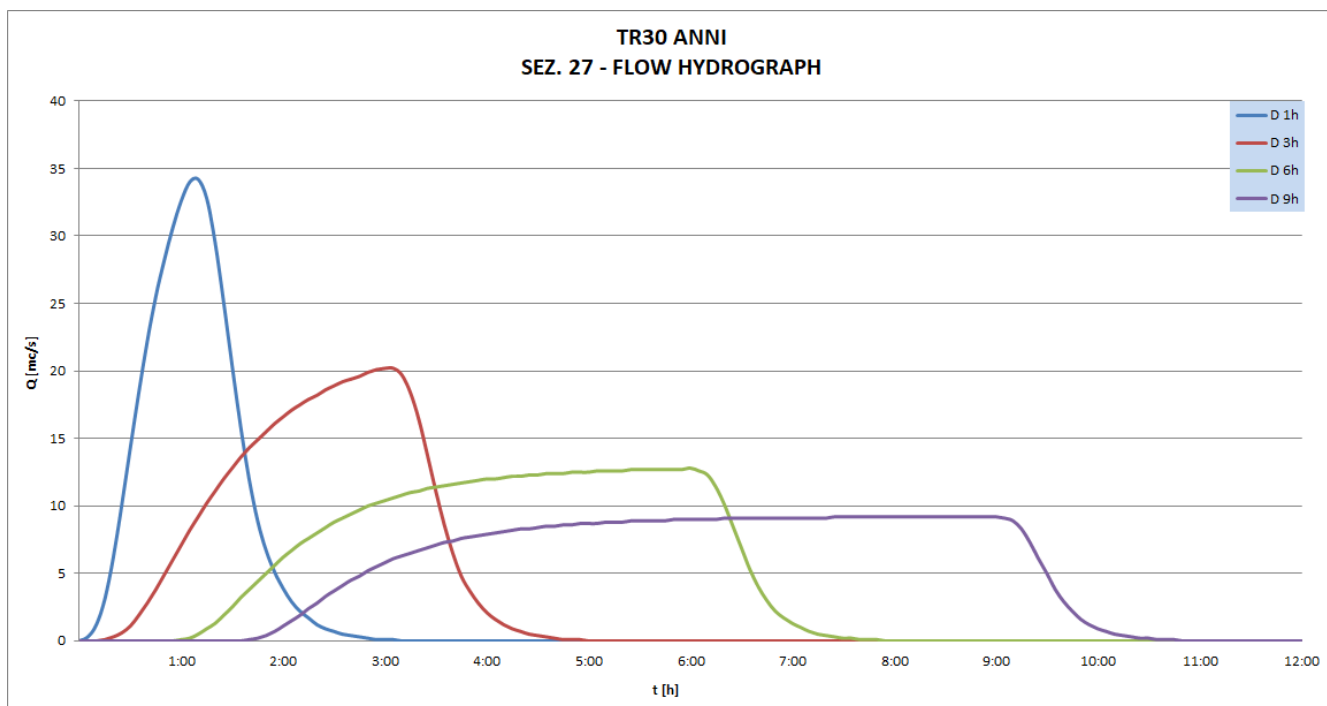


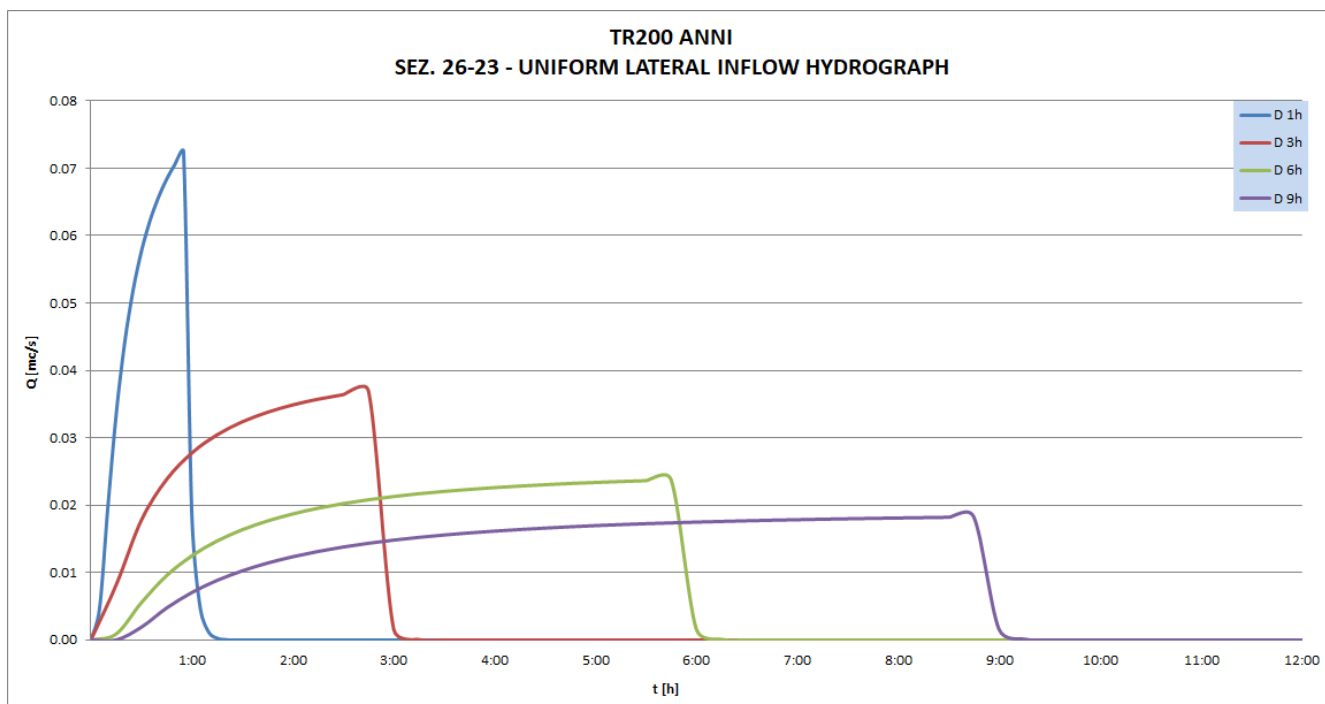
