



II° Convegno Nazionale

Il Verde Pensile nel Clima Mediterraneo Genova, 6 Marzo ' 09



Scenari di regolazione idrica nella
conversione a verde pensile delle coperture

Anna Pala e Luca G. Lanza



DI CAT - Università di Genova

SCHEMA del I a PRESENTAZIONE

1. Introduzione

- ✓ Il ruolo delle coperture a verde nell'idrologia urbana

2. Scenari di conversione per un comprensorio residenziale

- ✓ Il comprensorio urbano di COLLE OMETTI (GE)
- ✓ Il sistema di laboratorio
- ✓ Le simulazioni nei diversi scenari di inverdimento

3. Fattibilità per la riconversione di coperture industriali

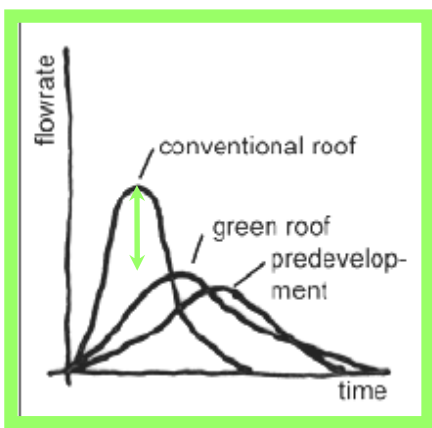
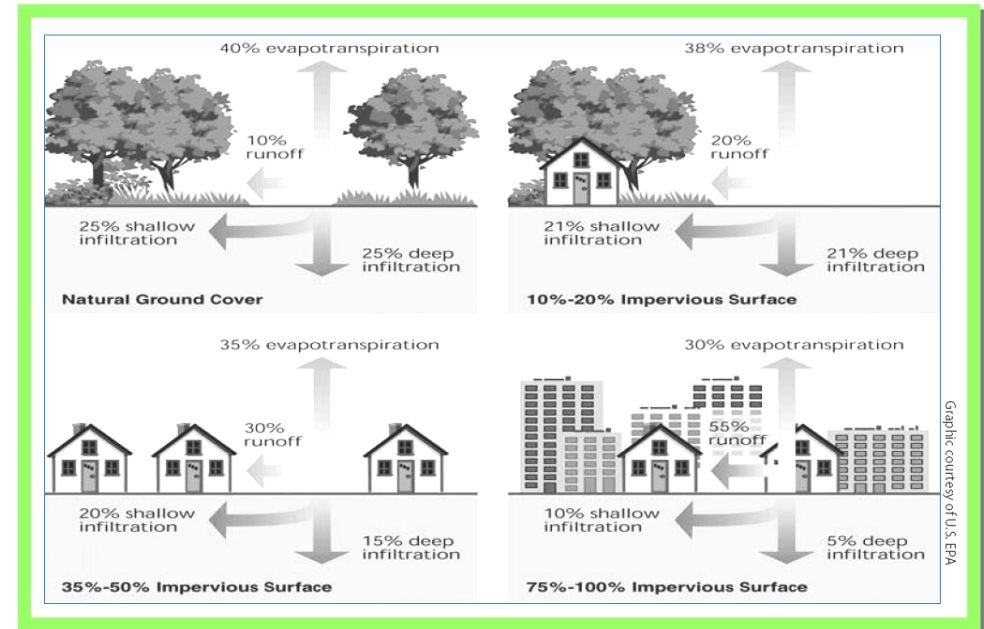
- ✓ Analisi dei carichi residui

4. Il sito sperimentale dell'Università di Genova

- ✓ La campagna di monitoraggio
- ✓ I risultati sperimentali: confronto con una copertura tradizionale

In ambiente urbano le coperture a verde contribuiscono alla gestione delle acque meteoriche

→ La pratica del verde pensile si è sviluppata nei paesi in cui le condizioni climatiche sono favorevoli allo sviluppo della vegetazione.



In termini di generazione di deflusso il contributo delle coperture a verde consiste:

- ✓ nella riduzione del volume complessivo;
- ✓ nella riduzione dell'altezza di picco;
- ✓ in un ritardo nel conferimento del picco.

Volume di RITENZIONE

→ Immagazzinamento e lenta di dispersione in atmosfera

- ✓ Riduzione del volume di scorrimento superficiale

→ Attenuazione ed il ritardo nella risposta idrologica sono funzione di:

- ✓ Capacità di campo;
- ✓ Capacità di immagazzinamento dello strato drenante;
- ✓ Pendenza della superficie a tetto;
- ✓ Forma dello IETOGRAMMA;
- ✓ Condizioni di UMI DITÀ del SUOLO antecedenti

Volume di DENTENZIONE

→ Immagazzinamento e lento rilascio

- ✓ Attenuazione del picco di portata
- ✓ Ritardo della risposta idrologica

Al fine di determinare un impatto significativo sulla risposta idrologica dell'ambiente urbano, la maggior parte degli edifici dovrebbe essere realizzata con coperture a verde

I L COMPENSORI O URBANO RESI DENZI ALE

Quartiere COLLE OMETTI, Genova

- ✓ 500 unità abitative (anni 80')
- ✓ Superfici e del bacino: 5.5 ha
- ✓ Rete di drenaggio di tipo separato

	Uso del suolo (-)	Area	
		(ha)	(%)
<i>Aree Impermeabili</i>	Tetti a falde	1.33	29.2
	Tetti piani	0.08	1.7
	Strade e parcheggi	1.28	28.1
	Altro	0.06	1.3
<i>Aree Permeabili</i>	Aree Verdi	1.28	28.1
	Orti	0.53	11.6



BACINO STRUMENTATO

- ✓ Misura Portata: canale dotato di stramazzone triangolare accoppiato a misuratore di livello piezometrico
- ✓ Misura Precipitazione: pluviometro a vaschette basculanti (0.1 mm)

STATO ATTUALE: NO COPERTURE A VERDE → 3 SCENARI di CONVERSIONE

- conversione a verde del 10% delle superfici coperture impermeabili;
- conversione a verde del 20% delle superfici coperture impermeabili;
- conversione a verde del 100% delle superfici coperture impermeabili;

IL COMPENSORIO URBANO RESIDENZIALE: MODELLO IDROLOGICO

La risposta idrologica del bacino è stata simulata utilizzando il modello SWMM (Storm Water Management Model).

Si tuazi one ATTUALE

- Schematizzazione del bacino: 286 sottobacini omogenei per classe di uso del suolo, 102 nodi e 101 condotte;
- I modelli utilizzati nel codice sono:
 - ✓ il metodo del Curve Number del SCS, 1972 (infiltrazione);
 - ✓ il modello dell'onda cinemática (convoluzione);

CONVERSIONE a VERDE

- Schematizzazione della copertura a verde: acquifero;
- I modelli utilizzati nel codice sono:
 - ✓ il metodo del Curve Number del SCS, 1972 (infiltrazione);
 - ✓ il modello di Darcy con l'assunzione di Dupuit-Forchheimer (flusso subsuperficiale);



SIMULAZIONE in CONTINUO
18 anni (1990÷2007) di
dati pluviometrici
acquisiti presso la
centralina meteorologica
di Villa Cambiaso

IL COMPENSORE URBANO RESIDENZIALE: Il Sistema di Laboratorio (I)

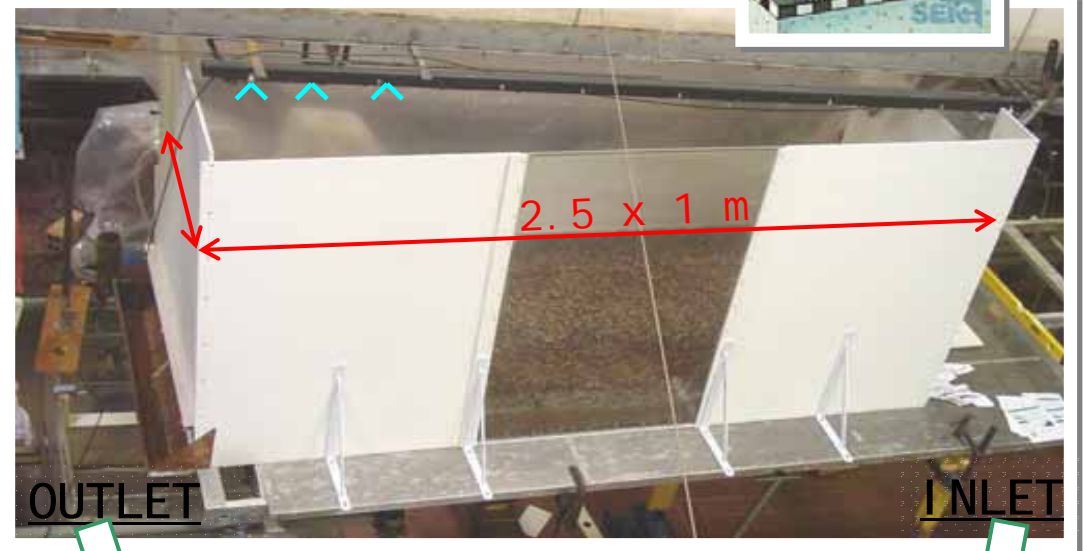
Coefficiente di DEFLUSSO Cd

Le prove sperimentali sono state effettuate al variare dei seguenti parametri:

