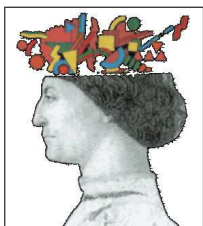


**CONSORZIO DI BONIFICA  
SAVIO RUBICONE DI CESENA**



**COLLEGIO INGEGNERI E ARCHITETTI DI  
CESENA E COMPENSORIO**

# **IL SISTEMA DI INVARIANZA IDRAULICA**



**ORDINE INGEGNERI  
PROVINCIA FC**



**COMUNE DI CESENA**

ing. Leonardo Giorgi  
Consorzio di Bonifica Savio Rubicone

# Programma dei lavori

- 9,15 Saluti e introduzione  
ing. D.Domenichini – Consorzio Bonifica Savio Rubicone
- 9,30 Il Sistema di Invarianza Idraulica  
ing. L. Giorgi - Consorzio Bonifica Savio Rubicone
- 10,30 Sviluppi Normativi e Tirante idrico di riferimento  
ing. P.Staccioli – Autorità Bacini Regionali Romagnoli
- 11,30 Discussione  
Coordinatore ing. G. Arbizzani – Collegio Ingegneri e Architetti
- 12,00 Conclusione dei lavori

# Il Sistema di Invarianza Idraulica

- Inquadramento della problematica dal punto di vista normativo e tecnico con particolare accento all'aspetto di "SISTEMA"
- Metodo semplificato di calcolo del volume di invaso: la formula del wo
- Esempi costruttivi
- Problematiche emerse in tre anni di applicazioni sul territorio

# Riferimenti normativi

## **Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli**

**[www.regione.emilia-romagna.it/baciniromagnoli](http://www.regione.emilia-romagna.it/baciniromagnoli)**

- **Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico**  
adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale  
RER n. 3/2 del 3 ottobre 2002  
approvato con deliberazione della Giunta Regionale n.  
350 del 17 marzo 2003  
pubblicato sulla G.U. n. 47 del 04 aprile 2003
- **Direttiva inerente le verifiche Idrauliche**  
approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale  
RER n. 3/2 del 20 ottobre 2003

## **Strumenti per la Difesa Idraulica del Territorio**

### Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico

Art. 3,4,5,6 – Aree con elevata, moderata, bassa e potenziale probabilità di allagamento

Art. 9 – Invarianza Idraulica

### Direttiva inerente le verifiche Idrauliche

Art. 6 – Tirante idrico di riferimento

Art. 7 – Invarianza Idraulica

# Definizione

Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica, s'intende  
LA TRASFORMAZIONE DI UN AREA  
CHE NON PROVOCHI UN AGGRAVIO  
DELLA PORTATA DI PIENA DEL  
CORPO IDRICO CHE RICEVE I  
DEFLUSSI SUPERFICIALI ORIGINATI  
DALLA STESSA

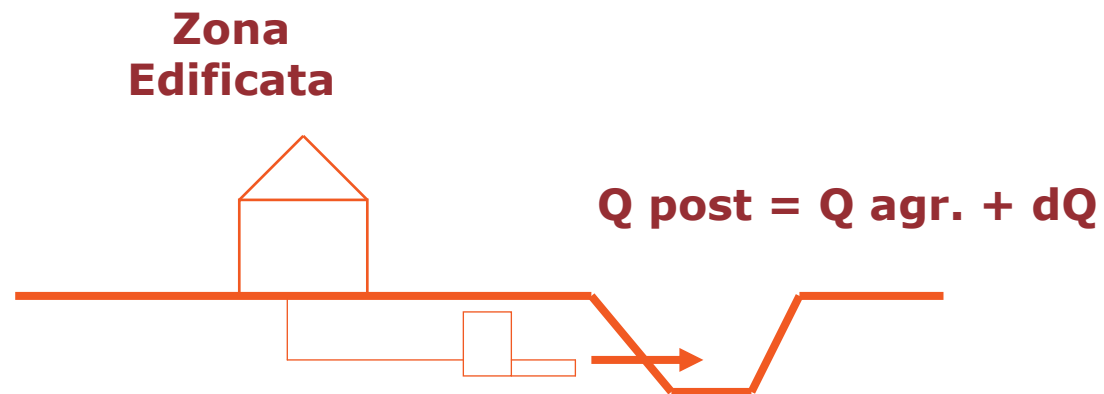
**CHI CONSUMA PAGA !!**

Chi consuma il territorio in termini di perdita della capacità di regolazione delle piene, PAGA, in quanto DEVE adottare AZIONI COMPENSATIVE per mantenere invariato il grado di sicurezza del territorio nel tempo

# Ante operam



# Post operam



**Azione compensativa:  
Volume W + Dn scarico**

# Concetto: QUANDO FARE INVARIANZA !

- ... si modificano le condizioni preesistenti in termini di permeabilità delle superfici (caso chiusura fossi)
- ... si attua una trasformazione di interi comparti che comporta un aumento di impermeabilizzazione dei suoli
- ... avviene una impermeabilizzazione per ampliamenti netti delle superfici coperte da pavimentazione o da volumi edilizi



# Concetto: COME FARE INVARIANZA !

Il Sistema di Invarianza Idraulica è composto da un Volume di invaso abbinato ad un Tubo di scarico con strozzatura

$$W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$$
$$Q = 0,6 A (2gh)^{0,5}$$

La Direttiva Idraulica distingue quattro classi di intervento:

Trascurabile impermeabilizzazione potenziale per  $S < 0,1$  ha

Modesta impermeabilizzazione potenziale per  $0,1 < S < 1$  ha

Significativa impermeabilizzazione potenziale per  $1 < S < 10$  ha e  $S > 10$  ha e  
IMP < 30%

Marcata impermeabilizzazione potenziale per  $S > 10$  ha e IMP > 30%



# Concetto: COME CALCOLARE IL VOLUME !

La normativa propone la nota formula, che incrementa il volume di invaso in funzione della variazione di permeabilità del suolo.

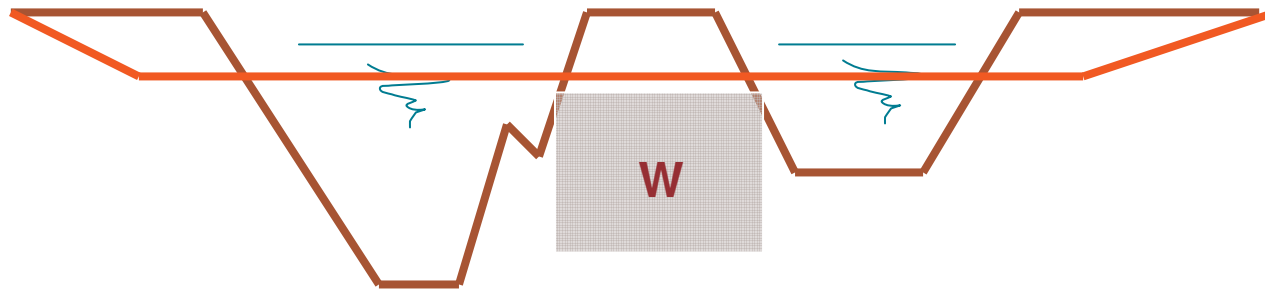
NON CONSIDERA l'incremento di portata.

E' semplice, speditiva e CAUTELATIVA

$$W = w_0 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - w_0 P$$

Quanto si dirà nel seguito, vale RIGOROSAMENTE nel caso di una trasformazione integrale da terreno agricolo a terreno lottizzato con edificato e pertinenza.

Il VOLUME DI INVASO è un volume naturalmente disponibile per la laminazione della portata meteorica, dato dalla somma dei volumi delle depressioni naturali del terreno, delle fosse, dei solchi che un terreno ha e che quando piove vengono riempiti dall'acqua, che in questo modo ritarda il suo arrivo al corpo recettore



Quando si compie la trasformazione, si modifica questo volume, lo si riduce.

In maniera artificiale è necessario allora aumentarlo in funzione di quanto intensa è la trasformazione, ovvero in funzione di come cambia il coefficiente di deflusso, legato alla permeabilità.

# Formula wo: $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$

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

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

$\Phi$  = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione

$\Phi_o$  = coefficiente di deflusso prima della trasformazione

$n = 0,48$  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

**Formula wo:**  $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$

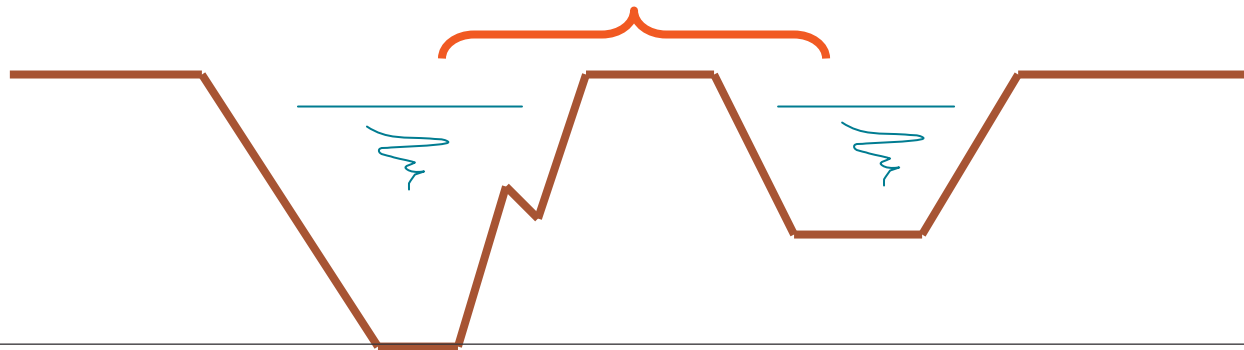
**wo**

### 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



# Formula wo: $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$

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

$\phi_o$

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.

