

Seminario
CRITERI DI PREVENZIONE DELLE INONDAZIONI
martedì 6 dicembre 2016

1. Invarianza idraulica: concetti e norme tecniche in Italia
2. Trasformazione del territorio e impatto sulle piene
3. Tecniche per mitigare gli effetti dei cambi di uso del suolo
4. Un caso di studio: le trincee drenanti

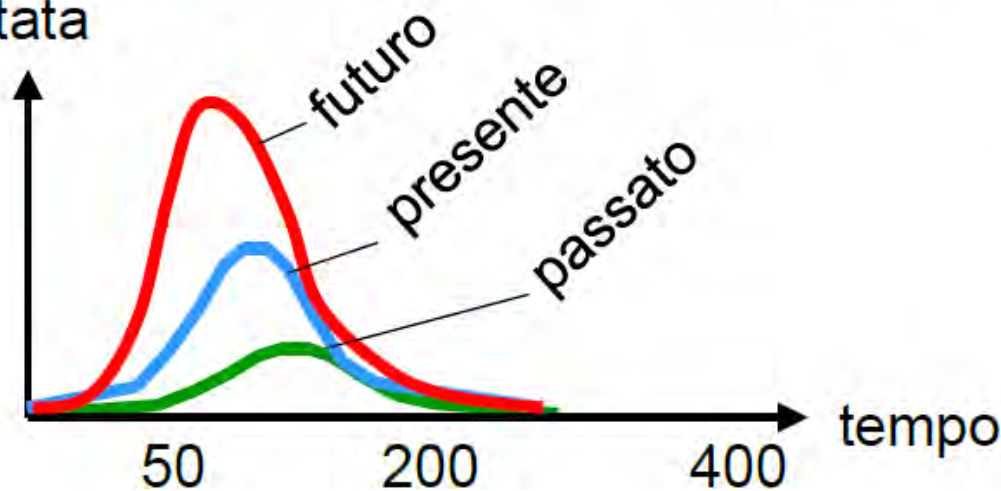
(docente: G.B. Chirico)

1. Invarianza idraulica e invarianza idrologica

Bilancio idrico



Portata



- Aumento della portata al colmo e del volume di deflusso
- Diminuzione del tempo di corrivazione
- Riduzione della ricarica della falda
- Aumento della frequenza e della intensità delle piene fluviali
- Diminuzione delle portate di magra nei corpi idrici ricettori

1. Invarianza idraulica e invarianza idrologica

Il concetto di invarianza è stato introdotto come strumento di pianificazione territoriale, per compensare gli squilibri indotti dalle trasformazioni urbanistiche



da La Loggia, 2012

Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

Interventi normativi di pianificazione, dopo le alluvioni del 1996 in Emilia Romagna:

- *Piano Stralcio Autorità dei Bacini Romagnoli 2002 e Direttiva Verifica Idrauliche del 2003*

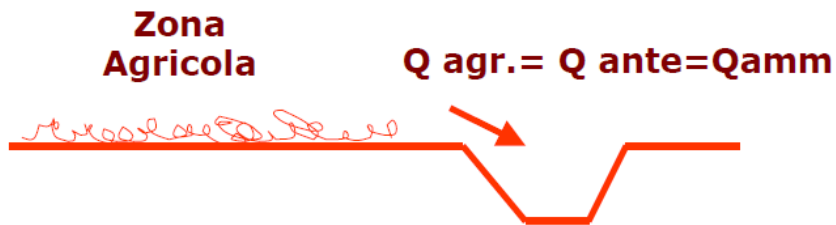
*“Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la **trasformazione di un’area** che non provochi un **aggravio della portata di piena** del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall’area stessa”*

(Autorità dei Bacini Romagnoli 2002)

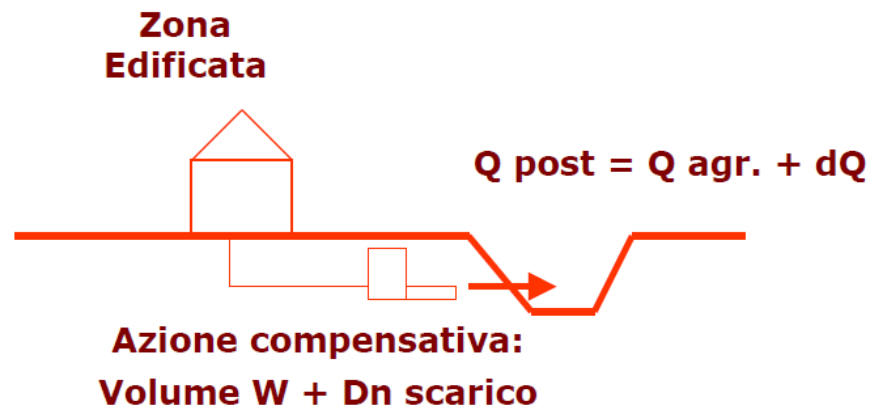
Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

“Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un’area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall’area stessa” (Autorità dei Bacini Romagnoli 2002)

Ante operam



Post operam



Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

- Piano Stralcio Autorità dei Bacini Romagnoli 2002 e Direttiva Verifica Idrauliche del 2003

$$w = w^0 \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi^0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - w^0 \cdot P$$

Formula derivata dal metodo dell'invaso

dove:

w^0 50 m³/ha;

φ coefficiente di deflusso dopo la trasformazione;

φ^0 coefficiente di deflusso prima della trasformazione;

I frazione dell'area che viene trasformata;

P frazione dell'area che resta inalterata;

n esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

Trascurabile $S < 0,1$ ha

Modesta $0,1 < S < 1$ ha

Significativa $1 < S < 10$ ha

$S > 10$ ha e $IMP < 30\%$

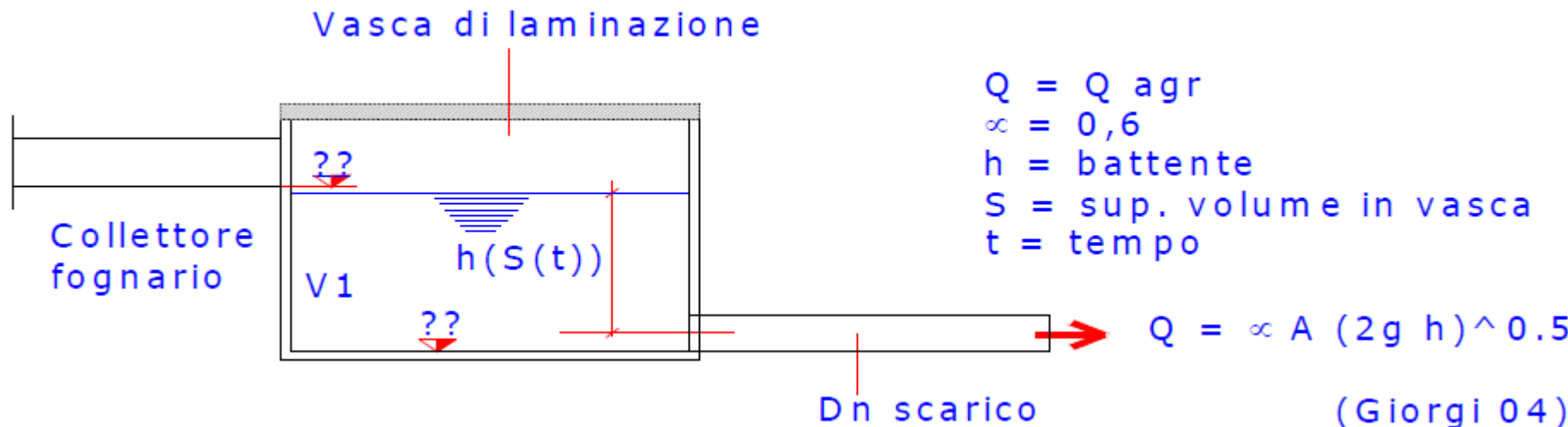
Marcata $S > 10$ ha e $IMP > 30\%$

D_n scarico < 200 mm

Tirante idrico (battente) < 1 ml

D_n scarico e battente in funzione di pioggia TR 30 anni e T_p 2 ore

Studio di maggior dettaglio



Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

- ❖ *Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico 2002*
- ❖ *Direttiva verifiche idrauliche del 20 ottobre 2003*

$$w = w^0 \cdot \left[\frac{\varphi}{\varphi^0} \right]^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - w^0 \cdot P$$

Autorità di Bacino Marecchia-Conca

- ❖ *Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico 2004*
- PARAMETRO SUL VOLUME : 350 m³ per ha di sup. impermeabilizzata

Autorità di Bacino del Reno

- ❖ *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico 2005*
- PARAMETRO SUL VOLUME : 500 m³ per ha di sup. impermeabilizzata

LEGGE REGIONALE MARCHE 23 novembre 2011, n. 22

.. Al fine altresì di evitare gli effetti negativi sul coefficiente di deflusso delle superfici impermeabilizzate, ogni trasformazione del suolo che provochi una variazione di permeabilità superficiale deve prevedere misure compensative rivolte al perseguimento del principio dell'invarianza idraulica della medesima trasformazione

Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

Regione Veneto D.G.R. n. 1322 del 10 Maggio 2006 Allegato A

- applicazione del principio dell'invarianza idraulica si dovrà fare riferimento alle curve di possibilità climatica con tempo di ritorno pari a 50 anni;
- coefficienti di deflusso, ove non determinati analiticamente, devono essere convenzionalmente assunti pari a
 - 0,1 per le aree agricole;
 - 0,2 per le superfici permeabili (aree verdi);
 - 0,6 per le superfici semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, ...)
 - 0,9 per le superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade,...).

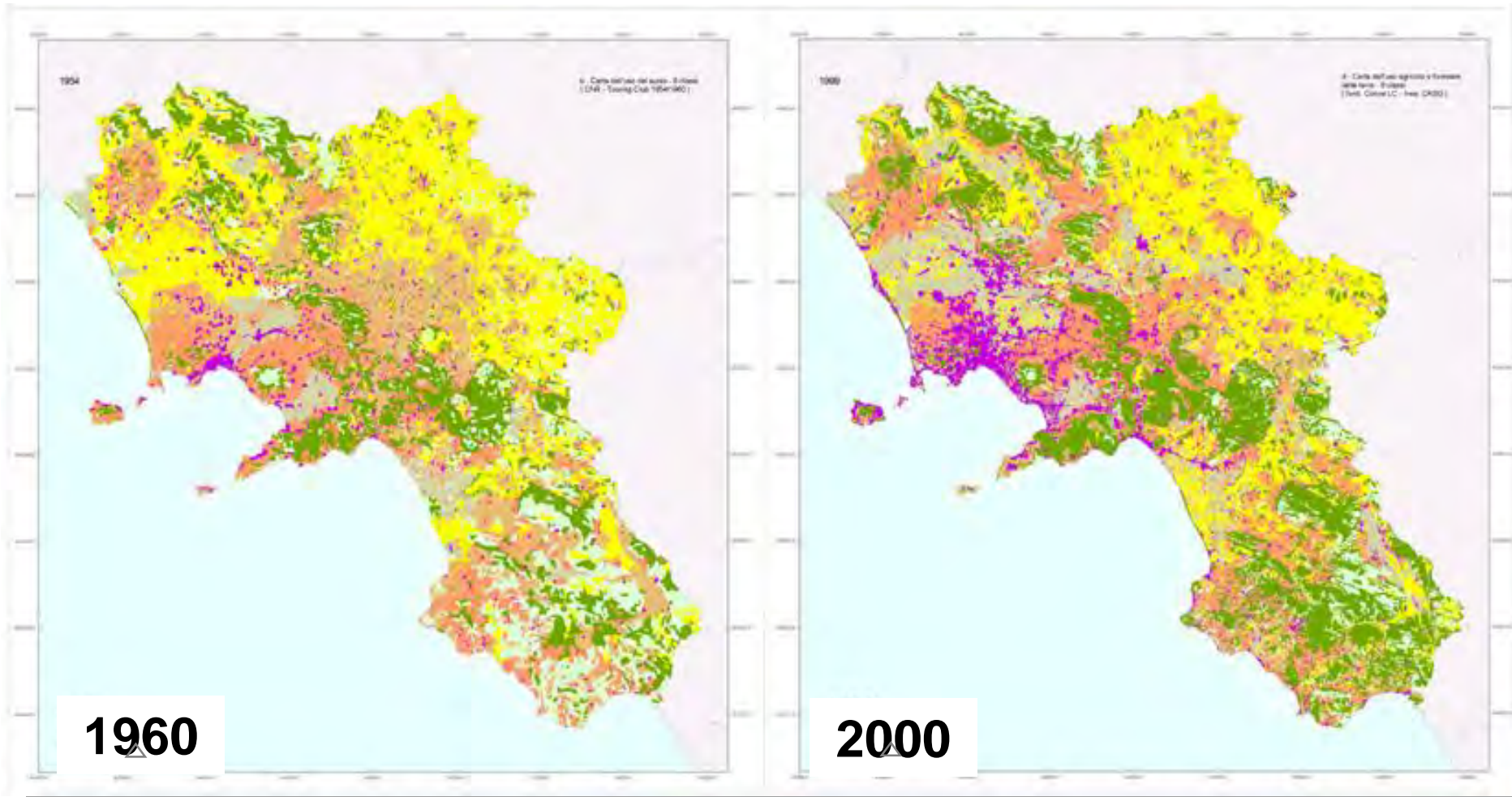
Invarianza idraulica: riferimenti tecnico-normativi

La normativa tecnica italiana propone l'invarianza idraulica come uno strumento di pianificazione territoriale per prevenire gli squilibri indotti dalla trasformazione di uso del suolo

I criteri di invarianza idraulica sono stati proposti assumendo che sia possibile valutare:

- gli effetti dell'uso del suolo sulla formazione delle piene
- l'impatto delle variazioni di uso del suolo la distribuzione di frequenza delle piene.