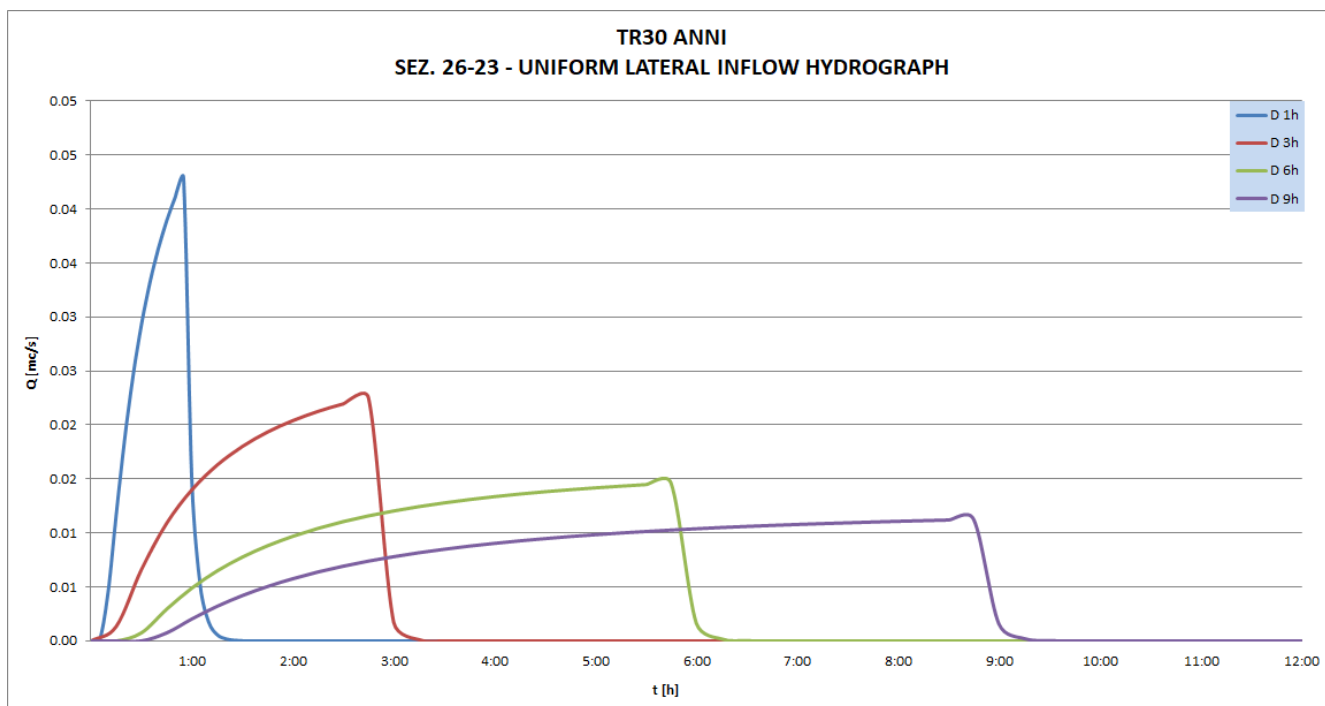