$\phi$

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

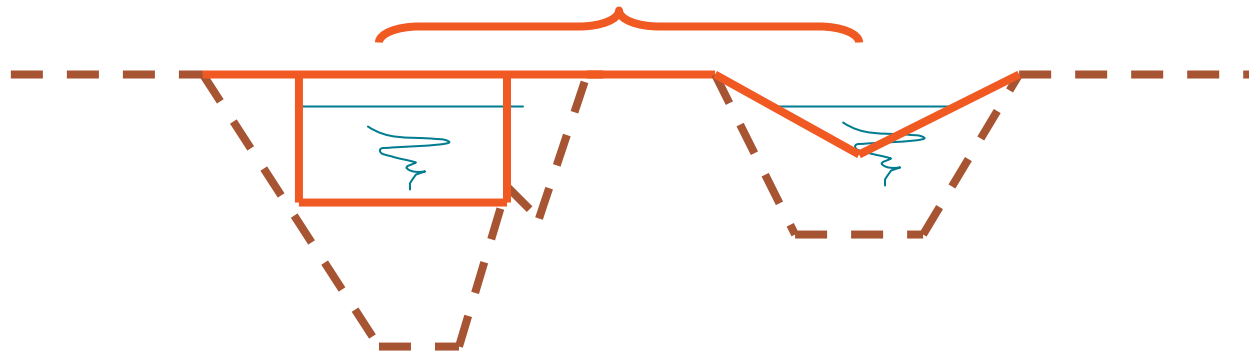
Superfici tipo autobloccanti e misto stabilizzato permeabili al 50 %

**Formula wo:**  $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$

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



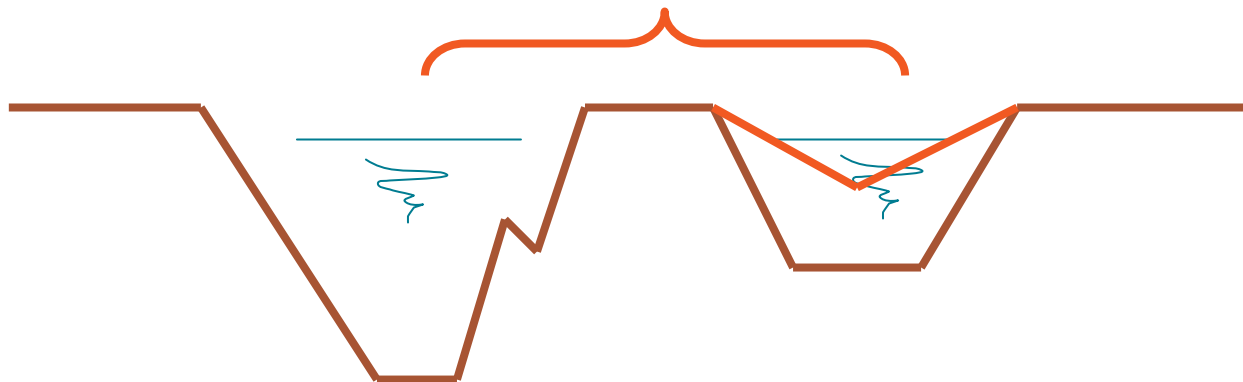


**Formula wo:**  $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 \text{ I} - w_o P$

**P**

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

CONVENZIONE: 50 mc/ha



# Ricapitolando

$$w = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$$

Il valore di 50 mc/ha viene moltiplicato per il rapporto dei coefficienti di deflusso elevato per 1,92.., che è maggiore di 1, quindi il volume W è maggiore di 50.

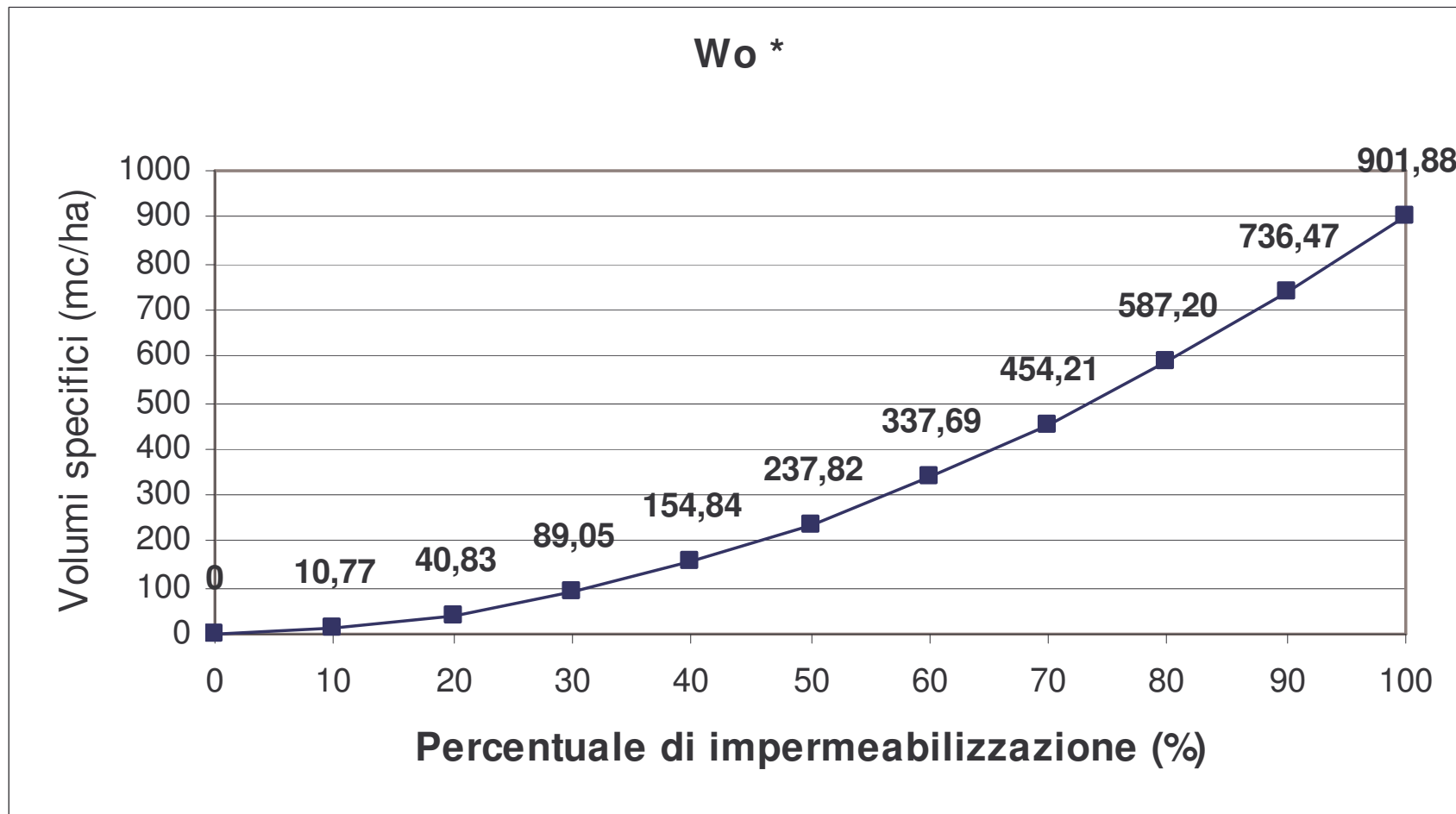
w si può però ridurre, in funzione dei termini:

I – quota parte di superficie trasformata, avente 15 mc/ha di volume disponibile per la laminazione

P– quota parte di superficie non trasformata, INALTERATA, avente 15 mc/ha di volume disponibile per la laminazione

Il risultato è la volumetria w necessaria per la laminazione in mc/ha, proporzionale all'aumento incrementale del coefficiente di deflusso.

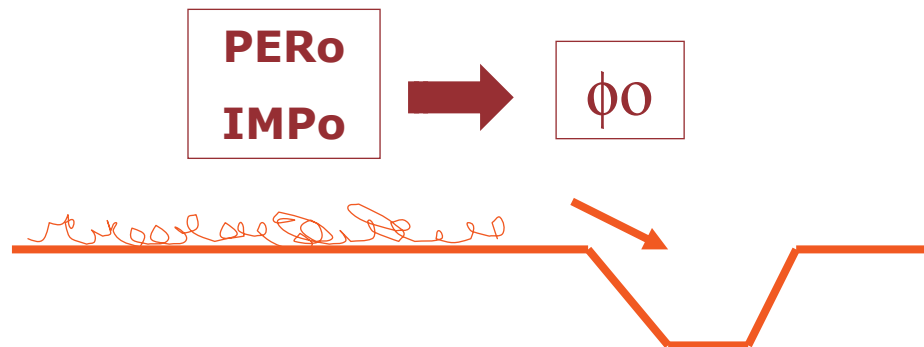
**Formula wo:**  $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$



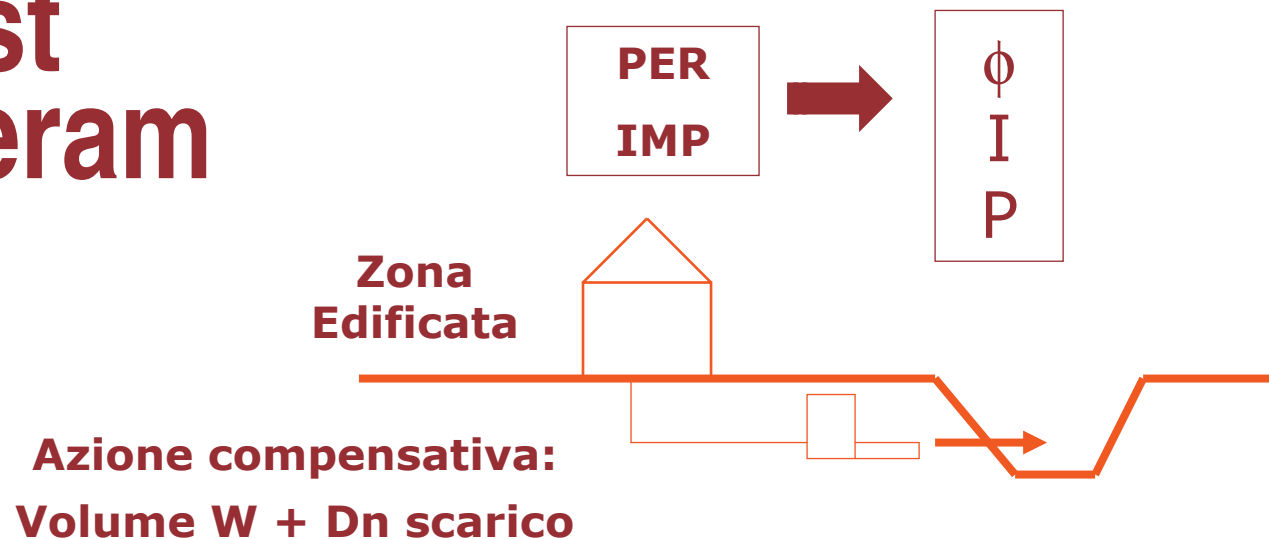
**\* Il primo termine della formula del wo**