1. *Pendenza variabile:*
2%, 5% e 10%
2. *Intensità di pioggia:*
108 mm/h (DIN 4095),
134, 158, 181 e 194 mm/h;
3. *Durata della precipitazione
(Volume defluente costante):*
15 min (DIN 4095); 20' 46";
18' 29"; 16'

Sistema ESTENSIVO

1. Strato culturale
2. Strato filtrante
3. Strato drenante



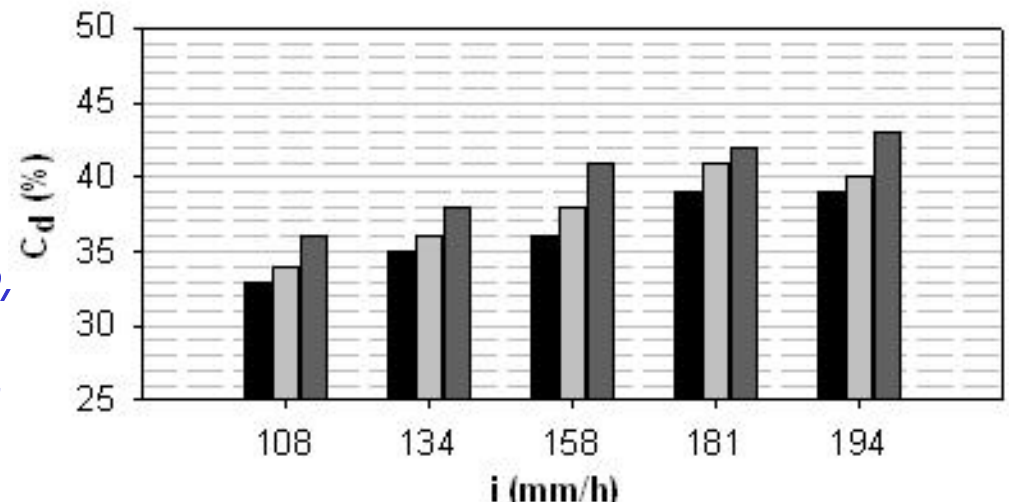
Vaschetta basculante
Sonda di livello ad ultrasuoni

I L COMPENSORI O URBANO RESIDENZIALE: II Sistema di Laboratorio (II)

- ✓ *Il coefficiente di deflusso (C_d), calcolato su un intervallo temporale pari alla durata della precipitazione, varia tra il 33%- 48%.*
- ✓ *I valori più elevati di C_d (40-48%) sono relativamente modesti se confrontati con i corrispondenti valori rappresentativi di una superficie a tetto (imp.)*

Prova	1* 2* 3*	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15	16 17 18	19 20 21	22 23 24
<i>Durata</i> [mi n]	15.00	15.00	20.46	15.00	18.29	15.00	16.00	15.00
<i>T</i> [anni]	30	5	5	10	10	20	20	30
<i>i</i> [mm/h]	108	134	134	158	158	181	181	194
<i>i_f</i> [%]	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10	2 5 10
<i>C_d</i> [-]	33 34 36	35 36 38	45 47 48	36 38 41	41 44 44	39 41 42	41 43 44	39 40 42

- ✓ *Il coefficiente di deflusso cresce all'aumentare dell'intensità di pioggia;*
- ✓ *Per intensità di pioggia elevate, la pendenza della copertura a verde sembra influenzare meno la risposta idrologica del sistema*



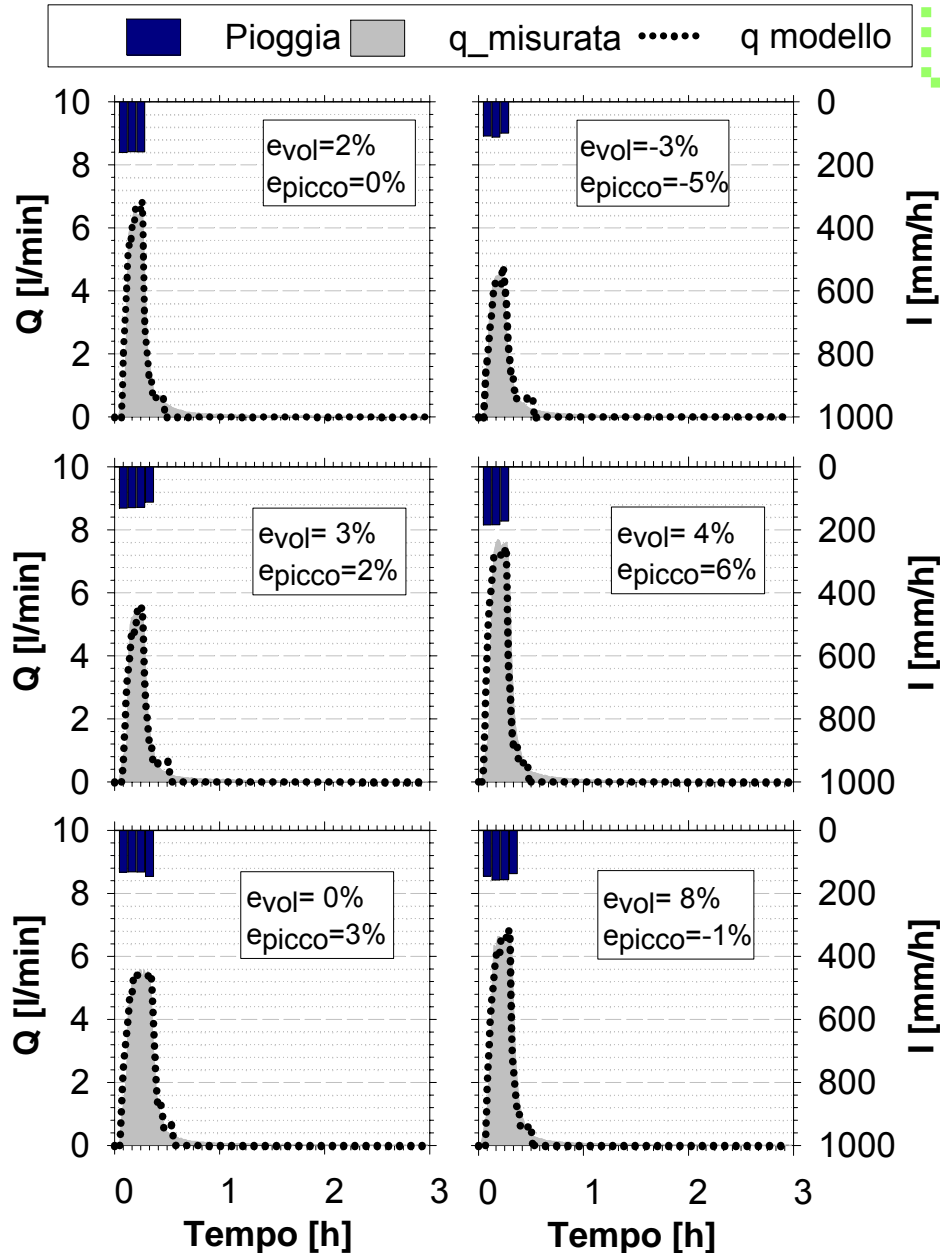
I L COMPENSORI O URBANO RESIDENZIALE: II Sistema di Laboratorio (III)

IL MODELLO del I e COPERTURA a VERDE

Per simulare la risposta idrologica della copertura a verde è stato utilizzato il modello Storm Water Management Model (SWMM) distribuito dall'EPA.

- Il tetto verde è stato schematizzato come un ACQUIFERO con la base impermeabile e coincidente con l'estradosso della soletta.

- L'equazione che regola il moto sub-superficiale è la legge di Darcy secondo le assunzioni di Dupuit-Forchheimer.

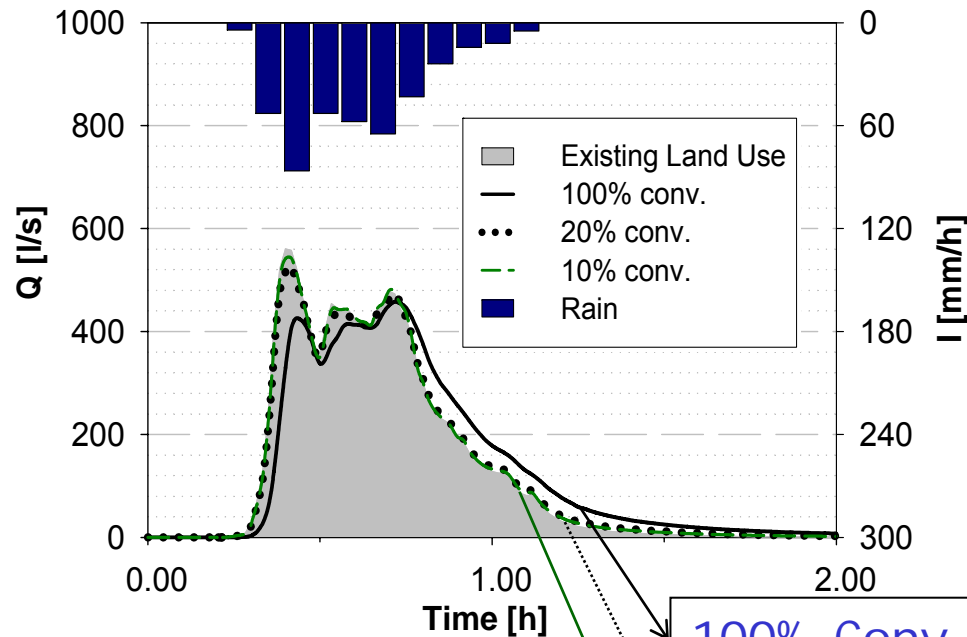


IL COMPENSORIO URBANO RESIDENZIALE: Risultati (II)

Nelle simulazioni è stato trascurato il contributo dell'EVAPOTRASPIRAZIONE

→ Il Volume di RITENZIONE è nullo!