2. La trasformazione del territorio



1960

2000

■ SISTEMI COMPLESSI

■ SEMINATIVI ASCIUTTI

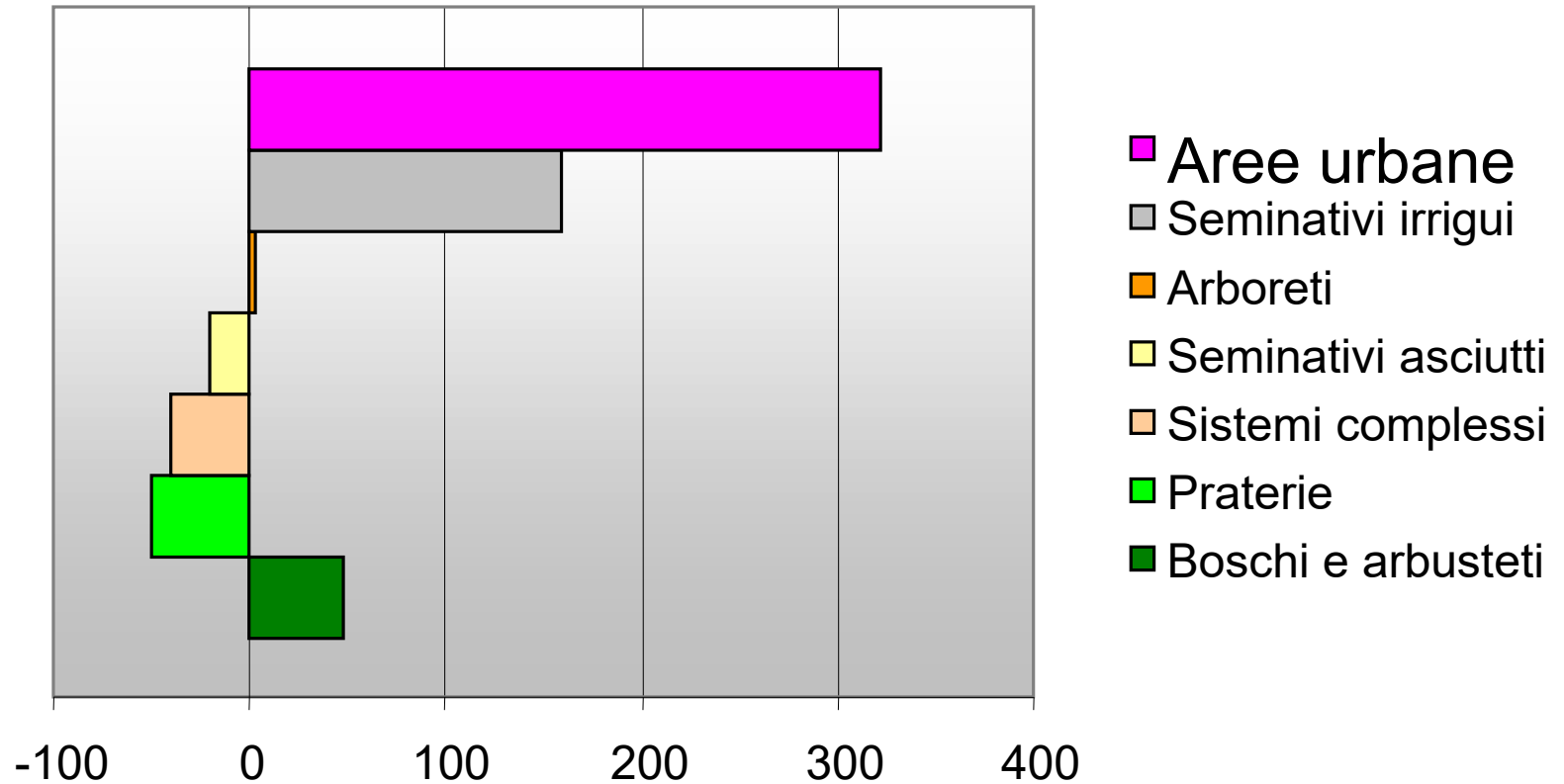
■ BOSCHI E ARBUSTETI

■ PRATERIE

Di Gennaro, 2006

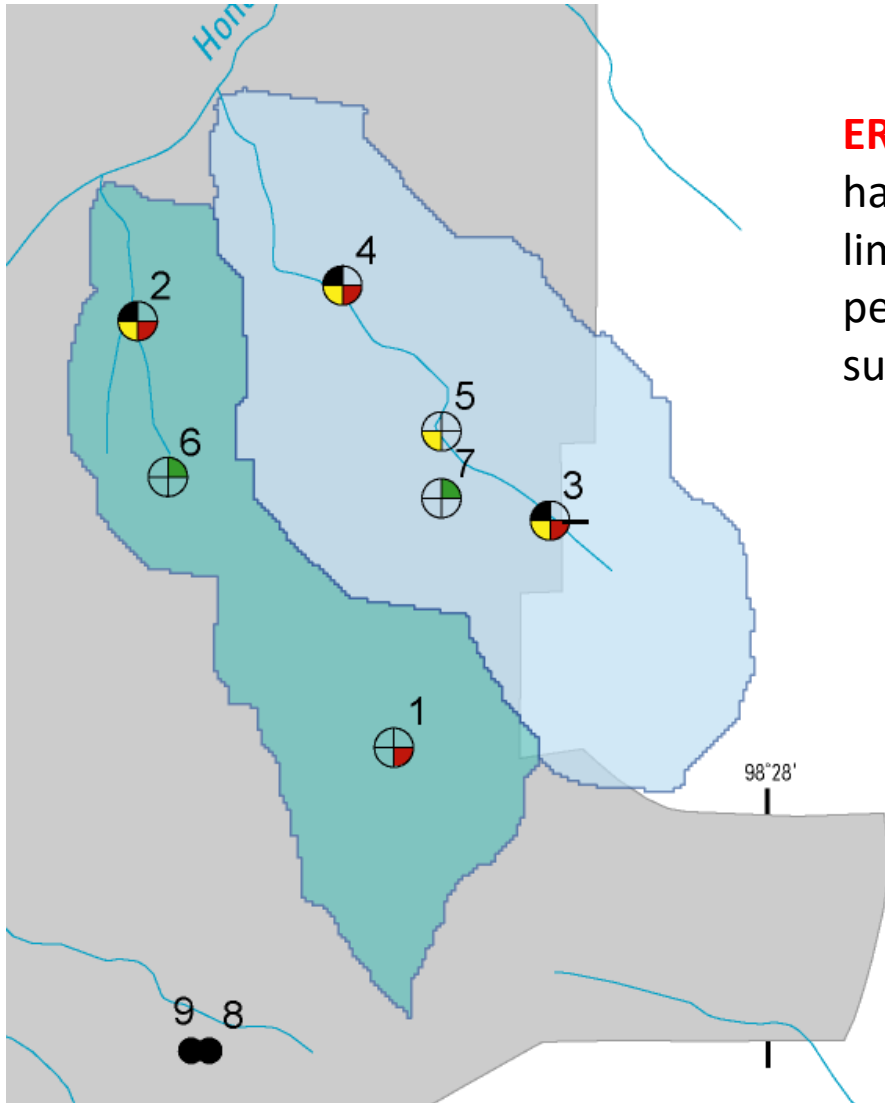
■ AREE URBANE

2. La trasformazione del territorio



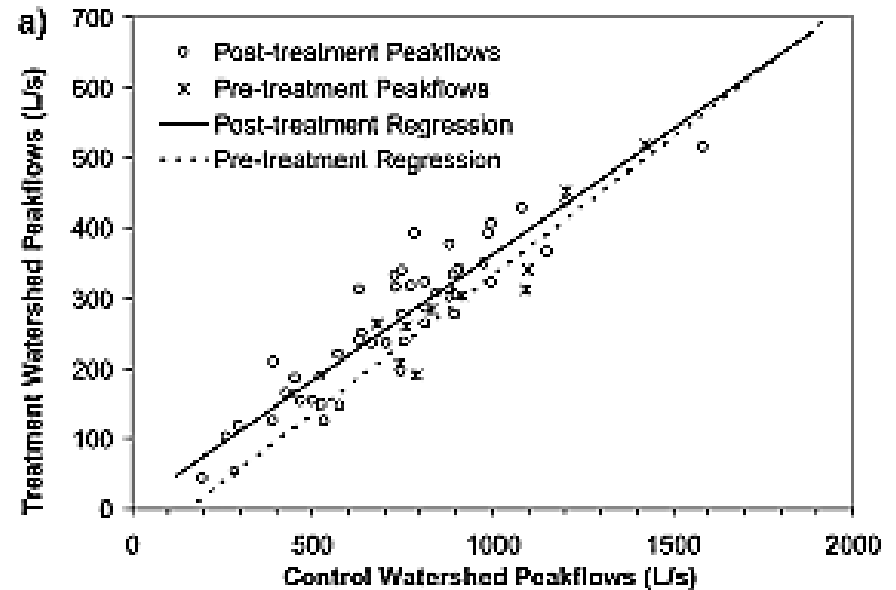
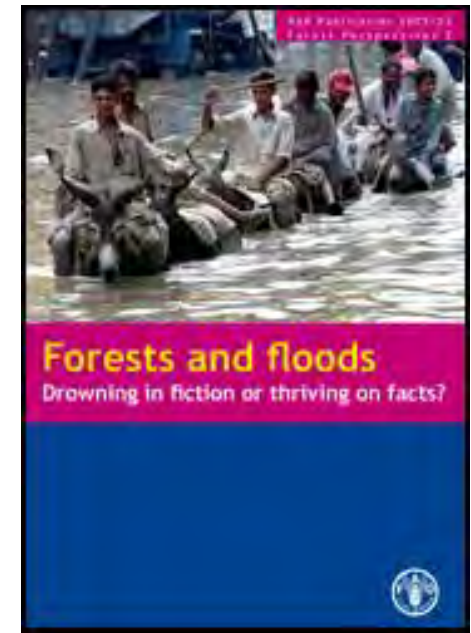
Variazioni classi di uso del suolo 1960-2000
(% rispetto alla superficie 1960 di ciascuna classe)

2.1 Effetti: il caso del taglio boschivo



FAO, 2005

ERRATO= «..le foreste hanno un effetto limitato sulle piene con periodo di ritorno superiore a 2-5 anni»



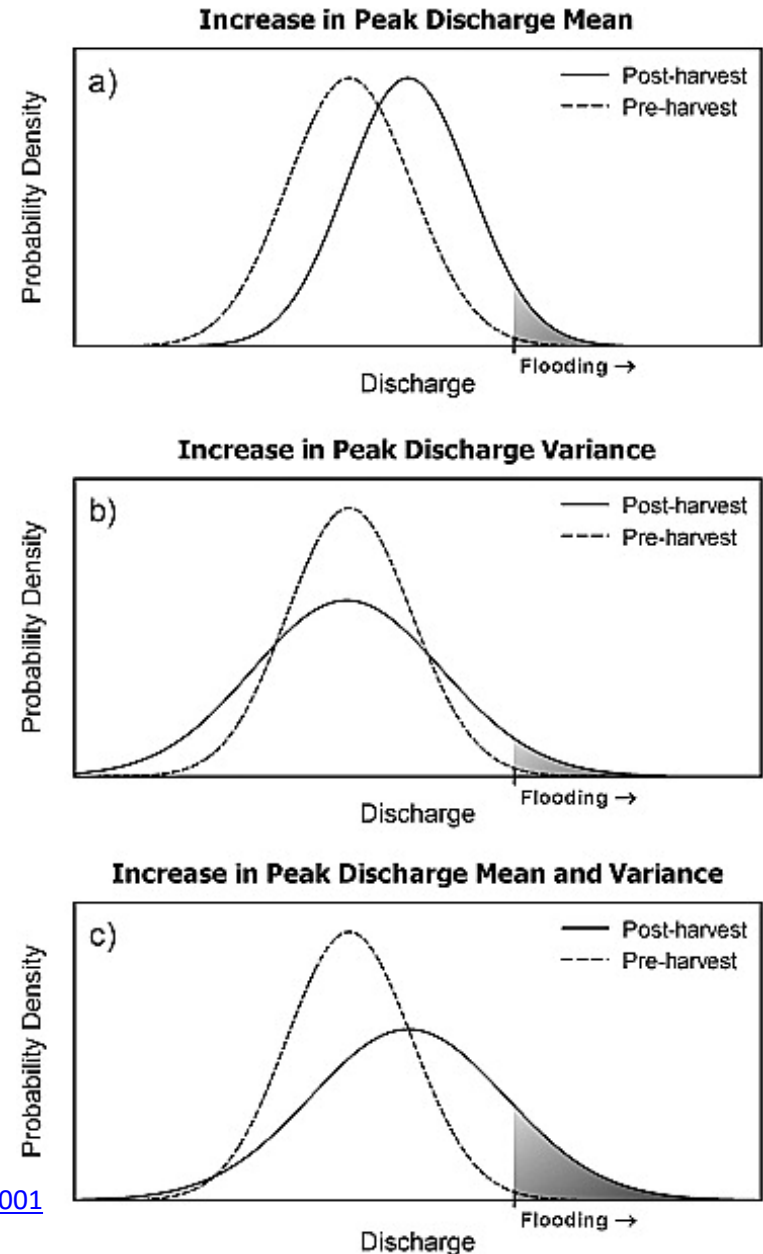
2.1 Effetti: il caso del taglio boschivo

Analisi dell'effetto delle variazioni di uso del suolo richiedono una analisi degli eventi a parità di frequenza.

La risposta idrologica è l'intera distribuzione di frequenza delle piene

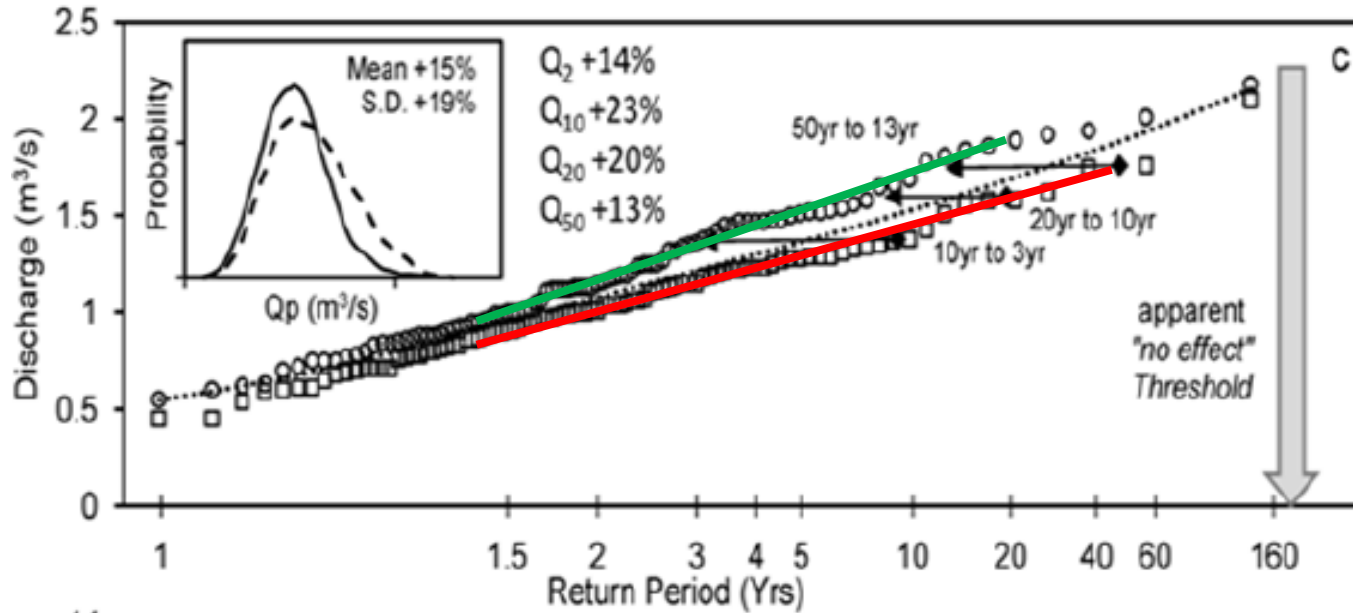
Alila, WRR, 2009

Water Resources Research
Volume 45, Issue 8, W08416, 13 AUG 2009 DOI: 10.1029/2008WR007207
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008WR007207/full#wrcr11927-fig-0001>