**Formula wo:**  $W = w_o (\phi / \phi_o)^{(1/1-n)} - 15 I - w_o P$

**Ante  
operam**



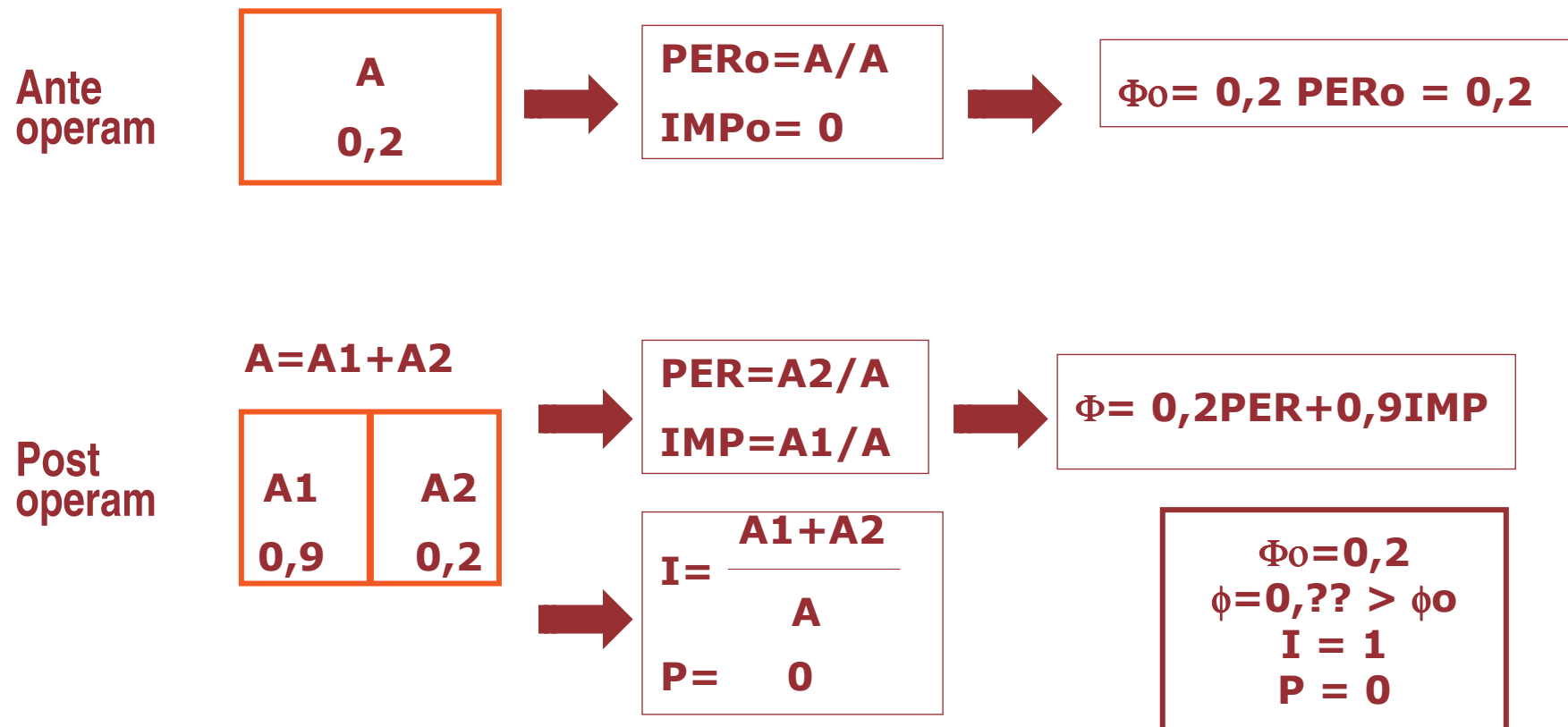
**Post  
operam**



# Formula wo:

$$W = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$$

## TRASFORMAZIONE TOTALE DI LOTTO AGRICOLO IN LOTTO EDIFICATO



## Esempio di come si usa la formula

$$W = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$$

COME SI USA LA FORMULA !				
sup fondiaria		mq	10.000,00	inserire la superficie fondiaria del lotto
sup impermeabile esistente	<b>Imp°</b>	mq	0,00	quotaparte di superficie impermeabile esistente
sup impermeabile progetto	<b>Imp</b>	mq	5.000,00	<b>incremento</b> della quotaparte impermeabile a seguito dell'intervento
sommano		mq	5.000,00	
sup permeabile esistente	<b>Per°</b>	mq	10.000,00	stabilire la quotaparte di superficie permeabile esistente
sup permeabile progetto	<b>Per</b>	mq	5.000,00	stabilire la quotaparte di superficie permeabile restante
		<b>I+P</b>	= 100%	<b>DEVE SEMPRE RISULTARE 100%</b>
sup. trasformata/livellata	<b>I</b>	mq	10.000,00	Sup. impermeabile più sup. permeabile trasformata rispetto all'agricola.
sup. agricola inalterata	<b>P</b>	mq	0,00	La superficie inalterata di riferimento è sempre agricola !
calcolo del $\sigma^\circ$	=	0,9 x	0,0000 + 0 x 1,0000 =	0,2000
calcolo del $\sigma$	=	0,9 x	0,5000 + 0 x 0,5000 =	0,5500 <b><math>\sigma &gt; \sigma_0</math> sempre !!</b>
<b>Volume di Invaso</b>	<b>W</b>	=	50 x 6,9963 - 15 x 1,0000 - 50 x 0,0000 =	<b>334,82</b> mc/ha
			334,82 : 10.000 x 10.000,00 =	<b>334,82</b> mc.

Valore  
sempre  
maggiore  
di 1

Valore  
compreso  
tra 0 ed 1

Valore  
compreso  
tra 0 ed 1

Valore  
sempre  
positivo

- ing. Leonardo Giorgi
- Consorzio di Bonifica Savio Rubicone

$$W = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$$

Quanto detto sin qui, vale RIGOROSAMENTE per una trasformazione integrale da terreno agricolo a terreno lottizzato con edificato e pertinenza.

Per i casi più frequenti, di trasformazione di lotto già parzialmente urbanizzato, quindi con una quota parte di superficie impermeabile già presente, se si usa la formula, si consideri che:

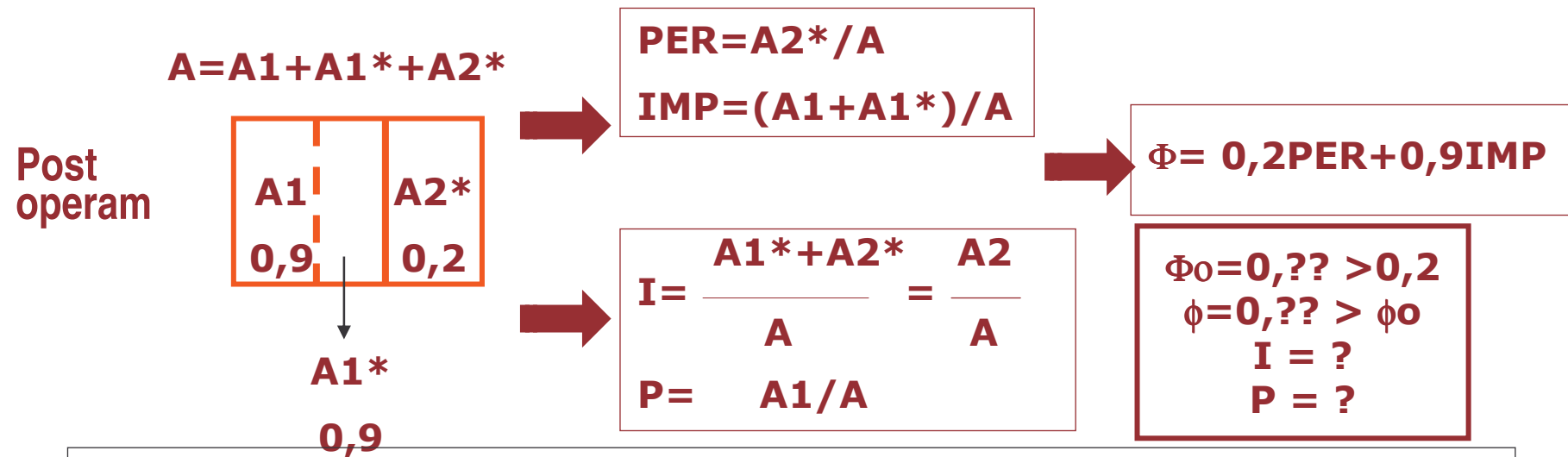
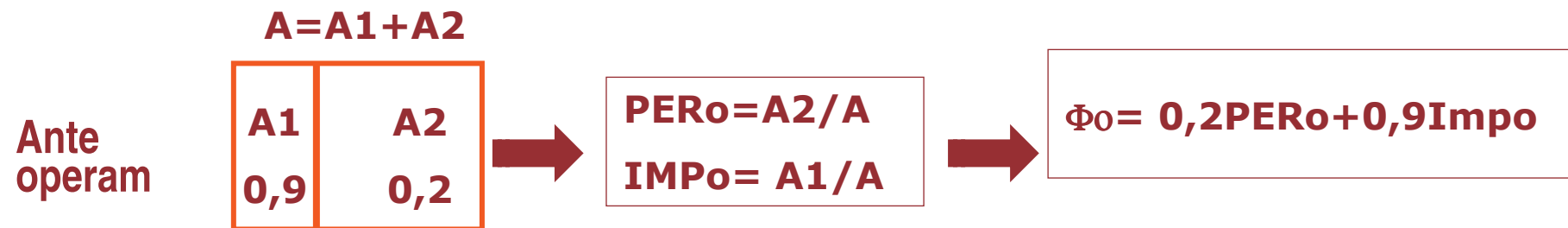
- si attribuiscono 50 mc/ha (wo) all'esistente anche se non è agricolo;
- si attribuiscono 15 mc/ha (I) alla superficie trasformata (ampliamento e nuovo verde);
- si attribuiscono 50 mc/ha (P) alla superficie non trasformata, INALTERATA, ovvero l'esistente (impermeabile e pertinenza);

E' UN LIMITE DELLA FORMULA !???

ERRATA INTERPRETAZIONE ???