23/08/92: Evento di precipitazione intenso



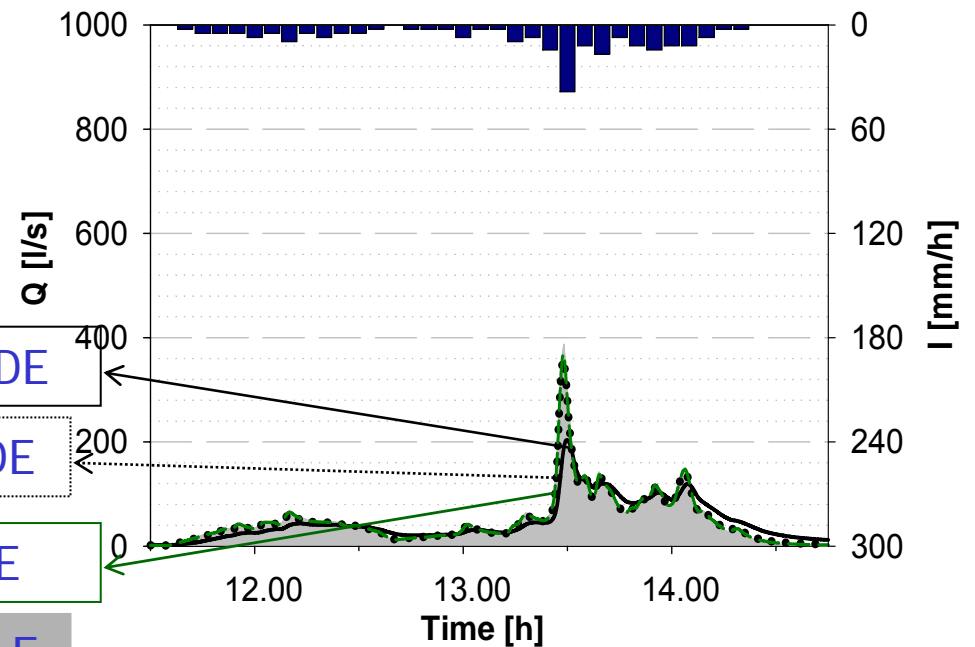
100% Conv. VERDE

20% Conv. VERDE

10% Conv. VERDE

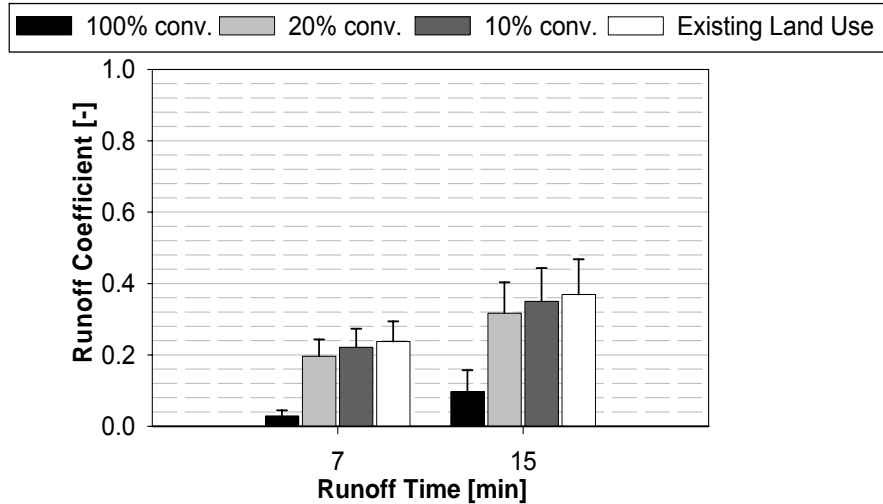
STATO ATTUALE

04/04/00: Evento medio-basso



I L COMPENSORI O URBANO RESIDENZIALE: Risultati (III)

→ Coeff. di AFFLUSSO nei primi 7 e 15 minuti



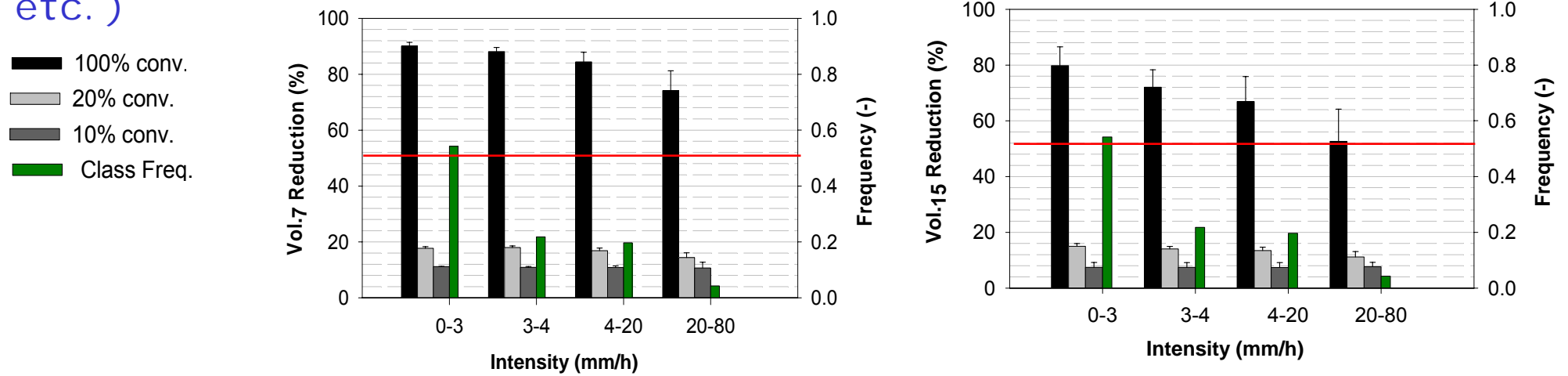
✓ Il coefficiente di afflusso corrispondente ai primi 5 e 7 minuti nello scenario di conversione 100% si riduce da:

$$C_{7'} = 0.25 \rightarrow 0.03$$

$$C_{15'} = 0.35 \rightarrow 0.1$$

→ Riduzione di VOLUME nei primi 7 e 15 minuti

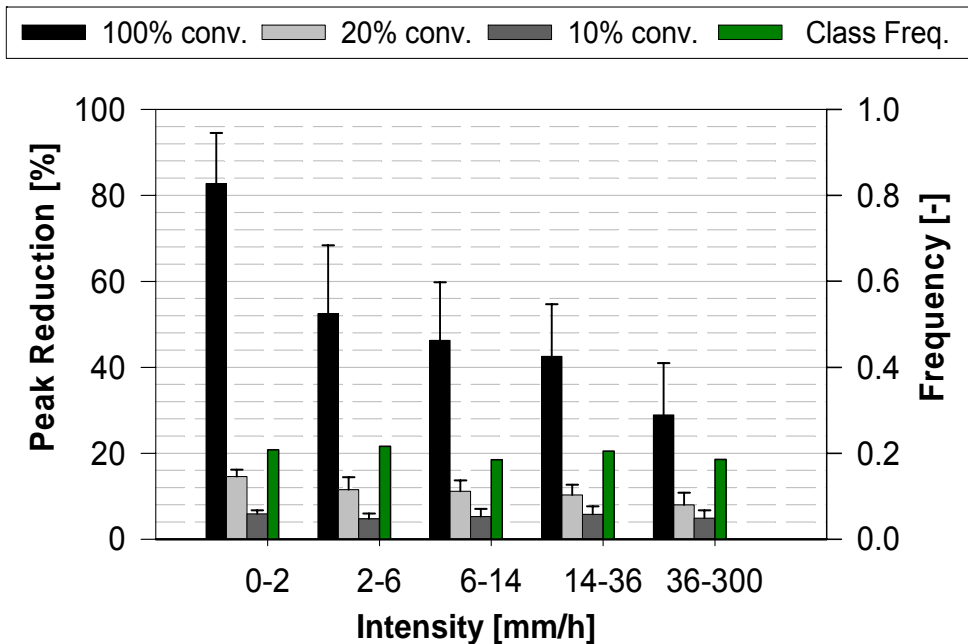
✓ Le variazioni della risposta idrologica sono funzione delle caratteristiche della precipitazione (intensità massima, durata, etc.)