2.1 Effetto del bosco sulle piene

La copertura boschiva influenza la magnitudine e la frequenza degli eventi

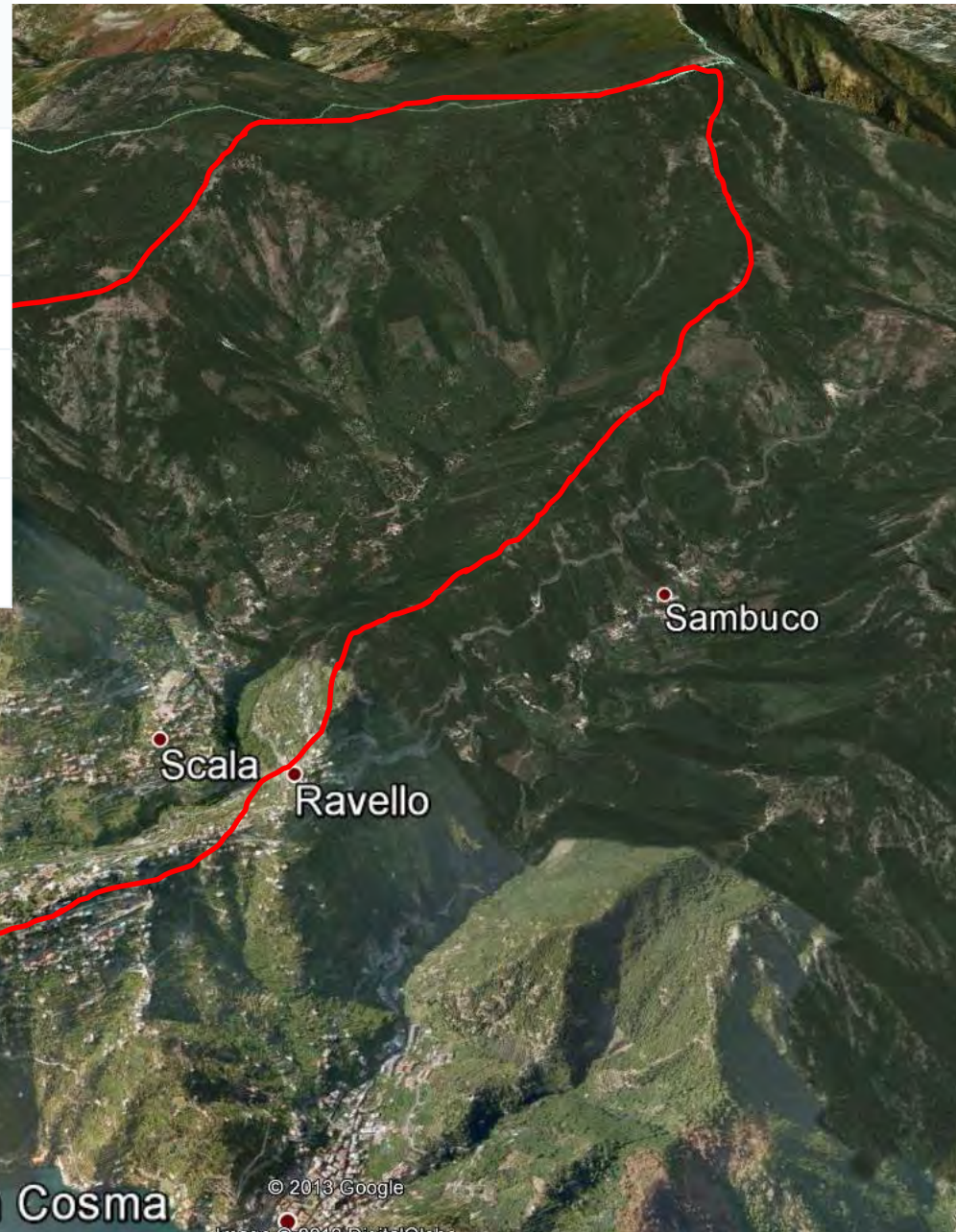


Post-taglio

Pre-taglio

2.1 Effetto delle pratiche culturali

Horizon	Depth (cm)	θ_s (%)	K_0 (cm day ⁻¹)
A	0–20	39.2	83 125
Bw	20–38	42.9	8123
C	71–100	27.1	19 110
2A/Bwb	100–140	73.4	2077
2Cb	150–200	32.3	59 105