# Formula wo: $W = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$

## AMPLIAMENTO DI LOTTO PARZIALMENTE EDIFICATO





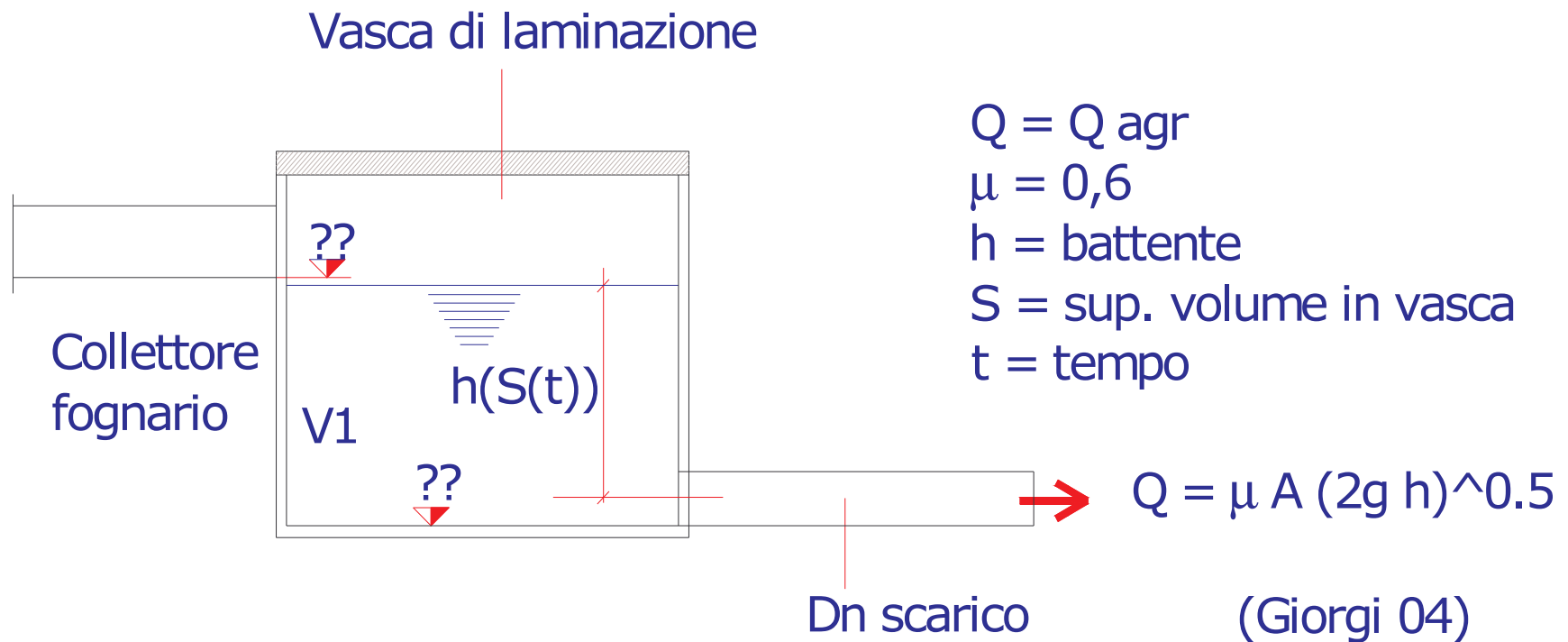
## Esempio di come si usa la formula

$$W = 50 (\phi / \phi_0)^{(1/1-n)} - 15 I - 50 P$$

<b>ESEMPIO: Lotto con zona edificata da ampliare</b>									
<b>ESISTENTE</b>									
Lotto	mq	10.000							
Edificato tutto impermeabile	mq	1.000							
Agricolo	mq	9.000							
<b>PROGETTO</b>									
Ampliamento	mq	4.000							
Zona verde	mq	5.000							
sup fondiaria	mq	10.000							
sup impermeabile esistente	<b>Imp°</b>	mq	1.000						
sup impermeabile progetto	<b>Imp</b>	mq	4.000						
sommano		mq	5.000						
sup permeabile esistente	<b>Per°</b>	mq	9.000						
sup permeabile progetto	<b>Per</b>	mq	5.000						
		<b>I+P</b>	=	100%					
<b>DEVE SEMPRE RISULTARE 100%</b>									
sup. trasformata/livellata	<b>I</b>	mq	9.000						
<b>mq 4.000 + mq 5.000</b>									
sup. agricola inalterata	<b>P</b>	mq	1.000						
<b>La superficie inalterata è l'esistente edificato !</b>									
calcolo del ø°	=	0,9	x	0,10	+	0,2	x	0,90	= 0,27
calcolo del ø	=	0,9	x	0,50	+	0,2	x	0,50	= 0,55
<b>W</b>	=	50	x	3,9285	-	15	x	0,9000	50 x 0,1000 = <b>177,93</b> mc/ha
						177,93	:	10.000	x 10.000,00 = <b>177,93</b> mc.

- ing. Leonardo Giorgi
- Consorzio di Bonifica Savio Rubicone

# Tubo di scarico con strozzatura



per semplicità si prende il battente  $h$  di max riempimento  
Terreno agricolo  $Q_{agr} = 15 - 20 \text{ l/sec/ha}$

**Si cerca la coppia (battente, diametro) che fornisce la portata agricola  
Noto W, il battente è spesso imposto dalla geometria della vasca  
Terreno agricolo di 1 ha - Q agr = 20 l/sec**

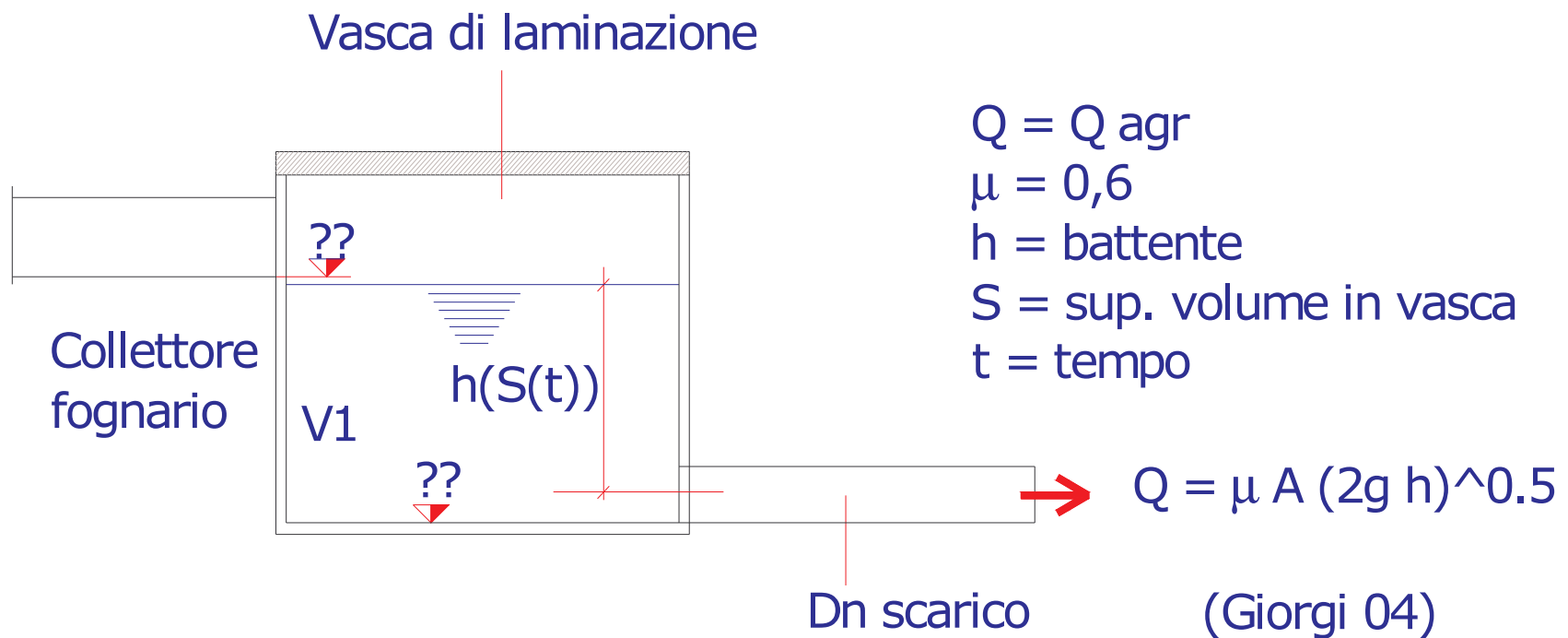
<b>mu = 0,6</b>	Diametro tubo di scarico (mm)								
battente	80	100	120	150	160	200	250	315	400
h (ml)	portata defluente in l/sec								
0,2	5,97	9,33	13,44	20,99	23,88	37,32	58,31	92,58	149,28
0,3	7,31	11,43	16,45	25,71	29,25	45,71	71,42	113,38	182,83
0,4	8,44	13,19	19,00	29,69	33,78	52,78	82,47	130,92	211,12
0,5	9,44	14,75	21,24	33,19	37,77	59,01	92,20	146,38	236,03
0,6	10,34	16,16	23,27	36,36	41,37	64,64	101,00	160,35	258,56
0,7	11,17	17,45	25,14	39,27	44,68	69,82	109,09	173,20	279,28
0,8	11,94	18,66	26,87	41,99	47,77	74,64	116,63	185,15	298,56
0,9	12,67	19,79	28,50	44,53	50,67	79,17	123,70	196,39	316,67
1,0	13,35	20,86	30,04	46,94	53,41	83,45	130,39	207,01	333,80
1,1	14,00	21,88	31,51	49,23	56,02	87,52	136,76	217,11	350,09
1,2	14,63	22,85	32,91	51,42	58,51	91,42	142,84	226,77	365,66
1,3	15,22	23,79	34,25	53,52	60,89	95,15	148,67	236,03	380,59
1,4	15,80	24,69	35,55	55,54	63,19	98,74	154,28	244,94	394,96
1,5	16,35	25,55	36,79	57,49	65,41	102,21	159,70	253,53	408,82
1,6	16,89	26,39	38,00	59,38	67,56	105,56	164,93	261,85	422,23
1,7	17,41	27,20	39,17	61,20	69,64	108,81	170,01	269,91	435,22
1,8	17,91	27,99	40,31	62,98	71,65	111,96	174,94	277,73	447,84
1,9	18,40	28,76	41,41	64,70	73,62	115,03	179,73	285,34	460,11
2,0	18,88	29,50	42,49	66,38	75,53	118,02	184,40	292,76	472,07

ing. Leonardo Giorgi  
Consorzio di Bonifica Savio Rubicone

# Il Sistema invarianza

Il Principio di Invarianza Idraulica si soddisfa abbinando un volume di stoccaggio della portata defluente ad una tubazione di scarico opportunamente tarata.