IL COMPENSORIO URBANO RESIDENZIALE: Risultati (IV)

→ Attenuazione del valore di PICCO della PORTATA

- ✓ Calcolata come differenza percentuale tra il valore di picco nello scenario attuale e nello scenario di conversione a verde



- ✓ Per tutte le classi di eventi meteorici, la conversione a verde produce una significativa attenuazione del picco di portata compresa tra l'83% per la prima classe e il 28% per l'ultima classe

- Dai risultati emerge chiaramente che la diffusione delle coperture a verde può contribuire a ridurre significativamente i valori di picco delle portate di deflusso meteorico.
- La riduzione dei valori di picco delle portate contribuisce a diminuire il rischio di allagamento in area urbana e nel caso di sistemi di drenaggio unitari diminuisce il numero degli sfiori determinando pertanto anche benefici ambientali sui corpi idrici ricettori.

Ri conversione a VERDE PENSI LE

Al fine di determinare un impatto significativamente sulla risposta idrologica dell'ambiente urbano, la conversione a verde deve includere:

→ Edifici ad USO RESIDENZIALE

→ Edifici ad USO INDUSTRIALE

→ Edifici ad USO COMMERCIALE

Coperture dimensionate al limite delle prescrizioni vigenti

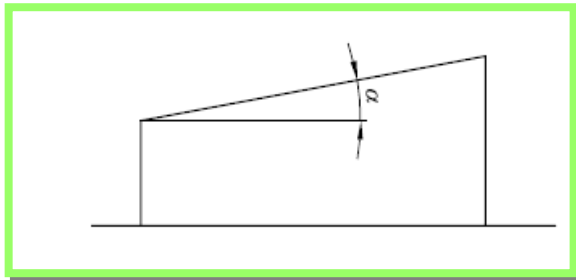


Ri conversione di coperture industriali

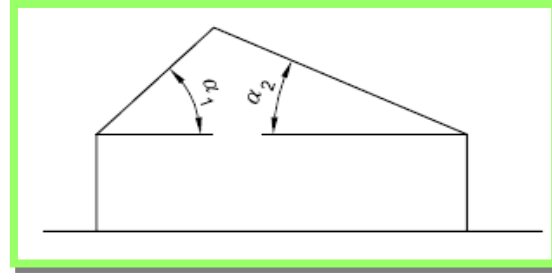
TIPOLOGIE DI COPERTURE: Strutture tradizionali e prefabbricate

FORMA DELLA COPERTURA:

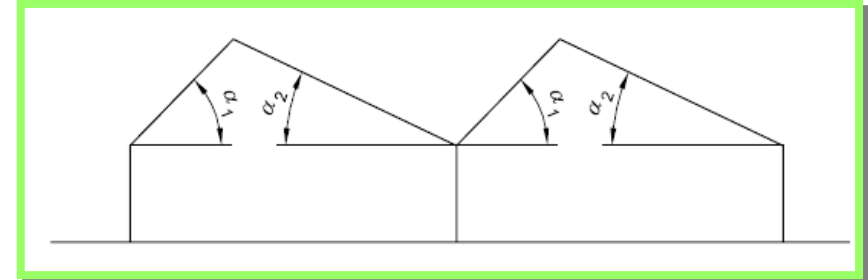
A falda unica



A doppia falda



A falde convergenti

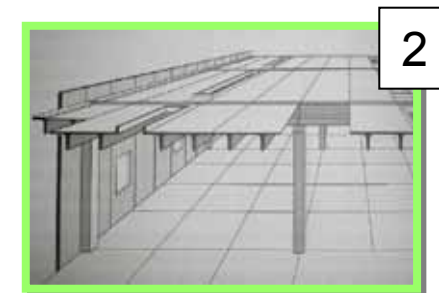
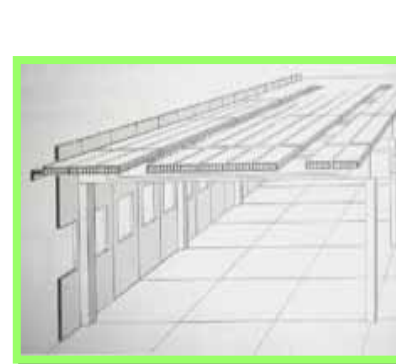


✓ Le coperture tradizionali analizzate:

- a falda unica;
- a doppia falda;
- a falde convergenti.

✓ Le coperture prefabbricate analizzate:

- A doppia falda;
- Piane con tegole TT (1);
- Piane con solai alveolari (2).



Carichi agenti sulla copertura(I)

L'Analisi dei Carichi è stata condotta secondo la normativa italiana vigente "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 Settembre, 2005)

1. I carichi agenti sulla copertura si distinguono in:

- Carichi permanenti (→ peso proprio degli elementi strutturali);
- Carichi variabili di lunga durata (→ peso proprio degli elem. permanenti e pesi dovuti ad una eventuale fruibilità);
- Carico variabile di breve durata (→ azione della neve e del vento).

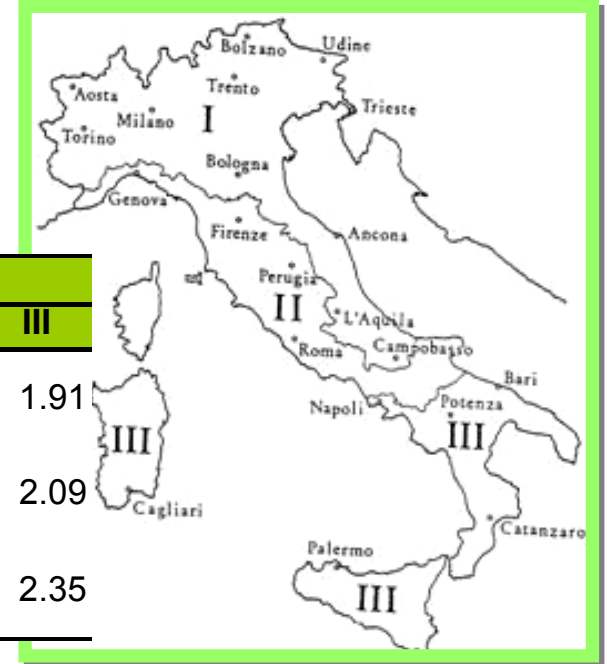
2. I carichi variabili di lunga durata vengono calcolati in relazione alla tipologia di copertura.

3. Il carico neve q_s è determinato in accordo con:

- Altitudine;
- Zona geografica;
- Forma della copertura.

Carichi agenti sulla copertura (II)

Il territorio italiano è diviso in macro zone per la determinazione del carico neve (D.M. 14, Settembre, 2005)



Altitudine		< 200 m			300 m			800 m		
Zona		I	II	III	I	II	III	I	II	III
q_s (KN/m ²)	Falda unica e doppia	1.28	0.92	0.6	1.52	1.13	0.78	2.93	2.14	1.91
	A falda convergenti ($\alpha = 10\%$)	1.4	1.01	0.66	1.66	1.24	0.85	3.21	2.34	2.09
	A falda convergenti ($\alpha = 35\%$)	1.71	1.23	0.8	2.03	1.5	1.03	3.87	2.74	2.35

4. Il carico residuo per la conversione a verde viene calcolato come:
Strutture tradizionali

Strutture prefabbricate

Differenza tra il carico utile di progetto (carico permanente + variabile) e il valore attuale del carico neve.

- Per le coperture a falde:
Differenza tra il Momento resistente (M_{rd}) ed il Momento sollecitante (M_{sd});
- Per le capriate:
Differenza tra le sollecitazioni assiali (N_{rd}) and (N_{sd}).

Fattibilità di riconversione

	Altitudine		< 200 m			200 m – 750 m		
	Zona		I	II	III	I	II	III
Coperture Tradizionali	Falda unica		0.37	0.73	1.05	0.13	0.52	0.86
	<i>Falde continue</i>	Doppia falda	0.72	1.08	1.4	0.53	0.87	1.22
		Falde convergenti	1.02	0.59	1.03	0.78	0.95	0.8
	<i>Capriate</i>	Doppia falda	1.23	1.58	1.9	0.99	1.37	1.72
		Falde convergenti	0.8	1.28	1.7	0.48	1.01	1.47
Coperture Prefabbricate	Falda unica		0.2	0.59	0.94	-	0.36	0.75
	Piane con tegoli TT		0.52	0.88	1.2	0.28	0.67	1.02
	Piane con solai alveolari		2.52	2.88	3.2	2.28	2.67	3.02

Si assume un peso medio per un sistema a verde pensile estensivo nelle condizioni di massima saturazione pari a 1KN/m².