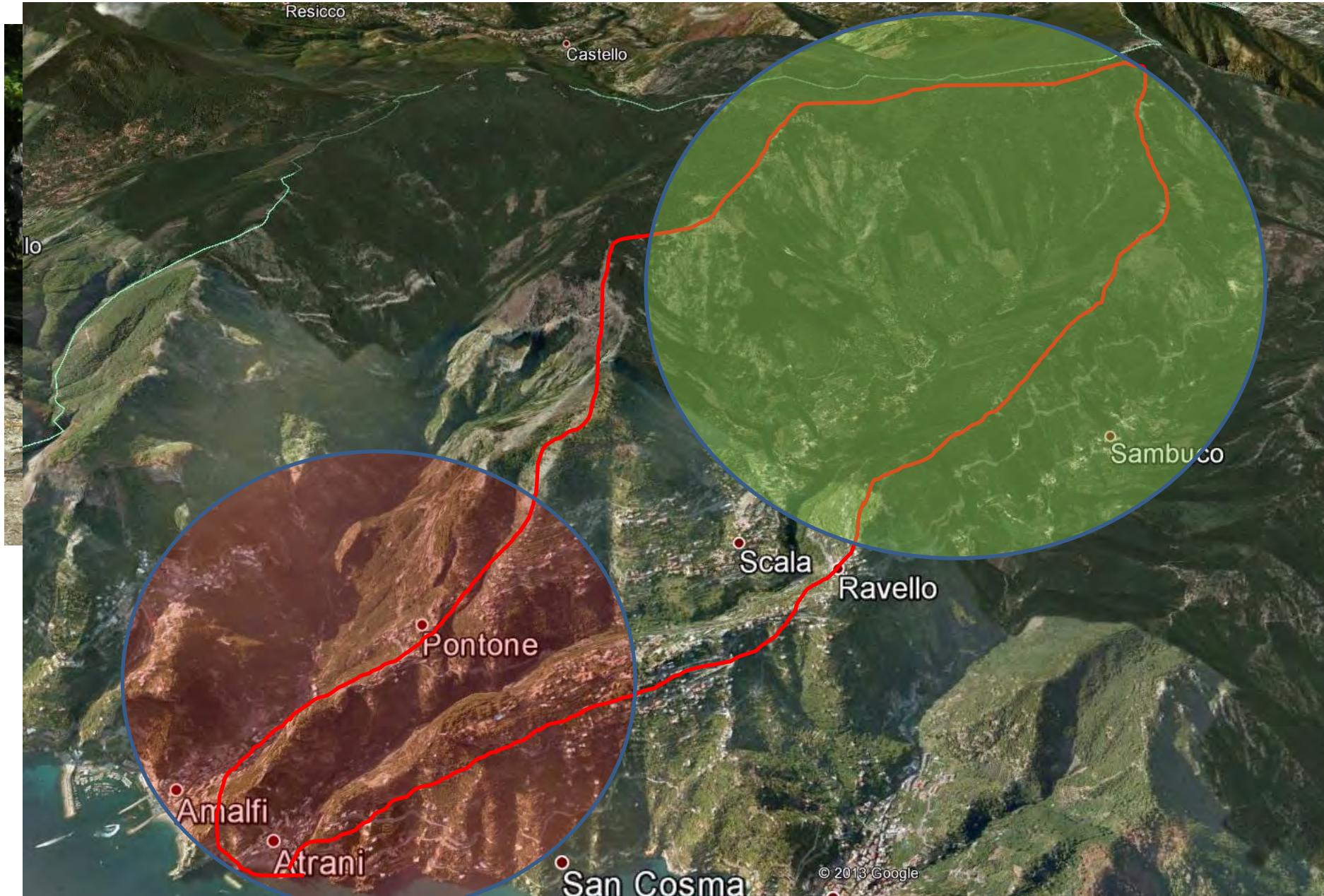


2.1 Effetto delle pratiche culturali

Scala, Ravello – foto 2007

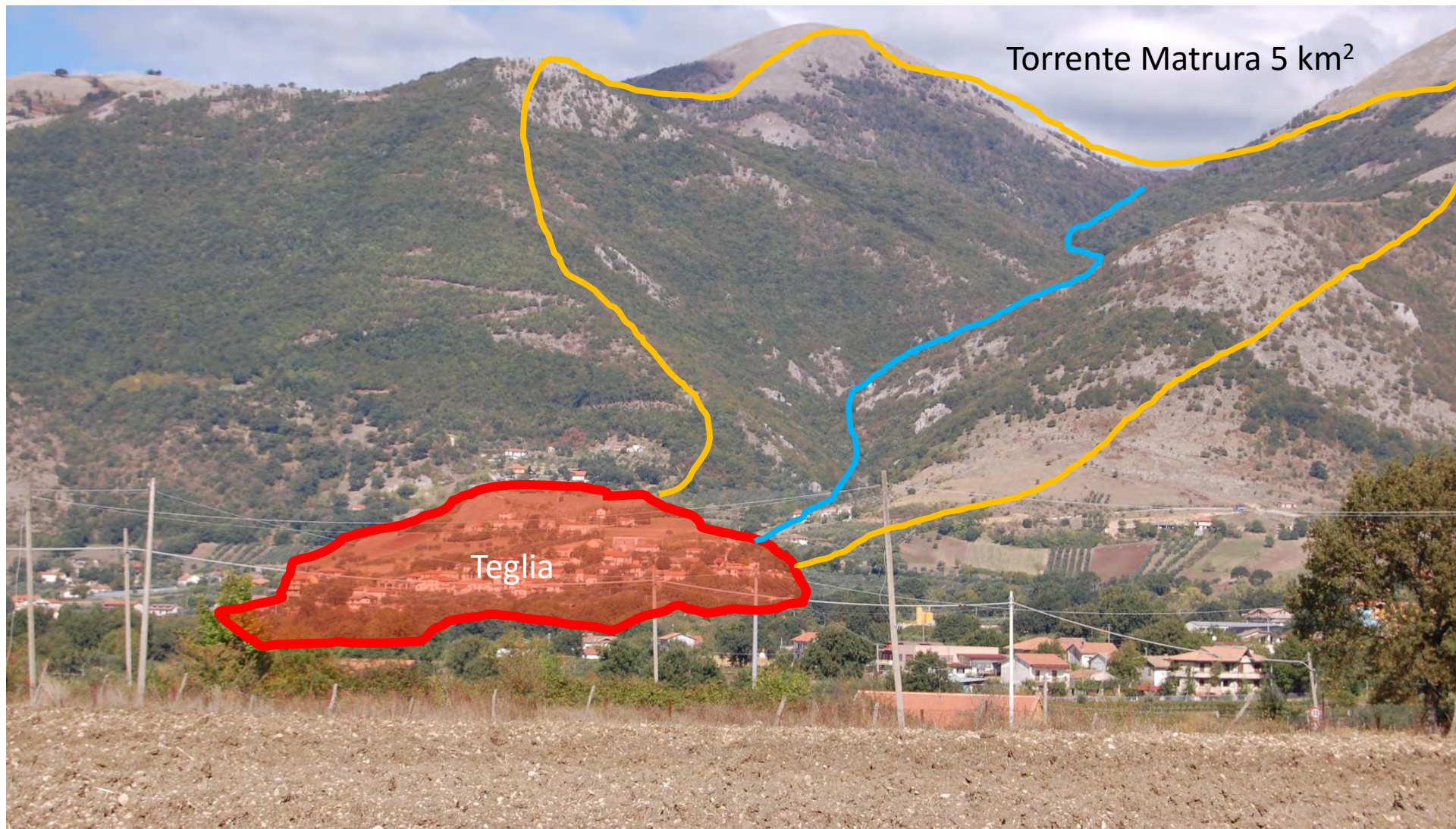


2.1 Effetto delle pratiche culturali

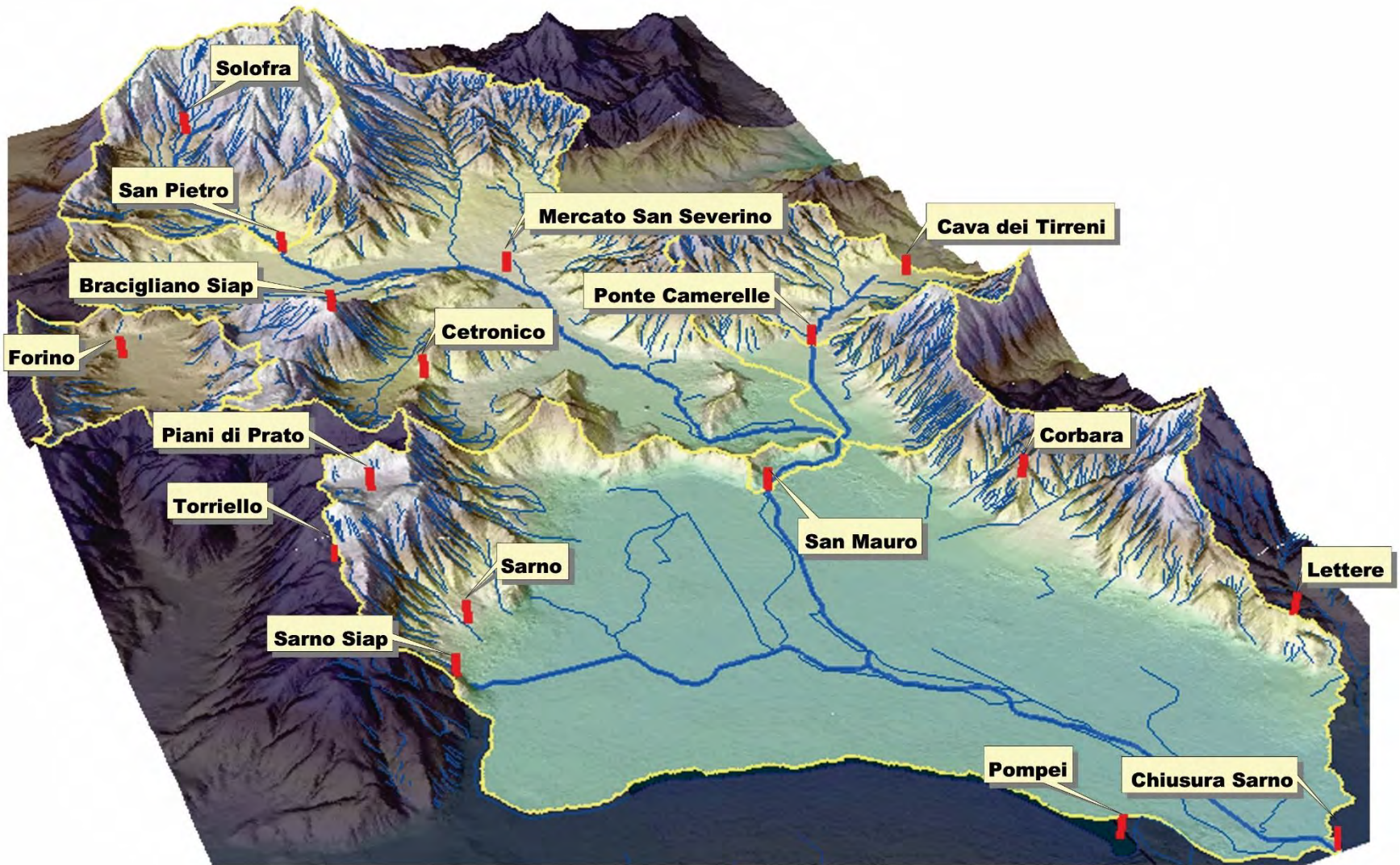


2.2 L'urbanizzazione delle aree pedemontane

Teglie, Buccino (SA) – 7 ottobre 2011



2.2 L'urbanizzazione delle aree pedemontane



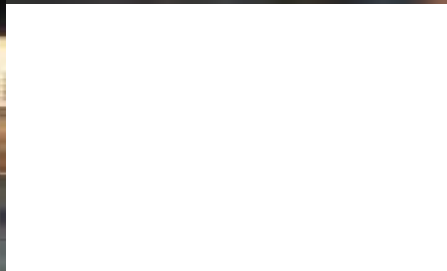
2.3 L'effetto degli incendi



San Rufo, Cilento, 19 settembre 2011

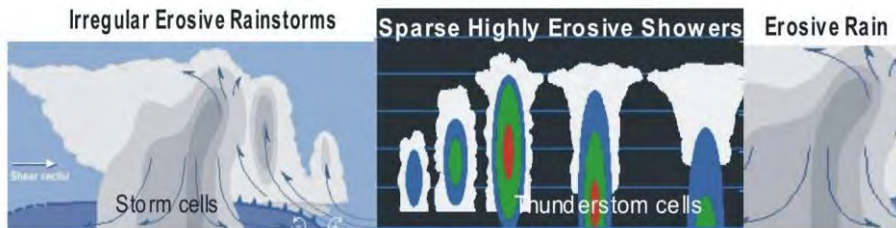
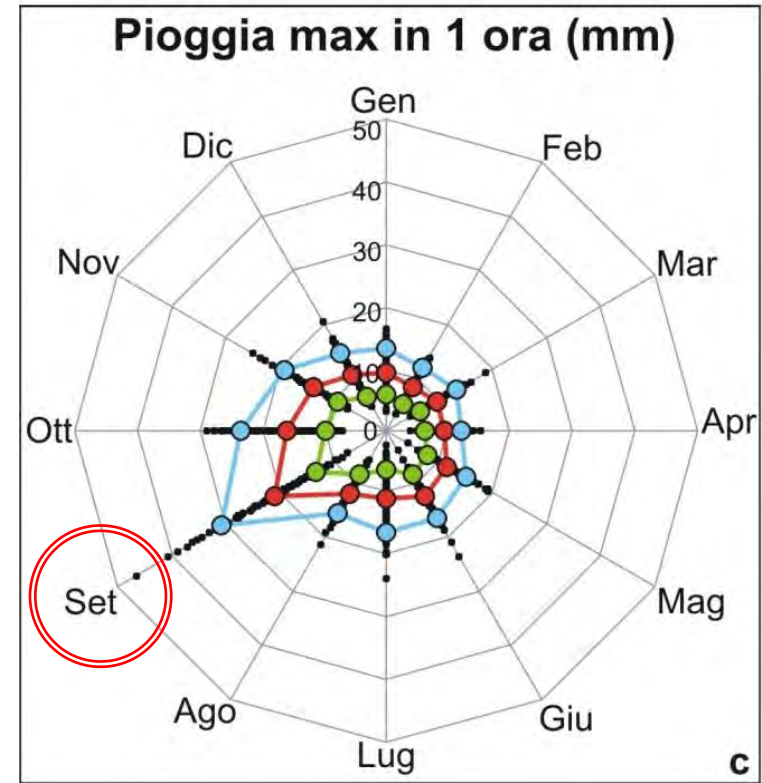
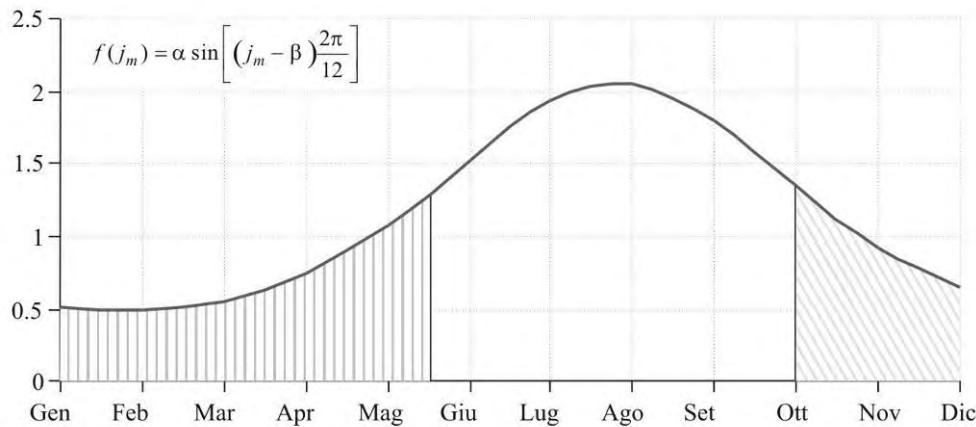
2.3 L'effetto degli incendi





2.4 Regime degli incendi e regime pluviometrico

I bacini montani mediterranei sono esposti ad eventi convettivi intensi che si verificano alla fine della stagione secca.



2.5 La trasformazione delle aree di bonifica

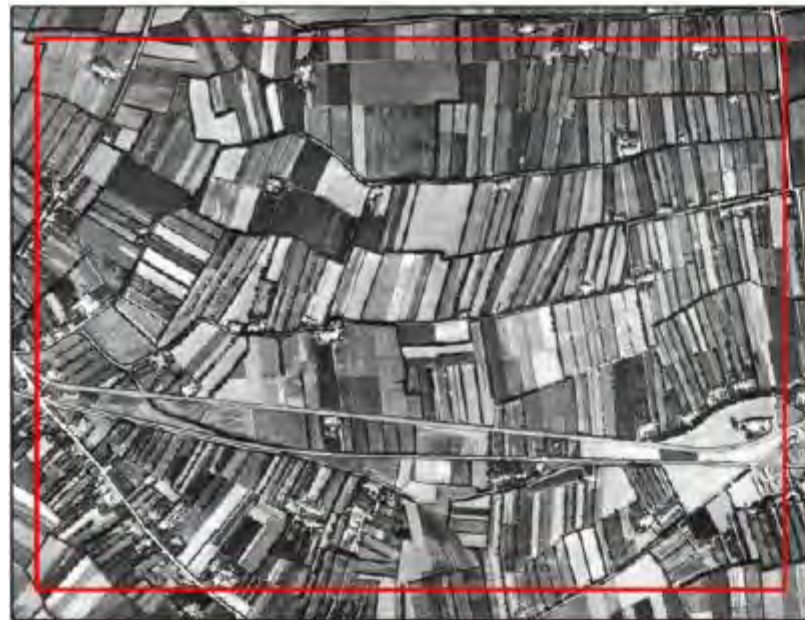
“Traversammo rivoli e pantani, dove i bufali, che avevano l’aria di ippopotami, ci guardavano fissamente co’ loro grandi occhi sanguigni e selvaggi.

La contrada era sempre piana e deserta: pochi casolari annunciavano una povera agricoltura”



W. Goethe, lettera da Napoli 23 marzo 1787

2.5 La trasformazione delle aree di bonifica



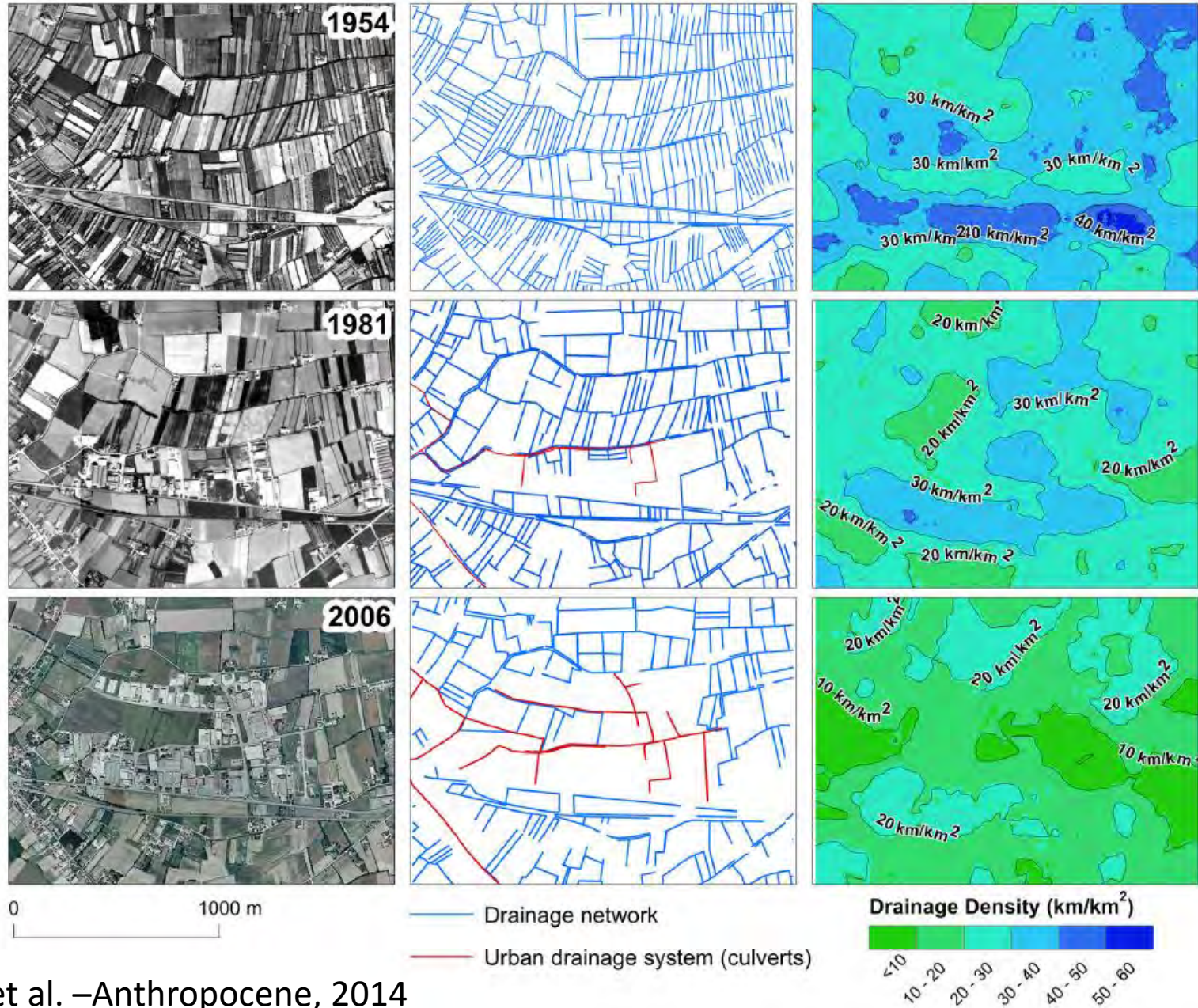
(a)



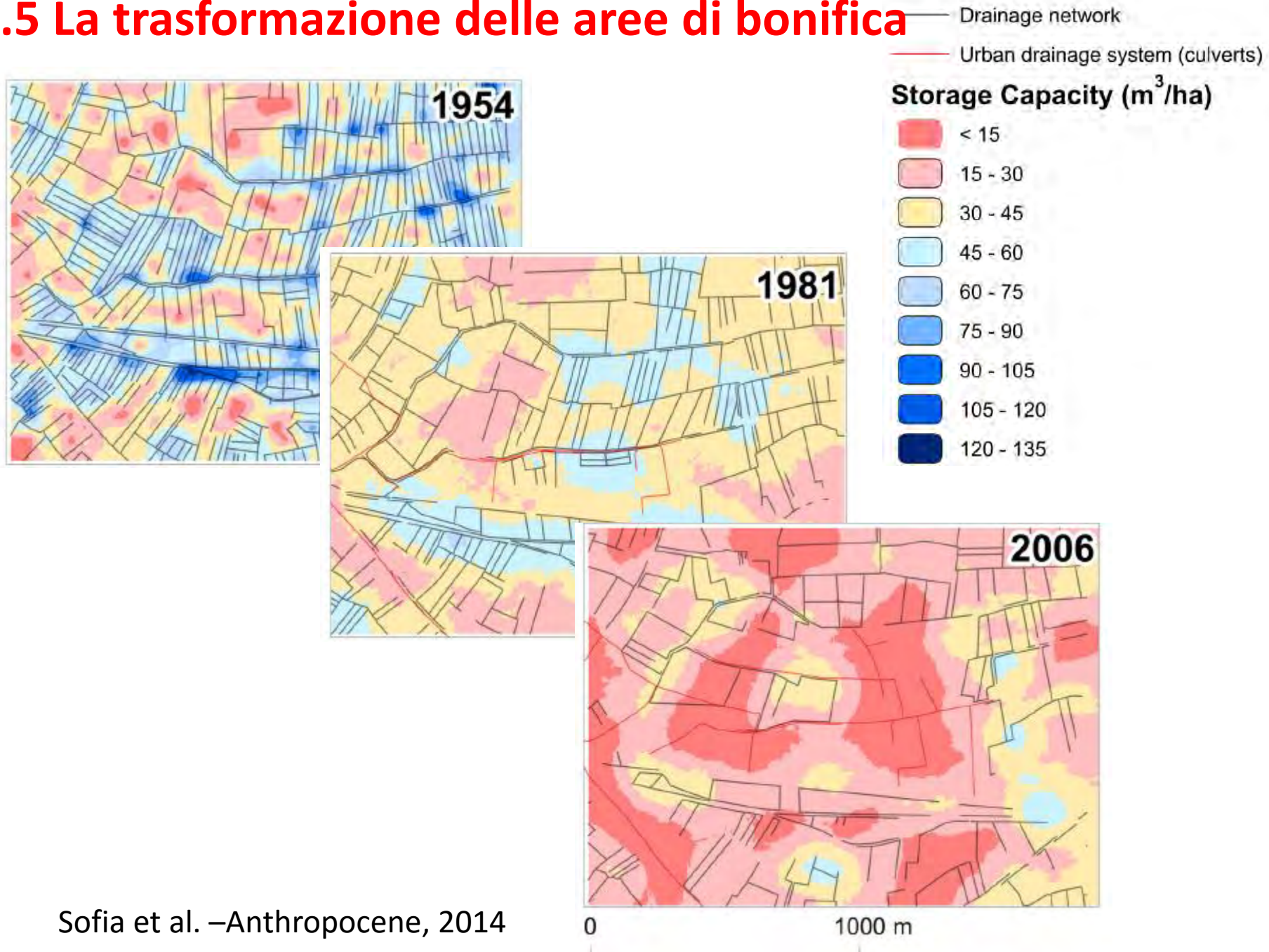
(b)