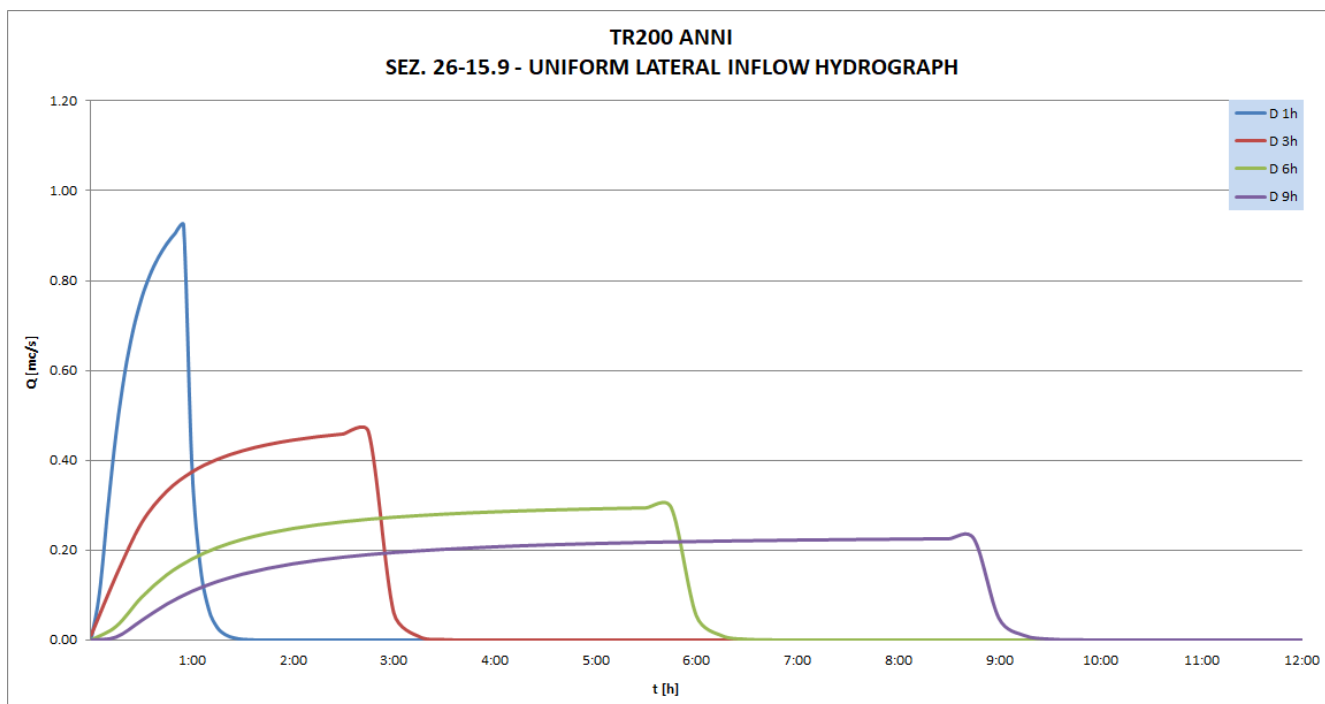
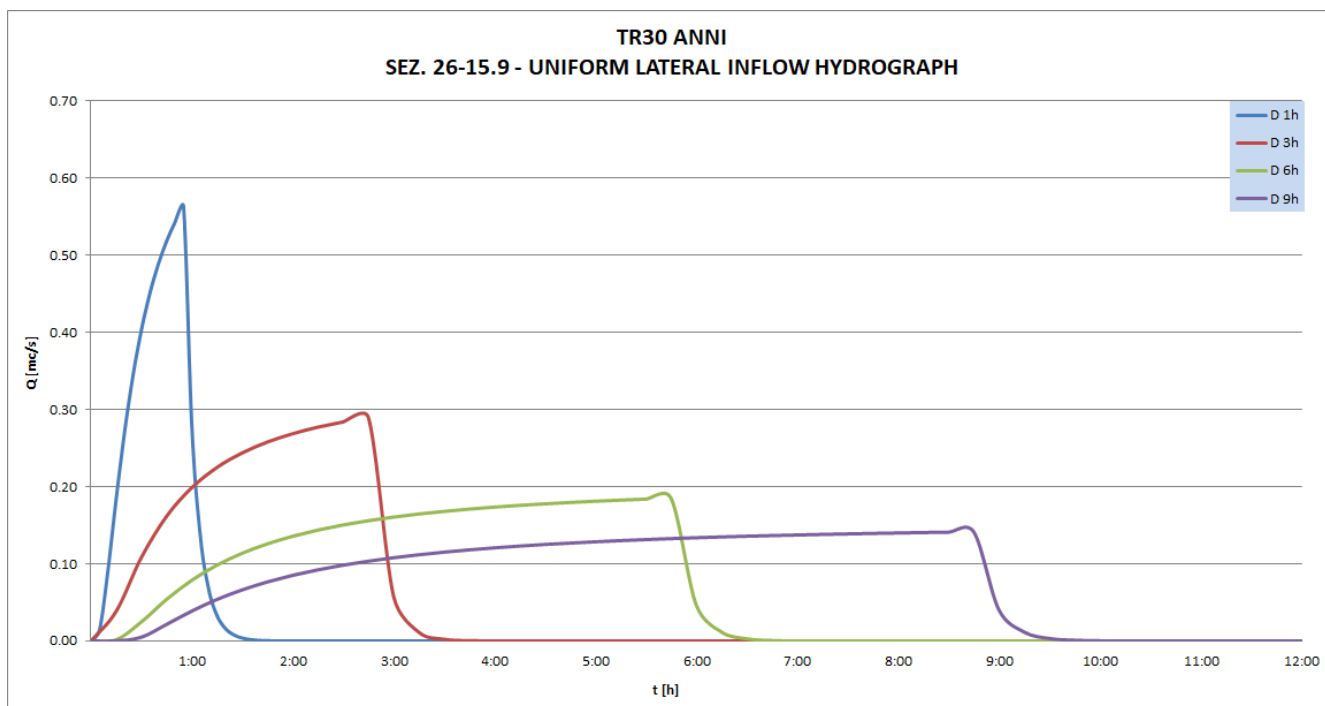




FOSSO DI VINACCIANO







TORRENTE STELLA