- ✓ *Le strutture prefabbricate non consentono generalmente la riconversione a verde pensile fatta eccezione per le strutture alveolari;*
- ✓ *Nel caso di strutture localizzate ad altitudini superiori ai 750 m la riconversione non è fattibile per la quasi totalità delle coperture industriali.*

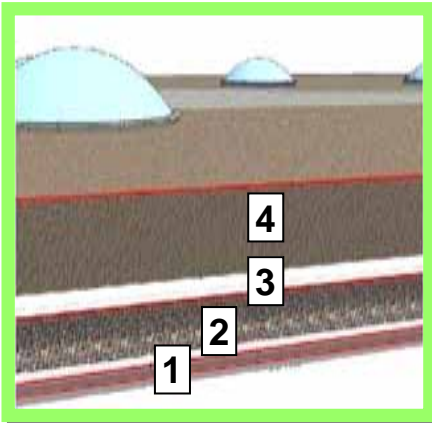
Il sito sperimentale (I)



Il sito sperimentale per i monitoraggi quantitativo delle acque meteoriche è stato realizzato nel 2007.

La superficie è di circa 350 m² ed lo spessore medio è di 40 cm.

Stratigrafia realizzata



1. TNT a protezione meccanica della guaina (300g/m²).
2. Lapillo 3/16 mm → strato drenante
3. TNT con funzione filtrante (100g/m²).
4. VULCAFLOR → strato colturale



LAPILLO: materiale granulare di origine vulcanica



VULCAFLOR: Suolo fertile costituito dalla miscela di materiali vulcanici con l'aggiunta di torba bionda.

Il sito sperimentale (II)

- *Sistema di monitoraggio:*

- *Centralina Meteorologica;*

- *Stazione per la misura del deflusso subsuperficiale.*

>>>> *Estate 2008*

- *Installazione presso il sito sperimentale di sonde TDR (Time Domain Reflectometer) e di termocoppie:*

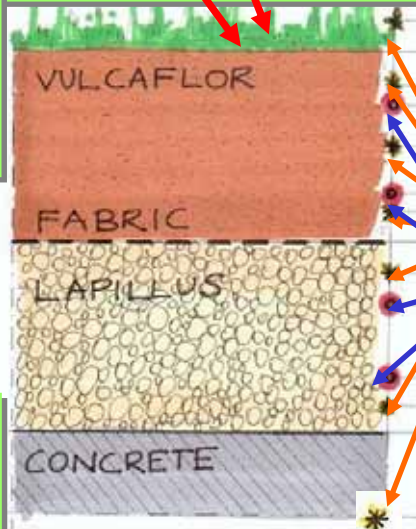
Le sonde sono state disposte nei baricentri dei due sottobacini.

Per ciascuna verticale:

- *4 TDR;*

- *7 TC di cui 1 in aria e 1 soletta lato interno.*

- *Stazione per la misura della portata: Dispositivo dotato di sezione di controllo a stramazzo triangolare accoppiato ad un sensore di livello piezoresistivo e ad un meccanismo a vaschette basculanti.*

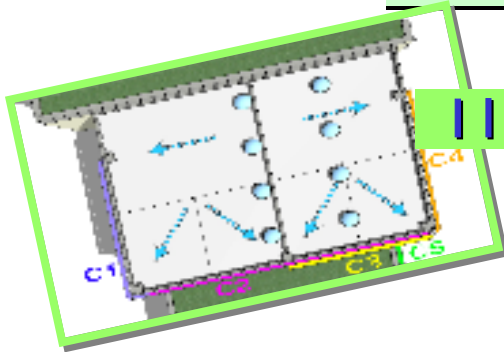




I Fase: Maggio 2007 – sistema impermeabile

Evento [aaaa/mm/gg]	H tot. [mm]	Q Max [l/s]
02/05/07	27.2	5.7
03/05/07	1.6	0.13
04/05/07	43.2	3.9

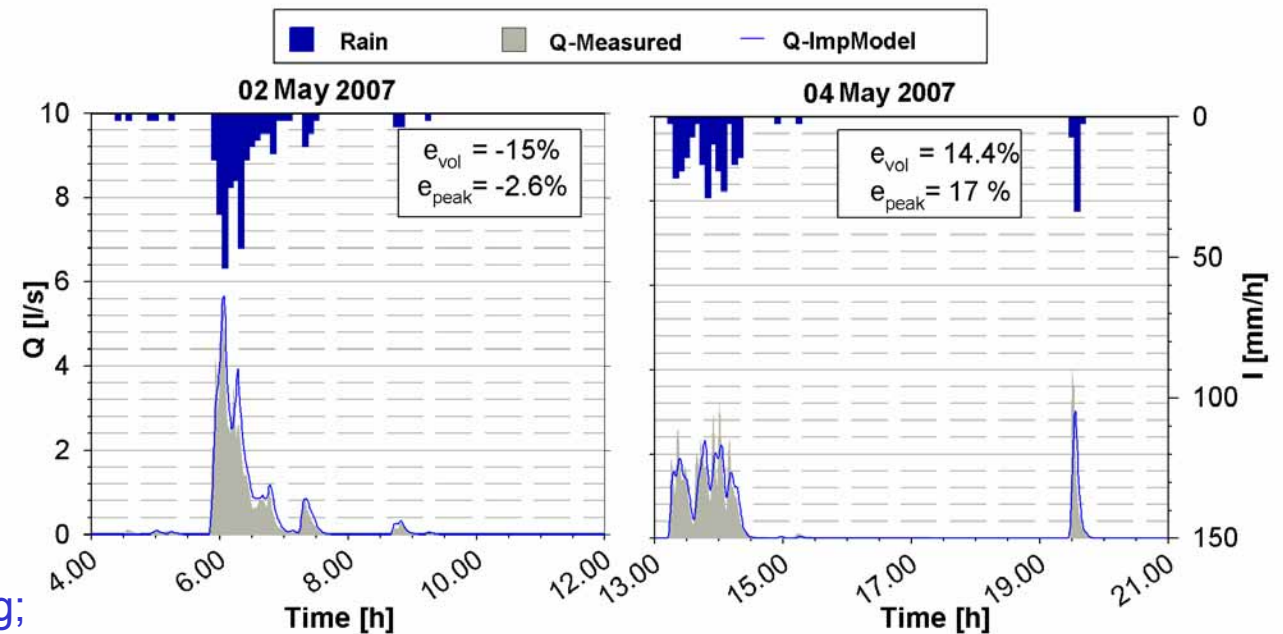
Eventi utilizzati per verificare la risposta della copertura imp. di raffronto



II Modello della Copertura Impermeabile

Sistema Impermeabile

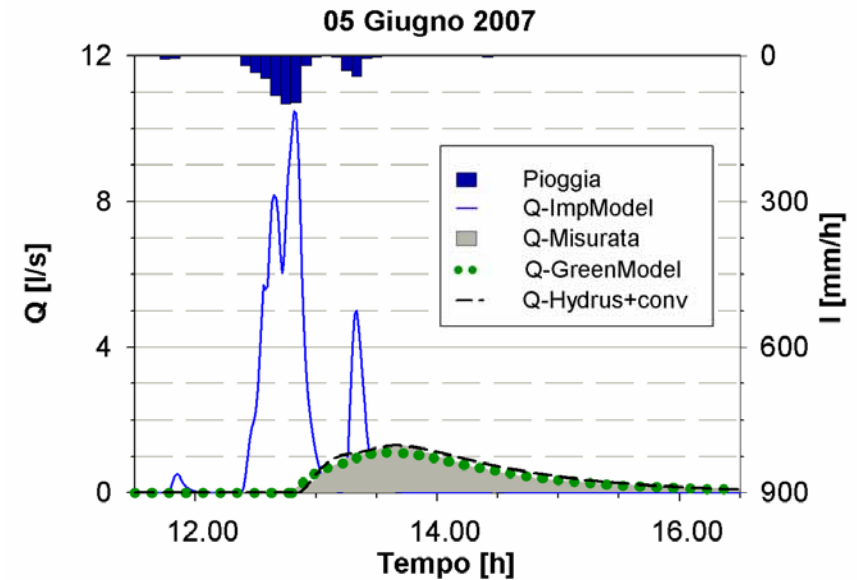
- ✓ EPA SWMM
(Storm Water Manag. Model);
- ✓ Dominio:
6 sottobacini e 5 condotte;
- ✓ Convoluzione:
Onda cinematica e equazione di Manning;
- ✓ Infiltrazione:
SCS Curve Number (SCS, 1972).