0 500 m
└──────────┘

2.5 La trasformazione delle aree di bonifica



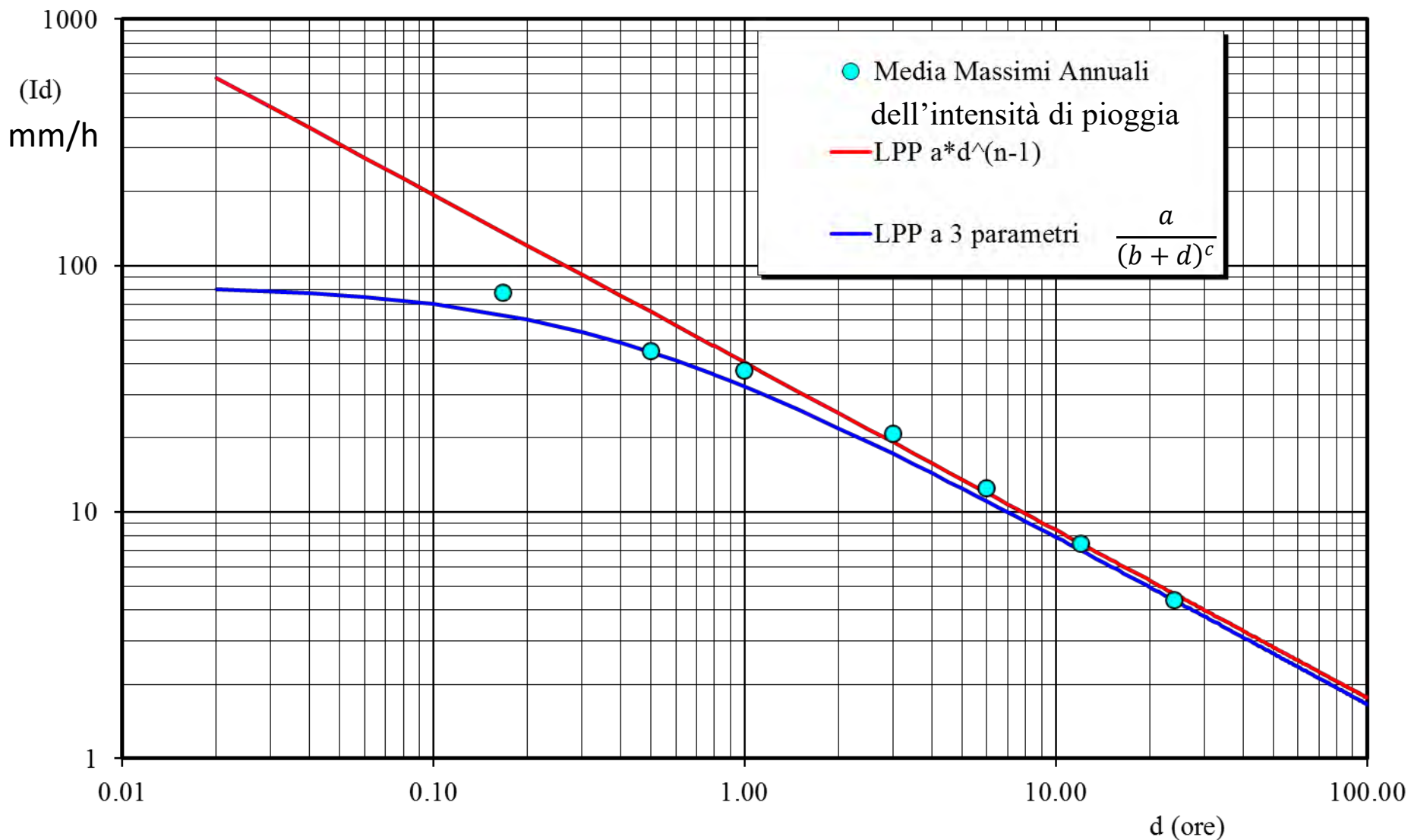
2.5 La trasformazione delle aree di bonifica



Sofia et al. –Anthropocene, 2014

3.1 Leggi intensità-durata

Relazione tra intensità di pioggia massima annuale e durata dell'evento



3.1 Invarianza idraulica secondo Autorità dei Bacini Romagnoli

$$W = W_0 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - W_0 P$$

$W = ?$ = volume da calcolare, da ricavare artificialmente per bilanciare l'impermeabilizzazione

$W_0 = 50$ mc/ha volume disponibile naturalmente per la laminazione

Φ = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione

Φ_0 = coefficiente di deflusso prima della trasformazione

n coefficiente curva (h,d) per piogge di durata inferiori all'ora

$15 = 15$ mc/ha = volume disponibile per la laminazione in superfici impermeabili e permeabili diverse dall'agricola (CONVENZIONE)

I = percentuale di superficie Impermeabile e permeabile trasformata rispetto all'area agricola

P = percentuale di superficie AGRICOLA INALTERATA

3.1 Invarianza idraulica secondo Autorità dei Bacini Romagnoli

$$W = W_0 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - W_0 P$$

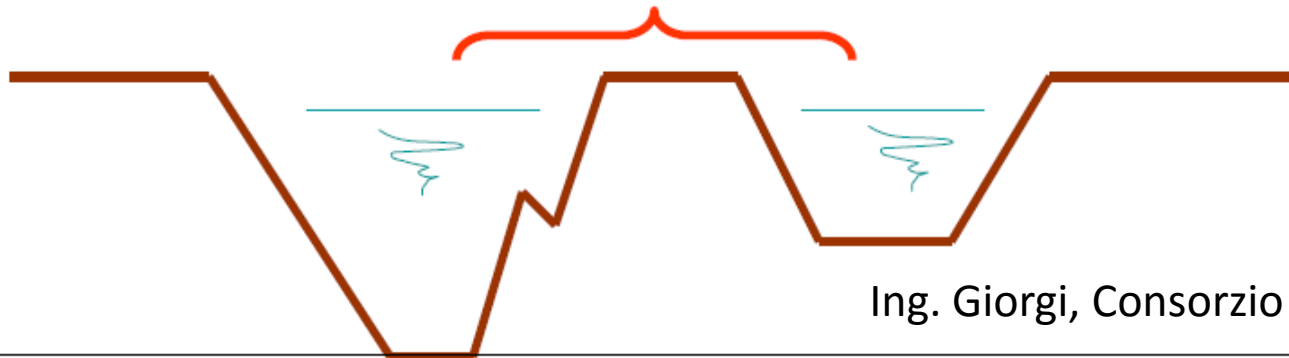
W₀

VOLUME DI INVASO

E' la somma dei volumi delle depressioni naturali del terreno, delle fosse, dei solchi che un terreno ha e che quando piove vengono riempiti dall'acqua.

E' un volume naturalmente disponibile per la laminazione della portata meteorica.

CONVENZIONE: 50 mc/ha



Ing. Giorgi, Consorzio Savio Rubicone

3.1 Invarianza idraulica secondo Autorità dei Bacini Romagnoli

$$W = W_0 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - W_0 P$$

Coefficiente di deflusso: la percentuale della pioggia caduta che raggiunge il ricevente.

ϕ_0

Coefficiente di deflusso prima della trasformazione.

E' pari alla media pesata dei coefficienti 0,2 per la parte permeabile e 0,9 per la parte impermeabile sull'area totale.

ϕ

Coefficiente di deflusso dopo la trasformazione.

E' pari alla media pesata dei coefficienti 0,2 per la parti permeabili e 0,9 per la parti impermeabili sull'area totale

Superfici tipo autobloccanti e misto stabilizzato permeabili al 50 %

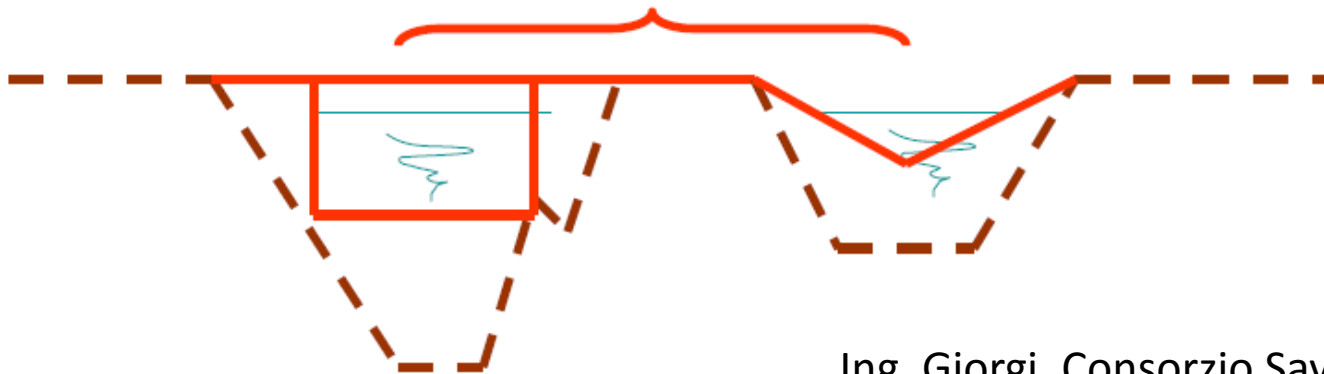
3.1 Invarianza idraulica secondo Autorità dei Bacini Romagnoli

$$W = W_0 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - W_0 P$$

Percentuale di superficie Impermeabile e di superficie permeabile trasformata rispetto all'area agricola.

Un terreno diverso dall'agricolo (impermeabile e verde giardino) ha un volume specifico di invaso di 15 mc/ha.

CONVENZIONE: 15 mc/ha



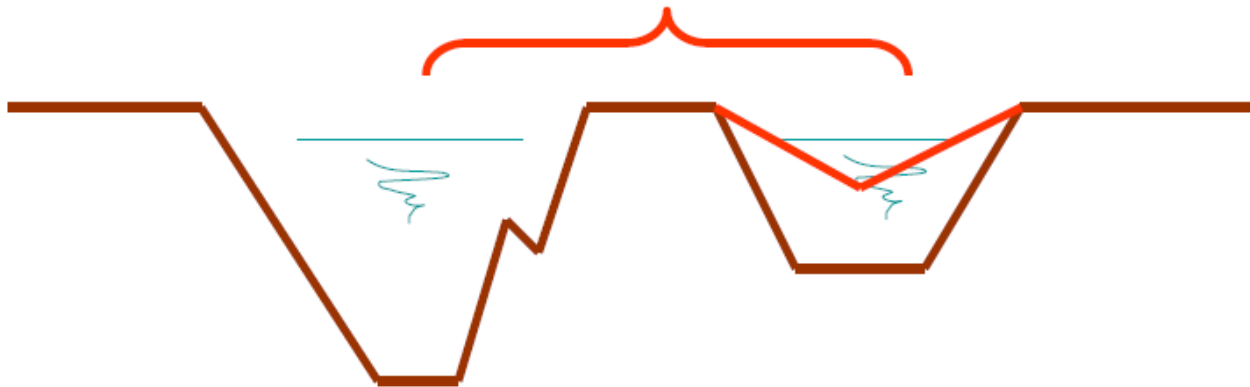
3.1 Invarianza idraulica secondo Autorità dei Bacini Romagnoli

$$W = W_0 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - W_0 P$$

P

Percentuale di superficie che rimane **INALTERATA** rispetto all'area agricola.

CONVENZIONE: 50 mc/ha



3.2 Invarianza idraulica in Veneto

$$V_0 = \frac{u^{\frac{c-1}{c}} (a \varphi z)^{\frac{1}{c}} - b u}{z \xi_\alpha(z)}$$

$$I = \frac{a}{(b + d)^c}$$

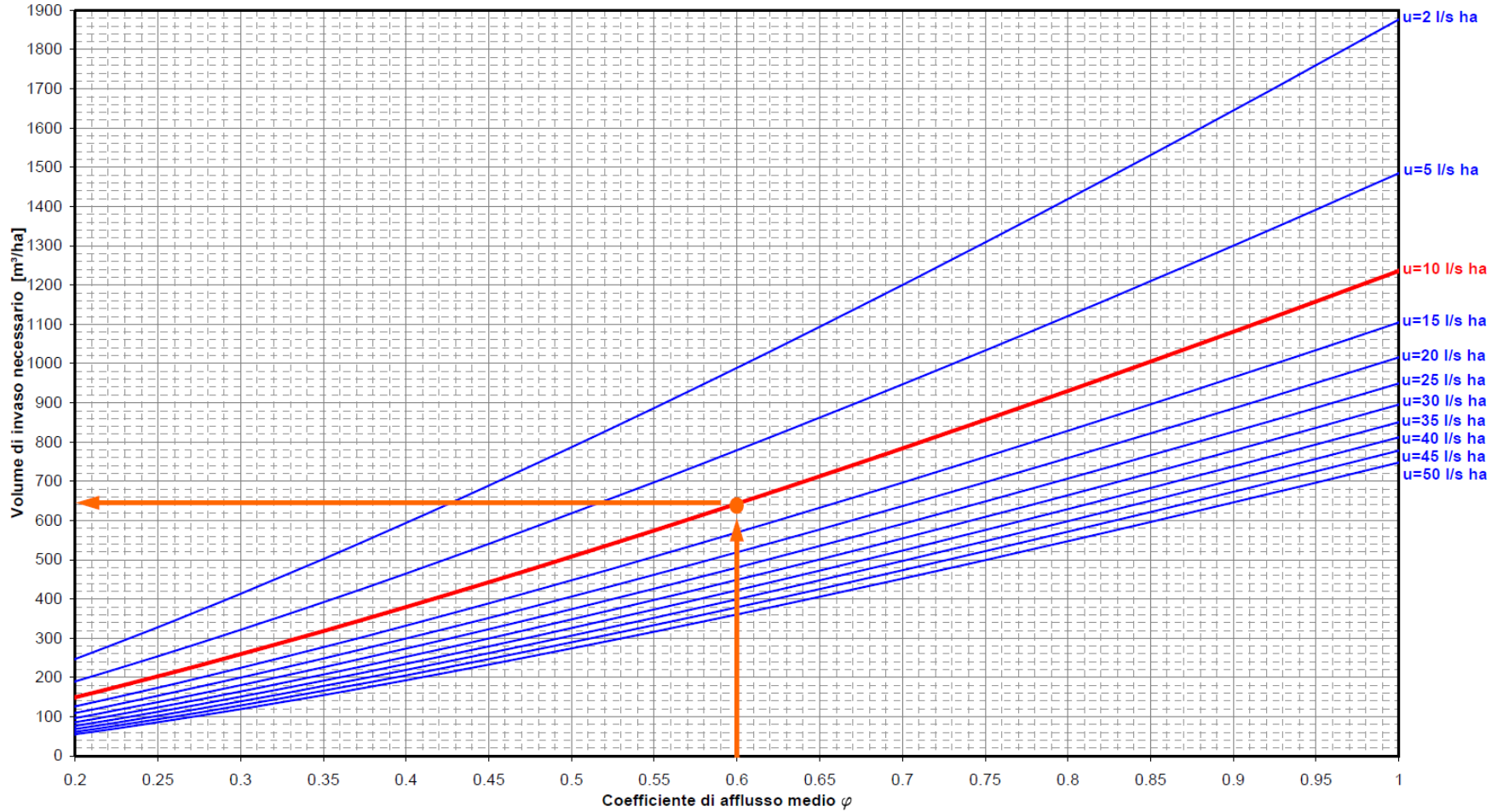
$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{k \alpha + 1} = \xi_\alpha(z)$$