**NON BASTA IL VOLUME !**

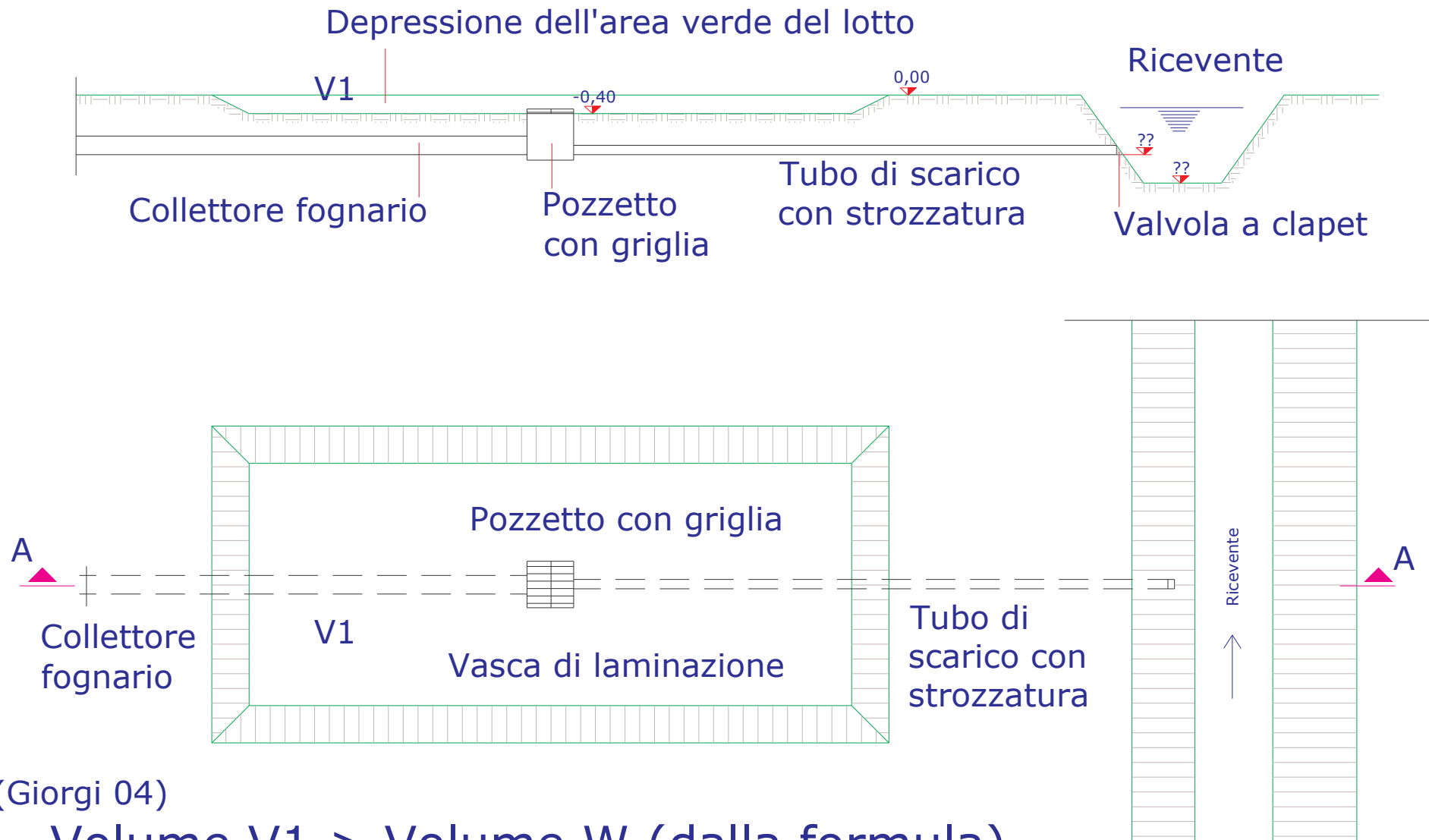


# Tipologie Costruttive

- Aree verdi ribassate
- Sovradimensionamento fognature
- Vasche c.c.a., prefabbricate o in opera, chiuse o aperte
- Allagamento dei piazzali
- Accumulo sui tetti

# VASCA DI LAMINAZIONE RICAVATA NEL VERDE

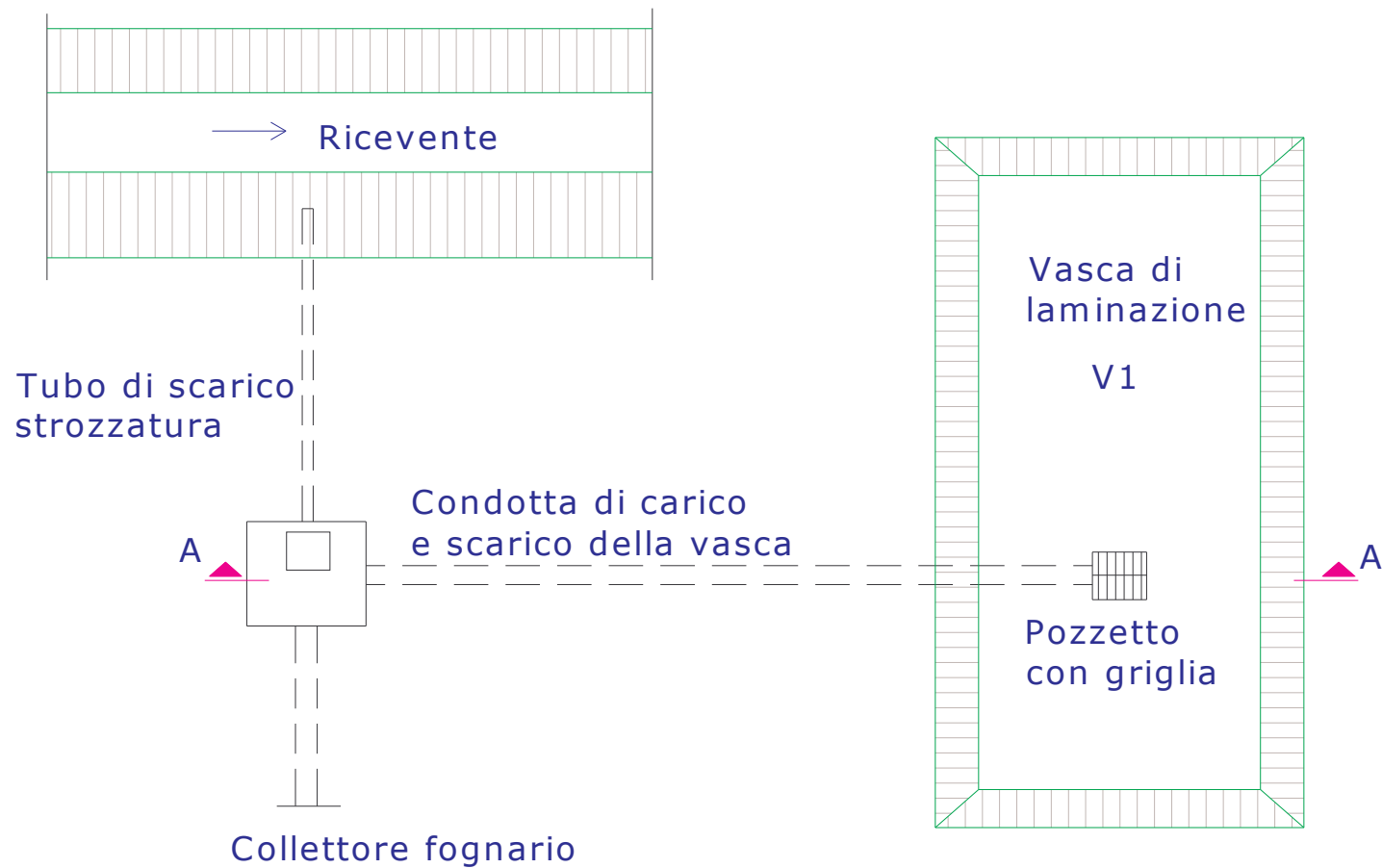
## SEZIONE A-A



(Giorgi 04)

Volume V1 > Volume W (dalla formula)

# VASCA DI LAMINAZIONE RICAVATA NEL VERDE

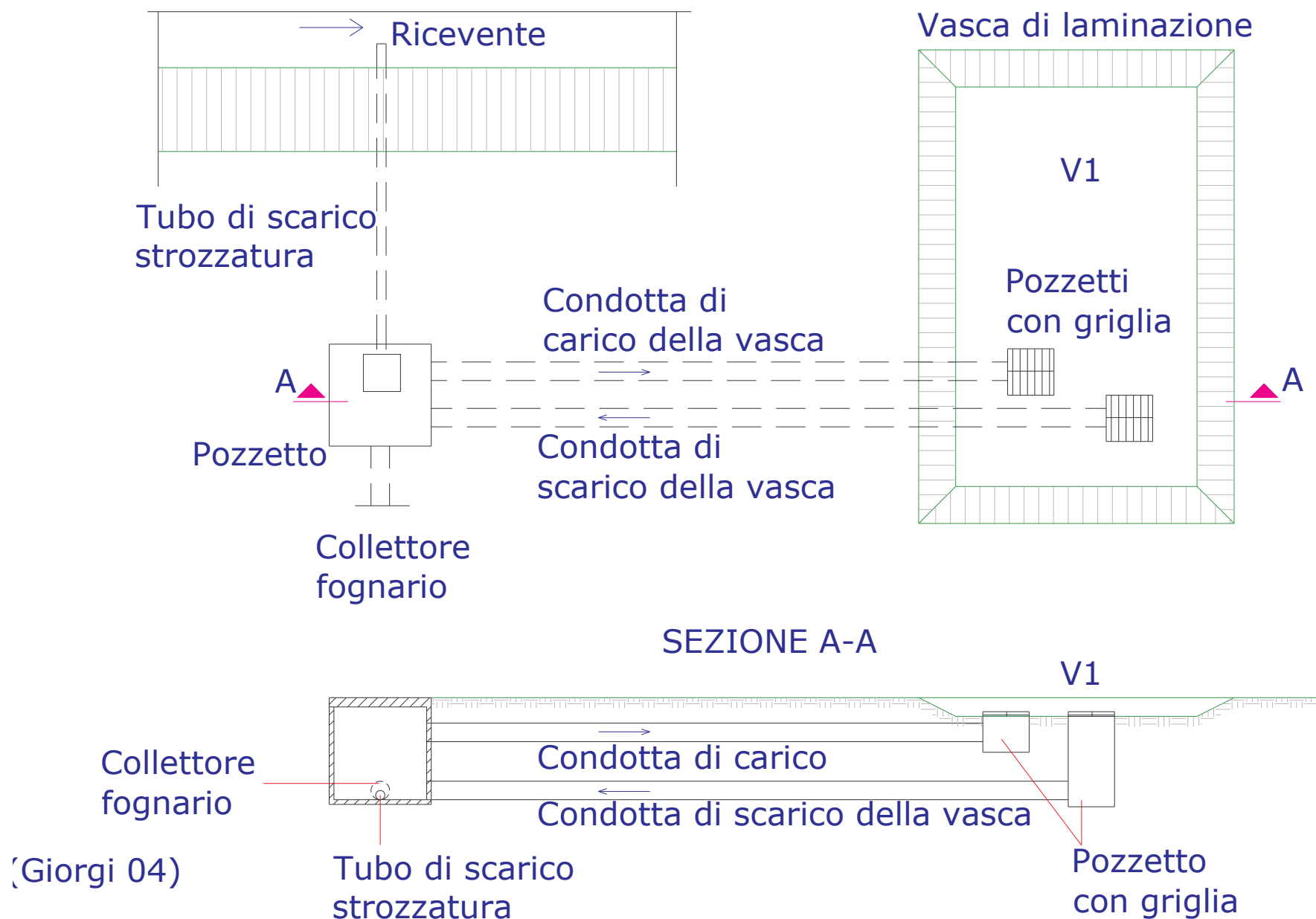


**Volume V1 > Volume W (dalla formula)**

Giorgi 04)