II Fase: Giu 07- Ago 08 – sistema a verde pensile e 2 settori

Evento [aaaa/mm/gg]	H tot. [mm]	Durata [min]	Q Max [l/s]	Rit. Volume [%]	Abb. Picco [%]
26/05/07	9	754	No deflusso	100	100
28/05/07	12.4	1192	No deflusso	100	100
01/06/07	42.4	960	0.02	99	99
05/06/07	41.2	157	1.31	41	87
08/08/07	13.2	1310	No deflusso	100	100
10/08/07	14	86	< 0.01	95	98.7
20/08/07	15.2	990	< 0.01	95	99.9
21/08/07	32.6	877	0.04	96	99
27/09/07	28.6	827	0.02	99	99.6
21/11/07	8	600	No deflusso	100	100
22/11/07	138.2	2870	1.27	9.5	79
2008/01/4-5	32.8	2040	0.1	70	76
11/01/08	41.4	2880	0.6	15	87
16/01/08	40.4	480	0.9	4.6	78
04/02/08	30.4	630	0.8	51	70
09/03/08	23.2	1800	0.16	81	94
09/04/08	55	1920	0.1	93	96



Prestazioni Medie e significative:

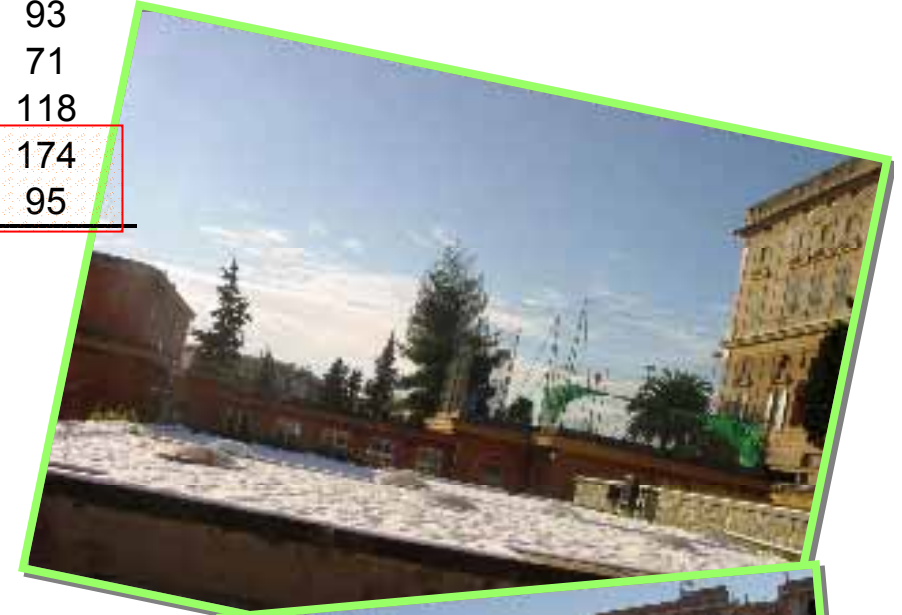
- Riduzione del picco pari al 92%;
- Riduzione del volume pari al 73%.

- ✓ 4 dei 17 eventi non producono scorrimento subsuperficiale;
- ✓ Solo 5 eventi producono deflussi con picchi superiori a 0.5 l/s;
- ✓ Il volume di precipitazione per tutti gli eventi viene infiltrato;
- ✓ Il volume ritenuto varia in un intervallo tra il 5-100%;
- ✓ La riduzione dell'altezza del picco varia in un intervallo tra il 70-100%.



III Fase: Ago '08: in corso – 1 settore strumentato con TDR+TC

Evento [aaaa mm gg]	H tot. [mm]	Q Max [l/s]	Rit. Volume [%]	Abb. picco [%]	Ritardo [min]
2008 09 22	16.6	0.38	19%	84%	145
2008 10 28	71.6	2.05	18%	52%	93
2008 10 29	74.8	1.05	0%	91%	71
2008 11 04	48	0.58	0%	93%	118
2008 11 12	72	0.85	0%	61%	174
2008 11 29	35	0.66	17%	44%	95



Prestazioni Medie ridotte:

- Riduzione del picco pari al 71%;
- Riduzione del volume pari al 9%.



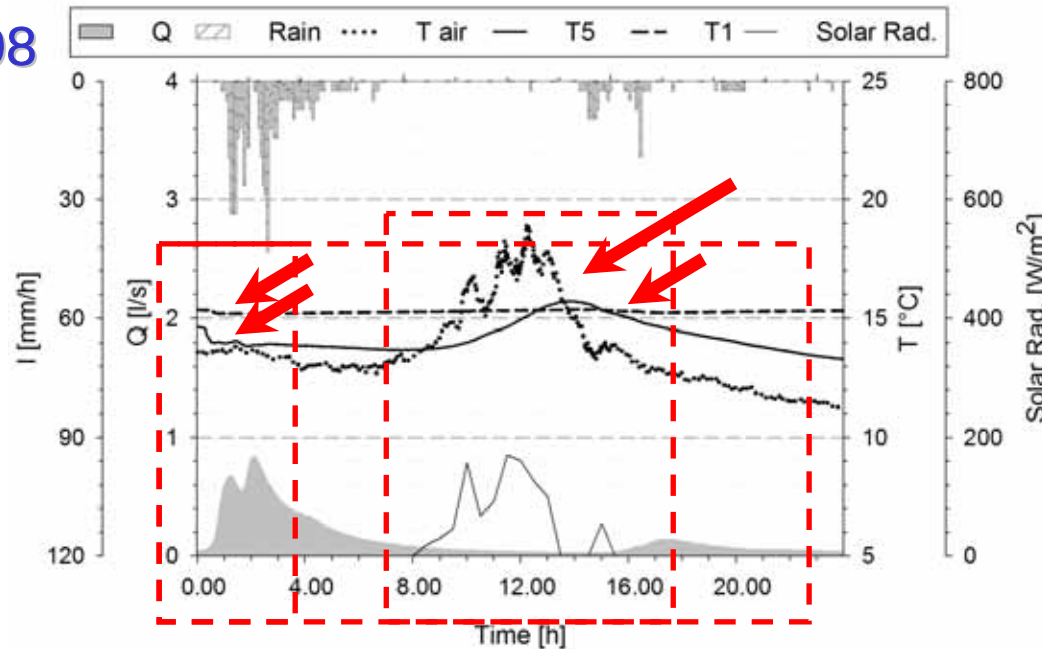
Eventi monitorati nella stagione autunnale:

- Periodo secco antecedente ridotti;
- Evapo-traspirazione ridotta;
- Eventi di precipitazione significativi

L'andamento della temperatura (I)

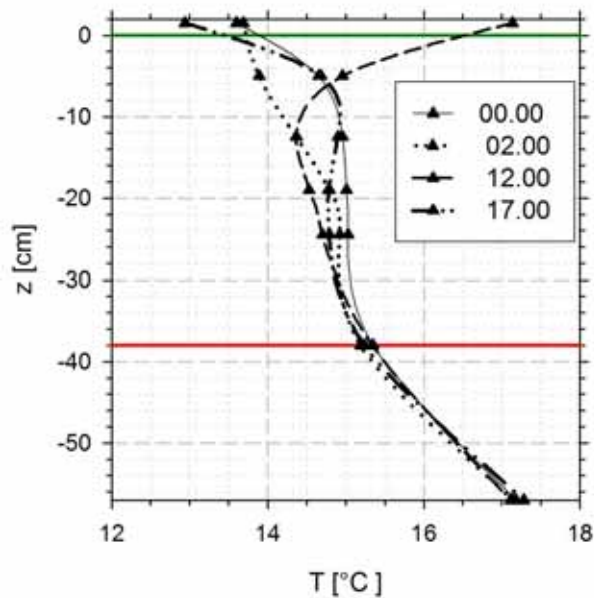
Evoluzione della temperatura nel corso di un evento meteorico

12/11/08



- T_{air} : in accordo con radiazione solare
- TC 5: θ_t a 5cm dal p.c. risente del flusso e della rad. solare
- TC 1: θ_t soletta lato esterno costante risente limitatamente del flusso ma risente delle condizioni interne

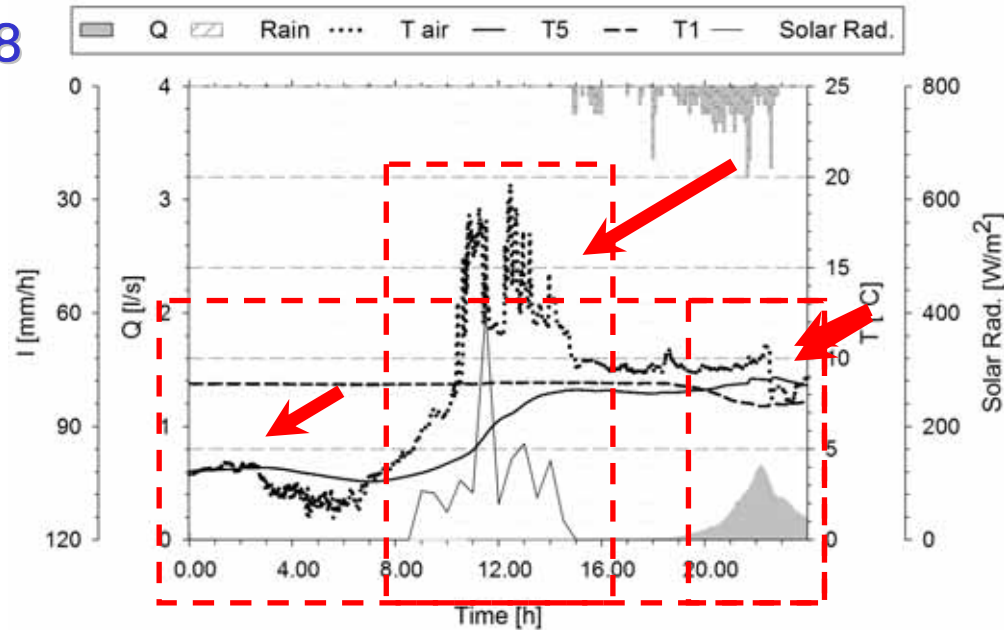
Profilo della temperatura



- Il profilo evidenzia la capacità isolante del sistema a verde pensile.
- La temperatura della soletta lato esterno resta alla temperatura pressochè costante di 15°C in equilibrio con la temperatura lato interno pari a circa 17°C