- u coefficiente udometrico, esprime una portata massima di deflusso per unità di superficie (ad es. 10 litri /sec*ha)
- V_0 volume da garantire per assegnato coefficiente udometrico
- α coefficiente di forma delle sezioni idriche (1 per spechi chiusi)
- z rapporto tra portata e pioggia netta



3.2 Invarianza idraulica in Veneto

Zona costiera lagunare - Tr = 50 anni (CPP a 3 parametri) - Sezioni chiuse



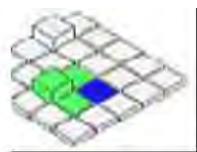
3.2 Soluzioni per compensare interventi di urbanizzazione

- vasca in c.a. o altro materiale “rigido” posta a monte del punto di scarico, aperta/coperta e in serie/parallelo
- invaso in terra posto a monte del punto di scarico in serie/parallelo
- depressione in area verde o in piazzale posta a monte del punto di scarico
- dimensionamento con “strozzatura” delle caditoie in modo da consentire un invaso su strade e piazzali
- dimensionamento con “strozzatura” delle grondaie e tetti piatti con opportuno bordo di invaso in modo da consentire un invaso sulle coperture

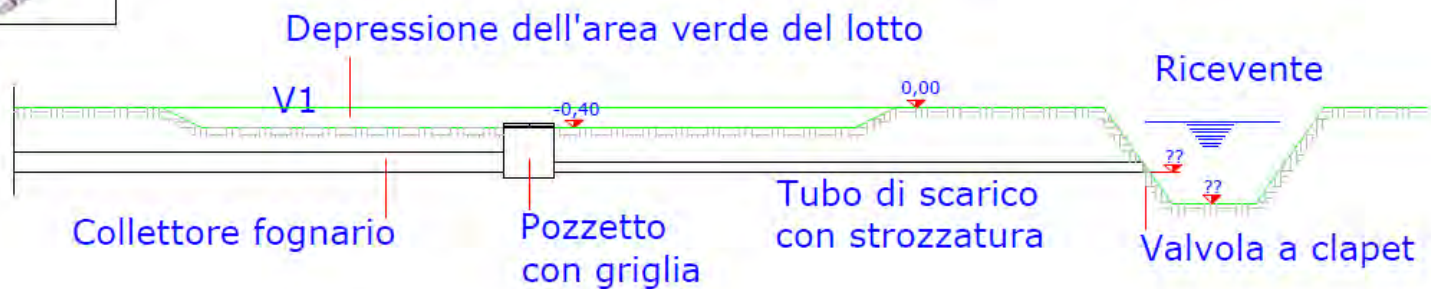
3.2 Soluzioni per compensare interventi di urbanizzazione

- sovradimensionamento delle fognature interne al lotto (1 m³ di tubo o canale = 0,8 m³ di invaso)
- mantenimento di aree allagabili (es. verde, piazzali) con “strozzatura” adeguata degli scarichi
- scarico in acque costiere o comunque che non subiscono effetti idraulici dagli apporti meteorici
- scarico in vasche adibite ad altri scopi (sedimentazione, depurazione ecc.) purché il volume di invaso si aggiunga al volume previsto per altri scopi, e purché siano comunque rispettati i vincoli e i limiti allo scarico per motivi di qualità delle acque
- scarico a dispersione in terreni agricoli senza afflusso diretto alle reti di drenaggio sia superficiale, anche sotterraneo

VASCA DI LAMINAZIONE RICAVATA NEL VERDE



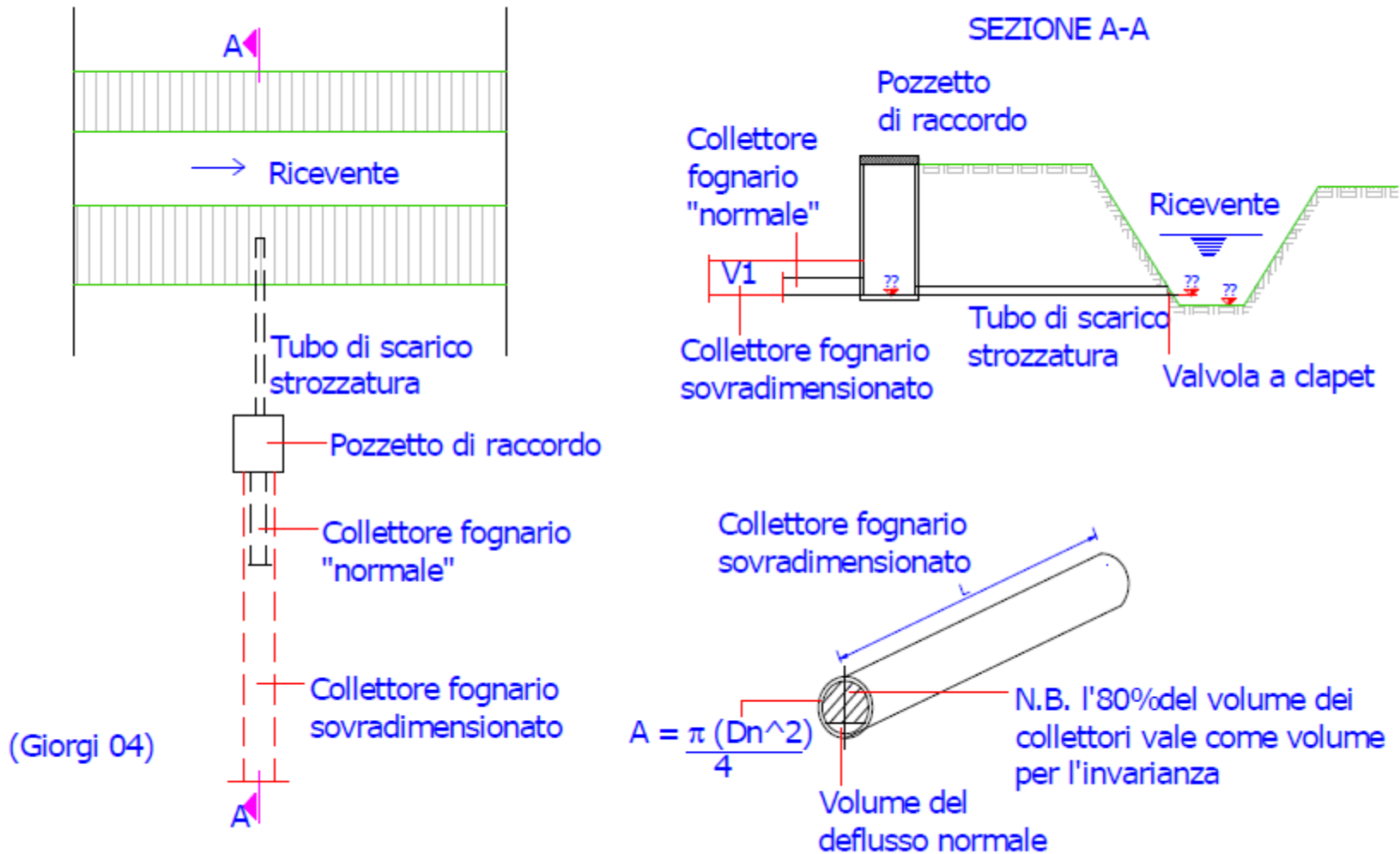
SEZIONE A-A



(Giorgi 04)

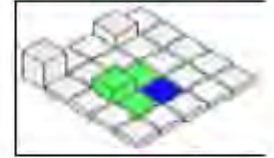
$$\text{Volume } V1 > \text{Volume } W$$

SOVRADIMENSIONAMENTO COLLETTORI FOGNARI



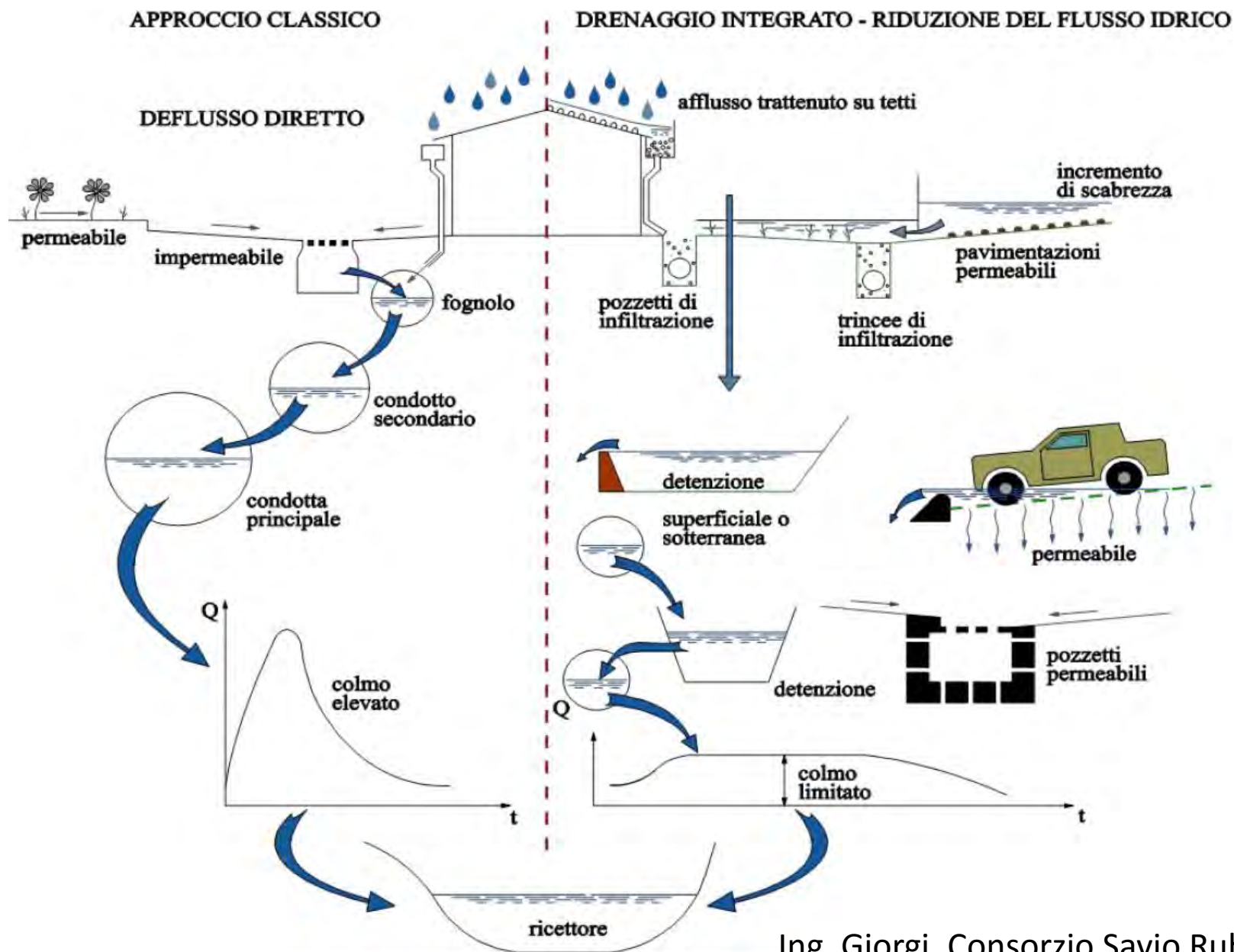
Volume collettori $V1 = 80\% A \times L > \text{Volume } W$

VASCA DI LAMINAZIONE IN C.C.A. IN OPERA O PREFABBRICATA



Volume $V1 >$ Volume W (dalla formula)

3.2 Soluzioni per compensare interventi di urbanizzazione



3.2 Soluzioni per compensare interventi di urbanizzazione

STRUTTURE DI INVASO

- Bacini di detenzione superficiale
- Vasche interrate di detenzione
- Bacini di ritenzione

SISTEMI VEGETATI

- Wetlands
- Cunette vegetate
- Filter strips

SISTEMI DI FILTRAZIONE

- Filtri superficiali di sabbia
- Filtri organici (prefabbricati)