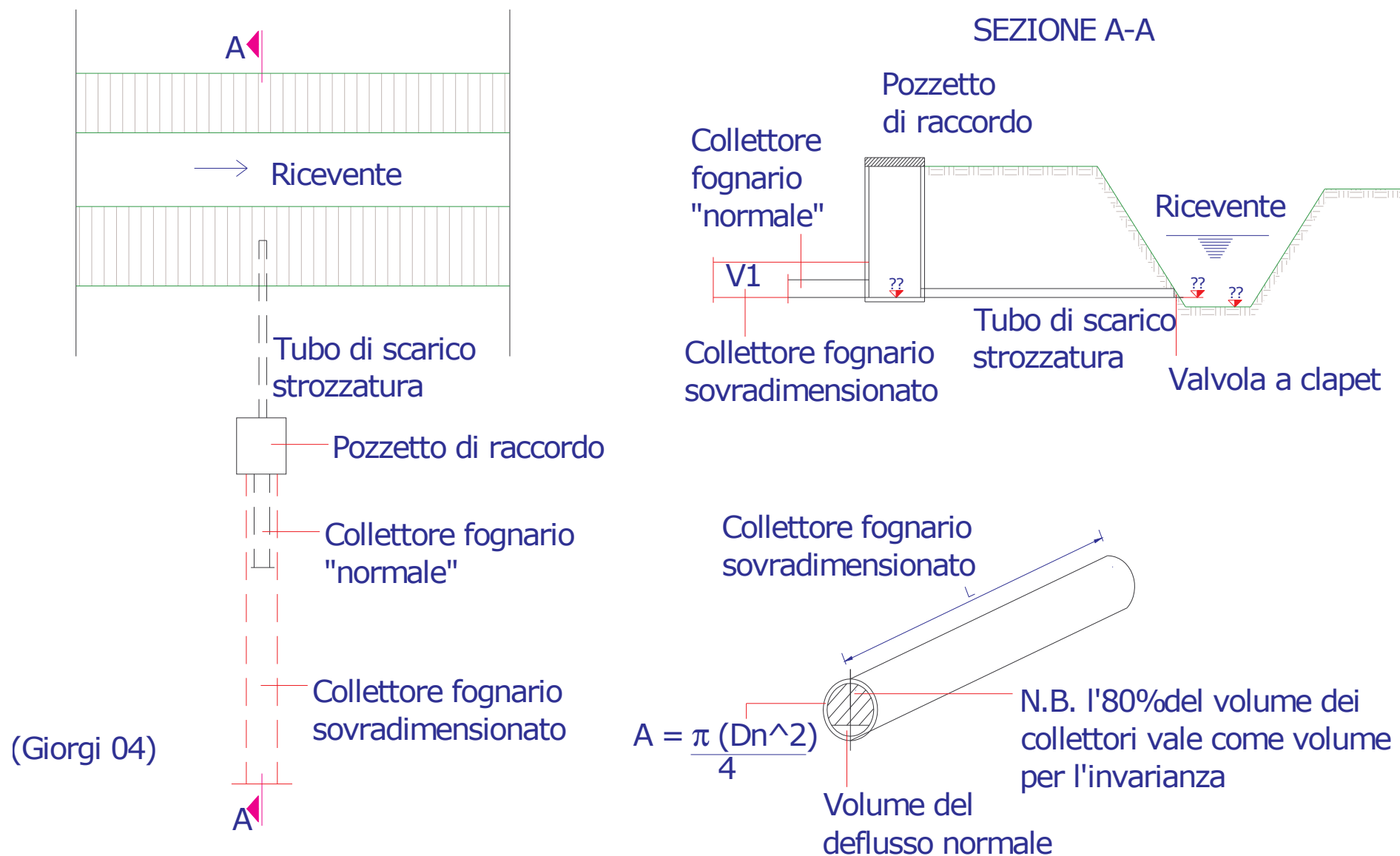
# VASCA DI LAMINAZIONE RICAVATA NEL VERDE



Volume V1 > Volume W (dalla formula)

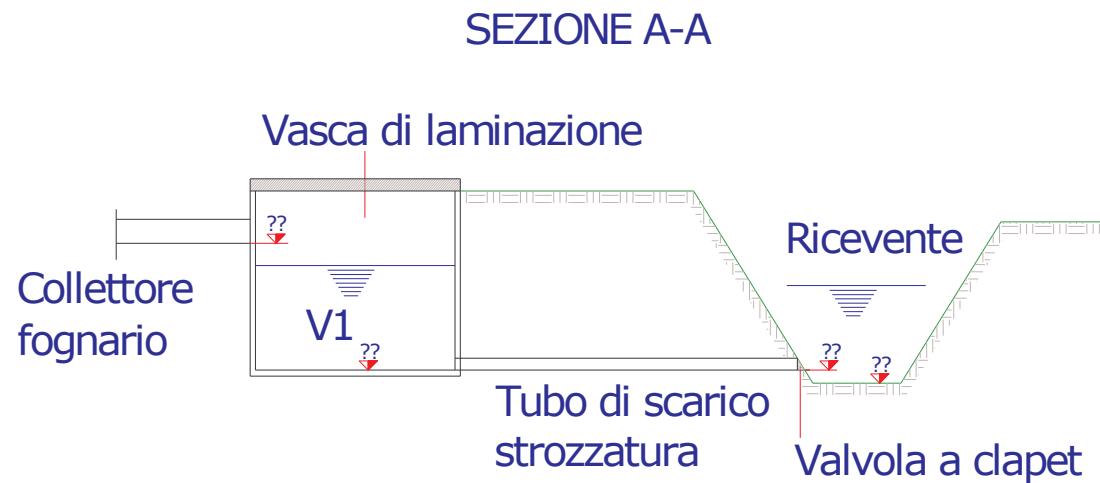


# SOVRADIMENSIONAMENTO COLLETTORI FOGNARI



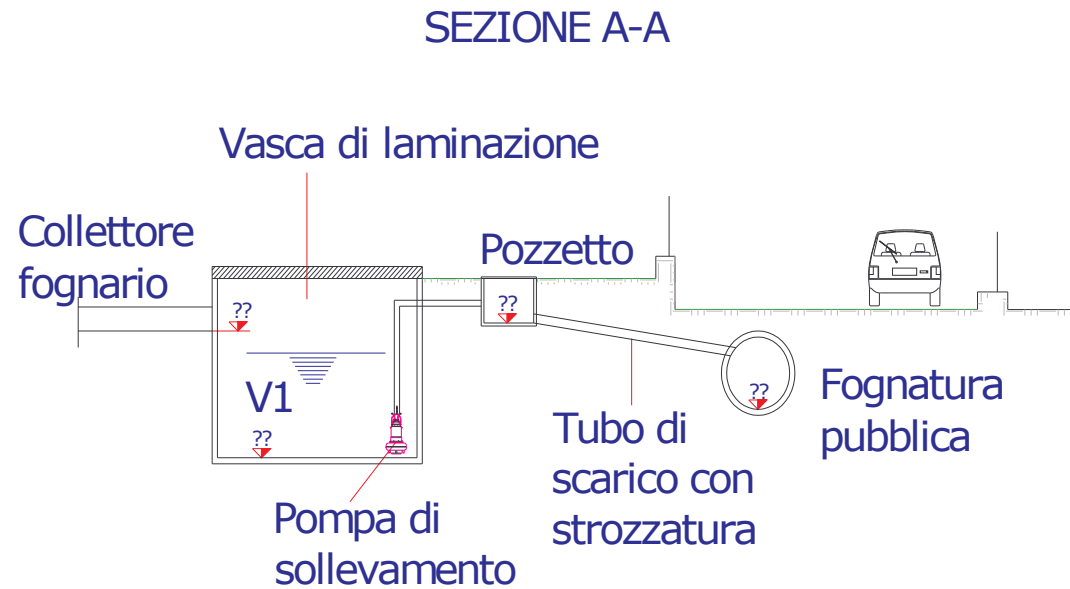
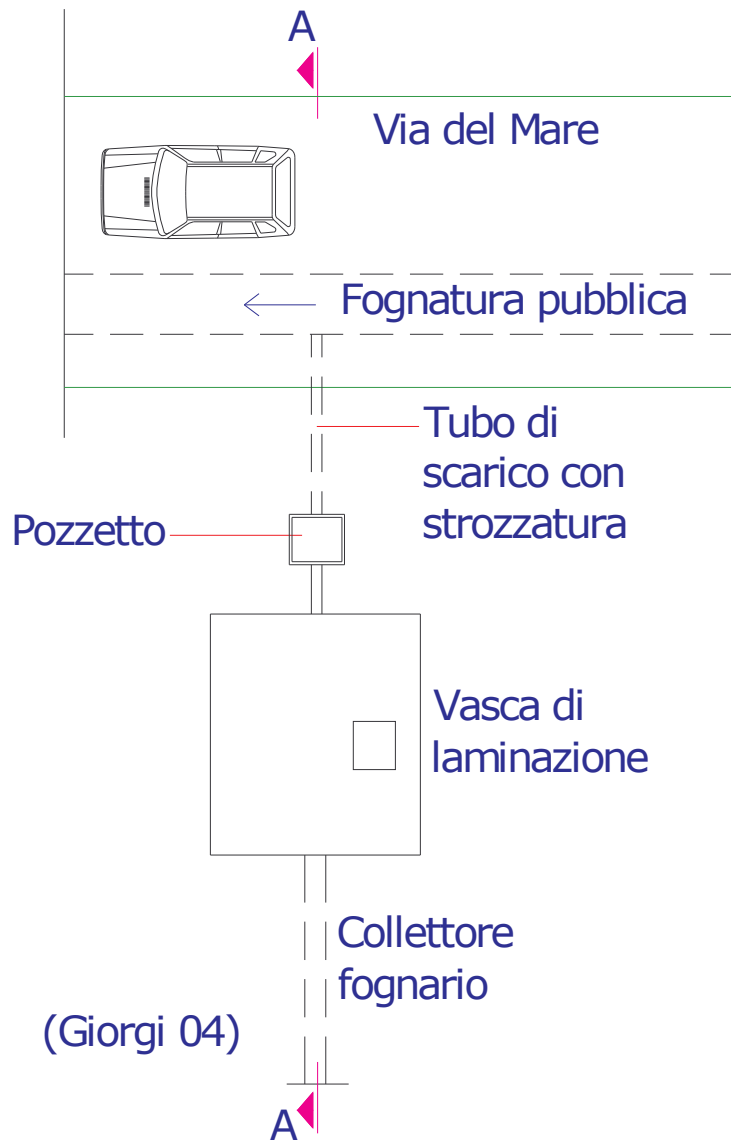
Volume collettori  $V_1 = 80\% A \times L > \text{Volume } W$  (dalla formula)