L'andamento della temperatura (II)

Evoluzione della temperatura nel corso di un evento meteorico
29/11/08

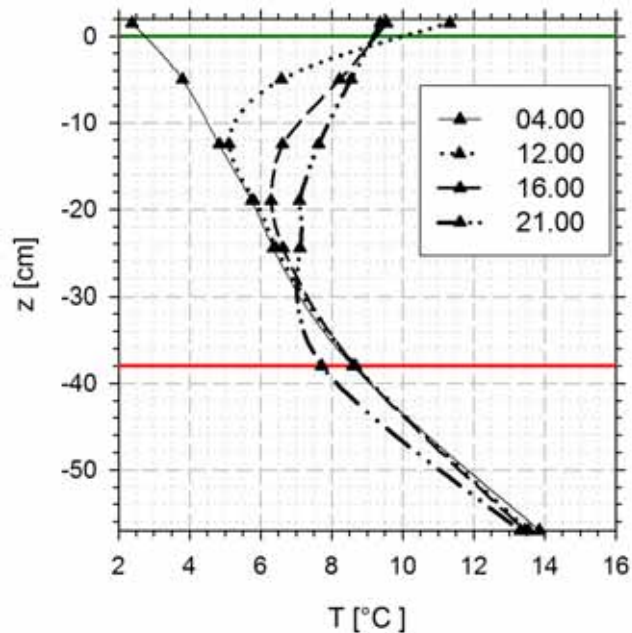


- T_{air} : in accordo con radiazione solare

- TC 5: t a 5cm dal p.c. risente della rad. Solare.

- TC 1: t soletta lato esterno costante risente del flusso e delle condizioni interne

Profilo della temperatura

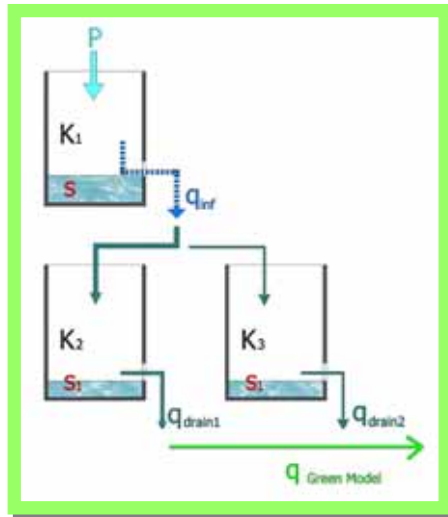


- Il profilo evidenzia la capacità isolante del sistema a verde pensile.

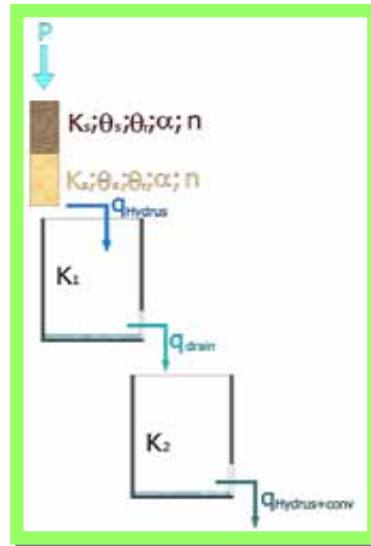
- La temperatura della soletta lato esterno resta alla temperatura pressochè costante di 9°C in equilibrio con la temperatura lato interno pari a circa 14°C

La Model I azione i drol ogi ca

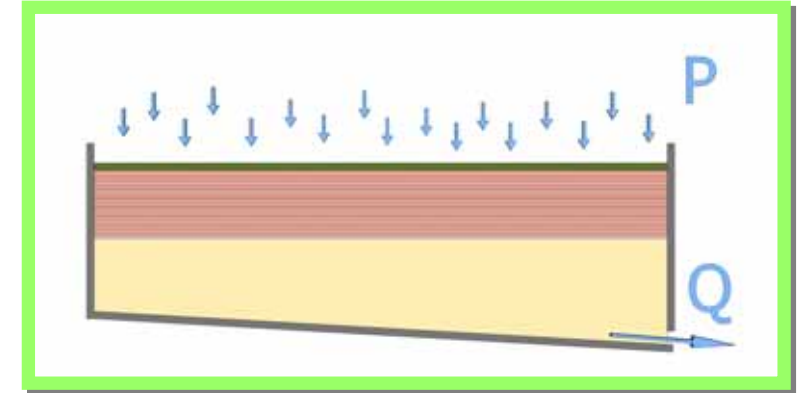
1. Model I o concettuale



2. Model I o Meccanico 1D



3. Model I o Meccanico 2D



- Modello a limitato num. Parametri;

- Parametri non immediatamente correlabili a caratteristiche della copertura;

- Nessuna descrizione del profilo del contenuto di umidità del suolo.

- Modello ad elevato numero di parametri;

- Descrizione rappresentativa dell'evoluzione del profilo del contenuto di umidità;

- Descrizione concettuale del flusso laterale nonostante la caratterizzazione fisica del mezzo poroso.

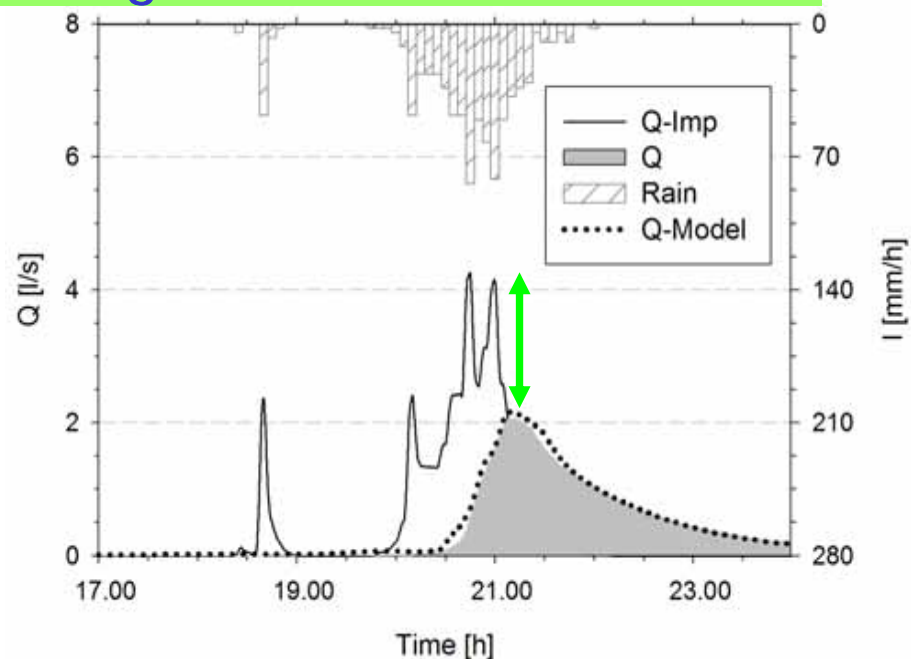
- Modello ad elevato numero di parametri;

- Simulazione dell'evoluzione del contenuto di umidità sull'intero campo di moto;

- Rappresentazione approssimata delle condizioni al contorno relative al sistema di drenaggio

Si mul azione per l'evento del 28/10/2008

I drogramma



Caratteristiche evento

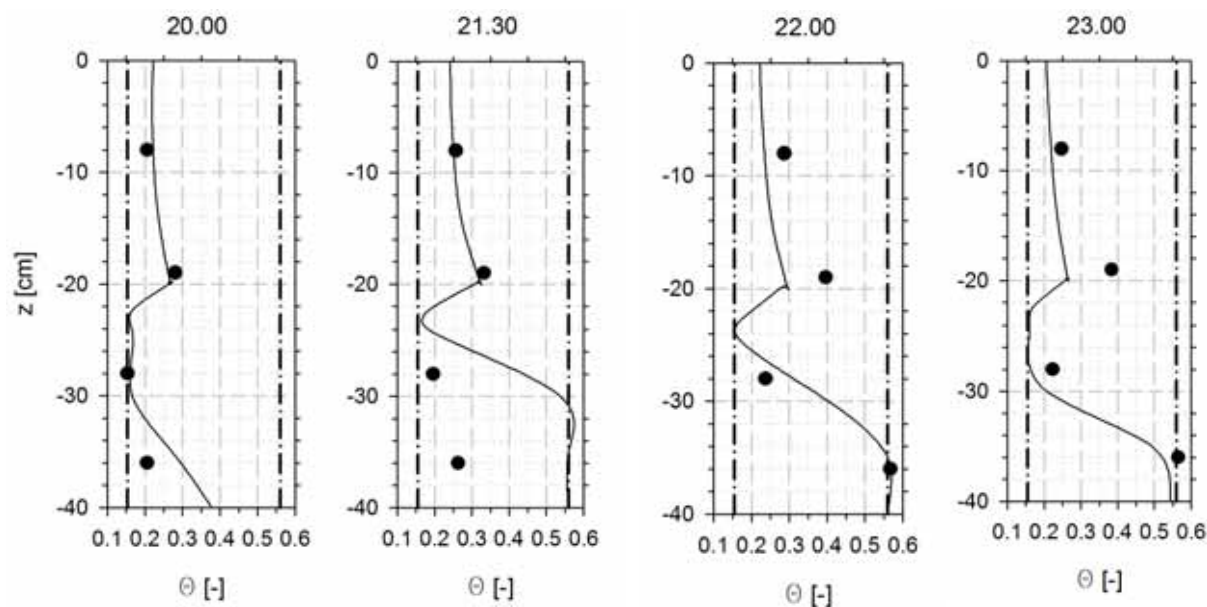
- * Intensità Max 5 min: 84 mm/h
- * Picco: 2.05 l/s
- * H_Precipitazione: 59 mm
- * Tempo secco antecedente: 48 h