STRUTTURE DI INFILTRAZIONE

- Trincee di infiltrazione
- Pozzi drenanti
- Pavimentazioni permeabili

3.2 Soluzioni per compensare interventi di urbanizzazione

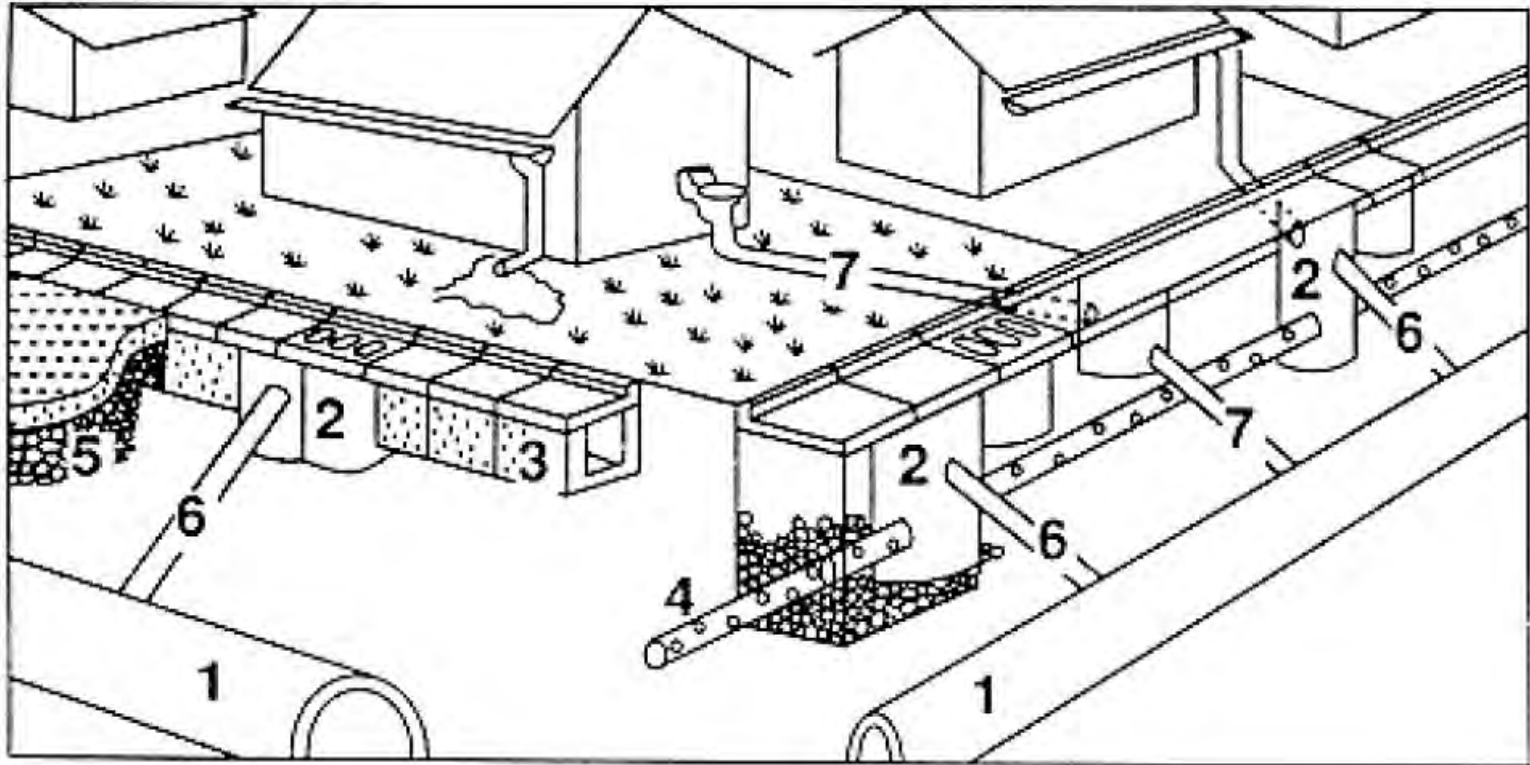
BMPs	EFFETTO SUI DEFLUSSI
Pozzi e trincee di infiltrazione Pavimentazioni porose Disconnessione aree imp.	Riduzione della percentuale di area impermeabile connessa alla rete drenante
Vasche di laminazione Controllo degli organi di intercettazione	Aumento del tempo di corrivazione del bacino; riduzione della portata al picco
Serbatoi di accumulo delle acque piovane Vasche di ritenzione Lagune	Separazione delle prime acque di pioggia Riduzione dell'impatto inquinante dei deflussi meteorici
Cunette erbose Filtri vegetali	Riduzione dell'impatto inquinante dei deflussi meteorici Aumento del tempo di corrivazione del bacino

3.3 Strutture di infiltrazione: fosse di assorbimento lungo le strade forestali

Gli sbocchi possono essere protetti con fosse di assorbimento nel caso terreni molto permeabili. Le fosse sono realizzabili anche per sbocchi a valle, ma con pendenze del versante inferiori a 25°.



3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



1 Sistema di drenaggio
2 Pozzo di infiltrazione
3 Trincea di infiltrazione

4 Condotta infiltrante
5 Pavimentazione porosa
6 Scarico di troppo pieno

7 Allaccio fognario ordinario

3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



Sistemi aperti: volumi in eccesso recapitati attraverso uno scarico di troppo pieno verso un recapito superficiale

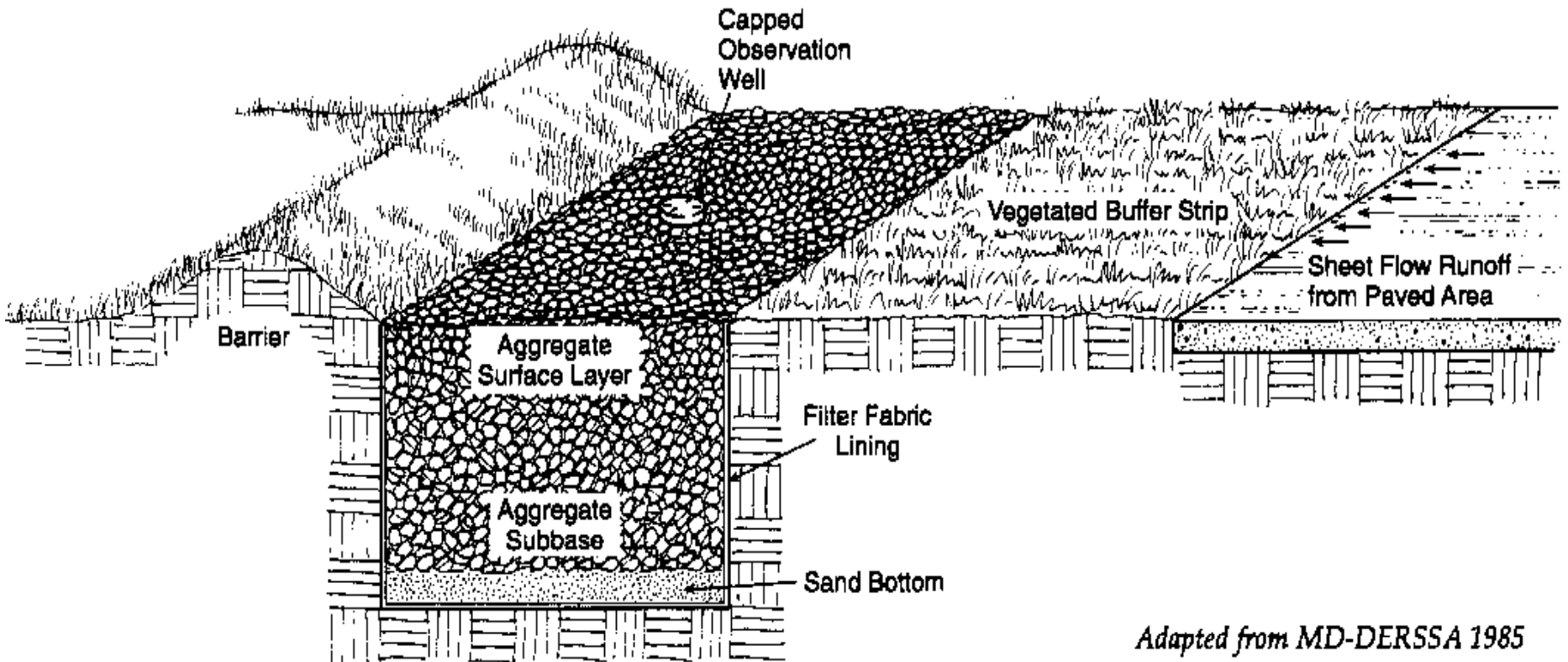
Sistemi chiusi: portate eccedenti attraverso sistemi di scarico controllati



3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee

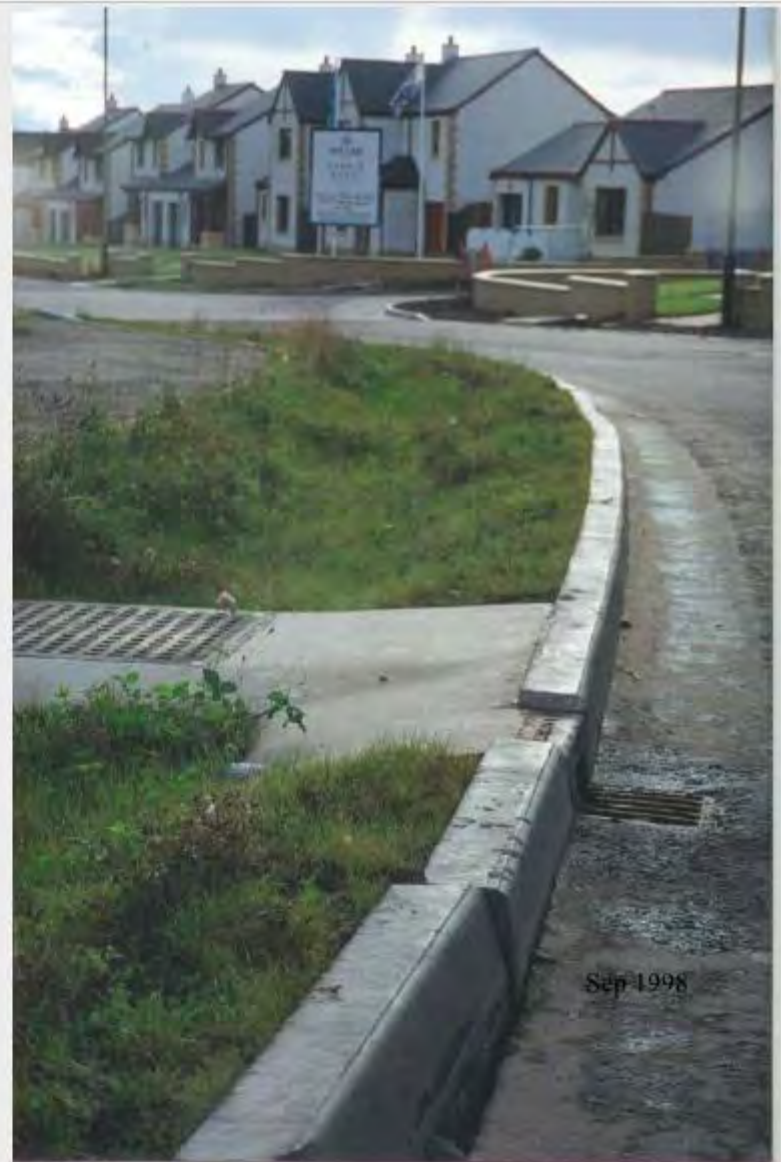


3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



Adapted from MD-DERSSA 1985

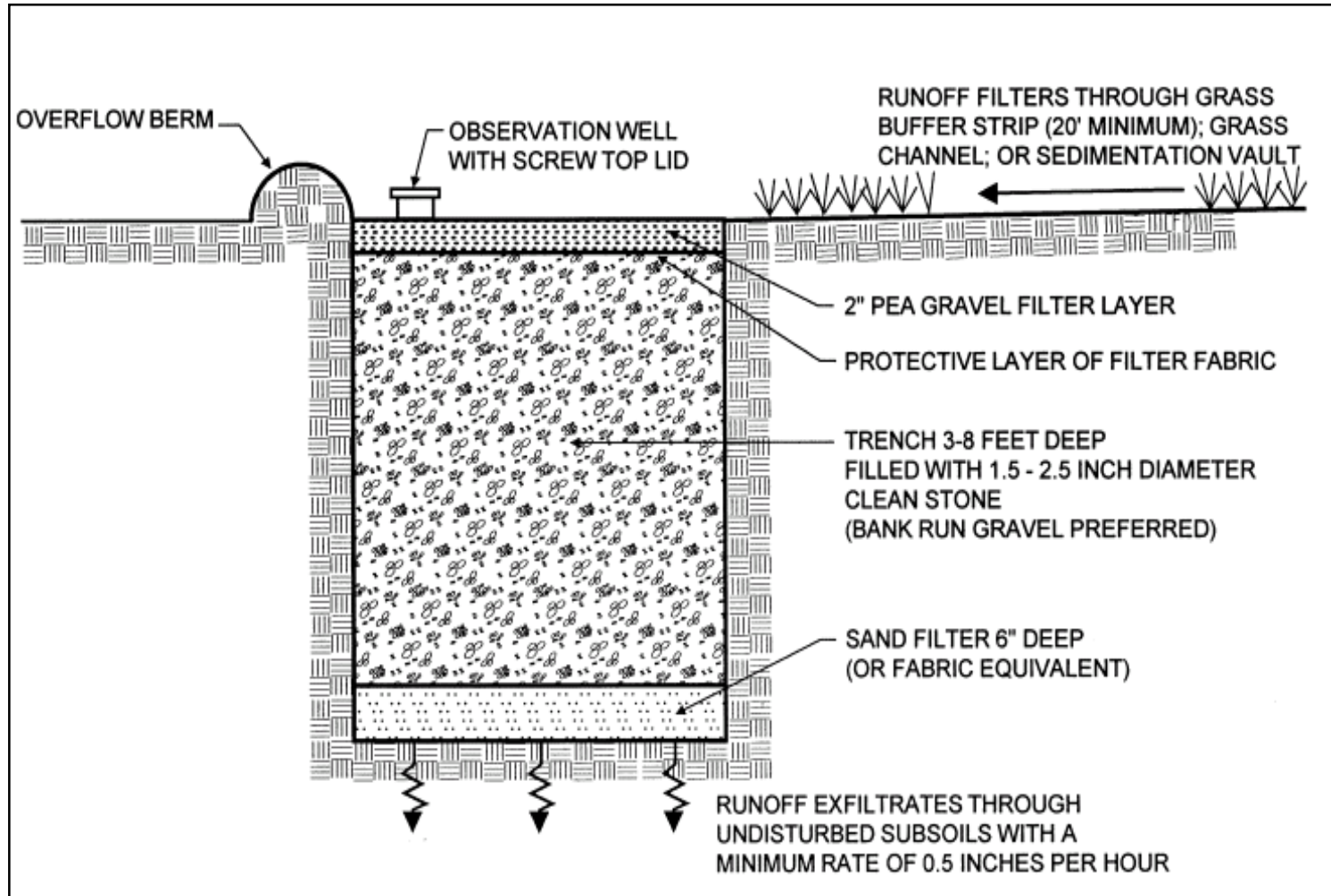
3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



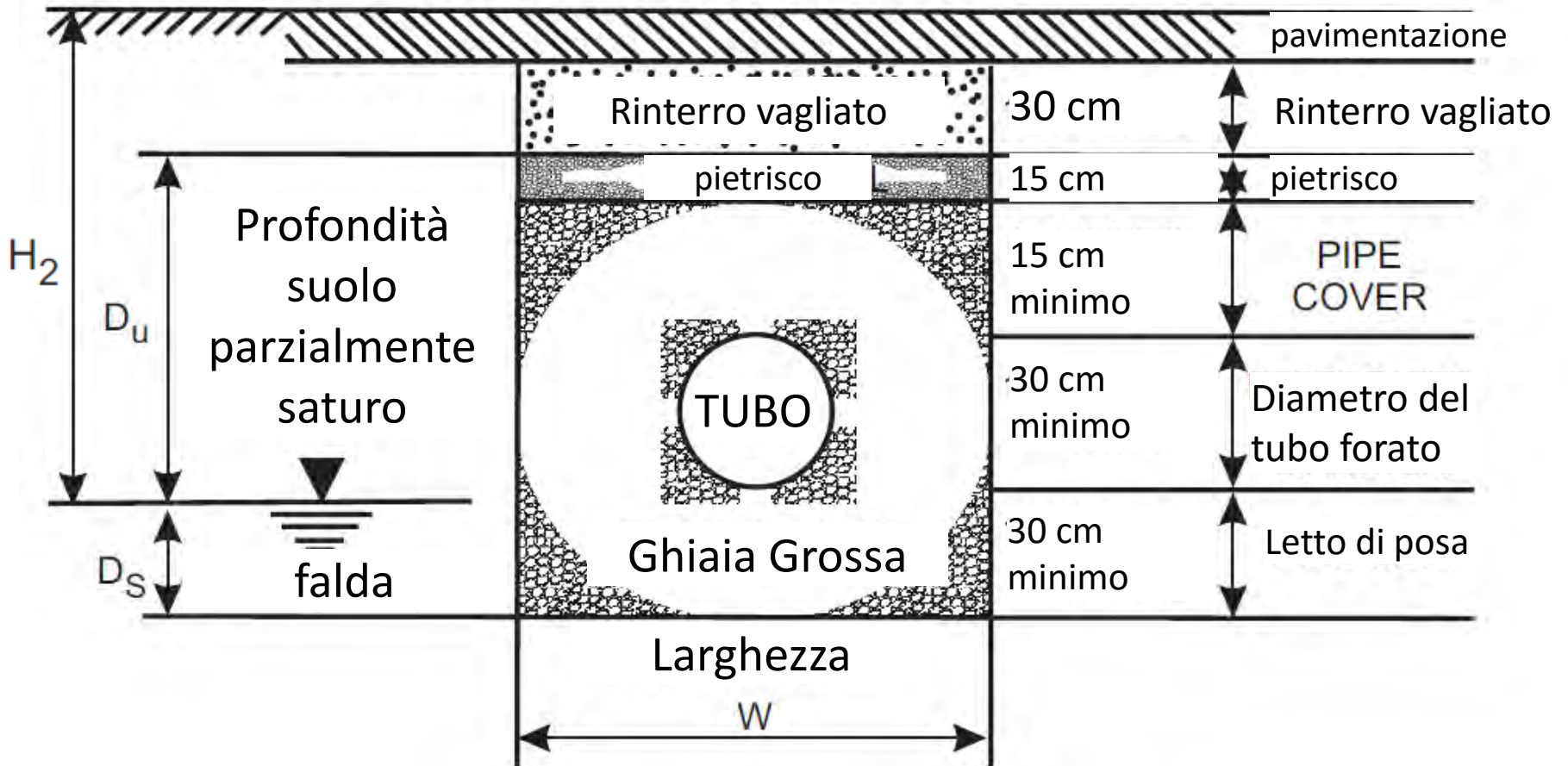
3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



3.3 Strutture di infiltrazione: le trincee



4.4 Trincee di infiltrazione: dimensionamento

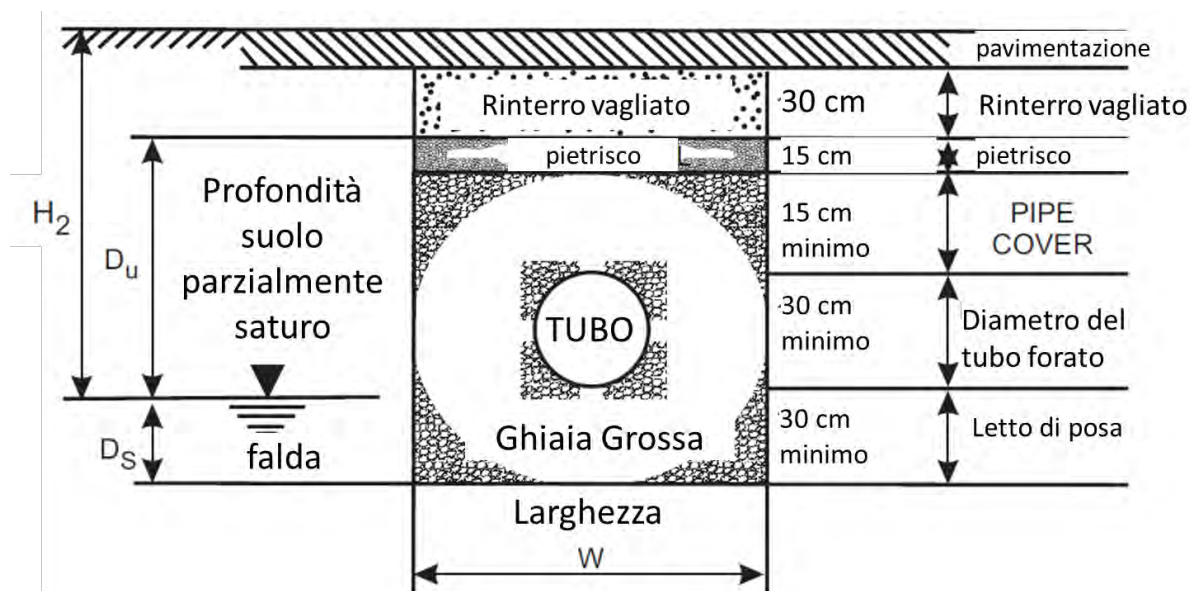


Riferimento: South Florida Water management district

3.4 Trincee di infiltrazione: dimensionamento

Critério di dimensionamento per un caso di studio semplice.

Lunghezza trincea
 $L=?$



$$V = CiAt$$

Volume ruscellamento in un tempo t , con coefficiente deflusso C

$$i = \frac{a}{b+t}$$

Legge di pioggia (semplificata)

$$V_S = 0.5W D_u L$$

Volume utile di invaso, con porosità media 0.5 incluso la tubazione

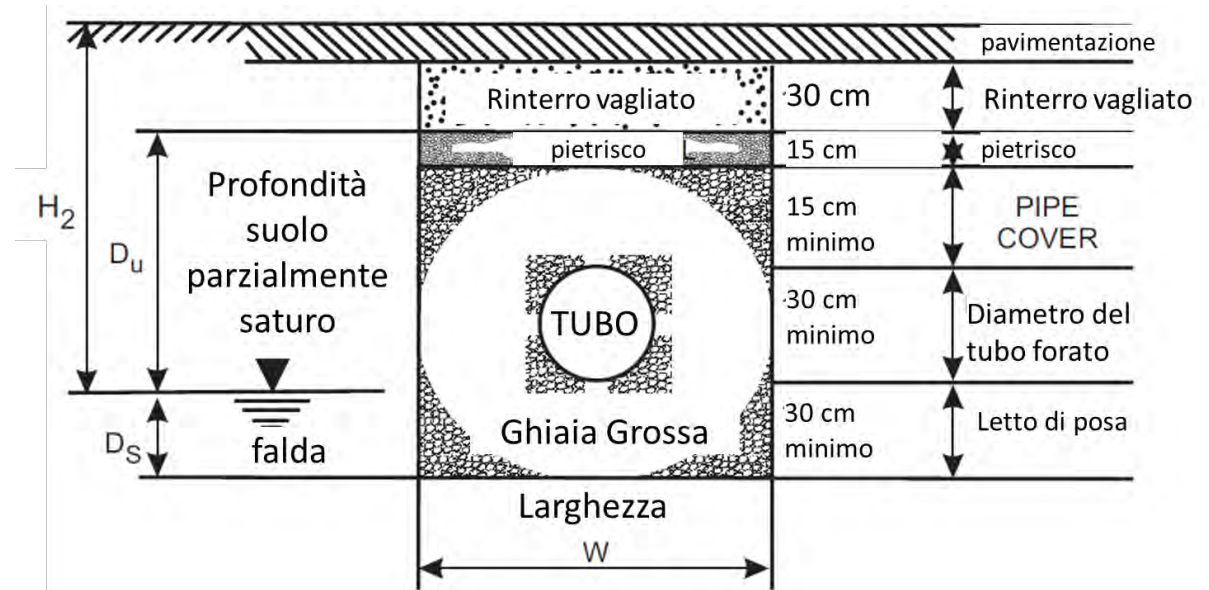
$$V_B = KH_2WLt$$

Volume drenato alla basa in tempo t , con K parametro di exfiltrazione per unità di carico da prove di permeabilità in foro

$$V_L = 2KL[D_u(H_2 - 0.5D_u) + D_sH_2]t$$

Volume drenato lateralmente, in un tempo t

4.4 Trincee di infiltrazione: dimensionamento



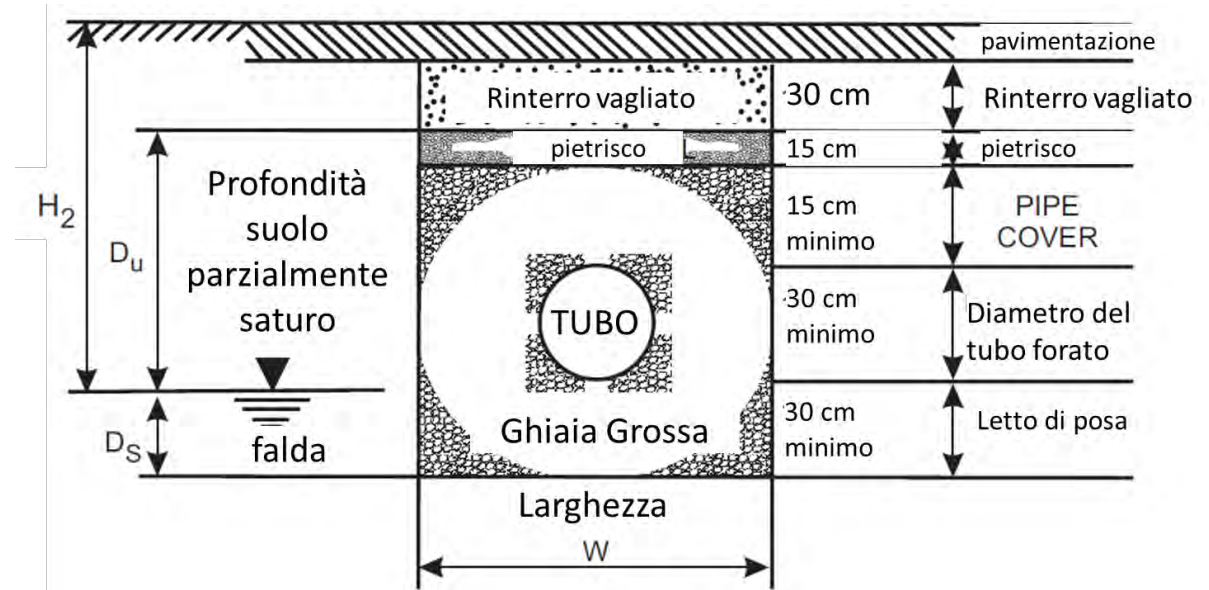
$$K_{IV} = \frac{4Q_p}{\pi d (2H_2^2 + 4H_2 D_s + H_2 d)}$$

Ex-Filtrazione per unità di carico

K_{IV} exfiltrazione per unità di carico da prove di infiltrazione in foro di diametro d con una portata stazionaria Q_p . Unità di misura m/s/ m

Per il dimensionamento della trincea si consiglia usare un valore di percolazione pari a quello misurato in foro, ridotto della metà o di un terzo.

4.4 Trincee di infiltrazione: dimensionamento



$$V = V_S + V_B + V_L$$

$$\frac{CAat}{b+t} = 0.5WD_uL + KH_2WLt + 2KL[D_u(H_2 - 0.5D_u) + D_sH_2]t$$

$$\alpha = CAa$$

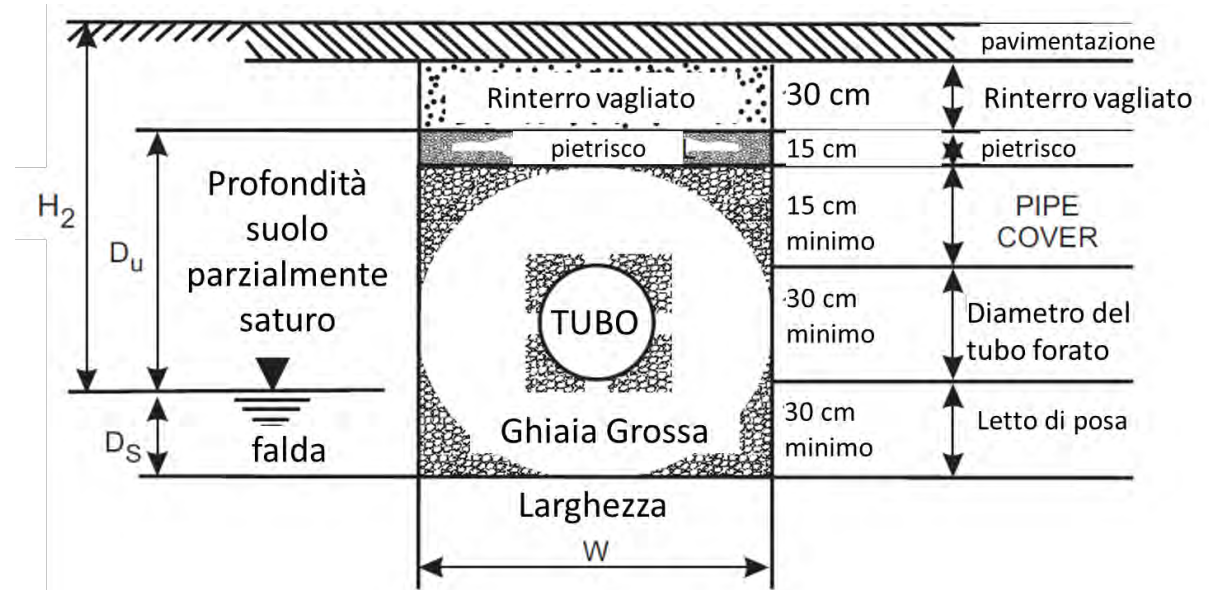
$$\beta = b$$

$$\gamma = 0.5WD_u$$

$$\delta = KH_2W + 2K[D_u(H_2 - 0.5D_u) + D_sH_2]$$

$$L = \frac{\alpha t}{(\beta + t)(\gamma + \delta t)}$$

4.4 Trincee di infiltrazione: dimensionamento



$$L = \frac{\alpha t}{(\beta + t)(\gamma + \delta t)}$$

$$\alpha = CAa \quad \beta = b$$

$$\gamma = 0.5WD_u$$

$$\delta = KH_2W + 2K[D_u(H_2 - 0.5D_u) + D_sH_2]$$

$$\left. \frac{dL}{dt} \right|_{t=t_{cs}} = 0 \longrightarrow t_{cs} = \sqrt{\frac{\gamma\beta}{\delta}} \longrightarrow L_T = \frac{\alpha t_{cs}}{(\beta + t_{cs})(\gamma + \delta t_{cs})}$$

Conclusioni seconda parte

Concetto di «invarianza idraulica» introdotto come strumento di pianificazione territoriale, al pari di altri indici urbanistici.

Incertezza nella definizione dello scenario di uso del suolo «ante-operam»

Incertezza nella stima dei deflussi per assegnato scenario di uso del suolo

Sarebbe più corretto mirare all'invarianza della distribuzione di frequenza delle piene tra due scenari di uso del suolo di progetto

Nella scelta delle tecniche di compensazione occorre tener conto di fattori locali (suolo, regime delle piogge estreme, regime di falda, ecc.)

Sistemi di infiltrazione efficaci per ridurre i volumi di piena generati a scala locale (non adatti in suoli con permeabilità inferiore a 5-10 mm/h)