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



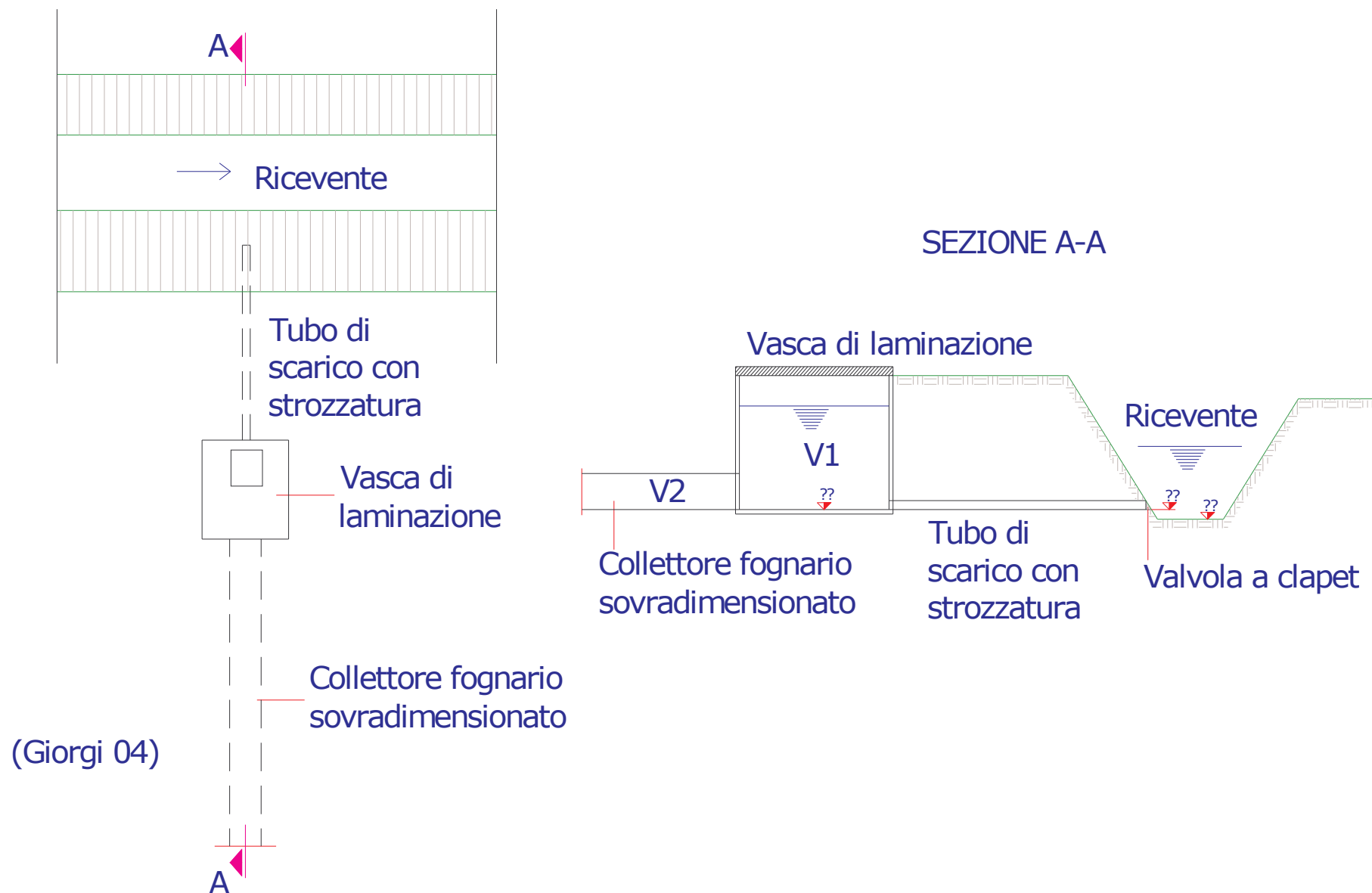
Volume  $V1 > \text{Volume } W$  (dalla formula)

# VASCA DI LAMINAZIONE IN C.C.A. CON POMPA



Volume  $V1 > \text{Volume } W$  (dalla formula)

# VASCA+SOVRADIMENSIONAMENTO COLLETTORI



Volume vasca V1 + Volume collettori V2 > Volume W (dalla formula)

# Alternative alle tipologie viste

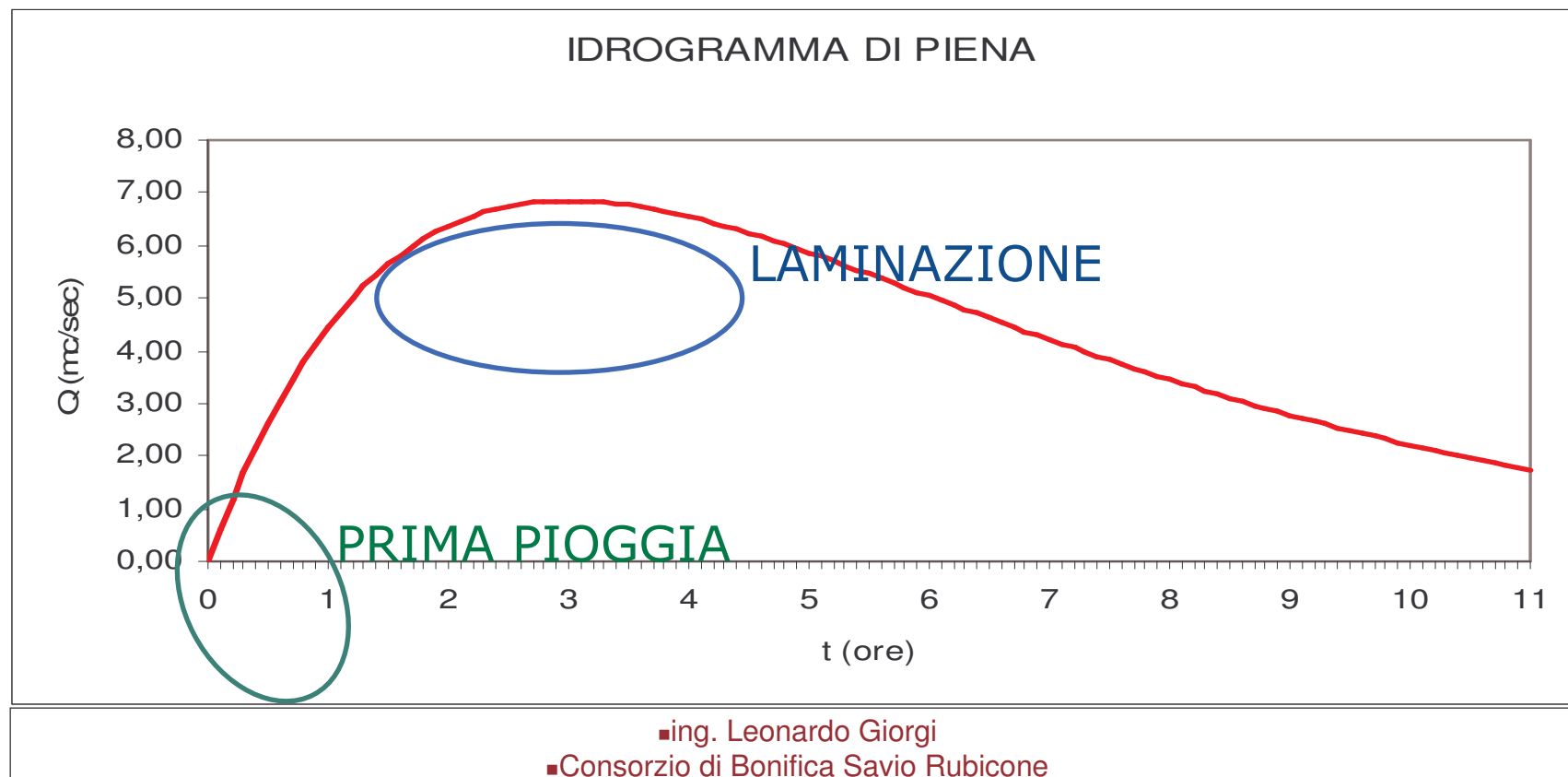
## DISPERSIONE - FILTRAZIONE

Non c'è l'immissione nel ricevente.

Si riduce e si ritarda l'afflusso al ricevente.

# LAMINAZIONE E PRIMA PIOGGIA

Per alcuni interventi (piazzali, depositi) si ha la compresenza di vasche di laminazione e vasche di prima pioggia.

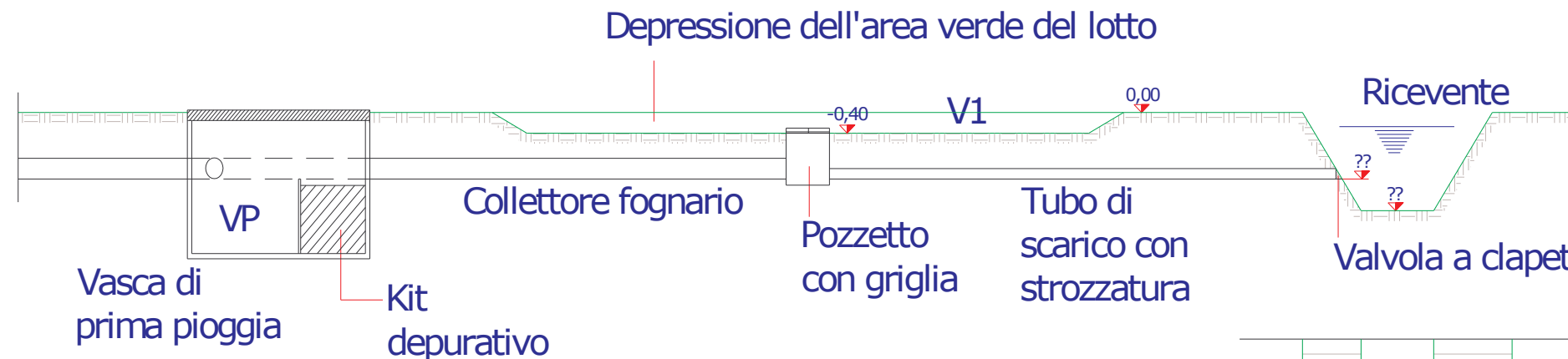


NON si può utilizzare il volume della vasca di prima pioggia per recuperare il volume di laminazione.

Si dispone la vasca di prima pioggia a monte di quella di laminazione.

# VASCA DI LAMINAZIONE E VASCA DI PRIMA PIOGGIA

## SEZIONE A-A



Giorgi 04)

$V1 > \text{Volume } W \text{ (dalla formula)}$

$Vb = 50 \text{ mc/ha} \times A_{\text{biazzale}}$



## PERCHE' IL SISTEMA FUNZIONI VERIFICARE:

- che la formula sia stata applicata correttamente (elementi spia)
- che la volumetria sia maggiore di  $w$
- che il tubo di scarico sia calcolato in maniera corretta
- che la posizione della vasca sia corretta, prima dell'immissione nel ricevente ed in modo che le nuove acque vengano intercettate.
- che lo scarico della vasca sia posto sul fondo, quindi che lo svuotamento avvenga per gravità
- che le quote altimetriche permettano il reale svuotamento della vasca. La quota che comanda è quella dell'immissione nel ricevente

# Problematica 1: la pianificazione

**L'assetto urbanistico dei lotti è stato pensato senza considerare le necessità dell'invarianza idraulica (aree per la vasche poste prima del recettore)**

**Ad oggi manca una pianificazione territoriale a livello di bacino imbrifero che individui poche aree nelle quali realizzare grandi casse di laminazione**

**L'invarianza viene realizzata lotto per lotto con un inevitabile proliferare di vasche piccole e medio grandi, a volte distinte in vasche pubbliche (per le aree pubbliche) e private (per l'area privata)**

**Molti Enti sono coinvolti nel procedimento autorizzativo, ognuno ha le sue esigenze ed è difficile trovare soluzioni soddisfacenti per tutti (30 cm di max approfondimento della vasca realizzata nell'area del verde pubblico)**

**MANCANO GLI SPAZI PER FARE LE VASCHE !!!**

# Problematica 2:

## gli spazi

**Spesso lo spazio per le vasche è poco o assente**

**Spesso l'unico spazio disponibile è l'area destinata a verde pubblico e il Comune di turno non ammette le vasche su suolo pubblico**

**Spesso però le vasche sono l'ultimo aspetto tecnico che si considera**

**SI FANNO I SALTI MORTALI**

**Per i volumi in gioco e per il fatto che non possono essere collocate ovunque, le vasche vanno individuate SUBITO**

**E' condizionante la posizione del recettore e la quota di scarico**

# Problematica 3:

i costi

Costi di realizzazione

<b>Vasca cls+zona verde ribassata</b>	
mq	84.430
mc	4.856
mc/ha	575
Euro	104.000
€/mc	21,42

Costi di manutenzione

???

Monetizzazione del volume

???

# Problematica 4: i parametri dim.li

Tipologie più gettonate:  
zona ribassata nel verde  
sovradimensionamento fogna  
vasche cls interrate  
piazzale allagabile

La strozzatura mai minore di  
100 mm quindi nei casi piccoli  
l'invarianza della portata in  
uscita non si verifica

Il  $W_o$  di 50 mc/ha dovrebbe  
essere differenziato per le  
diverse situazioni territoriali

I volumi delle vasche sono **ELEVATI**

Quando si cercano i volumi per  
soddisfare il risultato della formula del  
 $w_o$  si pensi che quei volumi si  
**DEVONO FISICAMENTE RIEMPIRE**

Luci di scarico **FISSE**

Luci di scarico **REGOLABILI**  
Dn 100 mm  
costo Euro/cad 3.500,00

# Problematica 5: l'invarianza in collina

**Applicare il Principio di Invarianza in collina NON E' BANALE a causa delle pendenze dei versanti. TUTTAVIA VA APPLICATO**

**Utilizzare il  $w_o = 50$  mc/ha e la  $Q_{agr} = 20$  l/sec NON è rigorosamente corretto**

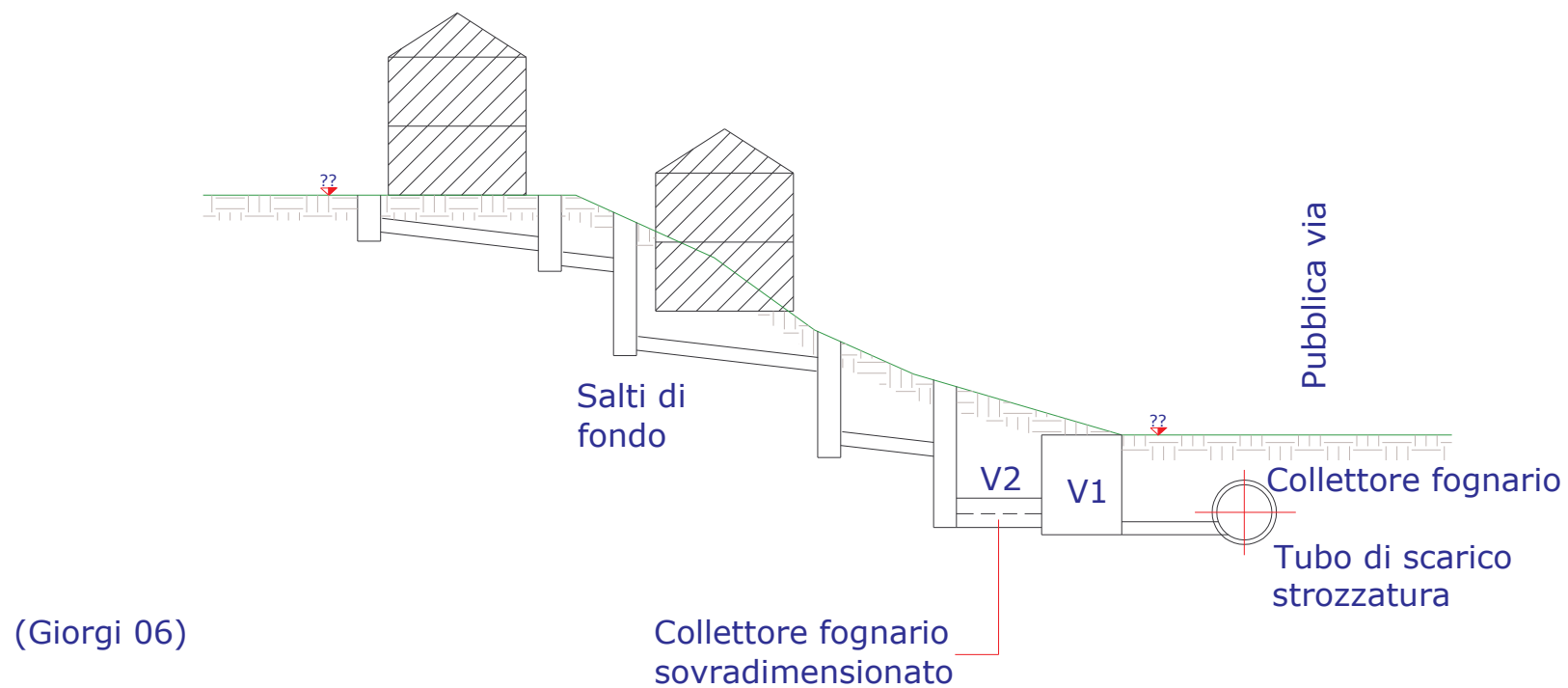
**Vuoto normativo !**

**Vasche in zone quasi pianeggianti**

**Salti di fondi**

**Sovradimensionamento dei volumi che si riempiono veramente a monte della strozzatura !**

# INVARIANZA IN TERRENO ACCLIVE

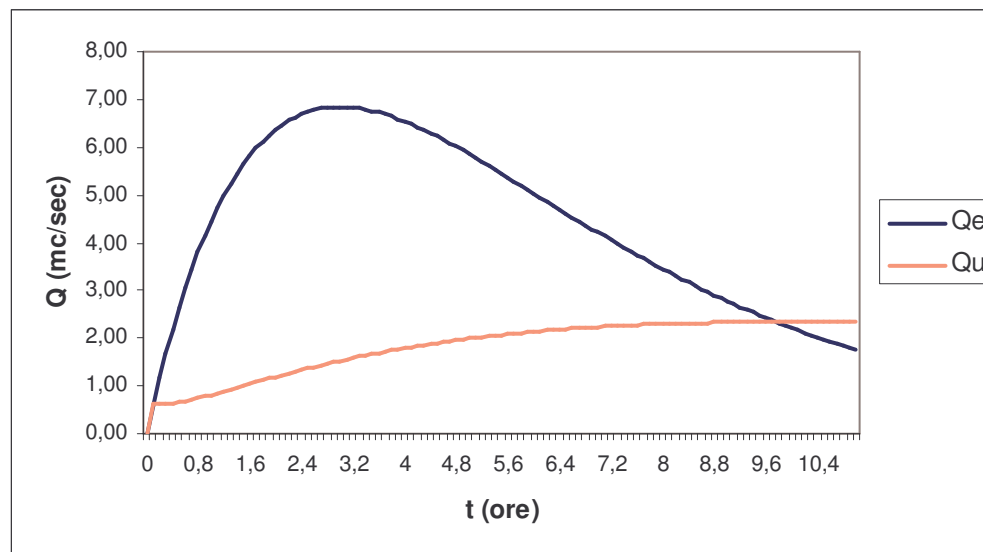


$$V1+V2 > \text{Volume W (dalla formula)}$$

# Alternative all'uso della formula del wo

Metodi diversi per il calcolo del volume di laminazione sono accettabili, purché scientificamente validi, anche SE FORNISCONO VOLUMETRIE INFERIORI rispetto a quelle ottenute con la formula del wo.

p.es. Idrogrammi di piena



■ ing. Leonardo Giorgi  
■ Consorzio di Bonifica Savio Rubicone



# Conclusioni

La formula del wo dà ....dei numeri !  
ATTENZIONE alla corretta applicazione

Predisporre volumi che possono riempirsi

Adottare sempre la strozzatura

Stiamo tutti facendo esperienza !

La condivisione dell'esperienza permette di correggere il tiro !

L'obbiettivo di tutti è sempre la Difesa Idraulica del Territorio !