Prestazioni

- Abbattimento dell'altezza del picco: 52%
- Riduzione del volume: 18%
- Ritardo nella risposta: 92 min

L'evoluzione temporale dei profili di umidità è in accordo con i valori misurati

Profili del contenuto di umidità



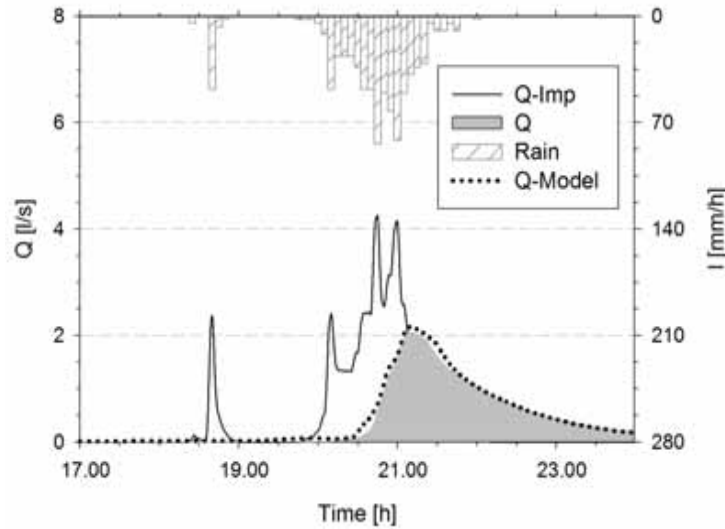
Comportamento del I strato:

! La presenza del TNT genera una discontinuità determinando un accumulo idrico

Comportamento del II strato:

! La schematizzazione del dreno causa un anticipo della saturazione al fondo!

Evoluzione del contenuto di umidità sul campo di moto



Comportamento I strato:

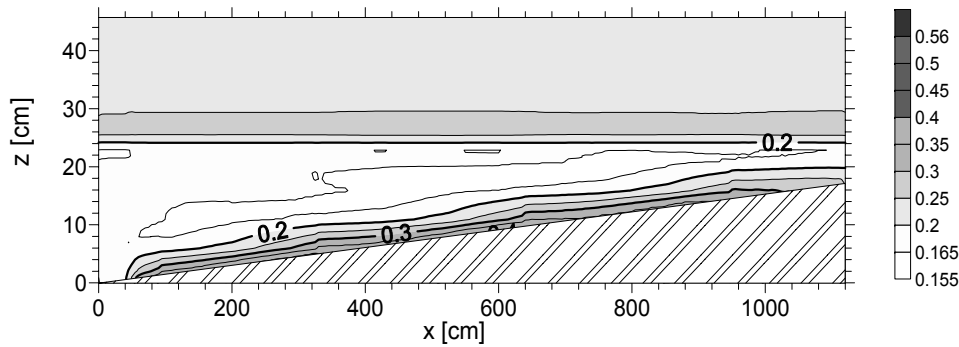
→ Fronte di bagnamento orizzontale regolato dalla resistenza del TNT;

Comportamento del II strato:

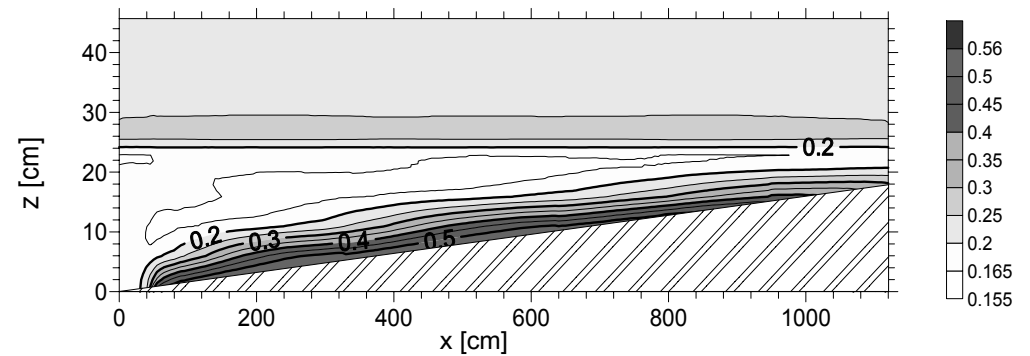
→ Moto prevalente nella direzione orizzontale;

→ Condizioni di deflusso influenzate dalla schematizzazione del dreno

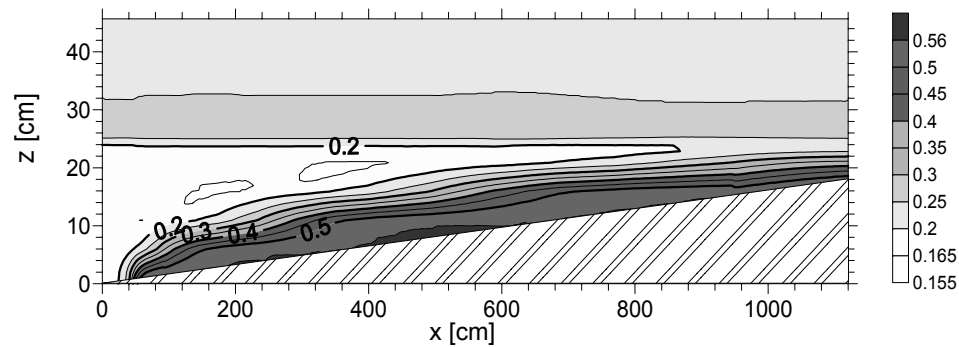
28 Oct. 08 h:20.00



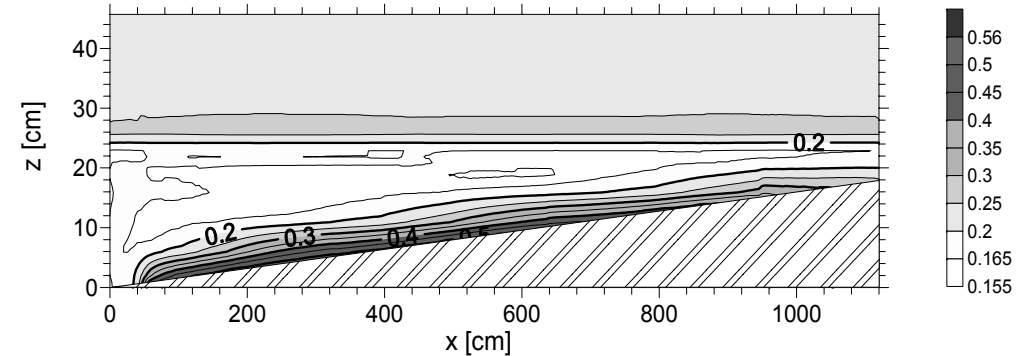
28 Oct. 08 h:23.00



28 Oct. 08 h:21.30



28 Oct. 08 h:23.30



L'analisi di ipotetici scenari di conversione a verde conferma le potenzialità delle coperture a verde quale strumento di gestione sostenibile dei deflussi meteorici: nel comprensorio urbano di Colle Ometti (Genova) per la conversione al 100% si ha una riduzione media dell'altezza del picco del 51%;

La conversione a verde pensile è più efficace se viene presa in considerazione in fase di pianificazione urbanistica;

La fattibilità per la conversione di coperture industriali è stata verificata per le più comuni tipologie di coperture e relativamente a tutto il territorio nazionale: in generale le strutture non prefabbricate consentono la conversione a verde;

Le prestazioni idrauliche della singola copertura a verde sono significative con una riduzione media dell'altezza del picco pari al 92% ed una riduzione del volume pari al 73%;

Le coperture a verde, risultano ancor più efficaci quando vengono installate in sinergia con altre soluzioni tecnologiche (le pavimentazioni permeabili, le fasce filtranti inerbite, gli stagni per la detenzione, etc.).

Si ringraziano

Il sito sperimentale è stato realizzato grazie al contributo di:



Il sistema di laboratorio è stato realizzato grazie al contributo di:

